

Д 23

Л 17

А. И. ЛАЗАРЕВ, Е. В. ХРУНОВ

**ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ
С КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ
«ВОСХОД-2»**



**ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1975**

Д 234.2 + В 631.6

УДК 551.593

Л 17

Под редакцией
проф. А. И. Лазарева

В 1965 г. А. А. Леонов впервые в мире совершил выход в открытый космос, выполнил большую программу научных исследований и благополучно возвратился в корабль. Впоследствии А. А. Леонов запечатлел на картинах ряд наблюдавшихся им атмосферно-оптических явлений на ночном и сумеречном горизонте Земли. Многие картины имеют не только художественную, но и научную ценность. Анализ изображенных на картинах результатов визуальных наблюдений позволил уточнить возможности исследования из космоса солнечной короны и излучения верхней атмосферы Земли. По-видимому, впервые было высказано предположение о заметном френелевском отражении Солнца от атмосферы Земли под небольшими углами скольжения. В дальнейшем эта идея была использована для объяснения и предсказания ряда оптических эффектов. Также, вероятно, впервые удалось найти возможность обнаружения и исследования серебристых облаков из космоса на ночной стороне Земли. Показаны особенности наблюдения цветового сумеречного ореола с различных высот.

Брошюра рассчитана на специалистов в области атмосферной оптики, астрономии и геофизики.

A. A. Leonov was the first man to come out to the space in 1965, carried out a broadbased scientific effort and returned safely to the ship.

Having returned from the space A. A. Leonov pictured a number of atmospheric optical phenomena observed on the night and twilight horizon of the Earth. Many pictures are not only of artistic, but scientific value. The analysis of pictured results of visual observations enabled one to observe the solar corona and radiation of the upper Earth's atmosphere from the space with more precision. The assumption of marked fresnel reflection of the Sun from Earth's atmosphere at glazing angles seems to be proposed for the first time. Furthermore the idea was used in explanation and prediction of a number of optical effects. Probably, the possibilities were first found as well for location and investigation of noctilucous clouds from the space at night side of the Earth. The peculiarities of observation of coloured twilight corona at different altitudes were shown,

This booklet aims to be a guide to specialists in atmosphere optics, astronomy and the like.

ВВЕДЕНИЕ

18 марта 1965 г. в 10 часов по московскому времени на орбиту искусственного спутника Земли был выведен космический корабль «Восход-2», пилотируемый Павлом Ивановичем Беляевым и Алексеем Архиповичем Леоновым. Через полтора часа после вывода корабля на орбиту Алексей Архипович Леонов впервые в мире совершил выход в открытый космос, выполнил большую программу научных исследований и благополучно возвратился в корабль.

Подготовка к выходу в открытый космос началась через три года после полета Ю. А. Гагарина на космическом корабле «Восток». 3 июня 1964 г. была определена группа в составе П. И. Беляева, А. А. Леонова, Е. В. Хрунова и В. В. Горбатко, которая приступила к подготовке к полету на корабле «Восход-2» с задачей выхода человека в космос. На корабле «Восход-2» была создана шлюзовая камера, через которую предстояло выйти в открытый космос. Программа работы экипажа многократно отрабатывалась в условиях невесомости при полете на самолетах. Отрабатывались все возможные варианты действий экипажа в условиях, не предусмотренных программой, вплоть до того, что должен делать командир экипажа в случае потери сознания или ухудшения работоспособности у выходящего космонавта на любом этапе выхода.

Этот замечательный космический эксперимент, имевший огромное научное и практическое значение и явивший собой новый этап в освоении Вселенной, широко известен во всем мире. О первом выходе человека в открытый космос написано много научных и популярных статей и книг, в которых подробно рассказывается о всех этапах выдающегося эксперимента, прославившего советского человека, советскую науку и технику.

Значительно меньше известны результаты визуальных наблюдений атмосферно-оптических явлений на ночном и сумеречном горизонте Земли, впервые выполненных А. А. Леоновым во время 26-часового полета космического корабля «Восход-2». Это

произошло потому, что в первое время после полета «Восхода-2» все внимание было сосредоточено на анализе материалов, полученных во время выхода в открытый космос, результатам же визуальных наблюдений не было уделено достаточного внимания.

Первыми впечатлениями о результатах наблюдений во время выхода в открытый космос А. А. Леонов поделился на пресс-конференции, состоявшейся 26 марта 1965 г. в Актовом зале Московского университета [23]:

«Необъятный космос предстал передо мной во всей своей неописуемой красоте. Первый взгляд на Землю. Она величественно проплывала перед глазами. Земля казалась плоской. И только кривизна по краям напоминала о том, что она все-таки шар. Несмотря на достаточно плотный светофильтр, я видел яркие облака, лазурь Черного моря, кромку побережья, Кавказский хребет, Новороссийскую бухту. Наступила пора покинуть корабль и выйти в космос. . .

.. Перед моими глазами медленно стал разворачиваться наш чудесный космический аппарат. Я ожидал увидеть резкие контрасты света и теней, но ничего подобного не было. Находящиеся в тени части корабля были достаточно хорошо освещены отраженными от Земли лучами Солнца.

Немного потянул на себя фал и стал медленно приближаться к борту. Затем я снова оттолкнулся от корабля и, поворачиваясь вокруг поперечной оси, стал медленно отходить от корабля. Перед глазами открылось величие космического пространства. Яркие немигающие звезды на фоне темно-фиолетового с переходом в бархатную черноту бездонного неба сменялись видом Земли. Передо мною проплывали величавые зеленые массивы, я узнал Волгу, горный хребет седого Урала, потом увидел Обь, Енисей, как будто я проплывал над огромной красочной картиной. Расстояние не позволило определить города и детали рельефа, но тому, кто знаком с кистью и мольбертом, трудно подыскать более величественную картину, чем та, которая открывалась передо мною. Солнце яркое, как бы вколоченное в черноту неба, проникая лучами через забрало гермошлема, ощутимо согревало лицо. Затем опять звезды, земные просторы».

Возвратившись из космоса, А. А. Леонов по результатам своих наблюдений и эскизам, выполненным на борту космического корабля «Восход-2», написал красочные картины «Утро в космосе», «На орбите — большая космическая станция», «Голубой пояс Земли» и др. Репродукции этих картин были опубликованы в четырех альбомах А. А. Леонова и А. К. Соколова, изданных в 1967—1972 гг. [16—19].

Многие картины А. А. Леонова представляют не только художественную, но и научную ценность. Юрий Алексеевич Гагарин в предисловии к первому альбому картин А. А. Леонова и А. К. Соколова [16] высказал смелое предположение: «Кос-

мос бесконечно разнообразен. По мере проникновения в межпланетное пространство все чаще будут встречаться с такими явлениями, о которых до этого вообще ничего не было известно. Но ведь именно эти новые проблемы, о которых мы сейчас и не догадываемся, и обеспечивают те качественные скачки, которые существенно расширяют наши знания законов природы... В рисунках, опубликованных в альбоме, через призму художественного восприятия рассказывается о том, что уже известно науке, а также и о том, что ученые еще сегодня не знают. В научных исследованиях часто бывают «неожиданные» гипотезы и «неожиданные» результаты. Так поступают иногда и авторы рисунков».

Это предвидение Ю. А. Гагарина прекрасно подтвердилось при анализе атмосферно-оптических явлений, запечатленных на картинах А. А. Леонова.

Детальное и всестороннее изучение результатов визуальных наблюдений с космического корабля «Восход-2» началось после встречи с А. А. Леоновым 20 мая 1972 г. в Звездном Городке. Алексей Архипович подробно рассказал о наиболее ярких впечатлениях и весьма важных и интересных для науки наблюдениях и показал альбомы репродукций своих картин и оригиналы некоторых рисунков. Изучение всех материалов, полученных с космического корабля «Восход-2», позволило впервые обнаружить ряд неизвестных ранее атмосферно-оптических явлений на ночном и сумеречном горизонте Земли. При этом некоторые «неожиданные» результаты удалось объяснить только в свете современных представлений.

Анализ картины «Утро в космосе» позволил существенно уточнить возможность наблюдения гео- и гелиокороны из космоса. По этой же картине были выяснены особенности наблюдения цветového сумеречного ореола с различных высот.

Изображенное на картине «На орбите — большая космическая станция» явление, по-видимому, впервые натолкнуло на мысль о способности атмосферы Земли создавать заметное френелевское отражение под небольшими углами скольжения. В дальнейшем эта идея была использована для объяснения и предсказания ряда атмосферно-оптических эффектов для планет и комет, обладающих плотной атмосферой.

Так же, вероятно, впервые удалось найти возможность обнаружения и исследования серебристых облаков из космоса на ночной стороне Земли.

НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

Анализ результатов оптических наблюдений с космического корабля «Восход-2» начнем с явления, изображенного А. А. Леоновым на картине «Утро в космосе» (в некоторых альбомах А. А. Леонова и А. К. Соколова она названа «Восход Солнца в космосе»). Эта картина полностью документальна. Эскиз к ней был выполнен А. А. Леоновым во время полета цветными карандашами на страницах боржурнала. На картине изображено восходящее Солнце, окруженное лучами его короны. Лучи простираются почти до двух радиусов светила, считая от его центра.

Ученые были уверены в невозможности наблюдения короны с борта космического корабля, по крайней мере в дневное время при высоком положении Солнца [33]. Эту точку зрения специалисты в общем правильно обосновывали тем, что рассеянный свет иллюминаторов должен мешать прямому наблюдению не очень яркой солнечной короны. Поэтому ее исследования из космоса рекомендовалось вести так же, как это делают на Земле: либо наблюдать корону во время затмения светила, либо применять коронограф — сложный и громоздкий прибор с закрывающим прямое изображение Солнца непрозрачным экраном. Такой прибор был установлен на американской орбитальной станции «Скайлэб», запущенной в космос в 1973 г.

Ну, а если Солнце находится у горизонта Земли? Можно ли увидеть тогда гелиокорону без всяких приборов? Ведь в этом случае лучам Солнца приходится пронизывать плотные слои атмосферы, вследствие чего уменьшается яркость оптических помех от рассеянного излучения иллюминаторов. Но появляется другая помеха — естественный фон в виде сумеречного излучения земной атмосферы. От соотношения этих двух факторов и зависит возможность визуального наблюдения гелиокороны.

В связи с оптическими наблюдениями, проведенными с космических кораблей «Восход-2», «Союз-3» и «Союз-9» [3, 22], большой интерес представляет анализ возможности исследования гелиокороны из космоса на фоне светящегося слоя атмосферы Земли вблизи горизонта непосредственно перед восходом

либо сразу после захода Солнца за горизонт. С другой стороны, интересно рассмотреть возможность исследования геокороны¹ на фоне солнечной короны и зодиакального света в тех же условиях наблюдения. При наблюдении гелиокороны естественный фон в направлении наблюдения создается геокороной и рассеянным атмосферой солнечным излучением, для геокороны естественный фон в направлении наблюдения создают гелиокорона и зодиакальный свет. Диск Земли выполняет роль непрозрачного экрана для прямого солнечного излучения. Возможность обнаружения из космоса короны Солнца, «покрытого» диском Земли, для каждой фиксированной высоты орбиты космического корабля (КК) в первую очередь определяется соотношением между яркостью гелиокороны, которая зависит от элонгации, и яркостью геокороны и рассеянного излучения атмосферы, которые зависят от оптического состояния атмосферы, условий освещения Солнцем верхней атмосферы и направления визирования.

Соотношение между вкладом рассеянного излучения и вкладом эмиссионного излучения атмосферы обусловлено в основном углом погружения Солнца под горизонт и направлением визирования (или высотой перигея линии визирования в данной меридиональной плоскости). В видимой области спектра (400—800 нм) на высотах до 90—100 км основной вклад вносит рассеянное излучение атмосферы, а выше 100 км яркость атмосферы (геокороны) определяется главным образом эмиссионным излучением [35].

Расчеты рассеянного излучения сумеречной атмосферы у горизонта проведены для оптической модели земной атмосферы, использованной в работе [26]. Оценки визуальной яркости геокороны выполнены по опубликованным результатам ракетного зондирования в отдельных эмиссионных линиях [35]. В отдельных линиях и полосах геокороны для визуальной яркости наиболее существенны линии атомарного кислорода (557,7; 630 нм) и натрия (589,3 нм). Вклад других заметных линий и полос незначителен либо вследствие небольшой интенсивности (например, 520 нм), либо вследствие малых значений коэффициента видности (например, 391,4; 760 нм).

Как показывают результаты исследований, полученные при ракетном зондировании, дневное излучение зеленой линии атомарного кислорода (557,7 нм) локализовано в основном на высотах 90—200 км с двумя максимумами объемного излучения (примерно 100 и 170 км) и интенсивностью в зенитном направлении 1—2 kR. Результаты измерения, полученные при подъеме и спуске ракеты [35], несколько различаются между собой. Учитывая характер траектории ракеты, это различие, по-видимому, можно

¹ Геокорона — эмиссионное излучение верхней атмосферы Земли. В видимой области спектра на дневной стороне Земли геокорона начинается на высоте около 100 км и простирается для отдельных эмиссий до высоты около 1000 км.

рассматривать как подтверждение вывода о горизонтальной неоднородности геокороны. Согласно оценкам, визуальная яркость линии 557,7 нм при наблюдении из космоса в горизонтальном направлении для перигея линии визирования 100 км составляет примерно 10 мнит, для перигея линии визирования 170 км — примерно 5 мнит.

Дневное излучение желтой линии натрия (589,3 нм) локализовано в сравнительно тонком слое на высоте 90—95 км и является результатом резонансного рассеяния на атомах натрия [35]. Интенсивность линии в зенитном направлении составляет 5—40 кR. Оценки визуальной яркости при наблюдении из космоса в горизонтальном направлении для перигея линии визирования около 100 км дают значение 20—150 мнит.

Наиболее подробно исследовано дневное излучение красной линии атомарного кислорода (630 нм). Первые исследования дневного излучения линии 630 нм были выполнены с Земли с помощью сканирующего спектрополяриметра. Ракетные измерения были начаты в 1963 г. [19]. Излучение линии 630 нм локализовано в широком интервале высот (150—300 км) и является результатом возбуждения атомов кислорода при фотодиссоциации молекул кислорода в континууме Шумана—Рунге, возбуждения фотоэлектронами и возбуждения при рекомбинационной диссоциации положительных ионов молекулярного кислорода. Наземные и ракетные измерения показывают значительные изменения интенсивности дневного излучения линии 630 нм (от 2 до 60 кR) для зенитного направления. Визуальная яркость линии 630 нм при наблюдении из космоса в направлении перигея линии визирования 200 км оценивается в 2—60 мнит [3]. Значительные изменения интенсивности дневного излучения линии 630 нм при наземных и ракетных измерениях можно также рассматривать как подтверждение вывода о существенной горизонтальной неоднородности геокороны. Особенно важным подтверждением горизонтальной неоднородности геокороны являются результаты спутниковых измерений [31], свидетельствующие о значительной горизонтальной неоднородности излучения линии 630 нм в глобальном масштабе.

Оценка визуальной яркости трех наиболее интенсивных линий дневного эмиссионного излучения верхней атмосферы (557,7; 589,3; 630 нм) при наблюдении из космоса в направлении горизонта Земли дает следующие значения: для перигея линии визирования 100 км примерно 30—200 мнит, для 200 км примерно 7—65 мнит. Если же учесть вклад непрерывной составляющей дневного излучения верхней атмосферы, то, по-видимому, эти значения следует увеличить в 3—5 раз.

Практически реализация возможности обнаружения гео- и гелиокороны из космоса в выбранной области спектра определяется не только оптической моделью системы атмосфера—подстилающая поверхность, положением Солнца относительно

видимого края диска Земли или направлением визирования, но и в существенной степени высотой орбиты КК. Выбор высоты орбиты КК обусловлен главным образом соотношением между яркостями атмосферы Земли, гео- и гелиокороны в направлении визирования. Угловое распределение яркости атмосферы и гео-короны при наблюдении из космоса слабо зависит от высоты орбиты КК. Однако с увеличением высоты орбиты уменьшается угловой размер светящегося слоя атмосферы и геокороны

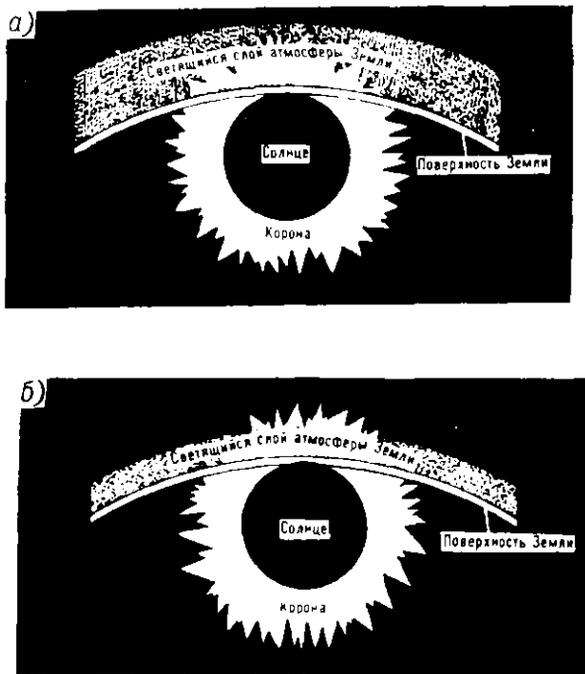


Рис. 1. Солнечная корона и светящийся слой земной атмосферы при наблюдении на высотах 200—300 км (а) и 1000 км (б).

вблизи горизонта Земли, а угловой размер гелиокороны остается постоянным (рис. 1). Это обстоятельство и определяет возможность наблюдения гео- или гелиокороны с КК. С высоких орбит хорошо наблюдается гелиокорона в тот момент, когда Солнце скрылось за видимый край диска Земли и светящийся слой атмосферы вблизи горизонта имеет по сравнению с гелиокоронной малые угловые размеры в вертикальном направлении. С этой точки зрения большой интерес представляют цветные фотографии солнечной короны, полученные экипажем КК «Аполлон-12» на трассе Луна—Земля. Астронавты Ч. Конрад,

Р. Гордон и А. Бин сфотографировали гелиокорону [30], когда Солнце только что скрылось за видимый горизонт Земли. На фотографии видны узкий светящийся слой атмосферы вблизи горизонта Земли и верхняя половина короны Солнца, экранированного диском Земли. Нижняя часть изображения гелиокороны

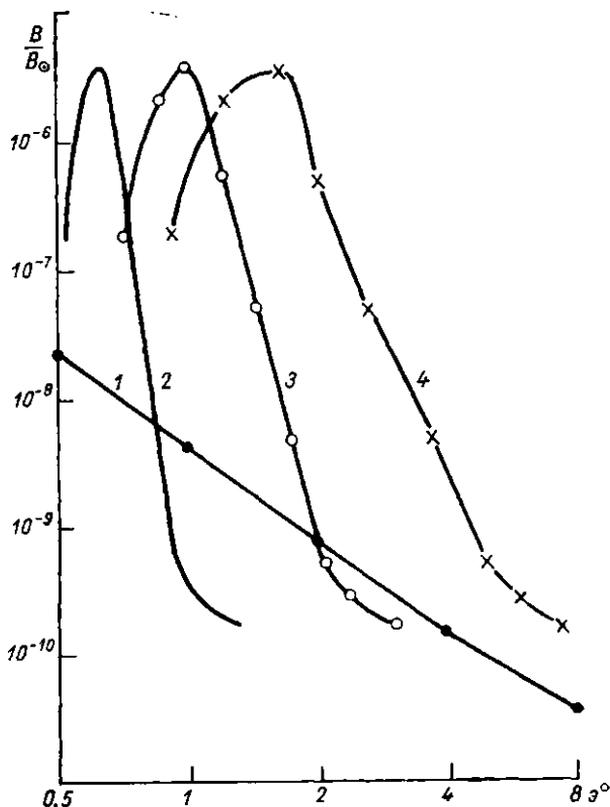


Рис. 2. Угловая зависимость средней яркости гелиокороны (по данным [20]), атмосферы Земли и геокороны вблизи горизонта при наблюдении из космоса с различных высот при угле погружения Солнца $0,5^\circ$. Яркость гелиокороны приведена без учета ослабления в атмосфере Земли.

1 — средняя яркость гелиокороны; высота наблюдения: 2 — 10 000 км, 3 — 1000 км, 4 — 200 км; α — элонгация.

имеет искусственное происхождение: по-видимому, она представляет собой зеркальное отражение неэкранированной половины гелиокороны от атмосферы Земли при небольших углах скольжения (угол скольжения — это угол, дополняющий угол отражения до 90°) [9].

Рассмотрим более подробно возможность наблюдения геокороны с низких орбит КК. Рисунок 2 иллюстрирует

угловые зависимости средней яркости гелиокороны, а также атмосферы Земли и геокороны вблизи горизонта Земли при наблюдении из космоса с различных высот при угле погружения Солнца $0,5^\circ$. С низких орбит (200—300 км) наблюдения гелиокороны практически невозможны даже в плоскости солнечного вертикала, так как яркость сумеречного слоя атмосферы и геокороны значительно превышает яркость гелиокороны. Естественно, что с низких орбит возможны уверенные наблюдения геокороны как в направлении солнечного вертикала, так и, тем более, в других направлениях. В связи с этим явление вертикально-лучевой структуры, наблюдавшееся с КК «Союз-3» и «Союз-9» с высоты орбиты около 250 км при углах до $70\text{--}80^\circ$ [22] от направления солнечного вертикала, трудно интерпретировать как внеатмосферный корональный эффект [25].

Кроме случая полного покрытия диска Солнца Землей, гелиокорона может наблюдаться из космоса сразу после выхода Солнца из-за видимого горизонта Земли или непосредственно перед его заходом [11, 20]. Тогда прямое излучение Солнца существенно ослабляется нижними плотными слоями земной атмосферы. Поэтому возможность исследования гелиокороны определяется прозрачностью атмосферы и соотношением между яркостью гелиокороны и яркостью атмосферы и геокороны в направлении наблюдения. Прозрачность и яркость атмосферы в видимой области спектра довольно резко меняются на высоте перигея линии визирования $H_{\text{п}} = 20 \div 30$ км. При наблюдении горизонта Земли из космоса прозрачность атмосферы при $H_{\text{п}} < 20$ км составляет $10^{-6}\text{--}10^{-2}$, а при $H_{\text{п}} > 40$ км она практически равна единице. Яркость атмосферы при $H_{\text{п}} < 30$ км значительно слабее зависит от $H_{\text{п}}$, чем при $H_{\text{п}} > 40$ км, когда она быстро убывает с возрастанием $H_{\text{п}}$.

Когда Солнце над горизонтом, возможность исследования гелиокороны из космоса определяется высотой Солнца над горизонтом и высотой орбиты КК. Выбор высоты Солнца над горизонтом (краем диска Земли) связан в основном с необходимостью уменьшения искусственного фона (иллюминатор, газопылевое окружение). Выбор высоты орбиты зависит от соотношения между теми же параметрами, что и в случае покрытия диска Солнца Землей.

Анализ зависимости оптической толщины (или прозрачности) атмосферы от высоты перигея линии визирования при наблюдении из космоса показывает, что для существенного уменьшения яркости прямого излучения Солнца в видимой области спектра необходимо, чтобы верхний край диска Солнца находился на высоте перигея линии визирования около 20 км. При этом освещенность от прямого излучения Солнца на КК и соответственно яркость искусственного фона вблизи КК на 4—5 порядков меньше, чем при более высоком положении Солнца. Освещенность на КК от светящегося слоя атмосферы Земли зависит

от углового размера светящегося слоя, т. е. высоты орбиты КК. Чем выше орбита КК, тем меньше угловой размер светящегося слоя атмосферы Земли и яркость искусственного фона.

Для выбора высоты орбиты КК были сопоставлены угловые зависимости яркости гелиокороны и яркости атмосферы Земли и геокороны вблизи горизонта при наблюдении из космоса

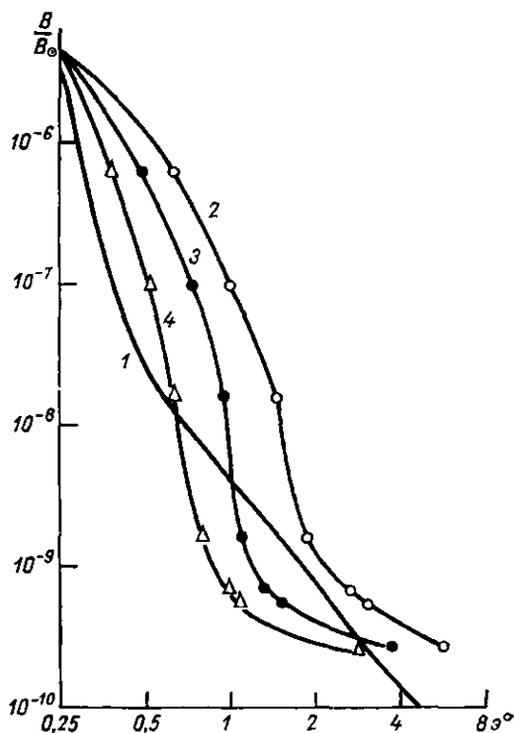


Рис. 3. Угловая зависимость средней яркости гелиокороны (по данным [20]), атмосферы Земли и геокороны при наблюдении из космоса с различных высот при положении верхнего края диска Солнца на высоте перигея линии визирования 20 км.

1 — средняя яркость гелиокороны; высота наблюдения: 2 — 200 км, 3 — 500 км, 4 — 1000 км.

вблизи солнечного вертикала с высоты 200, 500 и 1000 км и визировании горизонта до высоты $H_{\text{II}} = 200$ км. Анализ этих зависимостей показывает (рис. 3), что с высоты 200 км исследования гелиокороны во всей видимой области спектра практически невозможны, так как яркость сумеречного слоя атмосферы и геокороны существенно превышает яркость гелиокороны. Возможность наблюдения геокороны определяется главным образом яркостью искусственного фона (иллюминатор КК, газопылевое окруже-

ние). С высоты 500 км яркость наиболее ярких участков гелиокороны в области элонгаций до $35'$ сопоставима с яркостью естественного фона, следовательно, можно проводить визуальные, фотографические и другие исследования гелиокороны. Этот вывод подтверждается визуальными наблюдениями с КК «Восход-2», апогей орбиты которого находился на высоте около 500 км. С высоты 1000 км прямые исследования гелиокороны в видимой области спектра, по-видимому, возможны для элонгаций до 3° .

Для исследования гео- или гелиокороны в других участках спектра выбор положения Солнца над (или под) горизонтом и определение необходимой высоты орбиты космического корабля могут быть выполнены по вышеизложенной методике для видимой области спектра. Например, в ближней ультрафиолетовой области спектра в диапазоне 200—300 нм для наблюдения гелиокороны необходимо, чтобы верхний край диска Солнца находился над горизонтом на высоте перигея линии визирования 45—50 км, а высота орбиты космического корабля превышала 400 км. Для наблюдения геокороны в этом же участке спектра необходимо, чтобы Солнце находилось под горизонтом, а высота орбиты космического корабля не превышала 250—300 км.

В связи с наблюдениями гелиокороны в условиях, когда прямое солнечное излучение сильно ослабляется плотными слоями атмосферы, возникает возможность изменения коронографа Лию, имеющего внешний или внутренний непрозрачный экран. Непрозрачный экран используется для уменьшения рассеянного в оптической системе коронографа солнечного излучения до уровня, позволяющего проводить внеатменные исследования отдельных участков гелиокороны. При этом непрозрачный экран полностью исключает изображение Солнца, вследствие чего становится невозможной точная привязка исследуемых участков гелиокороны к координатам Солнца. Непрозрачный экран не позволяет также проводить одновременные исследования процессов, происходящих на Солнце и в гелиокороне.

С целью усовершенствования коронографа в качестве экрана может быть установлен нейтральный или узкополосный светофильтр с очень малым коэффициентом пропускания (порядка 10^{-5} — 10^{-8} в рабочей области спектра) [10]. При этом полное пропускание светофильтра в области спектра, где проводится исследование гелиокороны, должно обеспечивать необходимое уменьшение излучения, рассеянного оптической системой коронографа. На рис. 4 приведено изображение Солнца и гелиокороны в коронографе со светофильтром в качестве экрана. Светофильтр может быть и составным, т. е. может состоять из ряда нейтральных или узкополосных светофильтров, устанавливаемых по мере необходимости отдельно или вместе в различных комбинациях с целью получения наиболее эффективного

соотношения между яркостью Солнца и яркостью исследуемых участков короны. Полоса пропускания селективного светофильтра может совпадать или не совпадать с областью спектра, в котором проводится исследование гелиокороны. Замена непрозрачного экрана нейтральным или селективным светофильтром значительно расширяет возможности коронографа для внеатмосферных исследований солнечной короны.

Идея исследования солнечной короны у сумеречного горизонта Земли была использована при проведении эксперимента

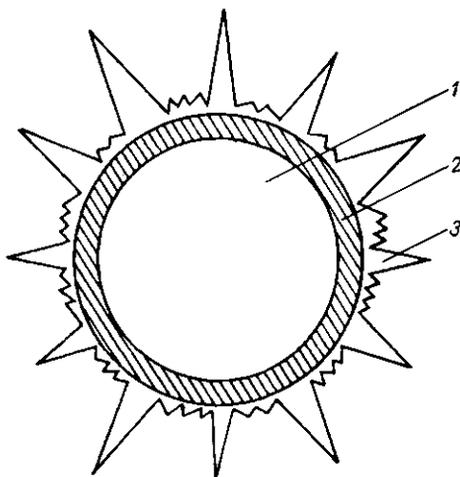


Рис. 4. Ослабленное светофильтром изображение Солнца (1), изображение светофильтра (2) и гелиокороны (3) в коронографе с экраном в виде ослабляющего светофильтра.

«искусственное солнечное затмение» во время совместного советско-американского полета «Союз»—«Аполлон». Напомним, что командиром советского космического корабля «Союз-19», участвовавшего в этом полете, был летчик-космонавт СССР А. А. Леонов, который первым наблюдал солнечную корону из космоса у сумеречного горизонта Земли с космического корабля «Восход-2».

Эксперимент «искусственное солнечное затмение» был проведен 19 июля 1975 г. после первой расстыковки космических кораблей «Союз-19» и «Аполлон». Перед расстыжкой связка космических кораблей сориентировалась так, что их продольная ось была направлена на Солнце, при этом «Аполлон» был со стороны Солнца. В этом положении корабли были стабилизированы до расстыковки. В соответствии с программой полета в 15 ч 02 мин по московскому времени (12 ч 02 мин по всемирному времени) корабли расстыковались и начали постепенно

расходиться со скоростью примерно $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, сохраняя направление своих осей в пространстве. При этом корабль «Аполлон» выполнял роль непрозрачного экрана в своеобразном коронографе с внешним экраном, закрывая собой Солнце для наблюдения с борта «Союза-19».

Во время расхождения кораблей «Союз-19» и «Аполлон» с борта советского корабля была проведена серия фотосъемок искусственного затмения. В это же время американские астрономы фотографировали советский корабль с целью определения степени затемненности «Союза-19». С борта «Аполлона» были хорошо видны ночная сторона Земли, темное небо и на его фоне силуэт корабля «Союз-19». Корабли расходились до дальности примерно 220 м, после этого были включены двигатели «Аполлона» для торможения и возвращения к «Союзу-19» с целью выполнения повторной стыковки.

Эксперимент «искусственное солнечное затмение» выполнялся на той части орбиты, где для кораблей Солнце уже взошло, а на поверхности Земли, над которой они пролетали, были глубокие сумерки. Это существенно уменьшило влияние такой помехи, как отраженный свет нашей планеты.

На пресс-конференции, посвященной завершению советской части программы «Союз»—«Аполлон», 24 июля 1975 г. бортинженер корабля «Союз-19» Валерий Николаевич Кубасов рассказал: «Впечатляющим был эксперимент «искусственное солнечное затмение»... В ходе этого эксперимента корабль «Аполлон» должен был заслонить Солнце, а мы — выполнить фотографирование. И вот, когда «Аполлон» стал удаляться от нас, мы увидели необыкновенно красивую картину солнечной короны» («Правда», 1975, 25 июля).

ФРЕНЕЛЕВСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ ОТ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ И КОМЕТ

Визуальные наблюдения из космоса

Исследования из космоса позволили обнаружить и неизвестное ранее свойство атмосфер планет и комет создавать заметное зеркальное (френелевское) отражение под небольшими углами скольжения [9, 14, 15, 34].

Существует несколько типов зеркального отражения: отражение от металлических полированных поверхностей, полное внутреннее отражение и частичное отражение от границы раздела двух сред, которое обычно называют френелевским. Со школьной скамьи все помнят закон зеркального отражения: угол падения равен углу отражения. Но иногда забывают, что луч падающий, луч отраженный и нормаль в точке падения

лежат в одной плоскости и что зеркальное отражение можно наблюдать только в ней. Это один из основополагающих законов в геометрической оптике. Он оказался применим и к земной атмосфере.

Эффект зеркального отражения Солнца от атмосферы Земли наблюдался А. А. Леоновым 19 марта 1965 г. в 2 ч 21 мин по московскому времени на 12-м витке полета космического корабля «Восход-2», который пролетал в это время на высоте

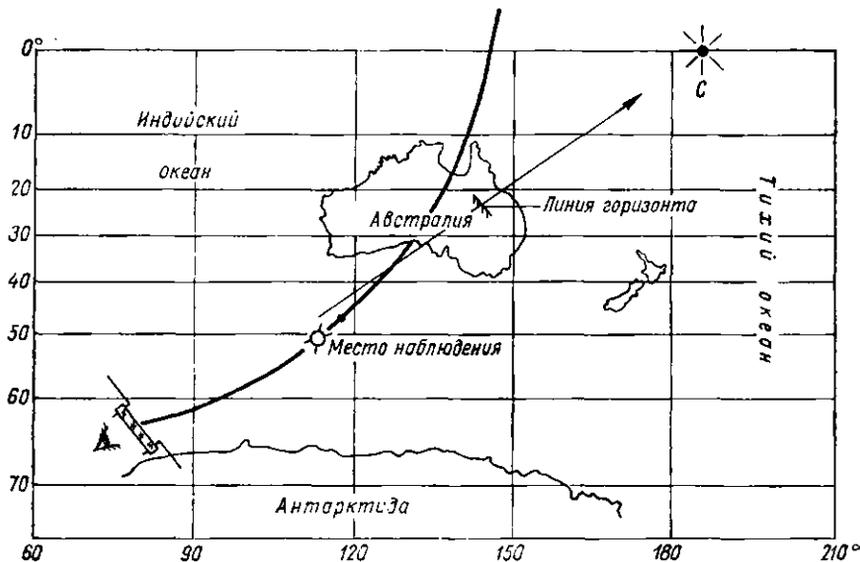


Рис. 5. Карта-схема части 12-го витка полета космического корабля «Восход-2» с отметкой места наблюдения зеркального отражения Солнца от атмосферы Земли.

495 км над акваторией Индийского океана, над точкой с координатами около 117° в. д. и 47° ю. ш. (рис. 5). Во время наблюдения линия горизонта Земли в направлении солнечного вертикала находилась над территорией Австралии. Следовательно, наблюдения зеркального отражения Солнца от атмосферы Земли с космического корабля «Восход-2» проводились над территорией суши [9, 11, 15, 34].

Для описания эффекта зеркального отражения обратимся к картине «На орбите — большая космическая станция» [17], где изображен восход Солнца при наблюдении из космоса. Когда над горизонтом появилась часть диска Солнца, эта же часть диска наблюдалась после зеркального (френелевского) отражения от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения в виде изображения, симметричного относительно видимого горизонта Земли. Визуальные наблюдения прямого и отраженного

солнечного излучения у видимого горизонта Земли легко проводились без специальных мер по уменьшению яркости Солнца вследствие сильного ослабления в плотных слоях атмосферы. При наблюдении с высоты около 500 км верхний край половины диска Солнца находится на линии визирования, высота перигея которой составляет около 12 км над горизонтом Земли. При этом яркость Солнца уменьшается на 4—6 порядков, а селективность спектрального коэффициента ослабления атмосферы приводит к изменению цвета солнечного диска («покраснению»).

Визуальные наблюдения френелевского отражения Солнца от атмосферы Земли были также проведены летчиком-космонавтом СССР П. И. Климуком с космического корабля «Союз-13» в декабре 1973 г. Это явление П. И. Климук наблюдал неоднократно. В течение нескольких секунд после начала появления Солнца над горизонтом был виден край диска Земли и его зеркальное отражение от атмосферы Земли [14, 28].

Наблюдения А. А. Леонова натолкнули на мысль, что френелевское отражение от атмосферы Земли возникает как при входе излучения в плотные слои атмосферы, так и при выходе за ее пределы. Заметное френелевское отражение при выходе солнечного излучения из плотных слоев атмосферы, по-видимому, впервые наблюдали летчик-космонавт СССР К. П. Феоктистов с корабля «Восход» в 1964 г. и Е. В. Хрунов с корабля «Союз-5» в 1969 г. Отражение имело вид узкой вертикальной полоски в направлении солнечного вертикала, появляющейся перед восходом Солнца. Это наблюдение описано следующим образом [21]: «Над краем горизонта в подсолнечной области появляется розовая полоса с красноватой вертикальной «черточкой», быстро превращающейся в светящийся овал, который в дальнейшем виден как часть диска Солнца, постепенно поднимающегося над горизонтом». Красноватый цвет вертикальной черточки связан с селективным характером ослабления в атмосфере Земли.

С целью анализа результатов визуальных наблюдений были выполнены оценки коэффициента френелевского отражения ρ_3 атмосферы Земли для небольших углов скольжения при некоторых упрощающих предположениях. Атмосфера рассматривалась в виде ряда однородных слоев с постоянным по слою показателем преломления. Для больших углов скольжения оценки коэффициента зеркального отражения были выполнены по формуле Френеля

$$\rho_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(i - i')}{\sin^2(i + i')} + \frac{\operatorname{tg}^2(i - i')}{\operatorname{tg}^2(i + i')} \right], \quad (1)$$

где i — угол падения; i' — угол преломления.

Для малых углов скольжения при $n - 1 \ll 1$ (n — показатель преломления) формула Френеля может быть преобразована

следующим образом. Заменим угол падения и угол преломления на дополнительные углы:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - i, \quad \beta = \frac{\pi}{2} - i'. \quad (2)$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} \sin i &= n \sin i' \\ \text{или} \\ \cos \alpha &= n \cos \beta, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

α — угол скольжения.

При малых значениях α и β и $n - 1 \ll 1$ равенства (3) можно приближенно представить в виде

$$\cos \alpha - \cos \beta \approx n - 1. \quad (4)$$

Поскольку α и β малы, выражения (1) и (2) можно приближенно заменить на

$$\rho_3 \approx \left(\frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \right)^2, \quad (5)$$

$$\beta^2 - \alpha^2 \approx 2(n - 1). \quad (6)$$

Определив β из уравнения (6), получим

$$\rho_3 \approx \left\{ \frac{[\alpha^2 + 2(n - 1)]^{1/2} - \alpha}{[\alpha^2 + 2(n - 1)]^{1/2} + \alpha} \right\}^2. \quad (7)$$

Результаты расчета коэффициентов френелевского отражения от всей атмосферы Земли при малых углах скольжения представлены в табл. 1. На рис. 6 приведены зависимости ρ_3 от угла скольжения α при отражении от атмосферы на различных высотах.

Таблица 1

α'	6	12	13	24	30	36	42	48	54	60
ρ_3	0,75	0,56	0,42	0,32	0,24	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07

Естественно, что эти оценки дают только приблизительные значения коэффициента френелевского отражения от реальной атмосферы Земли. В частности, значения показателя преломления взяты для чистой атмосферы, без учета влияния аэрозоля, и т. д. И тем не менее из табл. 1 видно, что при углах скольжения менее $15'$ коэффициент френелевского отражения от всей атмосферы Земли, по-видимому, превышает 50%. В связи с этим следует отметить, что при наблюдении Солнца и других внеатмосферных источников излучения у горизонта Земли яркость солнечного диска уменьшается не только вследствие поглощения и рассеяния в плотных слоях атмосферы, но и за счет френелевского отражения от атмосферы. Френелевское отраже-

ние от атмосферы Земли, а также от атмосфер других планет и комет тесно связано с атмосферной рефракцией и становится заметным при небольших углах скольжения, т. е. там же, где заметна атмосферная рефракция. В связи с этим анализ оптических явлений, возникающих вследствие френелевского отражения от атмосфер планет и комет, по-видимому, целесообразно

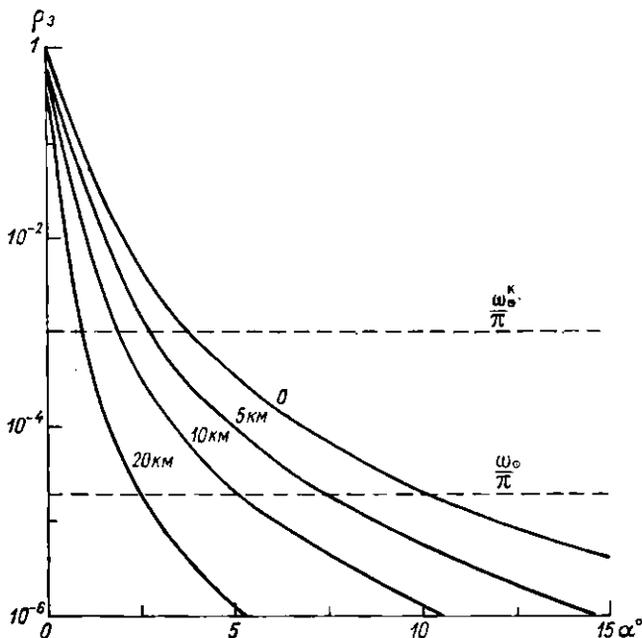


Рис. 6. Зависимость коэффициента зеркального отражения атмосферы Земли от угла скольжения при наблюдении из космоса. Возможность наблюдения зеркального отражения Солнца определяется уровнем яркости рассеянного атмосферой солнечного излучения [14].

проводить одновременно с анализом явлений, возникающих при рефракции в атмосфере.

Приближенную формулу (7) для коэффициента френелевского отражения можно представить в виде зависимости от одного параметра, а именно

$$\rho_3 \approx \left(\frac{\sqrt{1+\xi} - 1}{\sqrt{1+\xi} + 1} \right)^2. \quad (8)$$

Здесь

$$\xi = \frac{2(n-1)}{a^2} \approx \frac{(\beta - \alpha)(\beta + \alpha)}{a^2}. \quad (9)$$

Из равенства (9) в силу приближенного равенства (6) можно найти приближенное выражение для атмосферной рефракции

$$\beta - \alpha \approx \frac{2(n-1)}{\sqrt{a^2 + 2(n-1)} + a}$$

или для относительной атмосферной рефракции

$$\frac{\beta}{\alpha} \approx \sqrt{1 + \xi}.$$

Таким образом, коэффициент френелевского отражения можно представить как функцию относительной рефракции $\sqrt{1 + \xi}$. В табл. 2 приведены значения коэффициента френелевского отражения для ряда значений относительной рефракции.

Таблица 2

$\sqrt{1 + \xi}$	100	50	30	20	15	10	8	6
ρ_*	0,93	0,92	0,87	0,81	0,76	0,67	0,60	0,51
$\sqrt{1 + \xi}$	5	4	3	2	1,5	1,3	1,2	1,1
ρ_*	0,44	0,36	0,25	0,11	0,04	0,017	0,003	0,002

Фотографирование восхода и захода Солнца из космоса

Способность атмосферы Земли создавать заметное френелевское отражение при наблюдении из космоса под небольшими углами скольжения подтверждается фотографиями Солнца, солнечной короны и околосолнечного ореола, которые были получены с космических кораблей «Союз-5», «Аполлон-12», «Союз-13», орбитальной станции «Салют» при малых углах возвышения или погружения Солнца относительно видимого горизонта Земли. На фотоснимках восхода или захода Солнца, сделанных с этих космических кораблей, обращает на себя внимание симметричное относительно видимого горизонта Земли изображение части солнечного диска, солнечной короны и околосолнечного ореола [14]. Очевидно, это свидетельствует о способности атмосферы Земли создавать заметное зеркальное (френелевское) отражение при небольших углах скольжения и подтверждает результаты визуальных наблюдений.

С космического корабля «Союз-5» в январе 1969 г., по-видимому, впервые были получены черно-белые фотографии, на которых одновременно зарегистрировано как прямое изображение части диска Солнца и околосолнечного ореола, так и их зеркальное отражение от атмосферы Земли. Фотографирование производилось каналом фотопривязки ручного спектрографа РСС-1 [6] с целью определения положения входной щели спектрографа по высоте светящегося сумеречного слоя. Фотографи-

рование и спектрофотометрирование с космического корабля «Союз-5» были осуществлены 15 января 1969 г. на 2-м (12 ч 52 мин) и 6-м (18 ч 23 мин) витках, 16 января — на 15-м витке (7 ч 23 мин).¹ Фотографирование произведено перед восходом и во время восхода Солнца одиночными кадрами через 3—5 с. С космического корабля «Союз-5» получено 15 кадров, в том числе пять кадров после появления края диска Солнца над горизонтом [14, 27].

На кадрах, снятых перед восходом Солнца и появлением околосолнечного ореола, зафиксирован светящийся сумеречный слой, угловой размер которого составлял около $1,5^\circ$. На кадрах, съемка которых производилась после выхода части диска Солнца из-за горизонта, кроме сумеречного слоя, зарегистрированы прямое и зеркально отраженное от атмосферы Земли изображение части диска Солнца и околосолнечного ореола. На кадре, полученном на 2-м витке, над видимым горизонтом зафиксирован сумеречный ореол Земли, прямое изображение части околосолнечного ореола и небольшой части солнечного диска, только что появившихся над горизонтом Земли. На этом же кадре ниже горизонта Земли видны те же части околосолнечного ореола и солнечного диска, зеркально отраженные от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения. Более отчетливо способность атмосферы Земли создавать заметное френелевское отражение при небольших углах скольжения проявилась на следующем кадре, при съемке которого значительная часть солнечного диска находилась над горизонтом Земли. На этом кадре, полученном на 6-м витке, выше горизонта Земли, кроме сумеречного ореола, зарегистрированы прямое изображение части солнечного диска и верхняя часть околосолнечного ореола. Ниже горизонта Земли прослеживаются эти же части солнечного диска и околосолнечного ореола, зеркально отраженные от атмосферы под небольшим углом скольжения.

В ноябре 1969 г. с космического корабля «Аполлон-12» на трассе Луна—Земля были получены цветные фотографии сумеречного ореола Земли и части солнечной короны при Солнце, находящемся за краем диска Земли под небольшим углом погружения [30]. На фотографиях эта же часть солнечной короны зарегистрирована ниже горизонта после зеркального отражения от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения. Одна из цветных фотографий, полученных с космического корабля «Аполлон-12», приведена в Большой Советской Энциклопедии [1].

Цветные фотографии сумеречного ореола Земли и солнечного ореола, подтверждающие способность атмосферы Земли создавать заметное френелевское отражение под небольшими углами скольжения, получены также с пилотируемой орбитальной

¹ Здесь и далее время московское.

станции «Салют» в июне 1971 г. На кадре выше горизонта Земли зарегистрировано прямое изображение сумеречного ореола Земли и околосолнечного ореола. На этом же кадре ниже горизонта зафиксировано изображение той же части околосолнечного ореола, зеркально отраженного от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения.

Фотографические исследования френелевского отражения Солнца от атмосферы Земли были продолжены летчиком-космонавтом СССР П. И. Климуком с космического корабля «Союз-13» в декабре 1973 г. [28]. Исследования проводились с помощью канала фотопривязки ручного спектрографа РСС-2М в видимой области спектра. Для съемки использовался телеобъектив «Юпитер-11» с фокусным расстоянием 135 мм, относительным отверстием 1:4 и разрешением в центре кадра около 60 лин/мм.

С борта космического корабля «Союз-13» был получен ряд фотографий, на которых наряду с прямым изображением выступающей над горизонтом части диска Солнца зарегистрировано симметрично расположенное относительно видимого горизонта Земли изображение этой же части солнечного диска, зеркально отраженной от атмосферы Земли. Кадр 13-249 был получен при фотографировании сумеречного горизонта Земли на 70-м витке полета космического корабля «Союз-13» 22 декабря в 22 ч 13 мин 42 с. Космический корабль пролетал в это время на высоте 260 км над южной частью Индийского океана юго-западнее Австралии. Линия терминатора и видимый горизонт Земли располагались примерно в 1800 км от космического корабля и в направлении солнечного вертикала проходили над территорией Австралии. Угол погружения центра диска Солнца под горизонт (без учета атмосферной рефракции) составлял около 12'.

На кадре 13-249 зарегистрирован сумеречный ореол, ограниченный снизу видимым горизонтом Земли (рис. 7). Размер кадра на фотопленке в горизонтальном направлении 24 мм. В центре кадра над облаками прямое изображение части диска Солнца. Высота верхней границы облаков около 5 км. Над горизонтом на высоте около 20 км от поверхности Земли расположена резкая граница сумеречного ореола, совпадающая по высоте с аэрозольным слоем Юнге. Перед облаками зарегистрировано зеркально отраженное атмосферой Земли изображение части солнечного диска, симметричное относительно видимого горизонта. В это время над горизонтом появилась почти половина диска Солнца (с учетом атмосферной рефракции), но нижняя часть прямого и зеркально отраженного от атмосферы Земли изображения диска Солнца была закрыта облаками.

По яркости соответствующих участков прямого и зеркально отраженного атмосферой Земли изображения диска Солнца были выполнены оценки коэффициента зеркального отражения

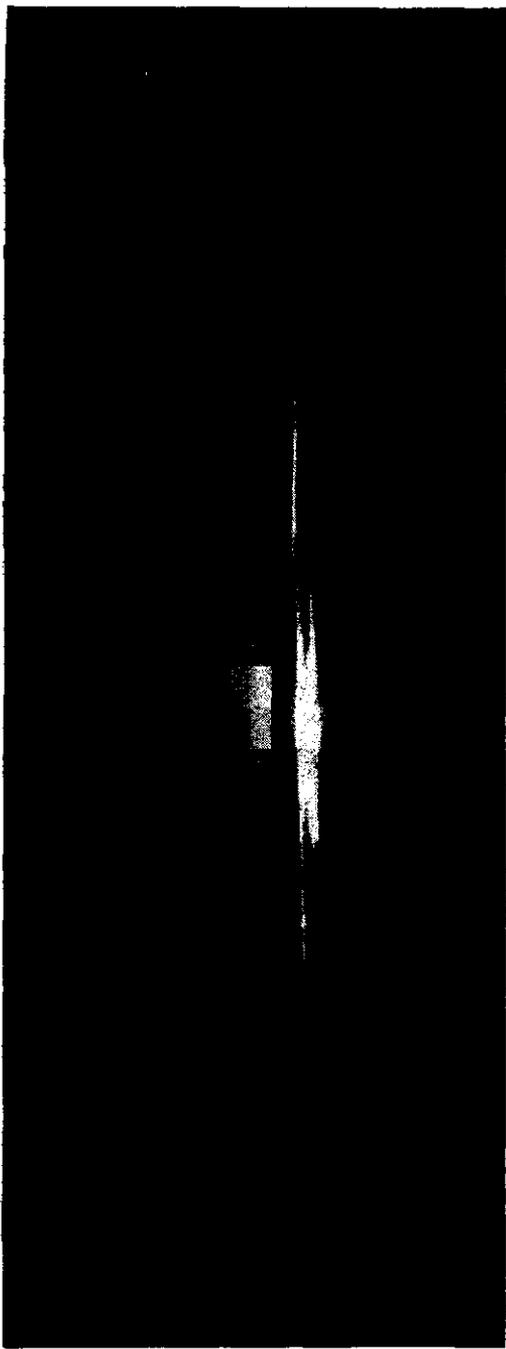


Рис. 7. Фотография сумеречного горизонта Земли с космического корабля «Союз-13» 22 декабря 1973 г. в 22 ч 13 мин 42 с по московскому времени. Кадр 13-249.

атмосферы Земли для небольших углов скольжения. Нетрудно показать, что коэффициент зеркального отражения атмосферы Земли

$$\rho_3 = \frac{\tau'_a B''}{\tau''_a B'}, \quad (10)$$

где τ'_a и τ''_a — пропускание атмосферы для солнечных лучей, создающих прямое и отраженное атмосферой Земли изображения Солнца соответственно; B' и B'' — яркость прямого и отраженного атмосферой Земли изображений Солнца соответственно.

Согласно оценкам, выполненным по результатам микрофотометрирования прямого и зеркально отраженного изображений Солнца, для углов скольжения 10—15' коэффициент зеркального отражения равен примерно 50%, что удовлетворительно совпадает с результатами расчетов.

Эксперимент «фотографирование восхода Солнца» был включен в программу автономного полета космического корабля «Союз-19» при осуществлении совместного советско-американского полета «Союз»—«Аполлон». Этот эксперимент был осуществлен 20 июля 1975 г. с 15 ч 30 мин до 16 ч 18 мин по московскому времени. В ходе эксперимента производилась фотографическая съемка восходящего Солнца.

Регистрация френелевского отражения Солнца от кометы Когоутека

Способностью создавать заметное френелевское отражение при небольших углах скольжения обладают не только планеты с плотной атмосферой, но и достаточно плотные газопылевые хвосты комет. Поэтому результаты исследования френелевского отражения могут быть использованы для изучения физических свойств как атмосфер планет, так и газопылевых хвостов комет. Рассмотрим это на примере кометы Когоутека [10, 12].

С орбитальной станции «Скайлэб» в декабре 1973 г., по-видимому, с помощью коронографа было зарегистрировано зеркальное отражение Солнца от газопылевого хвоста кометы Когоутека. Это очень редко наблюдаемое явление, вероятно, имеет ту же природу, что и ранее зарегистрированное с космических кораблей «Восход-2», «Союз-5», «Аполлон-12», «Союз-13» и орбитальной станции «Салют» френелевское отражение Солнца от атмосферы Земли. Тщательный анализ всех условий регистрации зеркального отражения Солнца от кометы Когоутека позволит сделать более определенные выводы. Пока можно высказать лишь предварительные соображения. 28 декабря 1973 г. комета Когоутека находилась в перигелии на расстоянии от

Солнца около 0,15 АЕ и угловом расстоянии около 1,3°. Если регистрация с орбитальной станции «Скайлэб» проводилась во время прохождения кометы перигелия, то угол скольжения составлял около 40'. По яркости зеркального изображения Солнца можно оценить коэффициент френелевского отражения для соответствующего угла скольжения, а затем определить показатель преломления и плотность газопылевого хвоста кометы Когоутека.

Оценка коэффициента зеркального отражения газопылевого хвоста кометы Когоутека при регистрации коронографом с непрозрачным экраном может быть выполнена по отношению яркостей рассеянного и зеркально отраженного солнечного излучения. Яркость зеркально отраженного газопылевым хвостом кометы Когоутека излучения Солнца

$$B_3^k = \rho_3^k \tau_k B_\odot, \quad (11)$$

где ρ_3^k — коэффициент зеркального отражения газопылевого хвоста кометы Когоутека; τ_k — пропускание газопылевого хвоста кометы Когоутека для солнечных лучей, создающих зеркально отраженное изображение Солнца; B_\odot — яркость Солнца.

Для оценки яркости B_p^k рассеянного газопылевым хвостом кометы Когоутека солнечного излучения воспользуемся коэффициентом яркости b_p^k . Тогда величина B_p^k может быть представлена в виде

$$B_p^k = \frac{b_p^k \omega_\odot^k B_\odot}{\pi}, \quad (12)$$

где ω_\odot^k — телесный угол Солнца при наблюдении с кометы Когоутека.

Отношение яркостей рассеянного и зеркально отраженного от газопылевого хвоста кометы Когоутека солнечного излучения равно

$$\frac{B_p^k}{B_3^k} = \frac{\omega_\odot^k}{\pi} \frac{b_p^k}{\rho_3^k \tau_k}. \quad (13)$$

Если комета Когоутека в момент регистрации зеркального отражения Солнца со станции «Скайлэб» находилась на расстоянии 0,15 АЕ, то $\omega_\odot^k \approx 3 \cdot 10^{-3}$ ср.

Предположим, что отношение яркостей $B_3^k/B_p^k = 5$. Тогда можно оценить порядок величины коэффициента зеркального отражения: $\rho_3^k \approx 10^{-2}$.

Зная угол скольжения $\alpha = 40'$, можно по рис. 6 оценить показатель преломления n_k и затем плотность δ_k газопылевого хвоста кометы Когоутека:

$$n_k - 1 \approx 5 \cdot 10^{-5}, \quad \delta_k \approx 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}.$$

Исследования френелевского отражения Солнца от атмосфер планет и комет при малых углах скольжения, по-видимому, целесообразно проводить с помощью коронографов со слабо пропускающим экраном — светофильтром [10]. Это позволит значительно уменьшить влияние интенсивного прямого излучения Солнца и одновременно по отношению яркостей прямого и отраженного изображения Солнца более точно определять коэффициент зеркального отражения при различных углах скольжения. С Земли с помощью коронографа можно исследовать френелевское отражение от атмосферы Венеры, а также от газопылевых хвостов комет, находящихся между Солнцем и Землей при элонгациях до $2-5^\circ$. Особенно интересные результаты могут быть получены при исследовании спектрального распределения коэффициента зеркального отражения в области атмосферных линий и полос поглощения атмосфер планет и комет, где наблюдаются заметные аномалии показателя преломления.

О возможности исследования френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры

На примере Венеры можно рассмотреть возможность наблюдения и исследования френелевского отражения Солнца от атмосфер планет и комет, находящихся между Солнцем и Землей. Эти исследования наиболее целесообразно проводить с помощью наземного или спутникового коронографа с непрозрачным или слабо пропускающим экраном [10] при небольших элонгациях во время нижнего соединения Венеры. Анализ возможности наблюдения френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры удобнее всего провести в следующем порядке:

а) определить силу света, освещенность и яркость (или энергетическую силу света, энергетическую освещенность и энергетическую яркость) френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры при наблюдении с Земли при небольших элонгациях;

б) сравнить блеск, создаваемый на Земле от френелевского и диффузного отражения Венеры при небольших элонгациях;

в) оценить основные оптические параметры наземного и спутникового коронографа для наблюдения и исследования френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры.

По известной формуле зеркального отражения от сферической поверхности силу света френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры I_f^B можно представить в виде

$$I_f^B = \frac{\tau_B \bar{\rho}_f(\alpha) E_\odot^3 R_B^2}{4L_B^2} \quad (14)$$

где τ_B — пропускание атмосферы Венеры на пути прямого и зеркально отраженного солнечного излучения; $\bar{\rho}_f(\alpha)$ — среднее зна-

чение коэффициента френелевского отражения Венеры в пределах телесного угла Солнца, составляющего на Венере около $1,3 \cdot 10^{-4}$ ср; E_{\odot}^3 — освещенность, создаваемая Солнцем вне атмосферы Земли; R_V — радиус Венеры; ϑ — элонгация; L_V — расстояние от Венеры до Солнца в АЕ.

Освещенность E_f , создаваемая на поверхности Земли зеркально отраженным от атмосферы Венеры солнечным излучением, равна

$$E_f = \frac{\tau_V \tau_3 \bar{\rho}_f(\vartheta) E_{\odot}^3 R_V^2}{L_V^2 L_{B3}^2}, \quad (15)$$

где τ_3 — пропускание атмосферы Земли; L_{B3} — расстояние от Венеры до Земли.

Подставив в выражение (15) значения E_{\odot}^3 , R_V , L_V , L_{B3} , получим

$$E_f = 4 \cdot 10^{-3} \tau_V \tau_3 \bar{\rho}_f(\vartheta);$$

здесь E_f в люксах.

Для элонгаций, при которых произведение $\tau_V \tau_3 \bar{\rho}_f(\vartheta) = 5 \cdot 10^{-4}$, освещенность, создаваемая на поверхности Земли зеркально отраженным от атмосферы Венеры солнечным излучением, будет примерно такой же, как от звезды нулевой величины (около $2 \cdot 10^{-6}$ лк).

Угловой размер Венеры при наблюдении с Земли на расстоянии около 0,28 АЕ равен примерно $60''$. На этом же расстоянии угловой размер зеркально отраженного атмосферой Венеры изображения Солнца составляет около $0,3''$. Яркость изображения Солнца, зеркально отраженного от атмосферы Венеры, при наблюдении с Земли равна

$$B_f = \tau_V \tau_3 \bar{\rho}_f(\vartheta) B_{\odot}, \quad (16)$$

где B_{\odot} — яркость Солнца.

Для элонгаций, при которых произведение $\tau_V \tau_3 \bar{\rho}_f(\vartheta) = 5 \cdot 10^{-4}$, $B_f \approx 100$ сб.

Если пренебречь излучением сумеречного ореола, то сила света диффузно отраженного Венерой солнечного излучения I_d^B может быть определена по формуле для диффузно отражающей сферы:

$$I_d^B = \frac{2\rho_d E_{\odot}^3 [\sin \psi + (\pi - \psi) \cos \psi] R_V^2}{3\pi L_B^2}, \quad (17)$$

где ρ_d — коэффициент диффузного отражения Венеры; ψ — фаза Венеры.

Освещенность на поверхности Земли от диффузно отраженного Венерой солнечного излучения равна

$$E_d = \frac{2\tau_3 \rho_d E_\odot^3 [\sin \psi + (\pi - \psi) \cos \psi] R_B^2}{3\pi L_B^2 L_{B3}^2} \quad (18)$$

При элонгациях более 5° излучение Венеры определяется главным образом диффузным отражением солнечного излучения от ее поверхности. Поэтому по известным значениям блеска Венеры при больших элонгациях по формуле (18) можно оценить диффузно отраженное ее поверхностью солнечное излучение при небольших элонгациях. Оценки показывают, что освещенность, создаваемая на поверхности Земли от диффузно отраженного Венерой солнечного излучения, при элонгации 1° составляет около $2 \cdot 10^{-8}$ лк, т. е. как от звезды 5^m , при элонгации 2° — около $2 \cdot 10^{-7}$ лк, т. е. как от звезды $2^m,5$. Следовательно, при элонгациях $1-2^\circ$ блеск Венеры определяется в основном френелевским отражением Солнца от ее атмосферы. Результаты измерений с Земли показывают, что при небольших элонгациях значения блеска Венеры значительно превышают расчетные значения, полученные для диффузного отражения, и при элонгации $1-2^\circ$ составляют примерно $0^m,2$, т. е. близки к расчетным значениям для френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры.

Рассмотрим далее возможность наблюдения Венеры с помощью наземного и спутникового коронографа при небольших элонгациях. Будем считать, что блеск Венеры, определяемый при небольших элонгациях главным образом френелевским отражением Солнца от ее атмосферы, соответствует нулевой звездной величине. При наблюдении Венеры наземным коронографом основной вклад в излучение фона будет вносить излучение атмосферы Земли (околосолнечного ореола). Яркость фонового излучения околосолнечного ореола B_ϕ при элонгации 1° составляет около 5 сб. Необходимое для наблюдения Венеры разрешение оптической системы наземного коронографа определяется контрастом приемного устройства коронографа. Контраст k в плоскости изображения оптической системы коронографа равен отношению световых потоков от излучения Венеры F_B , с одной стороны, суммарного излучения Венеры F_B и фонового излучения F_ϕ — с другой:

$$k = \frac{F_B}{F_B + F_\phi} = \frac{E_B}{E_B + \Omega B_\phi} \quad (19)$$

Здесь Ω — телесный угол, определяющий угловую разрешающую способность оптической системы коронографа.

Если предельное значение контраста приемного устройства оптической системы коронографа k^* , то для наблюдения френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры необходимо

разрешение оптической системы коронографа, определяемое телесным углом

$$\Omega^* = \frac{(1 - k^*) E_B}{k^* \beta_\phi} . \quad (20)$$

Полагая предельное значение контраста приемного устройства оптической системы наземного коронографа $k_n^* = 0,3$, получаем $\Omega_n^* \approx 10^{-10}$ ср. Следовательно, угловое разрешение оптической системы наземного коронографа должно быть, по-видимому, не хуже $\gamma_n \approx 10^{-5}$ рад $\approx 2''$.

При наблюдениях Венеры с помощью спутникового коронографа основной вклад в излучение фона будет вносить рассеянное оптической системой коронографа солнечное излучение. Яркость этого излучения при элонгации 1° может достигать примерно 0,1 сб. Полагая предельное значение контраста приемного устройства оптической системы спутникового коронографа $k_{сп}^* = 0,3$, получим $\Omega_{сп}^* \approx 5 \cdot 10^{-9}$ ср. Следовательно, угловое разрешение оптической системы спутникового коронографа, по-видимому, должно быть не хуже $\gamma_{сп} \approx 0,7 \cdot 10^{-4}$ рад $= 15''$.

На основании изложенного можно высказать следующие предположения. При небольших элонгациях основной вклад в излучение Венеры вносит френелевское отражение Солнца, создающее для земного наблюдателя блеск порядка нулевой звездной величины. Для наблюдения френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры при небольших элонгациях необходим наземный коронограф с угловым разрешением оптической системы, по-видимому, не хуже $2''$ или спутниковый (с ИСЗ) коронограф с разрешением, вероятно, не хуже $15''$. В частности, коронограф, установленный на орбитальной станции «Скайлэб», имел разрешение около $8''$.

Если получить изображение серпа Венеры при элонгации менее 2° , то в середине серпа должно наблюдаться яркое пятно, создаваемое френелевским отражением Солнца от ее атмосферы. Угловой размер зеркально отраженного от атмосферы Венеры изображения Солнца при наблюдении с Земли при небольших элонгациях составляет около $0,3''$. Поэтому с Земли или ИСЗ вряд ли можно получить изображение Солнца, зеркально отраженное атмосферой Венеры. Это, по-видимому, возможно только с космического корабля, запускаемого в сторону Венеры.

Следует отметить, что наземный коронограф с разрешением не хуже $2''$ позволит зарегистрировать только френелевское отражение солнечного излучения от атмосферы Венеры, яркость которого значительно превышает яркость околосолнечного ореола. Яркость диффузно отраженного поверхностью Венеры солнечного излучения при небольших элонгациях у нижнего соединения значительно меньше яркости околосолнечного ореола.

Поэтому изображение серпа Венеры, образованное диффузно отраженным солнечным излучением и имеющее угловой размер около $60''$, по-видимому, не может быть зарегистрировано наземным коронографом.

В ближайшее время Венера будет находиться в нижнем соединении 6 апреля 1977 г. (в 9 ч 05 мин по московскому времени), 8 ноября 1978 г., 15 июня 1980 г., 21 января 1982 г.

О возможности наблюдения френелевского отражения звезд и планет от ночной атмосферы Земли

При оценке возможности наблюдения френелевского отражения звезд или планет от ночной атмосферы Земли будем рассматривать их как точечные источники излучения. Поэтому воспользуемся методикой, используемой при расчетах обнаружения точечного источника на однородном фоне. Прежде всего необходимо найти освещенность (блеск), создаваемую зеркально отраженным излучением звезды или планеты:

$$E_3 = \rho_3 \tau_a E, \quad (21)$$

где E — освещенность (блеск) от прямого излучения звезды или планеты; τ_a — пропускание атмосферы Земли.

Яркость фонового излучения будет определяться эмиссионным излучением ночной атмосферы Земли. При наблюдении из космоса яркость фонового излучения атмосферы Земли у ночного горизонта (при отсутствии полярных сияний) составляет $B_\phi \approx \approx 10^{-6}$ сб. Пусть использованная для наблюдения оптическая система имеет угловую разрешающую способность, определяемую телесным углом Ω . Тогда контраст k , равный отношению световых потоков, падающих на элементарную площадку приемника оптической системы от зеркально отраженного атмосферой Земли излучения Земли или планеты F_3 , и фонового излучения атмосферы Земли у ночного горизонта F_ϕ будет равен

$$k = \frac{F_3}{F_\phi} = \frac{E_3}{B_\phi \Omega} = \frac{\rho_3 \tau_a E}{B_\phi \Omega}. \quad (22)$$

Если предельное значение контраста оптической системы $k_{пр}$, то предельно возможное для наблюдения зеркального отражения от ночной атмосферы Земли значение освещенности (блеска), создаваемой излучением звезды или планеты, будет

$$E_{пр} = \frac{k_{пр} B_\phi \Omega}{\rho_3 \tau_a}. \quad (23)$$

Естественно, что выражения (22) и (23) будут справедливы только в том случае, когда искажения (абберации), возникающие при зеркальном отражении от атмосферы Земли, не превышают углового разрешения оптической аппаратуры Ω . Пре-

дельное значение контраста $k_{\text{пр}}$ зависит от способа выделения сигнала и пороговой чувствительности оптической системы. Для ряда оптических систем (в частности, для зрительного восприятия) $k_{\text{пр}}$ зависит также от яркости фона и уровня освещенности, создаваемой точечным источником. В качестве примера рассмотрим возможность исследования зеркального отражения от ночной атмосферы Земли с помощью оптической системы, обладающей угловым разрешением 1 мрад, т. е. с $\Omega \approx 10^{-6}$ ср и $k_{\text{пр}} = 0,1$. Такая оптическая система позволит проводить наблюдения френелевского отражения от ночной атмосферы Земли звезды или планеты нулевой звездной величины ($E_0 \approx 2,5 \cdot 10^{-6}$ лк) для значений $\rho_{\text{ат}}$, превышающих $5 \cdot 10^{-4}$.

Таким образом, способность атмосфер планет и комет создавать заметное френелевское отражение при небольших углах скольжения подтверждается следующими материалами:

а) результатами визуальных наблюдений с пилотируемых космических кораблей «Восход-2» в марте 1965 г. и «Союз-13» в декабре 1973 г.;

б) фотографиями горизонта Земли во время восхода или захода Солнца, полученными с космических кораблей «Союз-5» в январе 1969 г., «Аполлон-12» в ноябре 1969 г., орбитальной станции «Салют» в июне 1971 г. и космического корабля «Союз-13» в декабре 1973 г.;

в) регистрацией зеркального отражения Солнца от газопылевого хвоста кометы Когоутека с орбитальной станции «Скай-лэб» в декабре 1973 г.

ГОЛУБОЙ ПОЯС ЗЕМЛИ

А теперь вернемся к наблюдениям и картинам А. А. Леонова. Изображенное на картине «Голубой пояс Земли» явление удалось наблюдать только на одном витке полета космического корабля «Восход-2», когда он находился на ночной стороне планеты. Речь идет о ярко очерченном слое серо-голубого цвета у ночного горизонта Земли. Сквозь этот слой высотой около 80 км можно было видеть звезды и планеты, причем их цвет, белый над слоем, менялся на красный, как только наблюдение проводилось через слой [4, 11, 15, 34, 36].

Можно предположить, что причиной эффекта были серебристые (мезосферные) облака, которые обычно наблюдаются на высоте около 80 км [2]. Дело в том, что прозрачность серебристых облаков для красных лучей значительно выше, чем для синих и зеленых [4, 5]. Поэтому звезды и планеты «краснеют» при наблюдении через слой таких облаков. Это явление можно использовать для обнаружения и исследования серебристых облаков из космоса на ночной стороне Земли.

Изменение цвета и блеска звезд и планет у ночного горизонта Земли на высоте около 80 км наблюдали и другие космонавты. В ряде случаев это изменение было незначительным. А вот при наблюдении с космических кораблей «Союз-5» и «Союз-12» было замечено, что цвет звезд изменялся от белого до желтого, а видимый блеск уменьшался в 2—2,5 раза [3, 6, 22].

Изменение цвета и блеска звезд и планет у ночного горизонта Земли на высоте перигея линии визирования около 80 км, по-видимому, может быть объяснено существованием в мезопаузе селективно ослабляющего слоя. Можно предположить, что этот слой аэрозольного происхождения. При отсутствии в мезопаузе аэрозольного слоя цвет и блеск звезд и планет не изменяются при наблюдении их через слой. В случае слабо ослабляющего слоя цвет звезд и планет изменяется от белого до желтого. При наличии в мезопаузе достаточно плотного ослабляющего слоя (типа серебристых облаков) наблюдается более сильное изменение цвета звезд и планет — от белого до красного; кроме того, заметно уменьшается их блеск.

Обнаружение и наблюдение серебристых облаков до сих пор всегда проводились в сумеречных условиях по рассеянному солнечному излучению. Для сумеречных и дневных условий рассмотрены различные способы обнаружения и наблюдения серебристых облаков с Земли и из космоса [2, 24, 29]. Возможность обнаружения и наблюдения серебристых облаков из космоса по изменению цвета и блеска звезд и планет при прохождении через ночную мезопаузу, по-видимому, впервые была рассмотрена в работах [4, 11, 15, 34]. Мысль о возможности использования небольших изменений цвета звезд и планет при наблюдении их через мезопаузу («пожелтение») для обнаружения и исследования аэрозольных слоев в мезопаузе, по-видимому, впервые была высказана в работе [36]. Для исследования серебристых облаков и аэрозольных слоев в мезопаузе на ночной стороне Земли можно использовать и Луну. Спектрофотометрирование Луны прибором типа РСС-2 [6] или спектрзональное фотографирование через мезопаузу из космоса позволит определять пропускание мезопаузы в различных участках спектра.

При появлении мезосферных облаков, локализованных обычно на высотах 80—85 км, несколько изменяется и характер видимого излучения ночного светящегося слоя атмосферы. Эти изменения также связаны с селективным характером рассеяния и ослабления серебристыми облаками. Выполненные в [5] расчеты показывают, что коэффициент рассеяния серебристых облаков в сине-зеленой части видимой области спектра в несколько раз больше, чем в красной части видимого спектра. Такое изменение цвета ночного светящегося слоя атмосферы наблюдал А. А. Леонов с космического корабля «Восход-2» в марте 1965 г. [4, 11, 15, 34].

Наблюдения с космического корабля «Восход-2» подтверждают факт существования и возможность обнаружения и исследования серебристых облаков на ночной стороне Земли. С космического корабля «Союз-9», по-видимому, впервые серебристые облака были обнаружены в условиях космических сумерек [6, 22]. Измерения с орбитальной геофизической обсерватории ОГО-6 [32] показали возможность исследования оптических характеристик серебристых облаков и аэрозольного слоя в мезопаузе из космоса и на дневной стороне Земли.

Исследования серебристых облаков из космоса в сумеречных условиях и на дневной стороне Земли были проведены вторым экипажем орбитальной станции «Салют-4». «3 июля 1975 г. Петр Климук и Виталий Севастьянов продолжили начатые накануне исследования серебристых облаков. Для проведения экспериментов космонавты, сориентировав станцию над ночной стороной планеты, выполняли спектрографирование и фотосъемку серебристых облаков. Затем космонавты провели аналогичные исследования полярных сияний, наблюдавшихся в районе южного геомагнитного полюса. Перечисленные комплексные исследования физических явлений в верхней атмосфере Земли в практике космических полетов проведены впервые» («Правда», 1975, 5 июля).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждый полет, каждый космонавт вносит что-то новое в освоение и изучение космоса. Огромна роль первого выхода человека в открытое космическое пространство. По словам М. В. Келдыша [23], «осуществление проведенного эксперимента по выходу человека в космос — одно из самых замечательных свершений на пути освоения космоса». Первым человеком, вышедшим в открытый космос, оказался художник. Зоркий глаз художника за сравнительно короткое время полета (около 26 часов) сумел подметить ряд неизвестных ранее оптических явлений в земной атмосфере и ближнем космосе. Результаты его наблюдений позволили существенно расширить возможности исследования природной среды из космоса. Они не только не устарели, но и поныне показывают перспективные пути для этих исследований.

Наблюдения восхода Солнца послужили основой для анализа возможности визуальных и инструментальных исследований гео- и гелиокороны из космоса при полете на различных высотах. Из этих же наблюдений возникло предположение о способности атмосфер планет и комет создавать заметное френелевское отражение при небольших углах скольжения. Это предположение в дальнейшем было использовано для интерпретации ряда атмосферно-оптических явлений в космосе. Наблюдения ночного горизонта подсказали идею метода обнаружения и исследования из космоса оптических характеристик серебристых облаков и аэрозольных слоев в мезопаузе на ночной стороне Земли.

Продолжением и дальнейшим развитием исследований атмосферно-оптических явлений, обнаруженных при анализе и интерпретации результатов визуальных наблюдений А. А. Леонова с космического корабля «Восход-2», явились упомянутые выше эксперименты «искусственное солнечное затмение» и «фотографирование восхода Солнца». Эти эксперименты были осуществлены А. А. Леоновым и В. Н. Кубасовым с космического корабля «Союз-19» во время совместного советско-американского полета «Союз»—«Аполлон» в июле 1975 г., через 10 лет после полета космического корабля «Восход-2».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая Советская Энциклопедия. Т. 9. 3-е издание. М., «Советская Энциклопедия», 1972, с. 384, 385.
2. Бронштэн В. А., Гришин Н. И. Серебристые облака. М., «Наука», 1970.
3. Визуальные наблюдения дневного, сумеречного и ночного горизонта Земли с пилотируемых космических кораблей.— «Космические исследования», 1972, т. 10, вып. 1, с. 100—112. Авт.: А. А. Бузников, К. Я. Кондратьев, А. И. Лазарев, М. М. Мирошников, А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов, О. И. Смоктий, Е. В. Хрунов.
4. Виллман Ч. И., Лазарев А. И., Леонов А. А. Наблюдения мезосферных облаков из космоса на ночной стороне Земли.— В кн.: Физика мезосферы и мезосферных облаков. Метеорологические исследования, № 22. М., «Наука», 1975, с. 144—147.
5. Виллман Ч. И., Сергеевич В. Н. Оценка спектральной яркости и прозрачности серебристых облаков.— «Изв. АН ЭССР. Физика и математика», 1969, т. 18, № 2, с. 200—204.
6. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. Л., Гидрометеиздат, 1972.
7. Казанский К. В. Земная рефракция над обширными водными поверхностями. Л., Гидрометеиздат, 1966.
8. Кок У. Е. Лазеры и голография. М., «Мир», 1971.
9. Лазарев А. И., Леонов А. А. Зеркальное отражение от атмосферы Земли.— «Оптико-механическая промышленность», 1973, № 11, с. 15—18.
10. Лазарев А. И., Даминова Т. А. Коронограф со слабо пропускающим экраном.— «Оптико-механическая промышленность», 1974, № 7, с. 76.
11. Лазарев А. И., Леонов А. А. Оптические наблюдения с пилотируемого космического корабля «Восход-2».— «Оптико-механическая промышленность», 1973, № 7, с. 11—13.
12. Лазарев А. И., Леонов А. А. Исследования из космоса френелевского отражения от атмосфер планет и комет.— «Астроном. вестник», 1975, т. 9, № 4, с. 218—222.
13. Лазарев А. И. О возможности наблюдения френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры.— «Астроном. вестник», 1975, т. 9, № 3, с. 143—146.
14. Лазарев А. И., Хрунов Е. В. Зеркальное отражение от атмосферы.— «Земля и Вселенная», 1974, № 5, с. 4—7.
15. Леонов А. А., Лазарев А. И. Оптические наблюдения в космосе.— «Техника молодежи», 1973, № 6, с. 8—10.

16. Леонов А. А., Соколов А. К. Ждите нас, звезды. М., «Молодая гвардия», 1967.
17. Леонов А. А., Соколов А. К. Звездные пути. М., «Молодая гвардия», 1971.
18. Леонов А. А., Соколов А. К. К звездам! Л., «Аврора», 1970.
19. Леонов А. А., Соколов А. К. Космические дали. М., «Искусство», 1971.
20. Результаты наблюдений солнечной короны с пилотируемого космического корабля «Восход-2». — Докл. АН СССР, 1973, т. 212, № 2, с. 327—330. Авт.: К. Я. Кондратьев, А. И. Лазарев, А. А. Леонов, О. И. Смоктий.
21. Об использовании эффекта ночного светящегося слоя для целей автономной навигации и ориентации пилотируемых космических кораблей. — Докл. АН СССР, 1971, т. 199, № 6, с. 1278—1280. Авт.: К. Я. Кондратьев, Н. Ф. Романтеев, О. И. Смоктий, Е. В. Хрунов.
22. Оптические явления в атмосфере по наблюдениям с пилотируемых космических кораблей. Л., Гидрометеониздат, 1972. Авт.: Г. Т. Береговой, А. А. Бузников, К. Я. Кондратьев, А. И. Лазарев, М. М. Мирошников, А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов, О. И. Смоктий, Е. В. Хрунов.
23. Освоение космического пространства в СССР. Официальные сообщения ТАСС и материалы центральной печати. 1957—1967 гг. М., «Наука», 1971.
24. Розенберг Г. В. О наблюдаемости серебристых и перламутровых облаков с космических кораблей. — Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1966, т. 2, № 1, с. 39—45.
25. Симонов А. И. О природе некоторых оптических эффектов, наблюдаемых с борта космических аппаратов при восходе Солнца. — Космические исследования, 1973, т. 11, № 3, с. 490—491.
26. Смоктий О. И. О приближенном определении яркости сумеречного ореола земной атмосферы в области 0,40—1,06 мкм. — Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1969, т. 5, № 8, с. 782—795.
27. Фотографирование восхода или захода Солища из космоса. — Докл. АН СССР, 1975, т. 221, № 4, с. 832—834. Авт.: К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников, А. И. Лазарев, Е. В. Хрунов.
28. Фотографирование из космоса зеркального изображения Солнца, создаваемого атмосферой Земли. — Оптико-механическая промышленность, 1975, № 1, с. 3—4. Авт.: А. А. Бузников, П. И. Климук, А. И. Лазарев.
29. Эрме К. А. К проблеме исследования серебристых облаков методами внеатмосферной астрофизики. — Публ. Гартуской астрофиз. обсерватории, 1971, т. 38, с. 141—157.
30. Bedini S., von Braun W., Whipple F. The Moon. Man's greatest adventure. N. Y., 1970.
31. Blamont J. E., Luton T. M. OGO-VI direct measurement of the temperature of the neutral atmosphere from 200 km to 350 km of altitude. Abstracts XIII Plenary Meeting COSPAR, Leningrad, 20—29 May 1970, p. 129.
32. Donahue T. M., Guenter B., Blamont J. E. Noctilucent clouds in daytime. Circumpolar particulate layers near the summer mesopause. — "Atmospheric Sciences", 1972, vol. 29, p. 1205—1209.
33. Kovar N., Kovar R., Bonner G. Light scattering by manned spacecraft atmospheres. — "Planetary and Space Science", 1969, vol. 17, N 2, p. 143—154.

34. Lazarev A. I., Leonov A. A. and Miroshnikov M. M. Optical investigations from the manned spacecraft Voskhod 2.—In: COSPAR approaches to Earth survey problems through use of space techniques. Proc. Symposium held in Constance, FRG, 23—25 May 1973. Berlin, Akademie-Verlag, 1974, S. 489—494.

35. Нохон J. E. Day airglow.—“Space Science Reviews”, 1968, vol. 8, N 1, p. 92—134.

36. Optical characteristics of the mesopause and the lower termosphere on the nightside of the Earth. Abstracts XVI Pienary Meeting COSPAR, São Paulo, Brasil, june—july 1974, p. 152—153. Authors: A. A. Buznikov, K. Ya. Kondratyev, A. I. Lazarev, O. I. Smokty.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Наблюдения солнечной короны	6
Френелевское отражение от атмосфер планет и комет	15
Визуальные наблюдения из космоса	—
Фотографирование восхода и захода Солнца из космоса	20
Регистрация френелевского отражения Солнца от кометы Когоутека	24
О возможности исследования френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры	26
О возможности наблюдения френелевского отражения звезд и планет от ночной атмосферы Земли	30
Голубой пояс Земли	31
Заключение	34
Список литературы	35

**Александр Иванович Лазарев,
Евгений Васильевич Хрунов**

**ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ
С КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ
«ВОСХОД-2»**

Редактор Г. Я. Русакова. Техн. редактор М. И. Брайнина. Корректор Г. Н. Рымант.
Сдано в набор 10/IX 1975 г. Подписано к печати 21/XI 1975 г. М-17406. Формат 60×90^{1/16}.
Бум. тип. № 1. Печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 2,27. Тираж 4000 экз. Индекс МЛ-160. Заказ № 470.
Цена 15 коп. Гидрометеоздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000. Ленинград, Прачечный пер., 6.

Сканирование и сборка Шубин П.С. shubinpavel@mail.ru