

УДК 551.51

Поступила 15 июля 2009 г.

Анализ условий образования серебристых облаков и их влияние на погодообразующие процессы

В.Ф.Говердовский (проф), **Е.Г. Хафизова** (студент)

*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, д. 98*

Статья содержит описание истории изучения серебристых и перламутровых облаков, как с поверхности Земли, так и с помощью метеорологических ракет и средств и методов дистанционного зондирования. Приведен анализ полученных экспериментальных данных

Ключевые слова: Серебристые облака, загрязнение атмосферы, перламутровые облака, тропосферная облачность, химический состав облаков, оптические эффекты, сезонное распределение, ИСЗ «АИМ».

Введение

Серебристые облака – это редкое и в то же время весьма интересное явление природы, привлекающее за последние годы внимание исследователей различных стран, специалистов в различных областях знания, а также любителей-наблюдателей. Самые высокие облака в земной атмосфере – серебристые. Свое название облака получили не случайно: их цвет действительно серебристый, и они могут быть легко различимы на фоне сумеречного сегмента неба. По форме серебристые облака напоминают перистые. Из-за того что они находятся очень высоко над землей, эти облака рассеивают солнечный свет и остаются видимыми в течение ночи, тогда как все другие типы имеют темно-серый цвет (или совсем незаметны), поскольку не освещаются Солнцем в ночное время.

Их называют также полярными мезосферными облаками (polar mesospheric clouds, РМС) или ночными светящимися облаками (noctilucent clouds, NLC). В России их называют серебристыми.

Наблюдать серебристые облака можно только в летние месяцы: в Северном полушарии в июне-июле (обычно с середины июня до середины июля), на географических широтах от 45° до 70°, в основном от 55° до 65°. В Южном полушарии в конце декабря и в январе на широтах от 40° до 65°. В это время года и на этих широтах Солнце опускается не очень глубоко под горизонт, и его скользкие лучи освещают стратосферу, где на

высоте в среднем около 83 км появляются серебристые облака. Как правило, они видны невысоко над горизонтом, на высоте от 3° до 15° градусов в северной части неба (для наблюдателей Северного полушария). При внимательном наблюдении их замечают ежегодно, но высокой яркости они достигают далеко не каждый год.

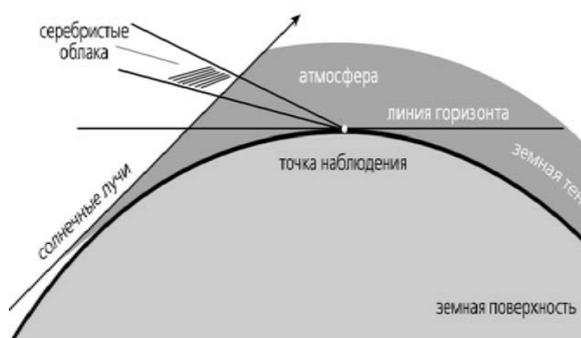


Рисунок 1. Схема освещения Солнцем серебристых облаков. Облака становятся видимыми, при положении Солнце ниже горизонта наблюдателя на $6\text{—}18^\circ$

Днем эти облака не наблюдаются. Глубокие сумерки и ночная тьма делают их заметными для наземного наблюдателя. Однако, с помощью аппаратуры, поднятой на большие высоты, эти облака можно регистрировать и в дневное время.

Для геофизиков и астрономов серебристые облака представляют большой интерес, поскольку они рождаются в области температурного минимума, где атмосфера охлаждена до -70°C , а иногда и до -100°C . Высоты от 50 до 150 км в настоящее время инструментально мало исследованы, поскольку находятся за пределами высот, достигаемых с помощью самолетов и аэростатов, а искусственные спутники Земли не способны находиться длительное время на данных высотах. В настоящее время серебристые облака представляют собой единственный естественный источник данных о ветрах на больших высотах, о волновых движениях в мезопаузе, что существенно дополняет исследование ее динамики другими методами, такими, как радиолокация метеорных следов, ракетное и лазерное зондирование. Обширные площади и значительное время существования таких облачных полей дает уникальную возможность для прямого определения параметров атмосферных волн различного типа и их временной эволюции. В силу географических особенностей рассматриваемого явления серебристые облака в основном изучаются в Северной Европе, России и Канаде.

Для образования облаков необходимо наличие трех факторов: воды, частиц пыли, на которые будет конденсироваться вода, и низкой температуры. Так как загрязнение

атмосферы и глобальное потепление обеспечивают наличие двух из этих условий, то исследование процесса образования серебристых облаков является актуальной и в смысле изучения распространения загрязнения в атмосфере.

Серебристые и перламутровые облака.

Взвешенные на больших высотах атмосферы льдинки являются причиной появления светящихся объектов - перламутровых и серебряных облаков.

Впервые упоминание о ночных светящихся облаках встречаются в работах европейских ученых 17–18 вв., и имеют отрывочный и нечеткий характер. Временем открытия серебристых облаков принято считать июнь 1885, когда их заметили сразу десятки наблюдателей в разных странах [1]. Другое ночное явление, в полнее сопоставимое с серебристыми облаками по яркости и частоте появления на средних широтах, - полярное сияние, хорошо описаны и их каталоги насчитывают более 10 достаточно подробных описаний, сделанных еще во времена до нашей эры, и сотни – в средние века [2].

Первооткрывателями серебристых облаков считаются Т.Бэкхаус, наблюдавший их 8 июня в Киссингене (Германия), и астроном Московского университета Витольд Карлович Цераский, обнаруживший их независимо и впервые наблюдавший вечером 12 июня 1885 года (по новому стилю). В последующие дни В.К.Цераский вместе с известным пулковским астрофизиком А.А.Белополюским, работавшем тогда в Московской обсерватории, подробно изучили серебристые облака и впервые определили их высоту, получив значения от 73 до 83 км, подтвержденные через 3 года немецким метеорологом Отто Иессе (именно он предложил термин «серебристые облака»).

Ночные светящиеся облака произвели на В.К.Цераского большое впечатление: «Облака эти ярко блистали на ночном небе чистыми, белыми, серебристыми лучами, с легким голубоватым отливом, принимая в непосредственной близости от горизонта желтый, золотистый оттенок. Были случаи, что от них делалось светло, стены зданий весьма заметно озарялось и неясно видимые предметы резко выступали. Иногда облака образовывали слои или пласты, иногда своим видом похожи были на ряды волн



Рисунок 1.1 В.К.Цераский, астроном Московского университета, один из первооткрывателей серебристых облаков

весьма заметно озарялось и неясно видимые предметы резко выступали. Иногда облака образовывали слои или пласты, иногда своим видом похожи были на ряды волн или напоминали песчаную отмель, покрытую рябью или волнистыми неровностями... Это настолько блестящее явление, что совершенно невозможно составить себе о нем представление без рисунков и подробного описания. Некоторые длинные, ослепительно серебристые полосы, перекрещивающиеся или параллельные горизонту, изменяются довольно медленно и столь резки, что их можно удерживать в поле зрения телескопа» [3].



Рисунок 1.2 Серебристые облака



Рисунок 1.3 Перламутровые облака

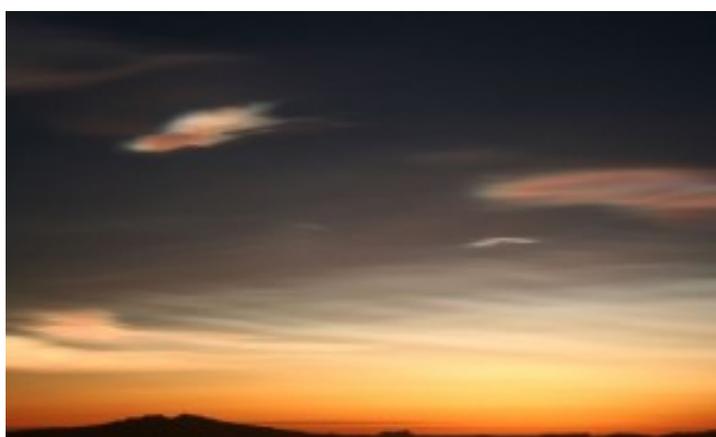


Рисунок 1.4 Перламутровые облака

Другой вид светящихся облаков – перламутровые облака (рисунок 1.3, 1.4) формируются на высотах от 15 до 25 км в холодных областях стратосферы при температуре ниже -78° и наблюдаются очень редко. За всю историю физики атмосферы статистика наблюдения перламутровых облаков составляет всего около сотни случаев.

Для наблюдений перламутровых и серебристых облаков требуются, по меньшей мере, наличие прояснений в тропосферной облачности. Эти облака имеют радужную окраску вследствие дифракции света на частицах облаков - переохлажденных каплях или ледяных кристаллах. В сумерки рассеянный и отраженный этими облаками свет столь ярк, что предметы на земле отбрасывают заметные тени. Эти облака наблюдаются в северных горных странах - Финляндии, Скандинавии, Аляске перед восходом или после заката Солнца. По-видимому, воздушные течения, возникающие над горами, обуславливают их происхождение. Вследствие редкости этого явления перламутровые облака мало изучены. Обычно они полностью подсвечиваются Солнцем в течение 20 минут после его захода или до восхода. Эти легкие и прозрачные облака нельзя

перепутать с чем то еще: в то время как более низкие, тропосферные облака все еще находятся в земной тени и выделяются темными силуэтами на фоне зари, высокие стратосферные перламутровые облака, благодаря большей высоте над землей, уже освещаются Солнцем и видны на небе, окрашенные в яркие перламутровые цвета. Такую цветовую гамму дают мелкие кристаллы воды и азотной кислоты примерно одинаковых размеров, составляющие облако и преломляющие солнечные лучи [4].

На небе облачные элементы этих облаков видны в виде «чечевицеобразных» («линзообразных») форм. При этом прослеживается и волнистая структура. По цвету и характерной форме перламутровые облака отличаются от серебристых облаков. Поэтому спутать их невозможно. К тому же серебристые облака видны лишь в летнее время, а перламутровые облака появляются преимущественно зимой.

Научные исследования этих облаков очень важны для лучшего понимания процессов, происходящих в стратосфере, которая играет значительную роль.

Во-первых, в ней находятся озоновый слой, который защищает нас от губительного воздействия солнечной радиации.

Во-вторых, влияние динамических процессов, происходящих в стратосфере, сказывается и на погодообразующих процессах.

Существует ряд научных исследований рассматриваемого влияния, которые показывают, что циркуляционные процессы в стратосфере с определенным запозданием влияют на тропосферную циркуляцию, что может послужить ключом к созданию более точных методик долгосрочного прогнозирования погодных аномалий. Исследования перламутровых облаков позволяют характеризовать процессы, протекающие на больших высотах, например, конденсацию водяного пара и условия его существования в стратосфере. Также представляется возможным определить характер и скорость движений воздуха на высотах от 20 до 30 км.

По химическому составу перламутровые облака делятся на три типа: Ia, Ib, II.

Облака типа I содержат азотную кислоту и воду.

Тип Ia состоит из кристаллов азотной кислоты и воды.

Тип Ib включает переохлажденные капли серной кислоты.

Тип II состоит только из кристаллов воды.

Воздух в стратосфере очень сухой, поэтому облака в ней обычно не формируются. Но в зимний период температура стратосферы иногда опускается до таких значений, что в ней все-таки начинают формироваться облака. Перламутровые облака формируются при температуре ниже -78° . Такие температуры наблюдаются в нижней стратосфере зимой. В

Антарктике температура опускается иногда даже ниже до -88° , что часто приводит к появлению стратосферных облаков типа II. В Арктике столь низкие температуры редки.

Стратосферные полярные облака состоят из мелких кристаллов воды и азотной кислоты. И химические реакции, протекающие в этих облаках, являются результатом трансформации состава стратосферы. Хлор, который поступает в стратосферу преимущественно из промышленных центров, расположенных на поверхности земли, начинает вступать в реакцию с озоном, что приводит к истощению последнего. Таким образом, эти красивые облака участвуют в цепи событий, которые ведут к истощению озонового слоя.

Гипотезы и теории образования

Теоретические представления о новом явлении развивались по мере накопления фактов. Немецкий физик Ф.Кольрауш, пытаясь объяснить природу появления этих необычных облаков в 1885—1892 гг., связывает их с крупнейшим в истории человечества извержением вулкана Кракатау 27 августа 1883 г. Это было исключительно мощное извержение, в котором по оценкам вулканологов, объем выброшенного пепла составил 18 км^3 , высота газо-пепловой колонны достигала 70-80 км. Так возникла пылевая гипотеза.

Идея Ф.Кольрауша предельно проста — вулканическая пыль и водяной пар, выброшенные на большие высоты, замерзают, образуя туманные или ледяные облака. Отто Йессе, в свою очередь, высказал мысль об ином составе облаков, имея в виду кристаллы льда, состоящие из легких вулканических газов, таких как, например, водород.

Альтернативная гипотеза была выдвинута в 1925—1926 гг. исследователем метеоритов Л.А.Куликом и метеорологом Л.Апостоловым. Ее основу составляло предположение о том, что серебристые облака состоят из маленьких частичек метеорной пыли, образующейся при сгорании многочисленных метеоров, вторгающихся в земную атмосферу. Действительно, атмосфера ежедневно пополняется метеорным веществом массой около 100 т [6].

Начиная с середины 1950-х годов эта гипотеза стала уступать конденсационной (или ледяной) теории, утвердившейся и признанной исследователями в настоящее время. Ее основы заложил советский ученый И.А.Хвостиков [7]. В отличие от метеорной, эта гипотеза объясняла, почему серебристые облака наблюдаются из года в год неизменно на одних и тех же высотах (80—85 км) и видны только в средних и высоких широтах (50° — 70°), причем только летом.

По ледяной теории, серебристые облака состоят из очень маленьких ледяных частичек размером в тысячу раз тоньше человеческого волоса. Такое же строение имеют обычные перистые облака, часто наблюдаемые в дневное время на фоне голубого неба. Ледяные кристаллы серебристых облаков рассеивают солнечный свет и при определенном угле падения становятся видимыми с поверхности Земли на фоне темного сумеречного сегмента как тонкие серебристо-белые струи и полосы, и (или) как однородная серебристая пелена, заполняющая пространство между основными формами этих облаков.

Для образования ледяных кристалликов на высотах 80—85 км необходимы три решающих фактора: достаточное количество водяного пара, низкая температура, наличие мельчайших частиц, на которых конденсируются пары воды, превращаясь в лед.

Одновременно все указанные условия встречаются нечасто в силу ряда причин.

Во-первых, влажность в мезопаузе (области температурного минимума), расположенной на несколько километров выше слоя, в котором наблюдаются серебристые облака, ничтожно мала: на один миллион молекул воздуха приходится всего лишь несколько молекул водяного пара (в среднем четыре), что в 100 млн раз меньше влажности воздуха в пустыне Сахара. Водяные пары поступают в мезопаузу главным образом при медленном подъеме (диффузии) влаги из нижнего слоя земной атмосферы. Процесс этот может растянуться чуть ли не на годы.

Во вторых, разрушение молекул метана в мезосфере под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца, в результате чего после взаимодействия с другими компонентами воздуха образуются молекулы воды. С другой стороны, эти молекулы распадаются в мезосфере при освещении их солнечным светом. Время жизни водяного пара в верхней мезосфере (высота 75—90 км) составляет всего лишь 3—10 дней, и для того, чтобы компенсировать их распад, необходим постоянный приток влаги и (или) метана из нижних слоев атмосферы.

Далее, для формирования ледяных кристалликов требуется охлаждение мезопаузы до очень низких температур (менее -120 °C), при которых уменьшается давление насыщенного водяного пара надо льдом. Когда парциальное давление водяного пара превосходит давление насыщенного пара, возможна кристаллизация пара в ледяную частицу.

Поскольку начало кристаллизации зависит также от количества ядер кристаллизации, можно частично реабилитировать метеорную гипотезу (метеоры — поставщики аэрозольных частиц и ионов, т.е. ядер кристаллизации). По некоторым данным, после сильных метеорных потоков вероятность появления серебристых облаков возрастает.

Когда происходит охлаждение мезопаузы до требуемых низких температур?

Мезосфера и мезопауза одного полушария (например, Северного) в летнее время освещены Солнцем круглосуточно, в то время как в Южном полушарии они не освещены совсем.

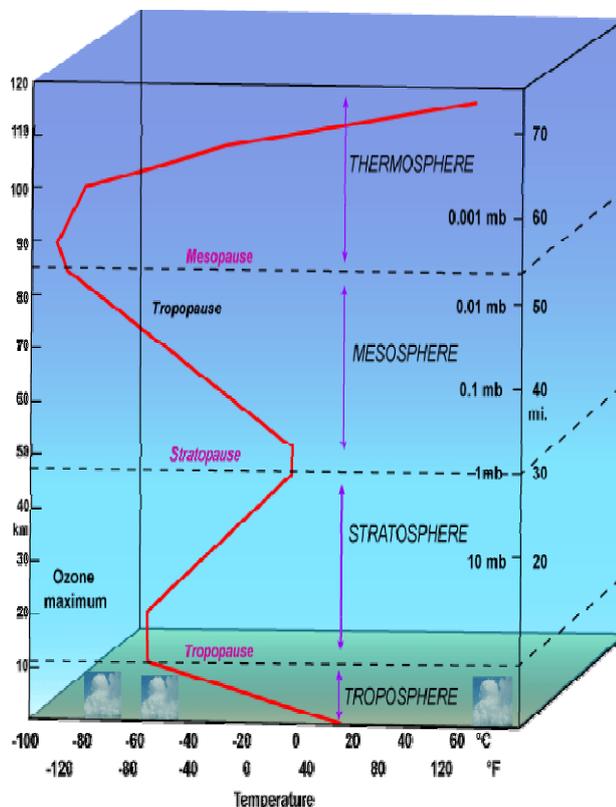


Рисунок 1.5 Схема строения земной атмосферы (профиль температуры).

Причина сильного ее охлаждения в циркуляции воздушных потоков, в частности в меридиональном движении воздушных масс между летним и зимним полушариями. Потоки воздуха поднимаются из летней полярной атмосферы на высоту 60—90 км, охлаждая при этом мезосферу, проходят над экватором и устремляются в полярную мезосферу зимнего полушария, тем самым нагревая ее. Кроме того, восходящие потоки переносят влажный воздух из нижних слоев атмосферы в верхние. Картина воздушных течений в летний период во многом обязана так называемым атмосферным гравитационным волнам. Перенос энергии и импульс из нижних слоев атмосферы в верхние, они взаимодействуют с основным потоком воздуха в мезосфере (направленным с востока на запад в летний период) и участвуют в формировании воздушных течений, охватывающих оба полушария. Кроме этого, гравитационные волны, разрушаясь на высотах 70—90 км, создают турбулентные потоки тепла, направленные сверху вниз. Это

также может приводить уменьшению температуры в верхней мезосфере. Третье важное условие, необходимое для формирования ледяных кристаллов в мезопаузе, как уже отмечалось, — присутствие ядер конденсации. Обычные тропосферные облака несут в себе достаточно много пыли, поднимаемой с земли пыльными бурями, так что каждая капля или снежинка содержит твердую маленькую частичку. Американско-шведские ракетные эксперименты, проведенные непосредственно в поле серебристых облаков, показали, что их ледяные кристаллики также содержат твердые маленькие частицы размером несколько десятков нанометров. В их состав входили железо и никель, типичные элементы метеорной пыли.

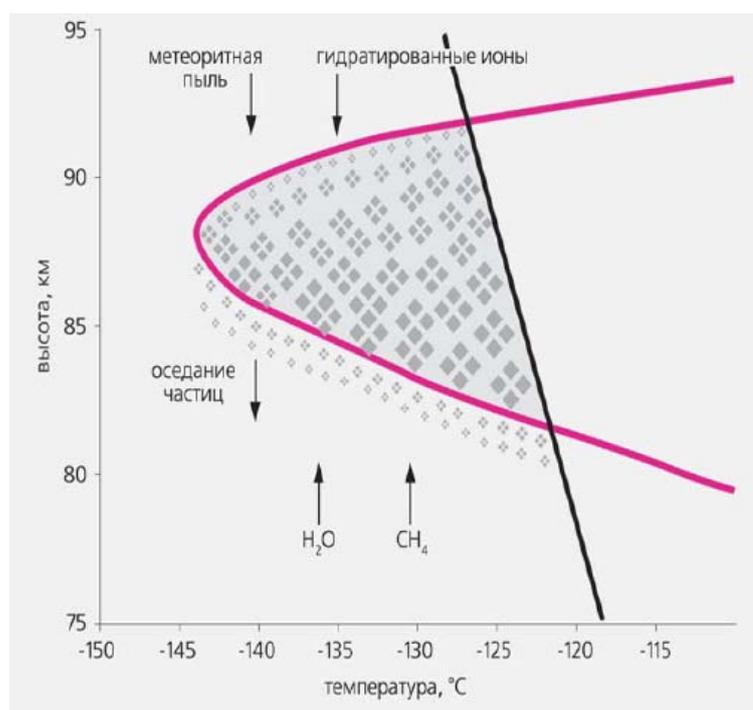


Рисунок 1.6 Схема образования ледяных частичек серебристых облаков.

Цветная линия — профиль температуры вблизи мезопаузы, черная — максимальная температура, при которой возможна конденсация паров воды в ледяные кристаллы (точка иней).

В области, ограниченной цветной кривой и черной прямой на рис.1.6, происходит образование и активный рост кристаллов, серебристые облака становятся видимыми. Стрелками сверху вниз показано оседание метеорной пыли и гидратированных ионов. Стрелками снизу вверх обозначены восходящие потоки паров воды (H₂O) и метана (CH₄).

Таким образом, предположение о том, что ядрами конденсации ледяных кристаллов серебристых облаков являются частицы метеорного происхождения, получило убедительное подтверждение. Но не только они могут служить зародышами ледяных частиц. Некоторые исследователи полагают, что ядрами конденсации могут быть также

скопления (кластеры) ионов с «прилипшими» к ним молекулами водяного пара, так называемые гидратированные ионы. Ракетные измерения зафиксировали их наличие в окрестности серебристых облаков. Вопрос о том, какой тип ядер конденсации преобладает в ледяных частичках, пока остается открытым.

Если созданы все условия для образования ледяных кристалликов, то приблизительно на высоте 90 км лед начинает намерзать на ядрах конденсации.

Благодаря земному притяжению ледяные частицы медленно оседают со скоростью 100—300 м/ч. В слое 80—85 км размер ледяных кристаллов возрастает в несколько раз, они рассеивают достаточно много солнечного света, и серебристые облака становятся видимыми невооруженным глазом с поверхности Земли. На рисунке 1.6 представлена схема образования ледяных частичек серебристых облаков.

Ниже 80 км температура мезопаузы резко возрастает, и начинается противоположный процесс — испарение ледяных кристаллов (сублимация). Их размер быстро уменьшается, кристаллы рассеивают все меньше и меньше света и становятся невидимыми. Именно по этой причине серебристые облака видны в узком слое на высотах 80—85 км. Повторим, что непрерывный рост ледяных кристаллов до видимого размера возможен только при условии перенасыщения водяных паров надо льдом (то есть при низкой температуре и достаточной влажности воздуха), а также при постоянном притоке новых молекул H_2O с нижних высот. Такова в общих чертах теория образования серебристых облаков, которая сегодня рассматривается как наиболее вероятная [8, 9].

Помимо рассмотренных выше «классических» гипотез выдвигались и другие, менее традиционные. Так, к концу XX века появление серебристых облаков связывали с мини-кометами - новым классом объектов Солнечной системы. Согласно существовавшему тогда мнению, именно компактные кометные образования, регулярно внедряющиеся из космоса, вносят в верхние слои атмосферы необходимое количество воды для формирования серебристых облаков. Также рассматривалась связь серебристых облаков с солнечной активностью, с полярными сияниями, с другими геофизическими явлениями. Например, источником водяного пара в мезосфере считалась реакция атмосферного кислорода с протонами солнечного ветра (гипотеза о «солнечном дожде»). Одна из последних гипотез связывает серебристые облака с возникновением озоновых дыр в стратосфере. Область формирования этих облаков изучается все активнее в связи с космическим и стратосферным транспортом: с одной стороны, запуски мощных ракет с водород-кислородными двигателями служат важным источником водяного пара в мезосфере и стимулируют формирование облаков, а с другой – появление в этой области облаков создает проблемы при возвращении космических аппаратов на Землю.

Необходимо создание надежной теории серебристых облаков, дающей возможность прогнозировать и даже управлять этим явлением природы. Но до сих пор многие факты в этой области неполны и противоречивы.

Классификация серебристых облаков

В 1955 году Н.И. Гришин предложил морфологическую классификацию форм серебристых облаков. В дальнейшем она стала международной классификацией. Сочетание различных форм серебристых облаков образовало три основных типа:

Тип I. Флер – это наиболее простая, ровная форма, заполняющая пространство между более сложными, контрастными деталями и имеющая туманное строение и слабое нежно-белое с голубоватым оттенком свечение (рисунок 1.7).

Тип II. Полосы, напоминающие узкие струйки, как будто бы увлекаемые потоками воздуха. Часто располагаются группами по несколько штук, параллельно друг другу или переплетаясь под небольшим углом. Полосы делят на две группы – размытые (II-a) и резко очерченные (II-b) (рисунок 1.8).



Рисунок 1.7 Серебристые облака типа I, флер



Рисунок 1.8 Серебристые облака типа II, полосы. В центре рисунка можно увидеть полосы размытые (II-a)



Рисунок 1.9 Серебристые облака типа III, волны. Гребни имеют более четко выраженное неравномерное распределение яркости в поперечном направлении с хорошо заметными "волнами".



Рисунок 1.10 Серебристые облака типа IV, вихри с завихрением в виде простого изгиба.

Тип III – волны. Они подразделяются на три группы. Гребешки (III-a) – участки с частым расположением узких, резко очерченных параллельных полос, наподобие легкой ряби на поверхности воды при небольшом порыве ветра. Гребни (III-b) имеют более заметные признаки волновой природы; расстояние между соседними гребнями в 10–20 раз больше, чем у гребешков. Волнообразные изгибы (III-c) образуются в результате искривления поверхности облаков, занятой другими формами (полосами, гребешками) (рисунок 1.9).

Тип IV. Вихри. Они также подразделяют на три группы. Завихрения с малым радиусом (IV-a): от $0,1^\circ$ до $0,5^\circ$, т.е. не больше лунного диска. Они изгибают или полностью скручивают полосы, гребешки, а иногда и флер, образуя кольцо с темным пространством в середине, напоминающее лунный кратер. Завихрения в виде простого

изгиба одной или нескольких полос в сторону от основного направления (IV-b). Мощные вихревые выбросы «светящейся» материи в сторону от основного облака (IV-c); это редкое образование характерно быстрой изменчивостью своей формы (рисунок 1.10).

Но даже внутри типа серебристые облака различны. Поэтому в каждом типе облаков выделяются группы, которые указывают на конкретную структуру облаков (полосы размытые, полосы резко очерченные, гребешки, гребни, волнообразные изгибы и др.) Обычно при наблюдении серебристых облаков можно увидеть сразу несколько их форм разных типов и групп [10].

Влияние серебристых облаков на погодообразующие процессы

Ряд исследователей считают, что серебристые облака могут противодействовать глобальному потеплению. Если облака продолжат свое распространение и охватят широкие области Земли, тогда образовавшийся полупрозрачный «зонтик» уменьшит количество солнечных лучей, достигающих поверхности Земли, что, несомненно, уменьшит эффект глобального потепления, хотя и не устранит его причины. В то же время, недавние исследования показывают, что полярные стратосферные облака, обнаруженные несколько лет назад, активно уничтожают озоновый слой [11].

Австралийские ученые, наблюдающие за погодными условиями в районе Южного полюса, сообщают о еще одном возможном проявлении процесса глобального потепления и изменения климата - над Антарктикой появляются необычные облака красноватых оттенков. По словам специалистов, появление этих облаков - это верный признак чрезвычайных условий в атмосфере, и по этим облакам можно судить о различных химических процессах, ведущих к разрушению озонового слоя Земли. Эндрю Клейкьюк (руководитель австралийской полярной миссии) говорит, что есть определенный парадокс - чем выше будет подниматься температура низких слоев атмосферы и поверхности планеты, тем холоднее будет в стратосфере на высоте от 8 до 50 километров.

По перламутровым облакам можно судить о различных химических процессах, ведущих к разрушению "озонового слоя" Земли [12].

Американские ученые провели цикл исследований изменения со временем отражающей способности Земли — альбедо. Как известно, альбедо характеризует долю света, отражаемого телом обратно в пространство. В данном случае исследовалось отражение солнечной радиации Землей. Для этого проводились измерения так называемого «пепельного света» — свечения темной стороны Луны, не освещенной Солнцем, отраженными от Земли солнечными лучами. Обнаружилось, что в последние годы Земля все интенсивнее отражала солнечные лучи. Казалось бы, это должно было привести к сокращению доли солнечной энергии, поступающей на Землю, и, соответственно, снижению эффекта глобального потепления. Но все оказалось гораздо хуже. Растет и температура Земли, и ее «блеск». Этот парадокс вызван, как выяснилось,

резкой перестройкой характера распределения облачности по ярусам в последние пять лет. До этого данный параметр в течение длительного времени испытывал лишь незначительные колебания [13]. «Наше открытие окажет значительное воздействие на исследования климатических изменений, — полагает Филип Р. Гуд (Philip R. Goode), профессор физики технологического института штата Нью-Джерси и директор солнечной обсерватории Big Bear в Калифорнии. — Становится непонятным, каким образом происходит непрерывное потепление, если количество солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, сокращается» [14].

По мнению исследователей, парадокс может быть связан с ростом облачности в сочетании с необычными изменениями строения самой облачности, однако ученые сами не очень уверены в таком объяснении. Значительная изменчивость облачного покрова и альbedo Земли препятствует прогнозированию климата Земли и возможности представлять происходящие в нем процессы.

Результаты наблюдений, ведущихся в обсерватории Big Bear начиная с 1997 года, легли в основу работы д-ра Филипа Р. Гуда и его коллег [15].

«Последние результаты анализа облачного покрова, полученные в рамках проекта International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP), подтверждают выявленный в отражающей способности Земли тренд, — отметил д-р Филип Р. Гуд. — Данные свидетельствуют о том, что с 2000 года по настоящее время облачный покров изменился таким образом, что Земля будет продолжать нагреваться, несмотря на сокращение количества доходящей до нее солнечной радиации. Наблюдаемая значительная и необычная изменчивость облачного покрова в сочетании с вызванным ею ростом альbedo представляют собой фундаментальное препятствие не только прогнозированию климата Земли, но и самой возможности адекватно представлять происходящие в нем процессы».

На климат Земли оказывают определяющее влияние солнечная радиация, в несколько меньшей степени — ее доля, отражаемая обратно в космическое пространство, а также то, насколько хорошо Земля «удерживает» полученное извне тепло. В нынешнюю эпоху больше половины поверхности Земли покрыто облаками, и именно они определяют альbedo Земли. Структура облачного покрова определяется количеством тепла, достигшего поверхности Земли, а также поглощенного самой атмосферой. Облака одновременно и охлаждают Землю (в особенности низкие плотные облака), и способствуют ее нагреву, действуя как своеобразное «одеяло». Роль такого «одеяла» играют в основном высотные тонкие облака. Наблюдаемый учеными рост альbedo Земли на протяжении последних пяти лет плохо согласуется и просто противоречит тенденции повышения температуры на поверхности Земли и Мирового океана, поскольку рост доли солнечной радиации, отражаемой обратно в космическое пространство, должен приводить

к соответственному уменьшению той ее доли, которая достигает Земли и способствует разогреву планеты.

Данные наблюдений за облачным покровом Земли в рамках программы ISCCP на протяжении последних 20 лет озадачили ученых. Первые 15 лет различие между высотной и низкой облачностью стабильно поддерживалось на уровне 7–8%. Однако в последние 5 лет по совершенно непонятным причинам этот параметр практически удвоился, достигнув значения 13%. Данным, по мнению ученых, можно верить — они создавались на основе скрупулезной компиляции наблюдений за облачностью над всей Землей с помощью различных метеорологических спутников одновременно.

«Рост данного дифференциального параметра сигнализирует о растущем снижении охлаждающего эффекта облачности, — считает д-р Филип Р.Гуд. — Таким образом, растущий коэффициент отражения радиации Землей не ведет к снижению эффекта глобального потепления только за счет роста доли солнечного света, отражаемого обратно в космос». Это вызвано тем, что доля низких облаков в облачном покрове планеты последние годы снижалась, в то время как доля высоких, «согревающих» ее облаков — наоборот, быстро росла. Отражающая способность Земли существенно меняется со временем. Так, на протяжении 1985–2000 гг. Земля получала все больше световой энергии, однако в 2000–2004 гг. эта тенденция сменилась на противоположную. Подобные странные изменения наблюдаются в истории Земли не в первый раз, причем в не согласующиеся друг с другом периоды. Так, радиометрические измерения на Земле, проводившиеся в 1960–1980 гг., выявили аналогичную тенденцию снижения доли солнечных лучей, достигающих Земли, в указанный период — феномен получил название эффекта «глобального затемнения» (global dimming). Становится очевидным, что и количество солнечной радиации, и ее воздействие на «перестройку» облачности по высотным ярусам испытывают значительные, необъяснимые пока что долгосрочные вариации. По мнению д-ра Гуда, пока что можно лишь порекомендовать научному сообществу не спешить с выводами о том, что эффект «глобального затемнения» оказывает положительное воздействие на климат Земли, в какой-то мере противодействуя эффекту глобального потепления, и уделить большее внимание изучению механизмов образования облачности и ее роли в климатических моделях вообще.

Методика исследований серебристых облаков

Хронология открытия серебристых облаков

1885 г. 8-12 июня - Т.Бакгауз и О.Иессе в Германии, В.Ласка в Чехословакии, В.Цераский в России, Э.Гартвиг в Эстонии впервые наблюдают и описывают необычные ночные светящиеся облака. В этот же год, русские астрономы В.Цераский и

А.Белопольский после проведения базисных наблюдений, определяют высоту серебристых облаков равную 75 км.

1887 г. - О.Иессе получает первые фотографии серебристых облаков. В это же время, немецкий физик Ф.Кольрауш, пытаясь объяснить природу появления этих необычных облаков в 1885-1892 гг., связывает их с крупнейшим в истории человечества вулканическим извержением вулкана Кракатау, произошедшим, как известно, 27 августа 1883 года.

1888 г. 20 декабря - Штубенраух впервые наблюдает те же облака в южном полушарии в Чили. О.Иессе первый предлагает конденсационную гипотезу образования этих облаков, считая, что они образуются из неизвестного газа, выбрасываемого в верхнюю атмосферу при извержении вулканов.

1889 г. - На основе точных фотограмметрических измерений, О.Иессе была определена высота облаков равная $82,08 \pm 0,009$ км.

1908 г. 30 июня - более чем в 40 пунктах Западной Европы и России наблюдают аномально яркие серебристые облака, как в последствии оказалось, связанные с взрывом Тунгусского метеорита.

1923 г. - И.И.Путилин высказал идею о том, что серебристые облака люминесцируют под действием ультрафиолетовых лучей Солнца.

1926 г. - Известный исследователь метеоритов Л.А.Кулик, и метеоролог Л.Апостолов связывают природу серебристых облаков с вторжением в атмосферу Земли крупных метеоритов и комет.

1934 г. - Е.Вестиним опубликован значительный по своему объему (за 48 лет) каталог появлений серебристых облаков наблюдавшихся в Западной Европе. Помимо этого, дан статистический анализ их связи с солнечной активностью, метеорными потоками, появлениями комет и вулканическими извержениями.

1951 г. - Н.И.Гришиным получена серия спектрограмм серебристых облаков.

1952 г. - Создание конденсационной (ледяной) гипотезы А.И.Хвостиковым.

1957-1958 гг. - Глобальное изучение серебристых облаков по программе Международного геофизического года (МГГ).

1961 г. - астрофизик И.С.Астапович выпустил сводный каталог этих наблюдений в России и СССР за период с 1885 по 1944 г. [17].

1965 г. 18-19 марта - космонавт А.А.Леонов с космического корабля "Восход-2" впервые наблюдает серебристые облака из космоса.

1972 г. 9 декабря - осуществляется внесезонное наблюдение серебристых облаков с борта самолета над Сирией и Ираком. Американский метеорологический спутник регистрирует серебристые облака над дневной поверхностью Земли.

1973 г. май-июнь - американский астронавт П.Вейтц с космической станции "Скайлэб" наблюдает яркие серебристые облака на широте 50° от Парижа до Харькова.

1977-78 г. декабрь-февраль - на протяжении 13 суток экипаж космической станции "САЛЮТ-6" наблюдает серебристые облака над южным полушарием.

1981 г. март-май - экипаж космической станции "САЛЮТ-6" неоднократно отмечает появление серебристых облаков в районе экватора.

1981 г. 31 июля - серебристые облака обнаружены во время полного солнечного затмения.

1988 г. 16-17 июля - аномально яркие серебристые облака наблюдаются в районе Тунгусской катастрофы.

В период с 1972 по 1989 г. в СССР издается три каталога наблюдений. Упорядоченный сбор информации был также неплохо налажен в Великобритании, Дании, Германии, США, Канаде и некоторых других странах, где данные обобщались и составлялись каталоги наблюдений.

1992 г. - В.Н.Лебединец и О. Курбанмударов высказывают предположение о том, что источником водяного пара в мезосфере могут быть мини - кометы. В свою очередь сотрудником Государственного оптического института А.И.Лазаревым выдвигается идея, что серебристые облака, это инверсионные следы этих мини-комет.

Кроме сводных каталогов, содержащих записи разного качества, т.е. присланных наблюдателями из разных пунктов, большой интерес для дальнейшего анализа представляют локальные базы данных, составленные группами наблюдателей, ведущих многолетние систематические наблюдения по одной методике. Одна из самых долго-временных качественных баз данных — московская, которая включает однородные систематические наблюдения с 1962 г. по настоящее время [18,19].

2007 г. 25 апреля - запуск на полярную орбиту спутника НАСА - AIM, предназначенного для изучения мезосферы и, в частности, серебристых облаков.

Наземные наблюдения серебристых облаков

С момента открытия серебристые облака регулярно наблюдаются, как профессионалами, так и любителями астрономии. Для любителей астрономии наблюдение серебристых облаков представляет интерес, т.к. для их наблюдений не нужно никаких

оптических приборов, более того в телескоп серебристые облака наблюдать сложно из-за малого поля зрения инструмента. Фотографировать же серебристые облака не представляет никакого труда, т.к. съемка облаков ничем не отличается от обычной фотосъемки за исключением более длительной выдержки. Если имеется кино- или видеокамера, то наблюдение серебристых облаков приобретает научную ценность, т.к. при помощи замедленной съемки можно проследить все изменения, происходящие в серебристых облаках за период съемки. Наблюдать серебристые облака в северном полушарии Земли можно на широтах от 50 до 70 градусов. Наилучшие условия видимости серебристых облаков, это период навигационных сумерек, когда Солнце опускается под горизонт наблюдателя на 6-12°. В это время на слабо освещенном фоне сумеречного неба легко обнаруживаются светящиеся облака. Лучшее время наблюдений июнь и начало июля, т.е. время, когда астрономические сумерки в средних широтах не кончаются. Серебристые облака представляют из себя великолепное зрелище, т.к. светятся на фоне неба и довольно быстро меняют вид и внешне несколько напоминают полярные сияния. Для обнаружения серебристых облаков нужно просматривать ежедневно северную часть неба примерно через час после захода Солнца и в течение ночи за час до восхода Солнца. Именно в этот период можно увидеть серебристые облака. Если же облака обнаружены, то необходимо провести наблюдения с записью в журнал наблюдений.

Задачи любительских наблюдений серебристых облаков могут быть следующими:

1. Синоптические наблюдения, т.е. систематические наблюдения сумеречного сегмента с целью установления факта наличия или отсутствия серебристых облаков, а в случае их видимости - регистрации некоторых характерных признаков (протяженность по азимуту и высоте, яркость, морфологические формы). Для выполнения этих наблюдений нужна площадка с открытым северным горизонтом, часы.

2. Исследование структуры серебристых облаков. Может производиться путем визуальных наблюдений, фотографирования или замедленной киносъемки.

3. Изучение движений серебристых облаков. Производится путем их последовательного фотографирования или замедленной киносъемки.

4. Определение высоты образования серебристых облаков. Для решения этой задачи нужно фотографировать серебристые облака в заранее согласованные моменты из двух пунктов, разделенных расстоянием в 20-30 км. Фотоаппараты в обоих пунктах должны быть одинаковыми. Нужны точные часы, проверяемые по радио.

Синоптические наблюдения имеют целью учитывать статистику появлений серебристых облаков. По данным синоптических наблюдений строятся распределения

появлений серебристых облаков по широтам, сезонам и другим признакам (долготам, баллам яркости и т. д.).

Возможность увидеть серебристые облака во многом зависит от погоды, точнее, от наличия обычных, тропосферных облаков в сумеречном сегменте и определяется по буквенной шкале:

- А - сумеречное небо совершенно безоблачно;
- Б - сумеречное небо частично, до половины, закрыто отдельными облаками нижнего или верхнего ярусов;
- В - сумеречное небо до 4/5 закрыто тропосферной облачностью;
- Г - сумеречное небо видно только через небольшие окна в тропосферных облаках;
- Д - сумеречное небо полностью закрыто тропосферными облаками.

Высота серебристых облаков – не единственная замечательная особенность их пространственного распределения. Не меньшее значение имеют данные о географическом месте их появления и сезонности. Серебристые облака не наблюдаются южнее широты 45° и севернее 70° . Правда, случаются и исключения. Так 23 июля 1966 года серебристые облака в виде трех параллельных полос наблюдались на новозеландской антарктической станции Скотт.

Общее количество появлений серебристых облаков в течение лета из года в год не остается постоянным. Наибольшее количество за сезон может достигать в одном месте до 30 раз [20].

Серебристые облака перепутать с другими практически невозможно. Так как они находятся очень высоко, а все остальные облака на сумеречном небе видны как темные силуэты. Время существования их колеблется от нескольких минут до 2 часов. Обычно они появляются внезапно, порой в той части неба, которая до этого была совершенно чистой и прозрачной. Затем серебристые облака могут как увеличиться по площади, так и исчезнуть через несколько минут, не оставив после себя каких либо заметных следов.

Особенности наблюдений серебристых облаков

Серебристые облака в основном наблюдаются на протяжении нескольких недель до и после летнего солнцестояния. В этот период сумерки на указанных широтах продолжаются почти всю ночь, и Солнце, находясь под горизонтом, все же освещает облака. По этой причине серебристые облака не наблюдаются ближе к экватору.

Интересно отметить, что серебристые облака появляются в периоды, не благоприятные для наблюдения полярных сияний. Их наблюдение можно проводить теми же методами и с помощью тех же инструментов, что и наблюдение полярных сияний: как визуально (когда их можно классифицировать по форме), так и фотографически. Наблюдения следует проводить через определенные промежутки времени, например, через 15 мин, отмечая изменения в структуре облаков и характере их движения.

Наблюдения состоят в ежедневном патрулировании сумеречного неба. Результат обзора через каждые 15 мин фиксируется в журнале, причем время указывается с точностью до 1 мин. Если серебристые облака наблюдаются, то производится оценка их яркости по 5-балльной шкале:

1. Очень слабые.
2. Замечаются легко, но имеют очень малую яркость.
3. Хорошо заметны, резко выделяются на фоне сумерек.
4. Яркие, привлекающие к себе внимание.
5. Исключительно яркие.

Указывается также их форма.

Фотографирование серебристых облаков

Фотографирование серебристых облаков производится примерно так же, как и съемка полярных сияний: в идеале необходимо направить неподвижную фотокамеру в ту же область неба, что и у других наблюдателей, проведя серию экспозиций через определенные фиксированные интервалы времени. Так как серебристые облака ярче полярных сияний, для их фотографирования можно использовать менее чувствительную пленку для пленочных фотоаппаратов или установить небольшую чувствительность для цифровых фотокамер.

Ракетные и космические исследования серебристых облаков

Развитие ракетной техники дало в руки ученых новое средство эксперимента — высотные ракеты, которые позволили поднять приборы непосредственно в исследуемые слои. Но для реализации больших возможностей ракетного метода потребовалось преодолеть серьезные трудности и решить ряд задач.

Приборы, установленные на ракете, непосредственно измеряют параметры высокоскоростного потока разреженного газа, по которым затем рассчитываются параметры атмосферы. Большая скорость движения ракеты и вследствие этого малое время пребывания ее в исследуемых слоях требуют малой инерционности приборов. Ракетные исследования внесли значительный вклад в изучение структуры серебристых облаков, условий их образования и существования. Анализ имеющихся ракетных данных позволяет надеяться, что в сочетании с наземными методами ракетные измерения в зоне появления серебристых облаков могут дать исчерпывающие сведения об особенностях температурных и ветровых полей на высотах 70—100 км, о природе частиц серебристых облаков, их происхождении и структуре, о связи с другими параметрами атмосферы и прогнозировать появление серебристых облаков. Ракетные исследования серебристых облаков и атмосферы на высотах до 250 км проводились в СССР с помощью метеорологических ракетных комплексов МР-12, МР-25 и МР-20.

В последние три-четыре десятилетия для исследования верхней атмосферы стал широко применяться метод искусственных светящихся облаков (ИСО). Суть метода сводится к наблюдениям оптических эффектов, возникающих при выбросе в атмосферу с помощью ракет определенных химических веществ. Путем фотографических и спектральных наблюдений таких облаков можно получить сведения о параметрах атмосферы - скорости и направлении ветра, параметрах молекулярной и турбулентной диффузии, о температуре, электрическом поле и др. В 1950 г. Бейтс предложил выбросить в атмосферу на высотах 80—90 км, т. е. там, где наблюдается свечение естественного натрия, небольшое количество его паров. Предполагалось, что в результате процессов, аналогичных тем, которые происходят при свечении естественного натрия в ночной и сумеречной атмосфере, можно будет наблюдать искусственное светящееся облако. С 1954 г. начались систематические ракетные эксперименты с выбросом в верхнюю атмосферу атомов щелочных металлов. В январе и октябре 1955 г., а затем в марте 1956 г. американскими учеными были образованы протяженные натриевые следы. Запуски ракет с генераторами паров натрия были осуществлены в Нью-Мексико в вечерние сумерки с переходом в ночь. На каждой ракете было установлено по два генератора содержащих по 1 кг чистого натрия и пиротехническую смесь. 21 января облако было образовано на высоте 50-70 км и наблюдалось только визуально. В двух других экспериментах облака были созданы на высотах 67-113 и 78-110 км, и их излучение, которое выше 85 км имело оранжевый цвет, а ниже - белый, было зарегистрировано фотокамерами, спектрографами и фотометрами. Эти эксперименты помимо сведений об элементарных процессах, происходящих при выбросе атомов в атмосферу, позволили получить сведения о ветре на

тех высотах, где были образованы облака. С начала 60-х годов сумеречные облака наравне с натриевыми начинают использоваться и для исследования температуры верхней атмосферы. Особенно повысилась эффективность использования таких облаков, когда их стали создавать путем выброса в атмосферу на высотах 80—250 км жидкой смеси, содержащей триметилалюминий/триэтилалюминий (ТМА/ТЭА). Эту смесь оказалось возможным использовать для наблюдения за ветром и турбулентностью и на более низких высотах (30—70 км). Здесь, реагируя с кислородом атмосферы, триметилалюминий образует молекулярные комплексы, которые в виде дымовых следов могут наблюдаться не только в сумерки, но даже и тогда, когда Солнце находится над горизонтом.

В 1965 г. Институтом экспериментальной метеорологии были выполнены ракетные эксперименты с образованием натриевых облаков, в которых получены данные о скорости ветра и молекулярной диффузии на высотах 123, 145, 150 км. С этого времени работы по исследованию верхней атмосферы методом искусственных светящихся облаков в Институте экспериментальной метеорологии стали проводиться сравнительно регулярно. Запуски ракет с образованием облаков щелочных металлов (Na, Li, Ba и др.) осуществлялись сначала на ст. Волгоград, а затем и на о. Хейса.



Рисунок 2.2 Искусственное бариевое облако на высоте 150 км

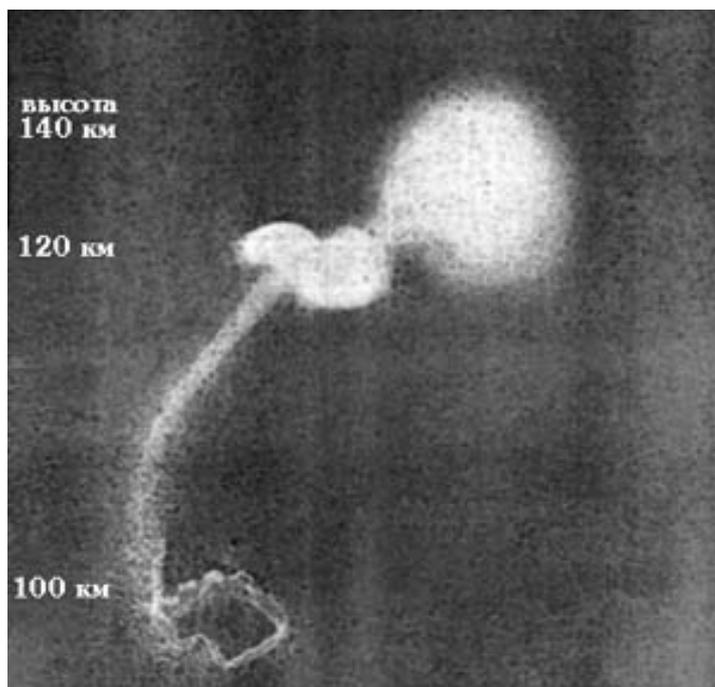


Рисунок 2.3 Искусственное светящееся облако на ст. Волгоград

С 1967 по 1987 год на станции ракетного зондирования Волгоград с целью измерения ветра в верхней атмосфере методом искусственных светящихся облаков проведено около 30 пусков ракет МР-12 (рисунок 2.3). В период с 1968 по 1980 г. на острове Хейса (80°37' с.ш., 58°03' в.д.) было осуществлено около 60 запусков ракет с образованием искусственных светящихся облаков. Часть из них проводилась в рамках франко-советских исследований.

За годы эксплуатации ракетного комплекса (1964-1997 гг.) было осуществлено свыше 1200 запусков ракет с научной аппаратурой, в том числе свыше 100 запусков на высоты, превышающие 200 км.

Не смотря на то, что создание метеорологических спутников открыло принципиально новый период в развитии метеорологии, ракетные исследования не теряют своего значения и принимают все более широкий размах. Так, например, в течение среднего по их интенсивности 1976 года в соответствии с каталогом Мирового центра данных было запущено 518 советских и 119 зарубежных метеорологических ракет. Получаемые с их помощью данные по вертикальному разрезу атмосферы, существенно дополняя спутниковую метеорологическую информацию, стали неотъемлемым элементом исходных данных для прогнозирования погоды.

Впервые плановая задача о наблюдении серебристых облаков из космоса была поставлена перед экипажем космического корабля "Восход" в 1964 году. К этому времени наземными наблюдателями были зарегистрированы тысячи появлений ночных облаков,

как в северном, так и в южном полушарии. Но впервые увидеть их сверху, удалось лишь 18-19 марта 1965 года космонавту А.А.Леонову с космического корабля "Восход-2". 9 июня 1970 года их появление было зафиксировано космонавтом В.И.Севастьяновым с борта космического корабля "Союз-9". Справедливости ради, следует отметить, что до этого, образования похожие на серебристые облака зарегистрировал 5 июня 1969 года над полярной областью, фотометр американского спутника OGO-6. Рассеивающий слой тогда наблюдался на высоте 84,3 км над дневной поверхностью, что впрочем, не противоречило земным наблюдениям. Первые американские наблюдения серебристых облаков из космоса, были выполнены в мае и июле 1973 года исследователем П.Вейцем с борта орбитальной станции "Скайлэб" [21].

В СССР наблюдения серебристых облаков в течение длительного времени успешно проводились с борта орбитальных космических станций "САЛЮТ" и "МИР" [22]. Ценную информацию об их структуре и глобальном распределении над поверхностью Земли в разное время в 70х-80х годах, дали наблюдения космонавтов П.И.Климука и В.И.Севастьянова, Ю.В.Романенко и Г.М.Гречко, В.В.Коваленкова и А.С.Иванченкова, В.П.Савиных, В.Г.Титова и многих других. Позже, в 1992 и 1996-97 гг. эти работы успешно продолжил космонавт А.Ю.Калери со своими коллегами.

Выход за пределы атмосферы, в космическое пространство, позволил проводить наблюдения этих необычных облаков в новом ракурсе, т.е. сверху, и в совершенно ином пространственном масштабе. То, на что с Земли требовалась ночь, космическим наблюдателям удается увидеть в течение 10 - 15 минут. Единственным недостатком космонавтов - наблюдателей, было отсутствие опыта наземных наблюдений, что в прочем не помешало некоторым из них сделать ряд интересных открытий. Беседы с космонавтами Г.М.Гречко, В.П.Савиных и А.Ю.Калери, позволили составить некоторую обобщающую картину вида серебристых облаков из космоса.

1. Облака наблюдаются всегда с «ребра».
2. Космонавты никогда их не наблюдали на фоне Земли сверху (вероятно из-за значительной освещенности ночной поверхности, и слабой яркости облаков).



Рисунок 2.4 Серебристые облака с борта МКС в ночь 26/27 июля 2003 г.

Несмотря на то, что поле облаков видно с «ребра», хорошо заметны волновые формы различных масштабов. Фото астронавта Эда Лу в обработке В.А.Ромейко приведено на рис. 2.4.

3. Серебристые облака в основном видны в сумеречной зоне, редко над дневной поверхностью Земли и только "с ребра". Не редки случаи видимости серебристые облака и Солнца одновременно.
4. Максимальное время одного наблюдения (из-за высоты полета) составляет 10-15 минут, а чаще всего 5-7 минут.
5. Определенной концентрации серебристых облаков над какими-либо областями (вулканами, материками, горными массивами) пока не обнаружено.

Анализируя условия видимости серебристых облаков из космоса, можно отметить их значительную яркость по сравнению с земными наблюдениями. Иногда, при аномальных появлениях, яркие облака можно наблюдать в зените. Чаще всего это происходит в высоких широтах 60° . При этом неоднократно удавалось оценивать их яркость в 2 - 2,5 балла. По оценкам исследователя А.И.Лазарева, их максимальная видимая яркость из космоса, достигает нескольких сотен кандел (одна из семи основных единиц измерения системы СИ, равна силе света, испускаемого в заданном направлении источником монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ герц) на 1 м^2 , что сравнимо с яркостью неполной Луны. До настоящего времени остается необъясненным факт видимости наземными наблюдателями ярких облаков в зените и отсутствия подобных наблюдений из космоса.

В наблюдениях из космоса многие предположения "земных" исследователей нашли свое подтверждение. Прежде всего было доказано существование обширных облачных полей порой охватывающих верхние слои атмосферы в интервале географических широт от 45° до 70° . Наблюдениями в северном и южном полушарии космонавтами выявлена глобальная асимметрия в их распределении относительно экватора, что вероятнее всего вызвано изменением температурного режима из-за различных условий прогрева Земли в течение года. Другим немаловажным обстоятельством явилось обнаружение многослойной структуры мезопаузы, на что тоже неоднократно указывали многие наблюдатели отмечавшие независимое движение отдельных морфологических образований в серебристых облаках. В ходе астрофизических исследований изучены спектральные и поляризационные свойства облаков. Совершенно неожиданным стало их обнаружение в нетрадиционных зонах видимости, а именно вблизи экватора. Впервые это явление, как мы уже говорили выше, заметил В.П.Савиных. Правда, А.Ю.Калери в двух

своих экспедициях в 1992 и 1997 гг., неоднократно пытался повторить эти наблюдения, но не смог (по его словам "искал, хотел увидеть, но не увидел"). Здесь стоит отметить, что есть определенная вероятность того, что виденные В.П.Савиных облака, возможно, были аэрозольными (пылевыми), т.е. не состояли из кристалликов льда.

Неожиданным аспектом в изучении серебристых облаков, явилась их взаимосвязь с безопасностью полетов космических аппаратов многоразового использования. Как выяснилось, ледяные кристаллы, из которых собственно состоят облака, представляют серьезную угрозу для керамических плиток тепловой защиты. При сверхзвуковых скоростях перегрев и разрушение керамических плиток могут иметь катастрофические последствия. Помимо этого серебристые облака оказывают отрицательное воздействие на процесс управления космическим аппаратом на этапах входа в плотные слои атмосферы. Таким образом, возникают пространственно-временные ограничения в использовании космической техники в зонах образования серебристых облаков.

2.4 Особенности наблюдения и регистрации облачного покрова из космоса

Большая обзорность, территориальная интеграция и генерализация деталей, присущие космическим методам исследования, позволяют широко использовать их для изучения облачного покрова, циклонов и тайфунов [23]. Вместе с тем возможности зрительной системы, фотографической и особенно телевизионной аппаратуры, а также влияние передаточных функций атмосферы и иллюминаторов накладывают определенные ограничения на возможность изучения облачного покрова из космоса.

Облака и облачные образования при наблюдении, фотографировании или передаче телевизионного изображения из космоса на дневной стороне Земли хорошо различаются вследствие сравнительно высокого цветового или светового контраста между яркими облаками и более темными участками акватории и поверхности Земли. Структура облачных образований различается по контрастам между отдельными деталями облачного покрова, возникающим вследствие различных условий освещения прямым солнечным излучением, рассеянным излучением атмосферы и отраженным излучением поверхности Земли. Световые и цветовые контрасты между деталями облачного покрова обычно меньше контрастов между облаками и бесснежной поверхностью акватории и суши. Однако иногда контрасты между облаками и снежным или ледяным покровом поверхности Земли могут быть меньше контрастов между деталями облачного покрова. Поэтому наблюдения и особенно регистрация облачного покрова над покрытой снегом поверхностью Земли менее эффективна, чем над свободной от снега и льда. При

наблюдении или регистрации облачного покрова видимые из космоса контрасты между деталями облаков или контрасты между облаками и поверхностью акватории или суши уменьшаются вследствие влияния излучения и пропускания атмосферы и иллюминатора, количественно это уменьшение определяется передаточными функциями. Все космонавты, проводившие наблюдения облачного покрова и поверхности Земли с космических орбит, отмечают, что визуально наблюдаемые картины облаков и поверхности Земли заметно отличаются от фотографий или телевизионных изображений тех же картин, регистрируемых из космоса. По информации космонавтов ни фотографии, ни тем более телевизионные изображения облачного покрова и поверхности Земли, полученные из космоса, не дают такой полной и контрастной картины, как визуальные наблюдения. Это объясняется различием пороговых контрастов зрительной системы человека, фотографического и телевизионного изображения, а также влиянием атмосферы и иллюминатора.

Визуально наблюдаемые картины облачного покрова и поверхности Земли по контрастам гораздо богаче, чем фотографии или телевизионные изображения.

Влияние передаточной функции атмосферы резко возрастает при наблюдении или регистрации картин облачного покрова в направлениях, отличающихся от надира. Это приводит к уменьшению видимых из космоса в этих направлениях контрастов между отдельными деталями облачного покрова и поверхности Земли. Особенно велико влияние передаточной функции атмосферы в направлениях, близких к горизонту. Здесь изменение видимых из космоса контрастов столь велико, что практически невозможно различать детали облачного покрова.

С целью повышения контрастов фотографических и телевизионных изображений при регистрации из космоса широко используются многозональное фотографирование, фотографирование на цветную фотопленку и цветное телевидение. Для этой цели на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7» была установлена многозональная фотоаппаратура МКФ-6М, позволяющая проводить съемку в шести диапазонах видимой и ближней инфракрасной области спектра, использовались аппараты для фотографирования на цветную фотопленку и цветное телевидение. Идея многозонального фотографирования, цветного фотографирования и цветного телевидения состоит в том, что разные детали регистрируемого изображения имеют различные контрасты в разных диапазонах спектра. С помощью многозональной фотоаппаратуры можно получить изображения облачного покрова и поверхности Земли, гораздо более богатые деталями, чем при фотографировании в одном диапазоне спектра. Цветные фотографии, сделанные с борта космического корабля, позволили обнаружить новые процессы в облачном покрове, в Мировом океане и на поверхности Земли. В частности, было замечено, что облачные образования

над океаническими течениями во многом повторяют находящиеся под ними завихрения и температурные фронты.

Наиболее полную картину (с точки зрения световых и цветовых контрастов) облачного покрова дают визуальные наблюдения. По оценке космонавтов, основанной на результатах визуальных наблюдений, облачный покров охватывает до 70 — 80% поверхности Земли. По данным же фотографических и телевизионных изображений из космоса, степень покрытия облаками поверхности Земли будет несколько меньше. Однако здесь следует напомнить, что с помощью фотографирования и телевидения в отличие от визуальных наблюдений можно документировать регистрируемые картины облачного покрова, а с помощью телевидения еще и организовать оперативную передачу изображений на Землю.

Все это позволяет рекомендовать определенный порядок проведения исследований структуры облачного покрова и его взаимодействия с различными компонентами геосферы с пилотируемых космических кораблей на дневной стороне Земли. Наиболее полную картину облачного покрова дают визуальные наблюдения космонавтов либо с помощью оптических зрительных систем со сравнительно небольшим увеличением, либо просто через иллюминатор с записью и зарисовками результатов наблюдений. Визуальные наблюдения должны быть дополнены фотографированием на цветную пленку достаточно контрастных световых и цветовых картин и передачей цветного телевизионного изображения наиболее контрастных световых и цветовых картин.

Во время мощных пыльных бурь и интенсивных извержений вулканов космонавты довольно часто наблюдали и фотографировали облака, подкрашенные пылью. Поэтому при наблюдении из космоса следует обращать внимание и на цвета, и на цветовые контрасты облачного покрова. Цветовые картины присущи и радужным облакам, существующим на высоте более 20 км от поверхности Земли.

При визуальных наблюдениях космонавты могут различать степень чистоты атмосферы, которая является следствием различного содержания оптически активных компонентов (главным образом аэрозоля и паров воды). Наиболее удобно такие различия наблюдать в том случае, когда воздушные массы, различные по чистоте, находятся одновременно в поле зрения космонавта. Контрасты между такими воздушными массами обычно невелики, поэтому чаще всего они не регистрируются фотографической и тем более телевизионной аппаратурой. Из космоса неоднократно удавалось наблюдать интенсивное образование облачности и циклонических возмущений при встрече и столкновении таких различных воздушных масс. В частности, В. В. Коваленок несколько раз наблюдал с «Салюта-6» столкновения двух или трех воздушных потоков из северного и южного полушария в районе Бермудского треугольника, которое приводило к образованию крупномасштабных (до 1000 км и даже более) тропических циклонов [24]. Появление

редких облаков в районе столкновения воздушных потоков является индикатором процесса возникновения циклона.

При полете над сумеречной зоной условия наблюдения и регистрации облачного покрова заметно изменяются по сравнению с дневной стороной Земли. Это связано с тем, что существенно изменяются условия освещения облаков при изменении зенитного угла Солнца. Естественно, что яркость облаков в сумеречной зоне зависит не только от угла Солнца, но и от стратификации атмосферы и, особенно от содержания основных оптически-активных компонентов: аэрозоля и водяного пара. Орбитальные станции типа «Салют», высота орбиты которых около 350 км, еще освещены прямым солнечным излучением, поэтому при анализе возможности наблюдения облачного покрова и поверхности Земли необходимо учитывать и яркость иллюминаторов. Особенно велика яркость иллюминаторов, освещенных прямым солнечным излучением. В связи с этим наблюдения и регистрацию облачного покрова в сумеречной зоне следует проводить через иллюминаторы, на которые не попадает прямое солнечное излучение.

Ухудшение условий наблюдения облачного покрова из космоса в сумеречной зоне связано также и с ухудшением пороговых значений световых и особенно цветовых контрастов зрительной системы при резком уменьшении яркости наблюдаемых картин облачного покрова и поверхности. Однако и при фотографировании, и при передаче телевизионных изображений в таких условиях возникают серьезные трудности, связанные с созданием высокочувствительной фотопленки и телевизионной аппаратуры.

На ночной стороне Земли визуальные наблюдения и регистрация облачного покрова в видимой области спектра возможны практически только в лунные ночи. При подсветке от Луны космонавты могут наблюдать наиболее контрастные картины облачного покрова, экватории и поверхности Земли, а регистрация возможна только с использованием высокочувствительной фотопленки и телевизионной аппаратуры. Для регистрации облачного покрова на ночной стороне Земли наиболее благоприятные условия в окне прозрачности атмосферы 8 — 14 мкм, в котором сравнительно холодные облака будут выделяться на фоне более теплой и, следовательно, более яркой поверхности Земли. Правда, при этом при регистрации тепловизионной аппаратурой облака будут выглядеть более темными образованиями на фоне сравнительно светлой поверхности Земли.

Анализ условий образования серебристых облаков и их влияние на погодообразующие процессы

Пространственно- временное распределение серебристых облаков

Сезонное распределение

За период наблюдений с 1957 по 1982 г. поступило 7857 сообщений о случаях

наблюдений серебристых облаков в течение 2079 ночей. В табл. 3.1 приведены даты начала и конца периода наблюдений серебристых облаков и число ночей с серебристыми облаками в каждом месяце.

Распределение числа случаев наблюдения серебристых облаков оказывается симметричным относительно первой—второй декад июля, когда отмечается максимум числа случаев наблюдений серебристых облаков. В отдельные годы (1964, 1965, 1967, 1968, 1974, 1977) в июле серебристые облака регистрировались хотя бы на одной станции северного полушария каждую ночь.

Таблица 3.1 – Число случаев наблюдений серебристых облаков по месяцам в северном полушарии

Год	Начало сезона	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Конец сезона
1957	30 IV	-	1	5	8	21	13	13	3	19 X
1958	13 III	7	9	12	14	25	19	11	-	27 IX
1959	5 III	6	3	11	17	26	19	11	4	29 X
1960	26 V	-	-	1	9	11	2	3	-	19 IX
1961	20 IV	-	3	1	11	18	5	1	-	13 IX
1962	28 IV	-	1	1	11	14	5	-	1	5 X
1963	1 V	-	-	1	11	27	13	-	-	28 VIII
1964	16 III	1	13	15	27	31	22	9	7	31 X
1965	9 III	8	5	14	27	31	23	8	3	28 X
1966	25 II	10	10	20	25	30	25	9	7	28 X
1967	23 II	4	13	10	28	31	18	3	-	22 IX
1968	7 III	4	-	10	27	31	13	2	1	14 X
1969	13 III	4	4	13	25	25	14	3	5	14 X
1970	4 III	1	2	8	27	25	17	2	2	30 X
1971	12 III	2	6	14	22	29	11	2	1	15 X
1972	1 III	3	2	9	25	30	14	3	1	21 X
1973	8 IV	-	3	5	21	27	17	2	-	11 IX
1974	1 IV	-	3	5	26	31	13	3	-	21 IX
1975	19 IV	-	1	7	25	28	14	1	-	17 IX

Продолжение таблицы 3.1

1976	2 III	1	-	7	29	30	18	3	-	25 IX
1977	1 V	-	-	16	29	31	17	2	-	14 IX
1978	20 IV	-	1	5	25	29	9	-	1	24 X
1979	16 III	1	1	11	20	25	9	-	-	24 VIII
1980	7 V	-	-	4	22	28	11	-	1	16 X
1981	11 IV	-	1	3	24	29	10	1	-	10 IX
1982	22 IV	-	1	1	19	28	9	-	2	16 X
Среднее		2,0	3,2	8,0	21,3	26,5	13,5	3,5	1,5	
Экстремальные даты	1 III									31 X

Имеющиеся немногочисленные данные наблюдений по южному полушарию позволяют сделать только качественный вывод: сезонные вариации наблюдений серебристых облаков там аналогичны сезонным вариациям в северном полушарии, но максимум активности серебристых облаков смещен на шесть месяцев и приходится не на июль, а на январь.

Широтные и долготные особенности

Если нанести все станции, хотя бы раз наблюдавшие серебристые облака, на карту, то можно видеть, что серебристые облака наблюдаются на всех долготах (см. рисунок 3.1). Данные регулярных и квалифицированных наблюдений показывают, что серебристые облака наблюдаются одинаково часто на различных долготах одной и той же широтной зоны: наземные станции северного полушария регистрируют серебристые облака в основном в широтной зоне между 45 и 70°. Если южная граница этого пояса более или менее четко ограничена, то относительно северной границы трудно сделать какие-либо уверенные выводы (имеется 40 сообщений о регистрации серебристых облаков на 19 станциях, расположенных в зоне 67—82° с. ш.). Скорее всего, высокие широты не являются препятствием для возникновения и существования серебристых облаков, а малое число данных об их наблюдениях объясняется условиями их видимости и характером организации наблюдений (высокие широты — это малонаселенные районы со сложными климатическими условиями и белыми ночами в период максимума появлений серебристых облаков). С учетом того факта, что проекция серебристых облаков

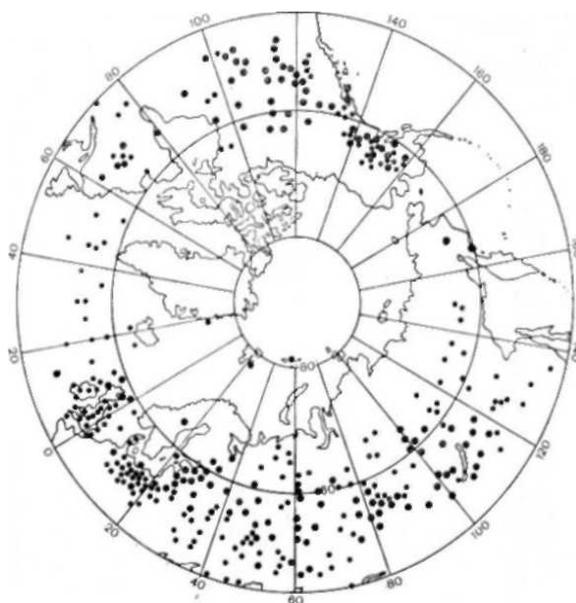


Рисунок 3.1 Расположение станций наблюдения серебристых облаков в северном полушарии

расположена на $4,5—7^\circ$ к северу от пункта наблюдения, можно сделать предположение о возможности появлений серебристых облаков во всей полярной области вплоть до полюса[25].

Внутри одной и той же широтной зоны разные станции регистрируют различное число случаев появления серебристых облаков. В табл. 3.2 приведено распределение числа станций по числу случаев регистрации ими облаков в разных широтных зонах за период 1957—1982 гг. Наибольшее число станций, отметивших хотя бы одно появление серебристых облаков, приходится на $53—55^\circ$ сш, а максимальное число регистрации — на $55—57^\circ$ с. ш. Заметим, что эти зоны не совпадают. Сеть патрульных станций в Канаде и в СССР [26] на $53—57^\circ$ сш более или менее равномерная, и объяснить случайностью, почему именно в зоне $53—55^\circ$ сш хотя бы одно появление серебристых облаков отмечает наибольшее число станций, затруднительно, тем более, что облака значительно чаще регистрируются в зоне $55—57^\circ$ сш.

Необходимо отметить также, что наибольшее число случаев наблюдения серебристых облаков в разные годы может смещаться в более южные или в более северные широты. Так, в 1968 г. чаще всего серебристые облака отмечались в зоне $53—55^\circ$ с.ш., а в 1969 г.— в зоне $57—59^\circ$ с.ш. Такие отклонения можно объяснить и неоднородностью материала (так, в 1968 г. существенный вклад внесли польские исследователи, начавшие регулярные наблюдения), и изменением самой активности серебристых облаков. В целом зона $53—57^\circ$ с.ш. является оптимальной с точки зрения

Таблица 3.2 – Распределение числа станций по количеству случаев регистрации серебристых облаков в различных широтных зонах с 1957 по 1982 г. Количество случаев наблюдений

Широтные зоны, (град.)	Количество случаев наблюдений																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	24		
71,1 - 73,0	8																							
69,1 - 71,0	8																							
67,1 - 69,0	7	3	3																					
65,1 - 67,0	23	7	2	1																				
63,1 - 65,0	71	22	12	7	3	3	1																	
61,1 - 63,0	78	32	21	21	18	1	5	3	2	3														
59,1 - 61,0	82	46	31	14	21	7	4	13	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1		1		
57,1 - 59,0	114	63	31	29	17	13	14	7	9	77	5	4	2	4	3	1	2	1	1	1	2			
55,1 - 57,0	162	82	58	27	36	24	23	27	10	17	10	8	3	5	5	6	4	1	2	2	2	2	2	
53,1 - 55,0	225	97	76	33	32	21	16	10	6	6	4	5	1	5	1	1								
51,1 - 53,0	152	63	22	19	9	4	2	2	1	1														
49,1 - 51,0	85	24	14	4	4	2																		
47,1 - 49,0	23	5	1	3																				
45,1 - 47,0	21	4	1	1	1																			

условий для обнаружения серебристых облаков. В период наиболее частого появления облаков южнее этой зоны сумерки непродолжительны, а севернее они слишком светлы.

Выше уже отмечалось, что по южному полушарию имеющиеся в настоящее время малочисленные данные наблюдения не позволяют сделать определенные выводы о пространственных закономерностях распределения серебристых облаков в южном полушарии. Интересно, что к настоящему времени имеется около трех десятков сообщений о случаях наблюдения серебристых облаков с наземных станций в Антарктиде [27].

Широтно-сезонные закономерности

Широтно-сезонные закономерности в появлениях серебристых облаков изучались Т. Д. Бессоновой [28]. Ею получено смещение максимума суммарного числа случаев появления серебристых облаков на более поздний срок для более северных широт. Определила даты максимального числа случаев наблюдения серебристых облаков для трех широтных зон: 50—55° с.ш. — 8 июля, 55—60° с.ш.— 18 июля и 60—65 с.ш. — 28 июля. В умеренных широтах чаще всего серебристые облака регистрируются в июне—июле. Для низких широт максимальное число случаев с серебристыми облаками приходится на последнюю декаду июня. В зоне 55—59° с.ш. максимум приходится на первую декаду июля, при перемещении в более высокие широты наблюдается смещение максимального числа случаев наблюдения серебристых облаков на более поздние сроки. В зоне 63—71° с.ш. максимальное число случаев наблюдения приходится на первую и вторую декаду августа. Эту особенность можно объяснить тем, что общая активность облакообразовательного процесса к осени резко снижается, серебристые облака регистрируются лишь в более высоких широтах, где в это время улучшаются условия их наблюдения. На 45—50° с.ш. не наблюдается четко выраженного максимума, облака отмечаются одинаково редко во все месяцы с марта по октябрь.

Васильевым О. Б. были выполнены расчеты вероятности наблюдения серебристых облаков по декадам для различных географических широт [29].

Таблица 3.3 – Вероятность наблюдения серебристых облаков в различные месяцы на разной широте. Северное полушарие

Месяц, декада	Диапазон широт, (град.)									
	43,75-46,25	46,25-48,75	48,75-51,25	51,25-53,75	53,75-56,25	56,25-58,75	58,75-61,25	61,25-63,75	63,75-66,25	66,25-68,75

Май										
III	0,017	0,023	0,035	0,037	0,040	0,042	0,030	0,020	0,004	0,001
Июнь										
I	0,021	0,031	0,044	0,074	0,108	0,090	0,050	0,024	0,006	0,001
II	0,025	0,035	0,055	0,098	0,165	0,180	0,106	0,046	0,008	0,001
III	0,024	0,039	0,062	0,110	0,198	0,240	0,176	0,092	0,015	0,002
Июль										
I	0,020	0,036	0,064	0,123	0,220	0,270	0,213	0,136	0,029	0,004
II	0,012	0,028	0,053	0,115	0,223	0,300	0,238	0,153	0,036	0,006
III	0,005	0,012	0,034	0,086	0,196	0,276	0,242	0,170	0,040	0,007
Август										
I	0,002	0,006	0,015	0,037	0,128	0,210	0,200	0,155	0,041	0,008
II	0,002	0,003	0,007	0,017	0,052	0,090	0,124	0,120	0,033	0,007
III	0,001	0,002	0,005	0,010	0,020	0,040	0,041	0,046	0,021	0,006

В основу предлагаемой модели было положено сезонно-широтное распределение частот появления серебристых облаков, полученное Ч.И.Виллманом. Результаты приведены на рисунке 3.2 и в таблице 3.3. Полученные зависимости интерполировались в значениях вероятности наблюдения серебристых облаков в данную декаду и в данной полосе широт, причем за максимальную вероятность принимался уровень 0,3.

При вычислении этого распределения предполагалось отсутствие зависимости частоты появления серебристых облаков от долготы.

Из табл. 3.3 видно, что распределение вероятностей наблюдения серебристых облаков оказывается таким, что самый ранний максимум приходится на вторую декаду июня и соответствует зоне 43,75—46,25° сш.

Самый высокий максимум соответствует второй декаде июля и полосе широт 56,25—58,75°. И, наконец, самый поздний максимум—первая декада августа — приходится на 66,25—68,75° сш.

Особенности этого широтно-сезонного распределения заключаются в том, что самый ранний максимум (первая декада июня) вероятности наблюдения серебристых облаков соответствует самым низким широтам (примерно 45° сш); с течением времени максимум вероятности сдвигается в более высокие широты и к первой декаде августа находится на широте примерно 67° с.ш. Этот факт, по-видимому, объясняется тем, что в низких

широтах по сравнению с высокими раньше наступают подходящие температурные

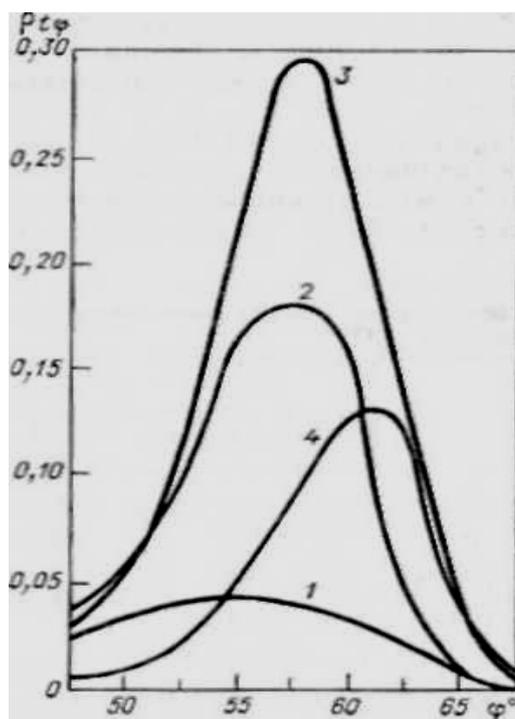


Рисунок 3.2 Осредненное распределение вероятности наблюдения серебристых облаков по месяцам. 1- май, 2- июнь, 3- июль, 4- август

условия для образования серебристых облаков, кроме того, на севере весной и в начале лета не бывает сумерек (белые ночи) и наблюдать серебристые облака невозможно, и только к концу лета там появляется возможность для наблюдений.

Суточное распределение времени регистрации серебристых облаков

Обычные наземные визуальные методы наблюдений за серебристыми облаками позволяют обнаружить их только в сумерки. По наблюдениям в Томске [30], до местной полуночи серебристые облака наблюдались лишь 40% времени, а 60 % времени они наблюдались после местной полуночи. При этом 70 % случаев начала видимости серебристых облаков приходится на вечерние сумерки и 30 % — на утренние. Продолжительность видимости серебристых облаков — от нескольких минут до 5 ч и более и очень сильно зависит от их максимальной яркости. Как правило, чем ярче облака, тем дольше они наблюдаются. В среднем за 20-летний период наблюдений за серебристыми облаками в Томске в 54 % случаев наблюдались облака яркостью 1—2

балла, в 20% случаев — облака яркостью 3 балла и в 26 % случаев — яркие облака (4— 5 баллов). В отдельные годы часто регистрировались неяркие, с плохо выраженной морфологической структурой облака (например, в 1966, 1967, 1969, 1973, 1977, 1978 и 1980 гг.).

Частота случаев утренних наблюдений выше частоты вечерних примерно на 30%, максимум числа случаев утренних наблюдений соответствует углу погружения Солнца под горизонт —10,7°, в то время как для вечерних наблюдений оптимальный угол погружения Солнца под горизонт составляет —11,2°.

При малых углах погружения Солнца под горизонт хорошо освещены серебристые облака, располагающиеся на небесной сфере высоко над горизонтом, а низкие облака не заметны на фоне яркого еще неба. По мере погружения Солнца серебристые облака лучше просматриваются.

Анализ морфологических структур серебристых облаков

Изучая записи и зарисовки космонавтов, сделанные в бортжурналах и дневниках во время наблюдений за серебристыми облаками с борта космических аппаратов, можно получить некоторое представление о морфологических особенностях серебристых облаков при наблюдении из космоса. В дневнике В. И. Севастьянова есть запись о наблюдении серебристых облаков 1 и 2 июля 1975 г. с борта орбитальной станции «Салют-4» [31]:

«Серебристые облака завораживают. Холодный белый цвет — чуть матовый, иногда перламутровый. Структура либо очень тонкая и яркая на границе абсолютно черного неба, либо ячеистая, похожая на крыло лебедя, когда облако ниже «венца». Выше «венца» они не поднимаются.

Из бортжурнала В. И. Севастьянова [24]:

«... Что меня поразило при наблюдении серебристых облаков, кроме того, что они не только восхищают, но и притягивают наблюдателя своей необычной картиной.

Меня поразило, что:

- их блеск (матовый, но очень сильный, я назвал его «перламутровый»);
- их протяженность (мы наблюдали их над Камчаткой, а на следующем витке от Урала до Камчатки. А затем в эти же сутки мы их наблюдали над Канадой);

- их тонкая структура лазурная. Строгая верхняя граница (никогда не выше «венца»), иногда доходит до его высоты. Тогда они видны над дневным горизонтом. Эта структура похожа на блеск перьев лебедя, когда серебристые облака наблюдаются в фасад.
- их пространственность не только по широте, но и по глубине. По глубине мы их наблюдали в разной фазе...»

Г. М. Гречко и Ю. В. Романенко во время наблюдений с орбитальной станции «Салют-6» с 23 декабря 1977 г. по 2 февраля 1978 г. зарегистрировали неожиданно много (но сравнению с существовавшими у некоторых исследователей до этого представлениями) случаев появления серебристых облаков в южном полушарии. Наблюдения за серебристыми облаками проводились почти на постоянной высоте - около 2° над горизонтом, как при отрицательной, так и при положительной высоте Солнца (несколько градусов) относительно горизонта [33]. В ряде случаев серебристые облака распространялись вдоль всего южного горизонта и наблюдались в течение 7—8 витков подряд. Это свидетельствует о том, что серебристые облака иногда образуют, как и в северном полушарии, сплошную кольцевую полосу, покрывающую половину или даже большую часть земного шара на соответствующих широтах. Не редкими были случаи наблюдения волнистой структуры поля серебристых облаков.

Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко получили более 40 черно-белых фотографий, пригодных для фотометрирования.

Некоторые морфологические особенности структуры поля серебристых облаков зарегистрировали В.В.Коваленок и В.П.Савиных во время полета на орбитальной станции «Салют-6» в марте—мае 1981 г. 18 апреля 1981 г. Космонавты наблюдали двухслойную структуру поля серебристых облаков с 21 ч 02 мин 30 с до 21 ч 04 мин 30 с на заходе Солнца над юго-восточной частью Атлантики. 1 мая 1981 г. на витках 667—668 полета «Салюта-6» справа от захода Солнца космонавты наблюдали трехъярусные серебристые облака в южных широтах. 10 мая 1981 г. на витке 804 полета «Салюта-6» во время наблюдений серебристых облаков после восхода Солнца космонавты видели узкую серебристую полосу на высоте примерно 70—90 км, которая иногда имела утолщение и раздваивалась. Такие картины В. В. Коваленок и В. П. Савиных наблюдали на восходе и заходе Солнца на каждом витке с 803—804 по 807 в течение 6—10 мин. В частности, имеется запись о наблюдении двухслойной структуры серебристых облаков (иногда даже трехслойной) с разрывами по

горизонту 10 мая 1981 г. на витке 803 полета «Салюта-6» в бортжурнале В. П. Савиных. Двухъярусная структура серебристых облаков наблюдалась и на витке 806 10 мая 1981 г. с 15 ч 45 мин до 15 ч 52 мин. Во время наблюдений 10 мая 1981 г. на витках 803—807 полета станции «Салют-6» видимое космонавтами поле серебристых облаков находилось в экваториальной зоне над значительной частью Полинезии и Индийского океана, образуя полосу в несколько тысяч километров. Двухъярусную структуру поля серебристых облаков космонавты наблюдали и 13 мая 1981 г. на витке 858 полета «Салюта-6» в 22 ч 37 мин. Второй ярус серебристых облаков, более тонкий, но более яркий имел разрывы по $10\text{--}15^\circ$ и просматривался только временами. Наблюдаемое поле серебристых облаков находилось над Тихим океаном.

По визуальным наблюдениям и фотографическим исследованиям серебристых облаков с борта орбитальных станции «Салют-4» и «Салют-6» достаточно надежно установлен факт многослойности некоторых типов серебристых облаков, что свидетельствует о сложной структуре мезопаузы практически над всеми регионами Земли, доступными для наблюдений с борта орбитальных станций «Салют-4» и «Салют-6», т. е. от 70° ю.ш. до 70° с.ш.

Таким образом, несмотря на то, что вид морфологической структуры полей серебристых облаков для космического наблюдателя меняется при движении по орбите, можно все-таки утверждать, что принятая по наземным наблюдениям классификация серебристых облаков по морфологическим признакам может использоваться и при наблюдениях из космоса.

Инструментальное исследование серебристых облаков из космоса

На орбитальной станции «Салют-4» летчиками-космонавтами СССР П.И.Климук и В. И. Севастьяновым была выполнена широкая программа инструментальных исследований, визуальных наблюдений и фотографирования серебристых облаков на сумеречном горизонте Земли [34]. С 12 июня по 23 июля 1975 г. космонавтами было зарегистрировано 27 случаев наблюдения серебристых облаков. Одновременно с наблюдениями с «Салюта-4» проводились наблюдения серебристых облаков с ряда наземных станций Советского Союза и Западной Европы.

Особенно протяженные поля серебристых облаков П. И. Климук и В. И. Севастьянов наблюдали 3 — 4 июля 1975 г. на девяти витках орбитальной станции подряд (рисунок 3.3).

В эти дни наблюдения проводились и с наземных станций. По результатам наблюдений 3 — 4 июля 1975 г. было подтверждено ранее высказанное предположение о том, что серебристые облака иногда образуют сплошную полосу, охватывающую в северном полушарии более половины земного шара на соответствующих широтах [35]. Это предположение для южного полушария в дальнейшем было подтверждено по результатам наблюдений Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко в январе 1978 г. с орбитальной станции «Салют-6». Наличие обширных полей серебристых облаков в настоящее время является общепризнанным.

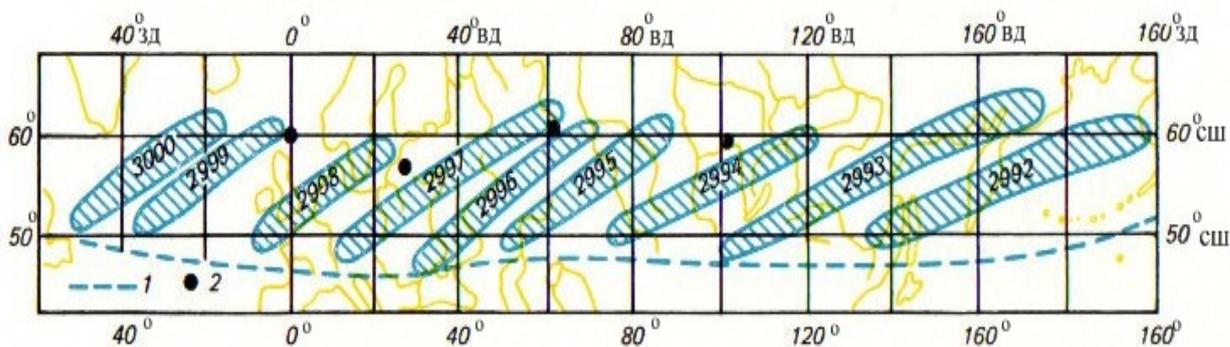


Рисунок 3.3 Проекция полей серебристых облаков, наблюдаемых с борта «Салюта-4» 3 — 4 июля 1975 г. [32]. 1 — проекция всей вероятной области распространения поля серебристых облаков за время наблюдения; 2 — наземные станции, где в это время наблюдались серебристые облака; цифры в овалах — номера витков полета.

Доброкачественных фотографий с «Салюта-4» было получено мало, так как недостаточно точно было определено время экспозиции. Реальная яркость серебристых облаков была больше ожидаемых значений, поэтому большинство снимков оказалось передержанными.

С «Салюта-4» четырехканальным радиометром «Микрон» проводились и инструментальные исследования серебристых облаков в ближней инфракрасной области спектра. Измерения в каждом из каналов проводились в сравнительно узких спектральных диапазонах, вырезаемых интерференционными фильтрами. Центры этих диапазонов около длин волн 1,35; 1,9; 2,2 и 2,7 мкм, а ширины полос пропускания фильтров соответственно 0,21; 0,28; 0,25 и 0,34 мкм. Угловые размеры круглых полей зрения каждого канала составляли $10 \div 13'$, что с высоты полета «Салюта-4» соответствовало линейному разрешению у горизонта Земли 6 — 8 км.

Измерения яркости серебристых облаков радиометром «Микрон» проводились 2, 3, 6 и 7 июля 1975 г. в сумеречной зоне во время восхода Солнца сканированием поля зрения радиометров в пределах $\pm 4^\circ$ от направления максимальной яркости серебристых облаков с угловой скоростью $0,5^\circ$ в 1с. Сканирование проводилось в направлении, перпендикулярном горизонту Земли. Всего космонавты провели более 20 сканов.

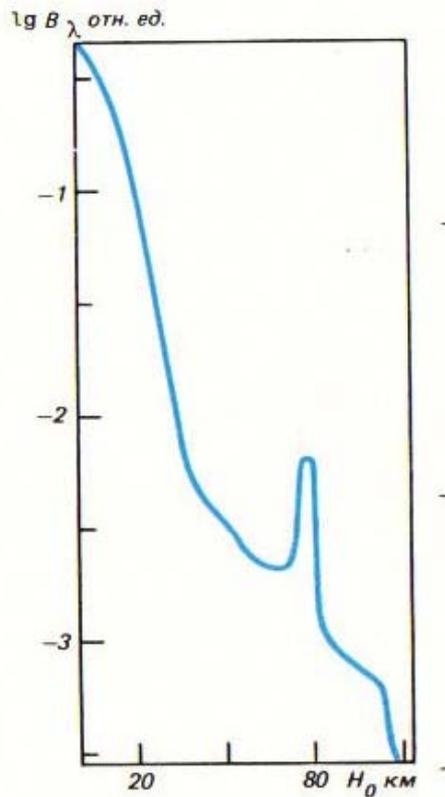


Рисунок 3.4 Измерение яркости горизонта при появлении серебристых облаков при $\lambda = 1,9$ мкм

В качестве примера на рисунке 3.4 для диапазона с центром около 1,9 мкм приведены результаты измерений энергетической яркости зоревоего сегмента при наличии серебристых облаков.

Из рисунка видно, что вблизи перигея линии визирования около 81 км энергетическая яркость серебристых облаков примерно на полпорядка превышает яркость зоревоего сегмента для соседних значений перигея линии визирования. Результаты измерений радиометром «Микрон» показали, что энергетическая яркость серебристых облаков изменялась в пределах порядка величины в зависимости от структуры и оптической толщины серебристых облаков, а также от условий их подсветки прямым солнечным излучением и излучением сумеречного ореола атмосферы Земли (рисунок 3.5). Результаты измерений радиометром «Микрон» получены только для трех диапазонов с центрами около длин волн 1,35; 1,9 и 2,2 мкм.

На рисунке 3.5 приведены средние экспериментальные значения и максимальные отклонения спектральной плотности энергетической яркости серебристых облаков для диапазонов около 1,35; 1,9 и 2,2 мкм, а также расчетные значения спектральной плотности энергетической яркости серебристых облаков для оптических толщин 10^5 ; 5×10^5 и 10^4 в

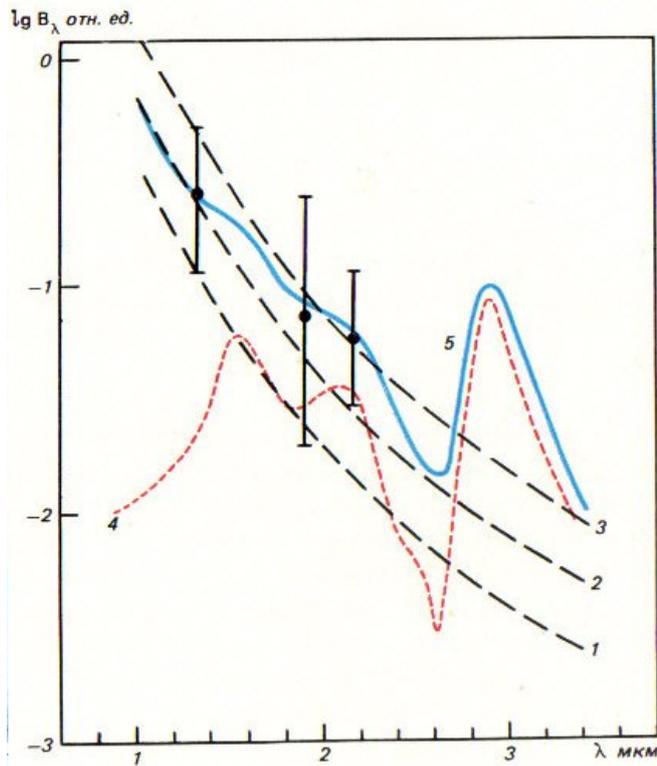


Рисунок 3.5 Спектральное распределение яркости серебристых облаков при угле рассеяния $\varphi = 80^\circ$.
 1, 2, 3 — соответственно яркость серебристых облаков, рассчитанная при оптической плотности $\tau = 10^{-5}$; 5×10^{-5} ; 10^{-4} ; 4 — эмиссия ОН; 5 — суммарная яркость серебристых облаков при $\tau = 5 \times 10^{-5}$ и эмиссии ОН; 6 — средние экспериментальные значения.

диапазоне 1,0—3,2 мкм для угла рассеяния 80° и расчетные значения спектральной плотности энергетической яркости эмиссионного излучения гидроксила ОН при наблюдении в направлении перигея линии визирования на высоте 81 км для 60° с.ш., вычисленные с учетом содержания гидроксила при появлении серебристых облаков [32].

В период проведения наблюдений серебристых облаков с борта орбитальной станции «Салют-6» с антарктической станции Молодежная (66° ю.ш., 46° в.д.) проводились еженедельные запуски метеорологических ракет с целью измерения температуры и характеристик ветра в стратосфере и мезосфере. За период наблюдений с 28 декабря 1977 г. по 25 января 1978 г. дни, когда регистрировалось наиболее сильное понижение температуры в мезопаузе (до 140—150 К), приблизительно совпадают со временем, когда космонавты наиболее часто наблюдали серебристые облака. В периоды повышения температуры серебристые облака в этих районах не регистрировались [36].

Первый спутник, миссия которого целиком посвящена изучению серебристых облаков, носит название AIM (Aeronomy of Ice in the Mesosphere - Аэрномия льда в мезосфере; аэрномия - это наука, занимающаяся изучением верхних слоев атмосферы). Космический аппарат AIM был запущен в 00:26 мск. времени 26 апреля 2007 года с

американского космодрома Ванденберг (Vandenberg) Военно-Воздушных Сил. Для вывода на орбиту научного аппарата AIM была задействована ракета-носитель Pegasus XL. Основная задача миссии состоит в том, чтобы узнать причины образования и изменения этих облаков. Результаты этой миссии служат основой для изучения долговременных климатических изменений мезосферы и их взаимосвязь с глобальной атмосферной изменчивостью.

С другой стороны, результаты миссии AIM являются проверкой современных теорий, которые предполагают наличие определенной связи между изменчивостью серебристых облаков и глобальными атмосферными трендами. Эта цель будет достигнута путем изучения пространственного распределения серебристых облаков, распределения частиц по размерам, активности гравитационных волн, притока космической пыли в атмосферу Земли, вертикальных профилей температуры, паров воды и аэрозолей. Цель проекта преследует решение шести научных вопросов. Первые пять, направлены на изучение механизмов формирования серебристых облаков, т.е. когда и где появляются облака, и как они реагируют на изменения температурного режима, химического содержания и динамики окружающей их среды. Шестой вопрос (наиболее сложный) относится к связи серебристых облаков с изменениями климата в мезосфере.

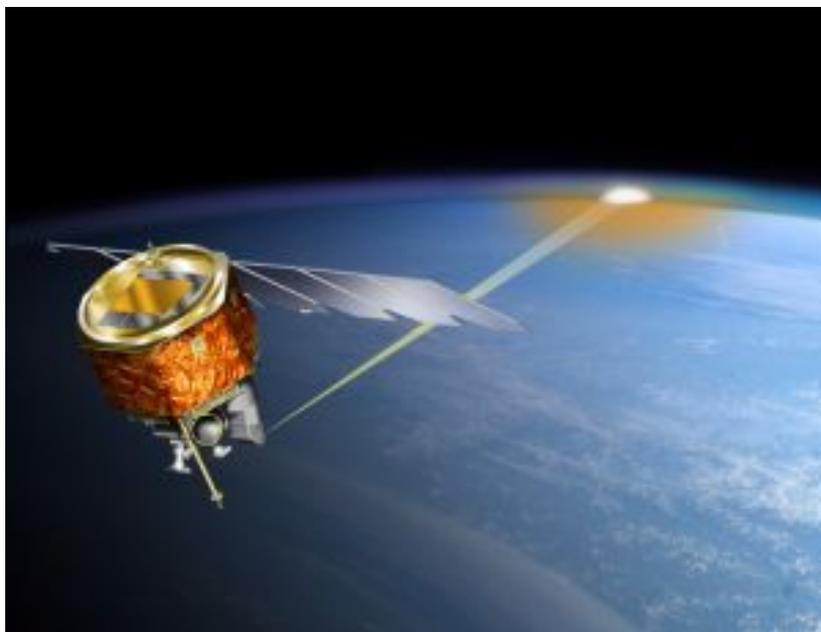


Рисунок 3.6 Художественное представление работы AIM

В состав научной аппаратуры AIM входит следующий комплект научной аппаратуры:

- прибор SOFIE (Solar Occultation For Ice Experiment- Покрытие Солнца для

эксперимента со льдом), который позволит уточнить химический состав основ ледяных частиц в облаках - молекул вроде метана CH_4 . При этом будут также проводиться наблюдения Солнца сквозь атмосферу, чтобы выяснить, какая часть солнечного света задерживается пылью в верхних слоях воздушного океана. В своем принципе прибор SOFIE будет использовать покрытия Солнца (Землей) для исследования серебристых облаков и измерения атмосферных параметров таких как, температуры, углекислого газа, метана, окиси азота, озона, аэрозолей.

- прибор CIPS (Cloud Imaging and Particle Size experiment – Изображения облаков и определение размеров частиц). С помощью прибора CIPS (с ориентацией в надир, к земной поверхности) исследуется морфология серебристых облаков, измерение размеров частиц серебристых облаков.

- Прибор CDE (Cosmic Dust Experiment – Эксперимент с космической пылью). Прибор CDE разрабатывается для измерения потока пылевых частиц входящих в верхнюю атмосферу Земли. Этот прибор установлен на аппарате в направлении на зенит (от поверхности Земли) и имеет большое поле зрения для регистрации частиц.



Рисунок 3.7 Снимок серебристых облаков, сделанный AIM 11 июня 2007 года (показаны белым и голубым цветами). На врезке – фотография тех же облаков, полученная во время наземных наблюдений 15 июня 2007 года

Прием научных данных и управления аппаратом осуществляется с помощью двух больших 11-ти метровых антенн, установленных на станциях слежения Poker Flat, Аляска и Kongsberg SKS antenna, Svalbard, Норвегия. Анализ и архивирование данных проводится в Центре Атмосферных исследований при университете города Хэмптон, штат Вирджиния.

В 2008 году спутник AIM получил продление своей миссии на 3 года (с 2009 по

2012) для продолжения исследований.

Обобщенные результаты современного научного исследования серебристых облаков

Сегодня известно очень мало об этих необычных серебристых облаках, расположенных на краю земной атмосферы, называемых также полярными мезосферными облаками. Пока сложно сказать, какие процессы приводят к их образованию в летние месяцы над полюсами, почему они стали видны в более низких широтах и почему серебристые облака становятся все ярче и видны все чаще. Ученые возлагают надежды на то, что при помощи космической миссии AIM, которая пронаблюдает полярные мезосферные облака и впервые задокументирует полный цикл существования этих облаков.

Уже первый сезон наблюдений за серебристыми облаками при помощи спутника AIM показал, что эти облачные образования чрезвычайно чувствительны к окружающей среде, в которой они зарождаются. Также было установлено, что серебристые облака простираются в более широком диапазоне высот, чем считалось ранее.

Серебристые облака в 2008 году были зафиксированы спутником впервые 25 мая и наблюдались вплоть до 25 августа. AIM фиксировал эти облака ежедневно между 60° и 85° с.ш. С началом летнего периода в южном полушарии Земли, AIM проводит исследования серебристых облаков уже в районе южного полюса планеты.

Как показывают исследования, серебристые облака состоят из ледяных кристаллов, образующихся при конденсации водяного пара на частицах пыли при температуре – 134...–148°С.

Спутниковые наблюдения показали, что серебристые облака формируются каждый день, но они имеют сильную временную изменчивость. При этом мезосферный лед простирается сплошными полями на большие расстояния, создавая так называемый эффект летнего мезосферного эха. Исследования динамики серебристых облаков и их изменчивости привели ученых к выводу о том, что в мезосфере Земли могут происходить те же динамические процессы, что и в тропосфере, в которой и формируется земная погода. Поэтому для исследования мезосферы и, следовательно, серебристых облаков могут быть применены те же методы, что и при исследовании тропосферы, что может помочь ученым понять причину появления серебристых облаков и их изменчивости.

Заключение

1. Наблюдать серебристые облака можно лишь в летние месяцы: в Северном полушарии в июне-июле, в широтной зоне от 45° до 70°. В Южном полушарии в конце

декабря и в январе на широтах от 40° до 65°.

2. Как показывают последние исследования, серебристые облака состоят из ледяных кристаллов, образующихся при конденсации водяного пара на частицах пыли при температуре $-134...-148^{\circ}\text{C}$.

3. В июне 1985 г. исполнилось сто лет с того времени, когда впервые учеными были обнаружены серебристые облака почти одновременно в России, Германии и Чехословакии. В течение длительного времени исследования серебристых облаков проводились с поверхности Земли, затем начались самолетные и ракетные зондирования, а с началом космической эры — исследования с искусственных спутников Земли и пилотируемых космических кораблей, давшие наиболее интересные результаты. Многолетние исследования с поверхности Земли позволили накопить обширный наблюдательный материал о пространственно-временном распределении и физических характеристиках серебристых облаков. Эти данные были положены в основу разработки морфологических и генетических моделей систем серебристых облаков, их суточного, сезонного и широтного распределения, а также зависимости между их появлениями и солнечной активностью, метеоритными потоками и другими параметрами гео- и гелиофизической активностью. Одновременно формировались взгляды на природу, генезис и условия существования серебристых облаков во взаимосвязи с распределением температуры, влажности, аэрозоля и других физических параметров в мезопаузе и прилегающих к ней слоях атмосферы.

4. С 1964 г. начались исследования серебристых облаков с пилотируемых космических кораблей. Сначала они проводились по программам, разработанным на основе опыта, накопленного по материалам наблюдений с Земли. Первые результаты космических экспериментов подтвердили представление о серебристых облаках, сформировавшееся по многолетним результатам исследований с Земли, самолетов и геофизических ракет. Неожиданные результаты были получены в 1978 г. космонавтами В.В.Коваленком, А.С.Иванченковым, П. И. Климучком и М. Гермашевским с орбитальной станции «Салют-6». Оказалось, что серебристые облака могут существовать не только на традиционных широтах севернее 45° и южнее 52°, но и в экваториальных областях, и в областях, прилегающих к полюсам. В дальнейшем это было подтверждено наблюдениями космонавтов других экипажей на орбитальной станции «Салют-6», что позволило существенно уточнить представление о широтном и сезонном распределении серебристых облаков. Результаты исследований из космоса позволили высказать предположение о том, что серебристые облака могут появляться практически на всех широтах северного и южного полушария.

5. Данных космических экспериментов пока недостаточно для того, чтобы сделать более определенные статистические выводы о глобальной климатологии серебристых облаков. Для этого необходимо накопить достаточно представительный статистический материал. При этом следует

учитывать, что на результаты космических экспериментов, так же как и на результаты исследований с поверхности Земли, оказывает влияние наличие благоприятных условий для наблюдений за серебристыми облаками.

6. Результаты космических экспериментов позволяют высказывать ряд предположений относительно зависимости между пространственными характеристиками поля серебристого облака и возможностью их обнаружения и наблюдения. Из космоса можно наблюдать серебристые облака в касательном к слою направлении («с ребра»). Поэтому даже если поле серебристых облаков горизонтально однородно, оно может быть обнаружено из космоса. С Земли горизонтально однородное поле серебристых облаков обнаружить невозможно, так как в таком поле отсутствуют контрасты, необходимые для его обнаружения.

7. Серебристые облака, по-видимому, могут существовать на любых широтах, а возможно, и в любое время года, но условия, необходимые для их уверенного наблюдения с Земли, могут возникать лишь в определенных широтно-сезонных интервалах. Это предположение не исключает возможного влияния на частоту появления серебристых облаков более благоприятных условий в мезопаузе в различных широтах в разные сезоны года. С началом космических исследований в области изучения серебристых облаков открываются новые большие возможности и перспективы. Несомненно, мы находимся на пороге новых открытий. Для того чтобы приблизиться к раскрытию природы серебристых облаков, необходима организация комплексных экспериментов, включающих в себя одновременные исследования как серебристых облаков, так и ряда геофизических процессов в атмосфере и состояния солнечной активности.

8. Для любых облаков основным условием их формирования считается наличие пылинки и концентрация вокруг неё капель воды, которая в холодном воздухе над поверхностью Земли, превращается в лёд. Для перламутровых облаков характерно присутствие в них химических примесей. В то время, как серебристые облака образуются за счёт метеоритной пыли, приходящей из космоса. Всё это лишний раз подчеркивает, что на климат Земли влияет не только то, что происходит непосредственно на её поверхности, но и то, что приходит к ней из космоса, из Вселенной. И какое из влияний сильнее должна показать наука и время.

Список использованной литературы

1. Атмосфера. Справочник.- Л., Гидрометеиздат, 1991.
2. Хвостиков И.А. Серебристые облака // Природа. 1952. №5. С.49 — 59.
3. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Хворостьянов В.И. Облака и климат.- Л., Гидрометеиздат, 1986.
4. Облака и облачная атмосфера. Справочник. (Под ред. И.П. Мазина, А.Х. Хргиана) - Л., Гидрометеиздат, 1989.

5. Гришин Н.И. Изучение движений серебристых облаков. Бюлл. ВАГО, 21, с. 52-60, 1958
6. Лазарев А.И., Бондур В.Г. и др. Космос открывает тайны Земли.- СПб., Гидрометеиздат, 1993.
7. Лазарев А.И., Калери А.Ю. Серебристые облака - явление атмосферно- космическое.- СПб, Гидрометеиздат, 2002.
8. Бронштэн В.А. Серебристые облака и их наблюдение. М., 1984.
9. Гаврилов А.А., Казанников А.М., Кайдалов О.В. // Астрономический вестник. 1997. Т.31. №5. С.472—479.
10. Исследование серебристых облаков.[Сборник работ]. Вып.1- Л., изд-во Ленинского университета, 1960.
11. Электронный журнал/Российский государственный гидрометеорологический университет.- СПб.:РГГМУ,2009.- Режим доступа к журналу: <http://www.cnews.ru/>
12. Электронный журнал/Российский государственный гидрометеорологический университет.- СПб.:РГГМУ,2009.- Режим доступа к журналу: <http://www.utro.ru/articles/>
13. Виллманн Ч.И., Лазарев А.И., Леонов А.А. Наблюдения мезосферных облаков из космоса на ночной стороне Земли. (Метеорологические исследования. Физика мезосферы и мезосферных облаков).- 1975. №22, с. 144-147.
14. Электронный журнал/Российский государственный гидрометеорологический университет.- СПб.: РГГМУ,2009.- Режим доступа к журналу: <http://itsnow.ru/nws/news:83407>
15. Данлоп С. Азбука звездного неба: Пер. с англ./ Под ред. и с предисл. А. В. Козенко.- М.: Мир, 1990., 238 с.
16. Филип Р. Гуд Возможность роста альбеда Земли и температуры поверхности планеты. - Еженедельное издание американского геофизического союза Eos,2005
17. Лазарев А.И., Севастьянов В.И., Савиных В.П. Серебристые облака: взгляд из космоса.- «Природа», №6, 1991.
18. Исследование серебристых облаков из космоса / Под редакцией канд. физ.-мат. наук О.Б. Васильева. – Л. Гидрометеиздат, 1987 – 181с.
19. Васильев О.Б. Астрофизические исследования серебристых облаков.- М.: изд-во Астросовета АН СССР, 1967.- 86 с.
20. Исследование по климатологии серебристых облаков. Сборник статей. [Ответ. ред. д-р физ.- мат. наук И.А. Хвостиков].- М., изд-во Академии наук СССР, 1963.
21. П. Г. Куликовский. Справочник любителя астрономии, 1971.
22. Андреев Л.А., Ключев О.Ф. Исследование процессов в верхней атмосфере методом искусственных облаков.- Л., Гидрометеиздат, 1991.
23. Атмосферно- оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту,1981
24. Коваль А.Д., Тюрин Ю.А. Космос- Земля. Международное сотрудничество в области прикладного использования космонавтики.- М., 1979
25. Лазарев А.И., Коваленок В.В., Авакян С.В. Исследование земли с пилотируемых кораблей.- Л., Гидрометеиздат,1987, с.306-321
26. Виллманн Ч.И. о пространственно- временных закономерностях появления со.- В кн.: Физика мезосферных облаков . Рига: ЗИнатне,1970,с. 103-113
27. Виллманн Ч.И. Каталог данных по серебристым облакам за период 1962-1967 гг.- М.: изд. МСЦД,1969.
28. Долгин И.М., Воскресенский А.И., исследование мезосферных облаков в полярных районах.- В кн.: Физика мезосферы и мезосферных облаков .М.: Наука,1975,с 122-124
29. Бессонова Т.Д. Видимая частота появления Серебристых облаков по наблюдениям станций сети Гидрометеорологической службы СССР.М., 1963

30. Васильев О.Б., Мельникова И.Н. Пространственно-временная статистическая модель появлений мезосферных облаков. М., Наука, 1975
31. Фаст Н.П. Проблема Тунгусского Метеорита. Томск, 1967, вып.2, с.232-234
32. Лазарев А.И., Николаев А.Н., Хрунов Е.В. Оптические исследования в космосе.- Л.: Гидрометеиздат, 1979.- 256 с.
33. Оптические исследования атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4».- Тарту, 1977, стр.53-66
34. Гринберг М. Межзвездная пыль.- М.: Мир, 1970.
35. Визуальные наблюдения и фотографирование серебристых облаков с борта орбитальной станции «Салют-4». (Ч.И. Виллманн, П.К.Климук и др.)- Тарту, 1977.
36. Атмосфера Земли с «Салют-6» (А.И.Лазарев, В.В.Коваленок).- Л., Гидрометеиздат, 1987.

The analysis of conditions of formation of silvery clouds and their influence on weather forming processes

V.F.Goverdovsky, E.G.Hafizova

*Russian state hydrometeorological university,
St.-Petersburg, Maloohitinsky pr., 98*

Article contains the description of history of studying of silvery and nacreous clouds, both from a surface of the Earth, and by means of meteorological rockets and means of remote sounding. The analysis of the received experimental data is resulted

Keywords: silvery clouds, atmosphere pollution, nacreous clouds, tropospheric overcast, chemical compound of clouds, optical effects, seasonal distribution, satellite «AIM»