

# **ПРИРОДА**

№ 6, 2005 г.

**Далин П.А., Перцев Н.Н., Ромейко В.А.**

## **Серебристым облакам 120 лет?**

© “Природа”

**Использование и распространение этого материала  
в коммерческих целях  
возможно лишь с разрешения редакции**



**Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”**  
(грант РФФИ 03-07-90415)

[vivovoco.nns.ru](http://vivovoco.nns.ru)  
[vivovoco.rsl.ru](http://vivovoco.rsl.ru)  
[www.ibmh.msk.su/vivovoco](http://www.ibmh.msk.su/vivovoco)

# Серебристым облакам 120 лет?

П.А.Далин, Н.Н.Перцев, В.А.Ромейко

**К**ак и в других сферах, в науке принято отмечать юбилеи. Они, как правило, привязаны к круглым датам выдающихся ученых, учреждению организаций, времени великих открытий или изобретений. Юбилей, о котором пойдет речь, необычный. Похоже, что 120 лет назад было сделано открытие природного явления, которого раньше просто не было.

Самые высокие облака в земной атмосфере — серебристые — образуются на уровне 80—85 км. Они появляются только ночью со второй половины мая до середины августа. Их можно наблюдать в Северном и Южном полушариях, но в достаточно ограниченном широтном поясе от 50° до 70°. Свое выразительное 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 облаков имеют темно-серый цвет (или совсем незаметны), поскольку не освещаются Солнцем в ночное время.

© Далин П.А., Перцев Н.Н.,  
Ромейко В.А., 2005



**Петр Александрович Далин**, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Института космических исследований РАН, в настоящее время работает в Институте космической физики (Кируна, Швеция). Занимается исследованием полярной мезосферы и волновых процессов средней атмосферы.



**Николай Николаевич Перцев**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики верхней атмосферы Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН. Специалист в области анализа наблюдений и моделирования процессов в верхних слоях атмосферы.



**Виталий Александрович Ромейко**, заведующий Звенигородской астрономической обсерваторией отдела астрономии и космонавтики Московского городского Дворца творчества на Воробьевых горах. Астроном и педагог, более 35 лет организует и проводит регулярные наблюдения серебристых облаков. Один из ведущих специалистов в этой области в нашей стране.

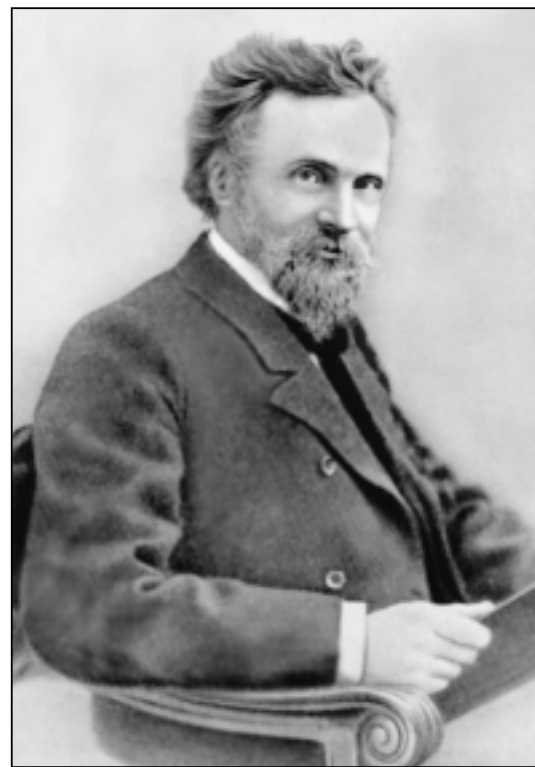
Международное их название Noctilucens clouds (ночные светящиеся облака), что наиболее точно отвечает их внешнему виду. В России их называют более романтично — серебристые.

## Открытие и первые достижения

Ночные светящиеся облака были обнаружены астрономами совершенно неожиданно и повсеместно на средних широтах целого ряда стран Европы. Так, 8 июня 1885 г. их наблюдал в Германии Т.Бакгауз, 10 июня в Чехии В.Ласка, начиная с 12 июня в России В.К.Цераский, 23 июня в Эстонии Э.Гартвиг, 23, 24, 30 июня и во многие ночи июля опять в Германии О.Йессе. Повсеместное появление ночных светящихся облаков во многом удивило ученых конца XIX в. Казалось странным, что при развитой европейской наблюдательной сети (а в то время в Европе и России работали десятки астрономических обсерваторий и сотни метеорологических станций) о них до этого времени ничего не знали. Правда, существовали отдельные наблюдения светящихся облаков в разное время, но описаний, которые однозначно указывали на типичные для серебристых свойства и морфологические формы, до 1885 г. не существовало [1]. Для сравнения можно взять другое ночное явление, вполне сопоставимое с серебристыми облаками по яркости и частоте появления на средних широтах, — полярные сияния, каталоги которых насчитывают более десяти достаточно подробных описаний, сделанных еще до нашей эры, и сотни — в средние века.

Первооткрыватели серебристых облаков независимо друг от друга дают их четкие характеристики. Так, приват-доцент Московского университета астроном Цераский отмечает: «Эти облака, отличаясь по виду от всех остальных, особенно за-

мечательны своим блеском; они ярко светились в ночном небе белым и серебристым светом, переходящим иногда в голубой, с золотисто-желтым оттенком возле горизонта. Случалось иногда, что здания были заметно освещены их светом и можно было даже различать далекие предметы. Иногда это были отдельные маленькие облачка, иногда они образовывали плотный слой или походили то на волны, то на морщинистую поверхность песчаной гряды. <...> Но наиболее характерной формой были узкие полосы, простиравшиеся то по прямой линии, то с изгибами, напоминая изрезанный берег с бухтами и заливами... Мне неоднократно возражали, что эти облака, возможно, существовали и до 1885 г., но что их не замечали. <...> С 1875 г. я наблюдаю с помощью фотометра и считаю эти наблюдения трудными... исключительно благодаря особому вниманию, с которым нужно следить за малейшим облачком или тончайшей дымкой. Мне было бы довольно трудно не заметить явления, которое порою охватывает не более не менее как весь небесный свод» [2]. Его немецкий коллега О.Йессе (именно он предложил термин «серебристые облака») специально отмечал, что летом 1884 г. неод-

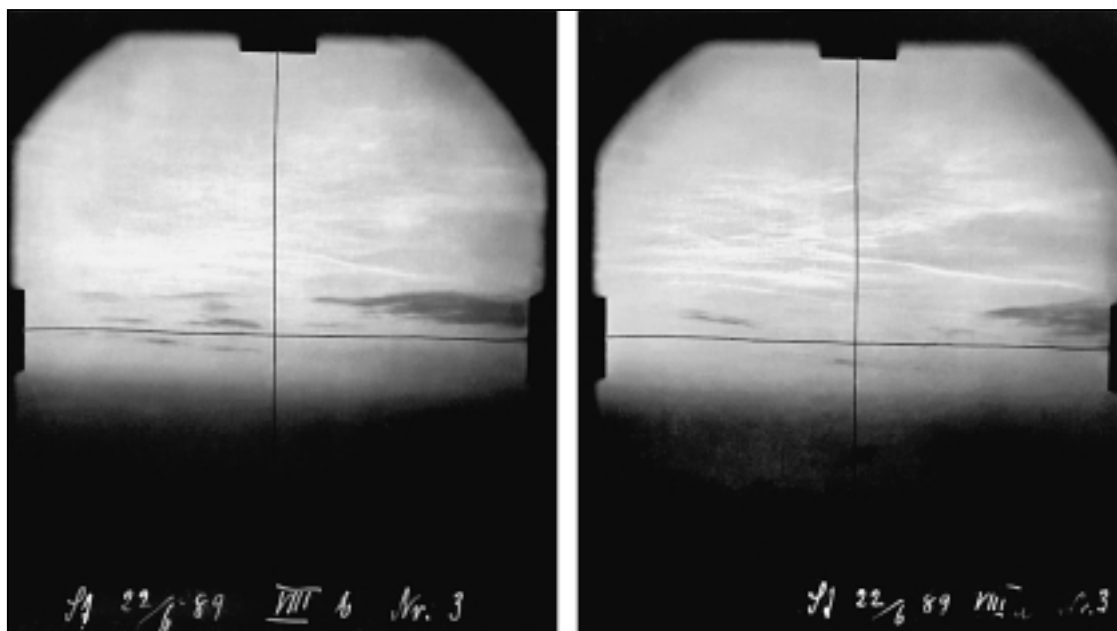


В.К.Цераский (1849—1925), астроном, первооткрыватель серебристых облаков в России.

нократно наблюдал красивые пурпурные зори и проводил много связанных с этим измерений, поэтому серебристые облака не могли бы ускользнуть от его внимания, если бы были видны тогда [3].

Вот некоторые начальные этапы изучения серебристых облаков.

В 1885 г. в России Цераский и А.А.Белопольский методом триангуляции определили вы-



Один из первых снимков серебристых облаков, полученный немецким астрономом О.Йессе в 1889 г.

**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ**


Так выглядела в конце XIX в. Московская обсерватория на Пресне — первое учреждение в России, заинтересовавшееся серебристыми облаками. Работа неизвестного художника начала XX в.



Н.И.Гришин (1925–1998), советский исследователь серебристых облаков. Фото 1955 г.

соту серебристых облаков, равную 75 км, а через два года Йессе получает их первые фотографии.

В декабре 1888 г. Штубенраух впервые наблюдает те же облака в Южном полушарии (в Чили), а через год на основе семи се-

рий фотограмметрических измерений, проведенных с точностью до 100–300 м, Йессе определяет высоты серебристых облаков, составившие в среднем 82 км (от 80.7 до 88.5 км).

30 июня 1908 г. более чем в 40 пунктах Западной Европы

и России наблюдают аномально яркие серебристые облака, связанные, как оказалось впоследствии, со взрывом Тунгусского метеорита.

В 1934 г. канадский ученый Е.Вестин оставил значительный по объему (за 48 лет) каталог появлений серебристых облаков, наблюдавшихся в Западной Европе, а также дал статистический анализ их связи с солнечной активностью, метеорными потоками, появлениями комет и вулканическими извержениями [4].

В 1951 г. известный советский исследователь Н.И.Гришин получил серию спектрограмм серебристых облаков, а через 10 лет, в 1961 г., астрофизик И.С.Астапович выпустил сводный каталог этих наблюдений в России и СССР за период с 1885 по 1944 г. [5].

Международный уровень исследования ночных облаков начался с Международного геофизического года (МГГ, 1957–1958). В наблюдениях были задействованы сотни метеостанций по всему миру, большой круг ученых и отдельные коллективы любителей астрономии, в СССР эту работу координировала специальная группа. К началу МГГ Гришин издал подробную инструкцию [6], содержащую рекомендации по организации наблюдений за серебристыми облаками и единые правила ведения журналов наблюдений (второе ее издание было переведено на французский и принято в качестве основного руководящего документа во всем мире). По результатам МГГ были собраны ценные статистические данные, включающие, как правило, время начала и конца появления серебристых облаков, их морфологический тип и оценку видимой яркости по глазомерной шкале. В отдельных случаях наблюдения сопровождалась теодолитной или фотосъемкой.

Начиная с 1957 г. серьезную роль в организации исследований серебристых облаков сыграло Всесоюзное астрономо-ге-

одезическое общество (ВАГО) при АН СССР. Благодаря усилиям работавших в нем десятков групп энтузиастов удалось охватить систематическими наблюдениями в летний период практически всю территорию страны в средних широтах. 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.

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 долговременных качественных баз данных — московская, которая включает однородные систематические наблюдения с 1962 г. по настоящее время [7, 8].

Главная цель анализа каталогов и баз данных — поиск статистических закономерностей в частоте появления и свойствах серебристых облаков. Так были получены представления о сезонном ходе, зависимости частоты появления от широты и угла погружения Солнца под горизонт, от лунной фазы, от планетарно-волновой активности, а также декадная (квазидесятилетняя) цикличность.

## Гипотезы и теории образования

По мере накопления фактов развивались и теоретические представления о новом явлении. Немецкий физик Ф.Кольрауш, пытаясь объяснить природу появления этих необычных облаков в 1885—1892 гг., связывает их с крупнейшим в истории человечества извержением вулка-

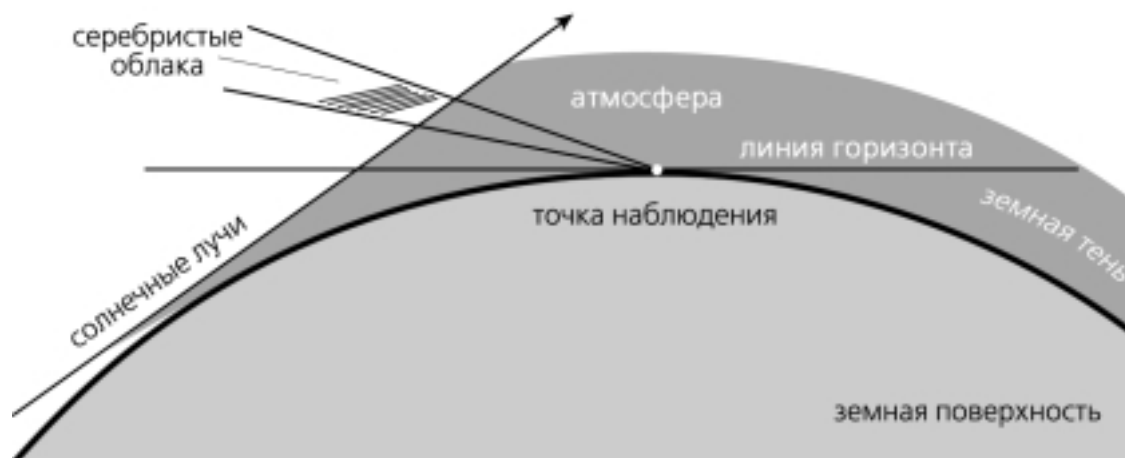


Схема освещения Солнцем серебристых облаков. Облака становятся видимыми, когда Солнце опускается ниже горизонта наблюдателя на  $6\text{--}18^\circ$ .

на Кракатау 27 августа 1883 г. Идея Кольрауша предельно проста — вулканическая пыль и водяной пар, выброшенные на большие высоты, замерзают, образуя туманные или ледяные облака. Йессе, поддерживая эту гипотезу в целом, 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 створании многочисленных метеоров, вторгающихся в земную атмосферу. Действительно, атмосфера ежедневно пополняется метеорным веществом массой около 100 т.

Однако 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 [9]. В отличие от метеорной, эта гипотеза объясняла, почему серебристые облака наблюдаются из года в год не-

изменно 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, очень низкая температура, наличие мельчайших частиц, на которых конденсируются пары воды, превращаясь в лед.

Одновременно три эти условия встречаются нечасто. Во-первых, влажность в мезопазузе (области температурного минимума), расположенной на несколько километров выше слоя,

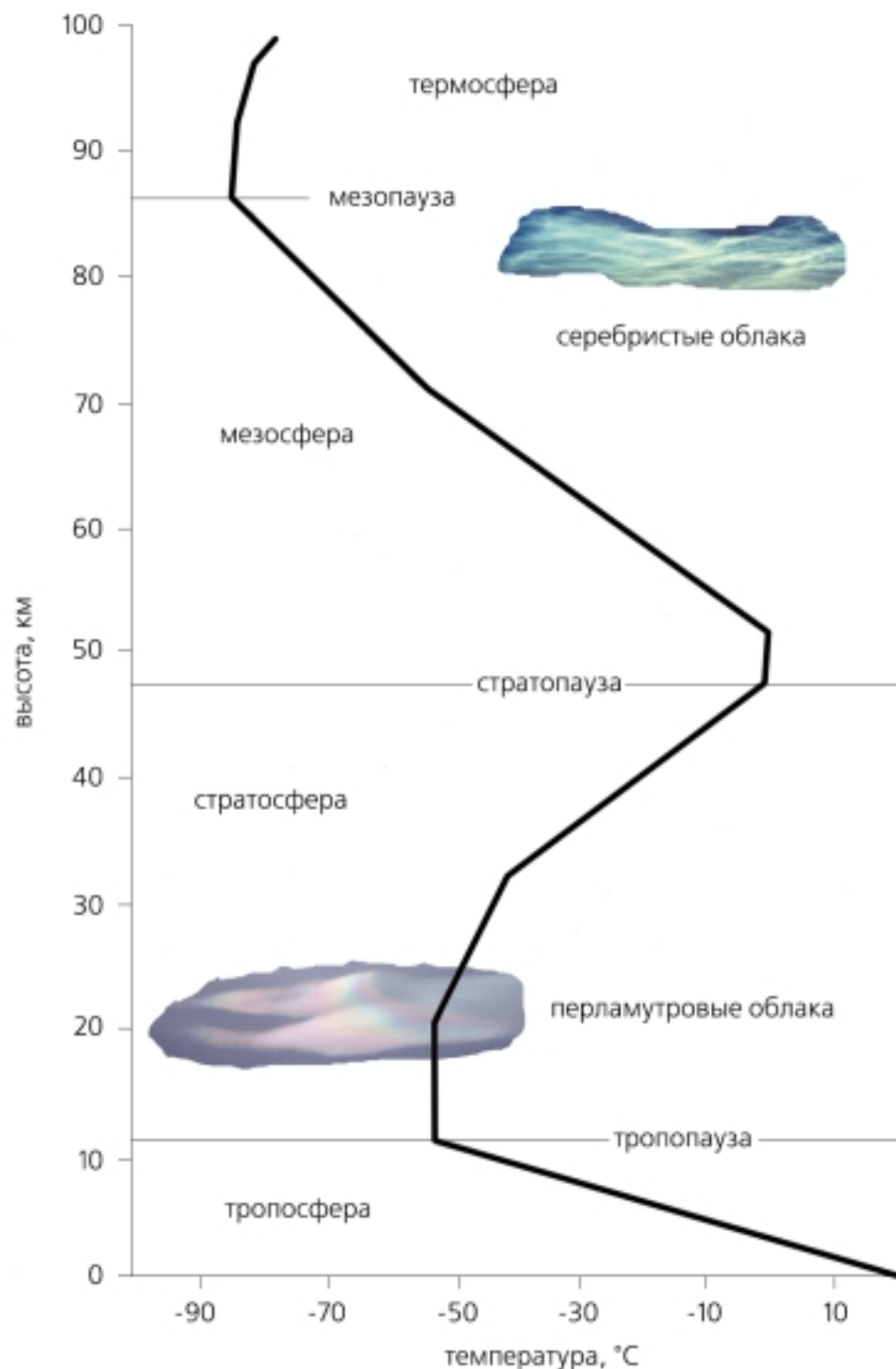
**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ**


Схема строения земной атмосферы (профиль температуры). Показаны области образования перламутровых и серебристых облаков.

в котором наблюдаются серебристые облака, ничтожно мала: на один миллион молекул воздуха приходится всего лишь несколько молекул  $H_2O$  (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. Второй источник — разрушение молекул метана в мезосфере под воздей-

ствием 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 водяных паров 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  $-120^\circ C!$ ), 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, мы можем 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 же происходит охлаждение мезопаузы до требуемых низких температур? Мезосфера и мезопауза одного полушария (скажем, Северного) в летнее время освещены Солнцем круглосуточно, в то время как Южного не освещены совсем. И хотя житейский опыт подсказывает, что температура в освещенной мезосфере должна быть выше, чем температура в неосвещенной, наблюдения показывают, что самое холодное место на Земле (до  $-150^\circ C!$ ) — как раз летняя мезопауза.

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 к 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. 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  $H_2O$ , 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, приблизительно на высо-

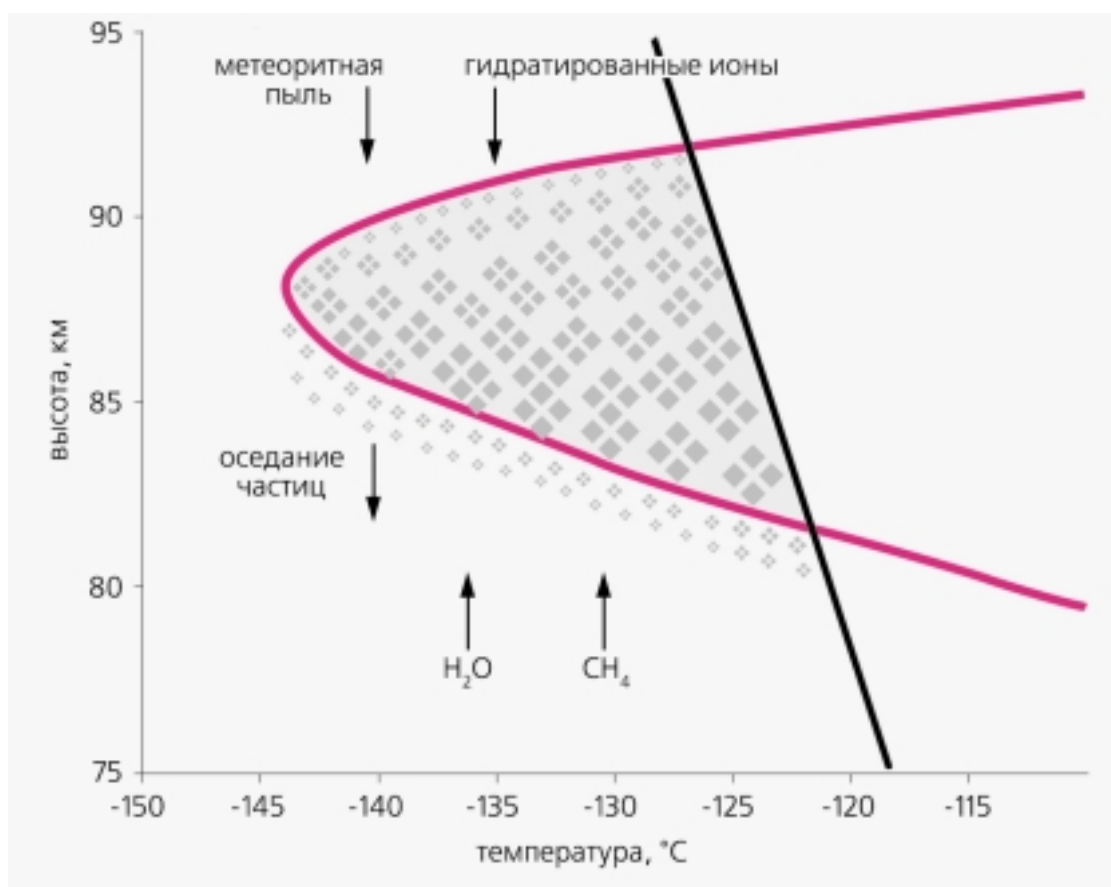


Схема образования ледяных частичек серебристых облаков. Цветная линия — профиль температуры вблизи мезопаузы, черная — максимальная температура, при которой возможна конденсация паров воды в ледяные кристаллы (точка инея). В области, ограниченной цветной кривой и черной прямой, происходит образование 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 и метана ( $CH_4$ ).

те 90 км лед начинает намерзать на ядрах конденсации. Но 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. 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 кристал-

лов до видимого размера возможен только при условии перенасыщения водяных паров над 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 [10–11].

### Динамика серебристых облаков — медленные и быстрые процессы

Для верхней атмосферы Земли характерны динамические процессы, различающиеся по продолжительности и пространственному масштабу влияния.

## ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

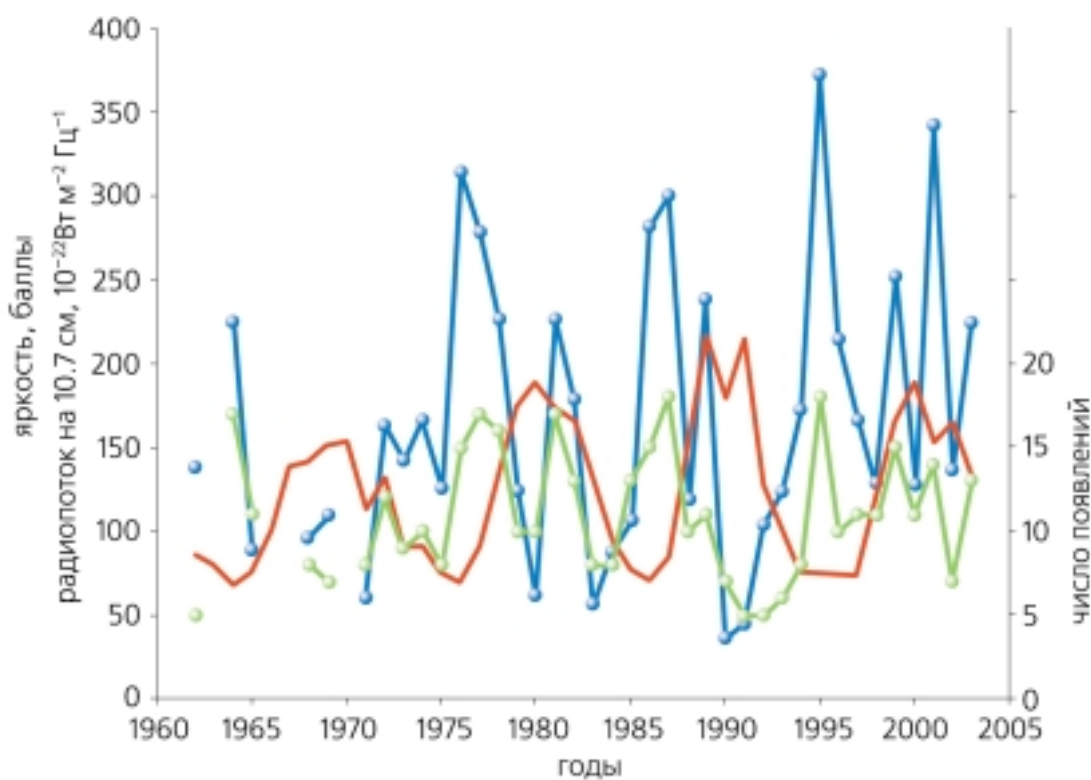


Мощное поле серебристых облаков над тунгусской тайгой 16 июля 1988 г. Видна волновая структура, состоящая из пересечения крупных и мелких волн.

Фото В.А.Ромейко

Наиболее заметные многолетние изменения атмосферных параметров — 11-летний цикл, связанный с солнечной активностью, и квазидвухлетняя цикличность. К долговременным процессам можно отнести колеба-

ния воздуха с периодами в 5, 10 и 16 дней (планетарные волны). Гравитационные волны с периодами несколько часов и длинами волн несколько сотен километров, суточные и полусуточные лунные и солнечные приливы



Соотношение между годовыми вариациями числа появлений серебристых облаков (зеленая кривая, правая шкала), суммарной яркостью облаков (синяя кривая, левая шкала) и 10-летним циклом солнечной активности (красная кривая, левая шкала). Циклические изменения активности Солнца представлены в виде изменения потока радиоизлучения на длине волны 10.7 см, усредненные за июнь—июль каждого года. Временные ряды взяты из Московской базы данных [7]. Видно, что в общих чертах действительно наблюдается антикорреляция между солнечным циклом и годовыми вариациями в серебристых облаках.

относят к классу короткопериодических возмущений.

Серебристые облака непосредственно вовлечены во весь этот комплекс динамических процессов и в той или иной степени отражают их сложное переплетение. Хорошо развитое поле серебристых облаков представляет собой фантастическую картину, достойную кисти мастера. Серебристо-белесая пелена заполняет сумеречное небо, гигантские волны и валы «бриллиантового» цвета пересекаются друг с другом, двигаются в различных направлениях, исчезают и появляются вновь. Небольшие гребни и гребешки, подобные легкой ряби на поверхности озера, заполняют пространство между большими волнами, создавая иллюзию водной поверхности беспокойного моря. Иногда можно наблюдать отдельные ветви, закрученные в спирали, — признаки вихревых движений в мезопаузе, связанных с сильными турбулентными процессами.

Продолжительность видимости серебристых облаков изменяется в широких пределах. Их появление и исчезновение в течение четверти часа может заметить только опытный наблюдатель. Как правило, возникает слабая по яркости серебристая пелена (флер), на которой можно различить небольшие волновые очертания. Случается, что яркие поля, прекрасно различимые на фоне сумеречного сегмента и занимающие его большую часть, видны на протяжении от двух до пяти часов. При этом свечение одного края поля может слегка усиливаться, затем разгорается его центральная часть, и, наконец, высвечивается противоположный край. Иногда заметны несколько отдельных ярких серебристых полей, разделенных темными областями, что связано с прохождением атмосферной гравитационной волны большого масштаба (несколько сотен километров), на гребнях которой образуются самостоя-



тельные области серебристых облаков.

Часто возникает вопрос: связаны ли серебристые облака с солнечной активностью? Безусловно, поскольку она является мощнейшим фактором многолетней динамики земной атмосферы в целом. Верхняя атмосфера (и мезопауза в частности) чутко реагируют прежде всего на изменение потока ультрафиолетового (УФ) излучения в 11-летнем цикле. Как уже отмечалось, оно вызывает фотодиссоциацию молекул водяных паров на высотах 60—90 км. Соответственно, вариации в его потоке приводят к изменениям в количестве водяного пара в верхней атмосфере. В годы максимума солнечной активности поток УФ-излучения в большей степени разрушает молекулы  $H_2O$ , чем в годы с минимальной активностью Солнца. По этой причине количество водяных паров в мезопаузе (на высоких широтах) может быть несколько меньше в годы максимума, чем в период минимума солнечного цикла [12]. Значит, можно ожидать, что в годы максимальной активности число появлений и яркость серебристых облаков будет меньше, а в годы минимума — выше. И действительно, такая закономерность (антикорреляция) существует.

Однако не все так просто. Существует определенный фазовый сдвиг (1—3 года) между циклом активности Солнца и вариациями в параметрах серебристых облаков: максимум в активности облаков наблюдается спустя 1—3 года после минимума солнечной активности. Если бы существовала прямая связь между изменениями в потоке УФ-излучения и вариациями в количестве водяных паров в мезосфере, такой сдвиг не должен бы наблюдаться. Кроме того, многолетний цикл активности серебристых облаков (более чем за 40 лет) показывает вариации с периодом 2—5 лет, которых нет в цикле сол-

нечной активности. Имеется еще один немаловажный факт: период многолетних вариаций серебристых облаков составляет  $9.4 \pm 0.2$  года, что примерно на год меньше периода солнечной активности. Поэтому напрашивается такой вывод: прямой и однозначной связи между циклом активности Солнца и многолетними вариациями в серебристых облаках нет. Действительно, земная атмосфера живет «собственной жизнью», в ней присутствуют многочисленные процессы и колебания, не совпадающие с циклом солнечной активности, поэтому мы вправе ожидать, что на вариации в серебристых облаках влияет сложная комбинация, состоящая из атмосферных колебаний и изменений активности Солнца. Какие же именно атмосферные процессы играют решающую роль в ежегодных вариациях свойств серебристых облаков, пока, к сожалению, неизвестно.

Планетарные волны с периодами 5, 10, 16 дней также оказывают существенное влияние на верхнюю атмосферу. Так, при прохождении планетарных волн через мезопаузу температура воздуха может последовательно увеличиваться и уменьшаться на  $5-15^\circ C$ , что приводит к образованию или полному разрушению серебристых облаков.

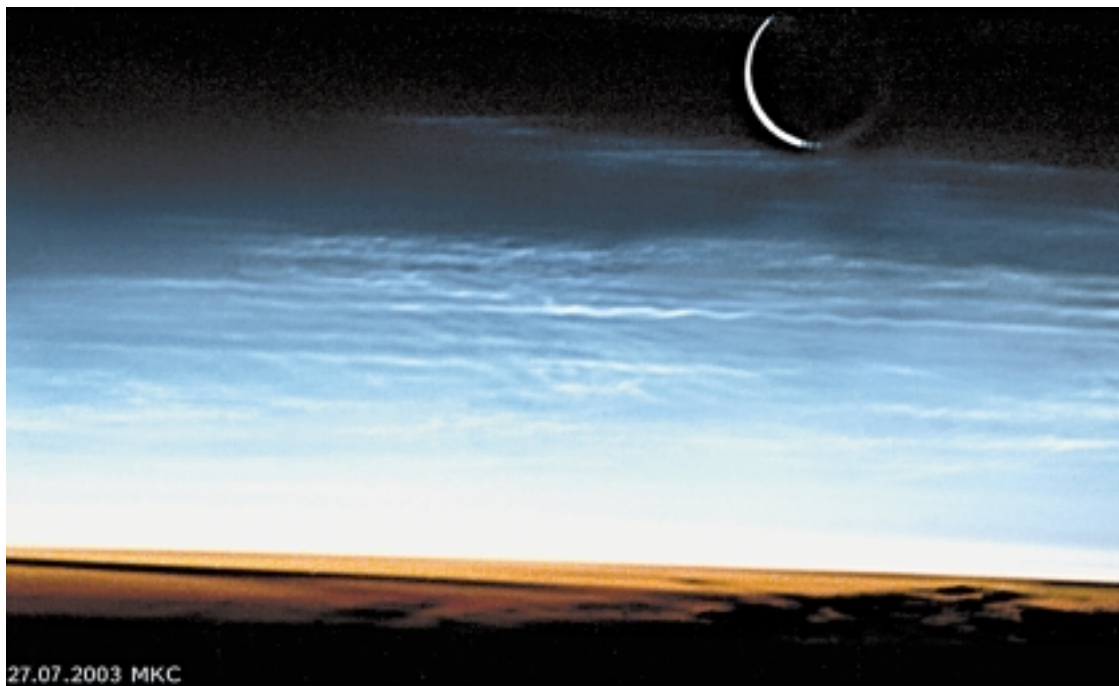
За быстрые изменения в яркости и формах облаков в течение нескольких часов и даже нескольких минут ответственны атмосферные гравитационные волны. Визуальные наблюдения демонстрируют, что в ярких облаках всегда присутствуют небольшие гравитационные волны, которые при своем движении локально изменяют яркость отдельных областей (в основном за счет геометрического эффекта), но не ослабляют яркость поля в целом и не приводят к его разрушению. В то же время более длинные и медленные гравитационные волны могут формировать отдельные поля серебристых облаков.

## Из космоса и с Земли

Впервые сверху серебристые облака увидел 18—19 марта 1965 г. космонавт А.А.Леонов с космического корабля «Восход-2», а затем, 9 июня 1970 г., — В.И.Севастьянов с борта космического корабля «Союз-9». (5 июня 1969 г. образования, похожие на серебристые облака, зарегистрировал фотометр американского спутника «OGO-6» над полярной областью. Рассеивающий слой тогда находился на высоте 84.3 км над дневной поверхностью, что, впрочем, не противоречило земным наблюдениям: часто, видя яркие поля серебристых облаков низко у горизонта на широте  $60^\circ$ , мы не предполагаем, что они находятся за Полярным кругом, т.е. в области незаходящего Солнца!) А в июле 1973 г. американский исследователь П.Вейц зафиксировал серебристые облака с борта орбитальной станции «Скайлэб».

Значительное внимание серебристым облакам уделяли отечественные космонавты: В.В.Коваленков, Г.М.Гречко, А.С.Иванченков, В.П.Савиных, В.Г.Титов, А.Ю.Калери. В течение нескольких минут им удавалось увидеть то, на что наблюдателям с Земли требовалась ночь. Неоднократные беседы с космонавтами позволили составить некоторую обобщающую картину вида серебристых облаков из космоса: они наблюдаются всегда «с ребра», в узком слое атмосферы толщиной около  $2.5^\circ$ , но никогда сверху на фоне Земли (из-за малой оптической толщины облаков); максимальное время одного наблюдения составляет 10—15 мин, а чаще всего 5—7 мин (из-за большой скорости орбитальной станции на высоте примерно 350 км); определенной концентрации облаков над какими-либо областями (вулканами, материками, горными массивами) пока не обнаружено.

Неоднократно делались попытки провести совместные наблюдения как с Земли, так и из

**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ**


Вверху — 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. В середине — работа художника Н.Федорова «Серебристые облака над тунгусской тайгой», написанная 16 июля 1988 г. Внизу — серебристые облака 3 июля 1933 г. под Ленинградом.

Фото Е.Л.Кринова

космоса, но по целому ряду причин это не удавалось. И только в ночь с 26 на 27 июля 2003 г. впервые были получены снимки одного и того же протяженного поля серебристых облаков с борта Международной космической станции астронавтом Э.Лу, Звенигородской обсерваторией под Москвой и на Урале, в районе Перми.

Что же нового дают наблюдения из космоса? Одно из преимуществ перед наземными — возможность регистрации в широкой полосе широт и долгот. Данный метод позволяет получить крупномасштабную структуру полей серебристых облаков. Другое преимущество — возможность работать в спектральных диапазонах волн, которые не доходят до поверхности Земли из-за поглощения земной атмосферой. Так, на спутниках НАСА используются ультрафиолетовые фотометры, работающие на длинах волн 252–292 нм, которые измеряют интенсивность солнечного света, отраженного частицами серебристых облаков под различными углами по отношению к падающему от Солнца свету. При этом спутник, в отличие от земного наблюдателя, не ограничен погодными условиями и временем суток, примыкающим к границе дня и ночи.

Решение сложных задач, связанных с динамикой ночных облаков, требует проведения комплексных, долговременных наблюдений как с Земли, так и из космоса. В настоящее время американские ученые готовятся к реализации нового космического проекта AIM (Aeronomy of Ice in the Mesosphere). Его задача заключается в исследовании полярных мезосферных облаков, возникающих ближе к полюсу (за 70°с.ш.), — ближайших родственников серебристых облаков средних широт. Разница между ними не столько в строении и физических характеристиках, сколько в условиях наблюдения. Основная задача проекта состоит в том, чтобы изучить причины образования

этих облаков и их динамику. Результаты миссии AIM станут хорошей проверкой современных теорий, которые предполагают наличие определенной связи между динамикой полярных мезосферных облаков и глобальными климатическими изменениями, связанными с загрязнением атмосферы. В рамках проекта запланировано исследование пространственного распределения этих облаков в мезосфере над Северным и Южным полюсами, определение размеров ледяных частиц и состава ядер конденсации, изучение активности атмосферных гравитационных волн, исследование аэрозолей и притока метеорной пыли в атмосферу Земли, определение вертикальных профилей температуры воздуха, количества водяного пара и содержание других химических компонентов (ОН, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NO).

Запуск аппарата запланирован на осень 2006 г., срок его службы рассчитан минимум на два года. Информацию об этом интересном проекте и других исследованиях мезосферных облаков можно найти в Интернете (сайты <http://aim.hamptonu.edu>, [www.tunguska.ru](http://www.tunguska.ru)).

Наземные наблюдения серебристых облаков не теряют своей актуальности. Современные цифровые технологии и средства коммуникации позволяют организовать наблюдения на новом качественном уровне. Было бы полезно организовать единую сеть цифровых фотокамер, разделенных по широте и долготе

сравнительно небольшими расстояниями порядка 50 км, т.е. создать «сотовую» структуру из фотокамер с размером ячейки 50×50 км. Реализовать этот проект на густонаселенных территориях с хорошо развитыми средствами связи вполне возможно. В настоящее время цифровые фотокамеры достигли отличного качества при своей сравнительно небольшой стоимости. С другой стороны, возможности Интернета позволят объединить камеры в единую сеть с минимальными затратами.

Единая программа может автоматически управлять камерами, включать и выключать их в заданное время, производить съемку через определенный временной интервал (например, 1 кадр через одну минуту), устанавливать необходимые параметры съемки с учетом освещенности сумеречного сегмента неба. Цифровые фотографии могут размещаться на общем сервере и подвергаться стандартной автоматизированной обработке для определения наличия серебристых облаков в данном наблюдательном пункте. В случае появления облаков в каком-либо месте возможно мгновенное оповещение остальных наблюдателей. Специальные программы могут также обрабатывать фотографии серебристых облаков с целью определения их яркости, границ полей, морфологических форм и других характеристик.

Мы уверены, что данная схема наблюдений существенно продвинет вперед исследование ди-

намики серебристых облаков в пространстве и времени, поможет создать наиболее детальную карту полей облаков над земной поверхностью и тем самым проследить их полный путь от образования до исчезновения.

\* \* \*

Уже в течение 120 лет серебристые облака наблюдаются на летнем сумеречном небе в области широт 50–70°. Хотя за это время о них удалось узнать довольно многое, вопросы, в том числе и ключевые, до сих пор остаются открытыми. Пожалуй, наиболее важный и в то же время наиболее трудный из них — что же случилось с атмосферой Земли в 1885 г.? Почему серебристые облака не появлялись до этого времени, а потом наблюдались почти каждый летний сезон? В этом смысле возникновение феномена серебристых облаков 120 лет назад можно считать примером глобального (охватившего оба полушария) нового явления, разделившего историю на «до того» и «после того».

В истории нашей планеты были, конечно, и другие более известные события, за которыми пока что не последовала реставрация прежнего состояния. Это возникновение жизни, образование кислородной атмосферы, превращение Сахары и других низкоширотных территорий в пустыни... Серебристые облака показывают нам, что эволюция продолжается, и заставляют лишний раз задуматься, что нас ждет впереди. ■

## Литература

1. Бронштэн В.А., Гришин Н.И. Серебристые облака. М., 1970.
2. Ceraski W. //Annales de l'Observatoire de Moscou. 1890. Ser.2. V.2. P.177—180 (франц.).
3. Jesse O. // Meteor. Z. 1888. V.5. P.90—94.
4. Vestine E.H. // J. Roy. Astr. Soc. Canada. 1934. V.28. №6, 7. P.249—272, 303—317.
5. Астапович И.С. // Труды VI совещания по серебристым облакам. Рига, 1961. С.49—92.
6. Гришин Н.И. Инструкция для наблюдений серебристых облаков. М., 1957.
7. Ромейко В.А., Перцев Н.Н., Далин П.А. // Геомагн. и аэр. 2002. Т.42. №5. С.702—707.
8. Romejko V.A., Dalin P.A., Pertsev N.N. // J. Geophys. Res. 2003. V.108. №D8. P.8443.
9. Хвостиков И.А. Серебристые облака // Природа. 1952. №5. С.49—59.
10. Бронштэн В.А. Серебристые облака и их наблюдение. М., 1984.
11. Гаврилов А.А., Казанников А.М., Кайдалов О.В. // Астрономический вестник. 1997. Т.31. №5. С.472—479.
12. Thomas G. E., Olivero J. // Advances in Space Research. 2001. V.28. №7. P.937—946.