

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ,
А. А. БУЗНИКОВ, А. И. ЛАЗАРЕВ, Е. В. ХРУНОВ

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ВОСХОДА ИЛИ ЗАХОДА СОЛНЦА ИЗ КОСМОСА

На фотографиях, полученных с КК «Союз-5», «Аполлон-12» и «Салют-1», привлекает внимание симметричная относительно видимого горизонта Земли часть солнечного диска, солнечной короны и околосолнечного ореола. Очевидно, это свидетельствует о способности атмосферы Земли создавать зеркальное отражение солнечного излучения или других источников при небольших углах возвышения относительно видимого горизонта.

Предположение о способности атмосферы Земли создавать зеркальное отражение при углах, близких к 90° , впервые было сделано при анализе результатов визуальных наблюдений летчика-космонавта СССР А. А. Леонова, выполненных с пилотируемого космического корабля «Восход-2» в марте 1965 г. (1, 2). По результатам визуальных наблюдений с КК «Восход-2» А. А. Леоновым была создана картина «На орбите — большая космическая станция» (3), на которой изображен восход Солнца при наблюдении с высоты около 500 км. Во время восхода, когда над горизонтом находилась часть диска Солнца, эта же часть диска Солнца наблюдалась в виде зеркального отражения от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения (угол скольжения — дополнительный к углу зеркального отражения).

С КК «Союз-5» в январе 1969 г., по-видимому, впервые были получены черно-белые фотографии, на которых одновременно зарегистрированы 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 (5) для определения положения входной щели спектрографа по высоте светящегося сумеречного слоя.

Фотографирование и спектрофотометрирование с КК «Союз-5» проводилось 15 I 1969 г. на втором ($12^{\text{h}}52^{\text{m}}$; здесь и далее время московское) и шестом ($18^{\text{h}}23^{\text{m}}$) витках, 16 I на 15 витке ($7^{\text{h}}23^{\text{m}}$). Фотографирование проводилось перед восходом и во время восхода Солнца одиночными кадрами через 3—5 сек. С КК «Союз-5» получено 15 кадров, в том числе 5 кадров, когда край диска Солнца находится над горизонтом.

На кадрах, полученных перед восходом Солнца и появлением околосолнечного ореола, зарегистрирован светящийся сумеречный слой, угловой размер которого составлял $\sim 1,5^\circ$. На кадрах, полученных после выхода части диска Солнца из-за горизонта, кроме сумеречного слоя, зарегистрировано прямое и зеркально отраженное от атмосферы Земли изображение части диска Солнца и околосолнечного ореола.

На кадре, полученном на 2 витке (на рис. 1а), над видимым горизонтом зарегистрированы сумеречный ореол Земли, прямое изображение части околосолнечного ореола и небольшой части солнечного диска, только что появившихся над горизонтом. 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.

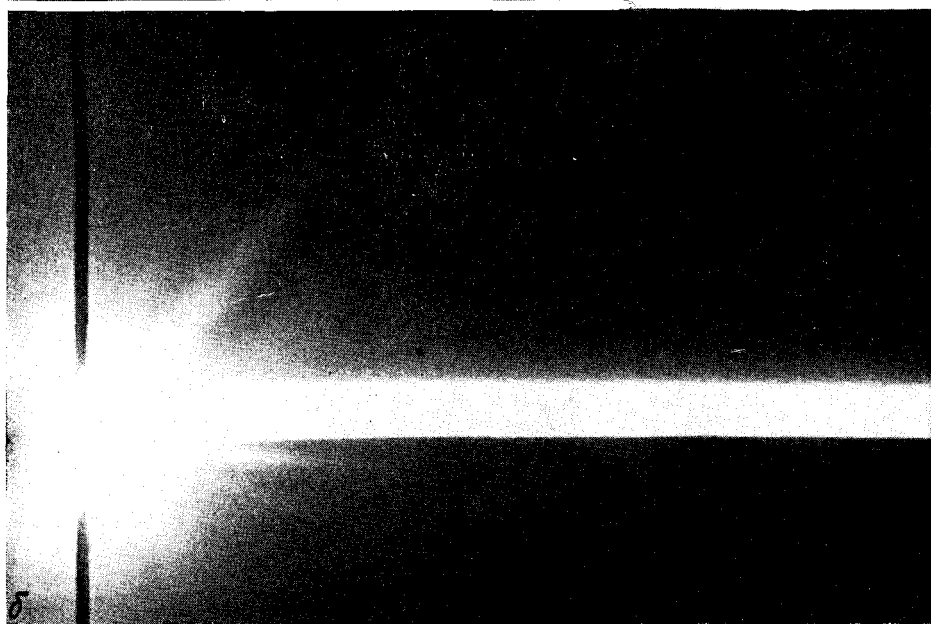
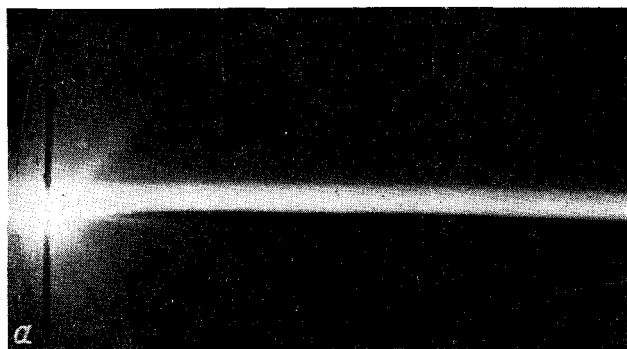


Рис. 1. Фотографии сумеречного горизонта Земли с КК «Союз-5», 15 I 1969 г.:
а — 2 виток, 12^h 52^m; *б* — 6 виток, 18^h 23^m

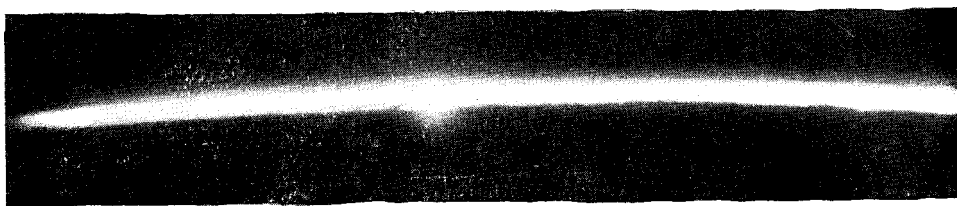


Рис. 2. Фотография сумеречного горизонта Земли с КК «Салют-1» (оригинал цветной)



Рис. 1. Рентгенографические изображения (CoK_α -излучение) упругих полей (черно-белые розетки) и доменной структуры вблизи включений (B). Рефлексы 101 (а), 110 (б) и 002 (в) соответственно

Предполагаемая способность атмосферы Земли создавать зеркальное отражение при небольших углах скольжения более отчетливо проявилась на следующем кадре, при съемке которого значительная часть солнечного диска находилась над горизонтом Земли. На этом кадре, полученном на 6 витке (рис. 1б), выше горизонта Земли, кроме сумеречного ореола, зарегистрированы прямое изображение части солнечного диска и верхняя часть околосолнечного ореола. Ниже горизонта Земли наблюдаются эти же части солнечного диска и околосолнечного ореола, зеркально отраженные от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения.

В ноябре 1969 г. с космического корабля «Аполлон-12» на трассе Луна — Земля получены цветные фотографии сумеречного ореола Земли и части солнечной короны, когда Солнце находилось за краем диска Земли под небольшим углом погружения (⁶). На фотографиях эта же часть солнечной короны зарегистрирована как зеркально отраженная от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения. Цветные фотографии сумеречного ореола Земли и солнечного ореола, свидетельствующие о способности атмосферы Земли создавать зеркальное отражение под небольшими углами скольжения, получены также с пилотируемой орбитальной станции «Салют-1» в июне 1971 г. На кадре, изображенном на рис. 2, выше горизонта зарегистрированы прямое изображение сумеречного ореола Земли и околосолнечного ореола. На этом же кадре ниже горизонта зарегистрировано изображение той же части околосолнечного ореола, зеркально отраженного от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения.

Результаты наблюдений с КК «Восход-2» и «Аполлон-12» были проанализированы в предположении, что основной вклад в формирование изображения части Солнца, солнечной короны и околосолнечного ореола, наблюдаемые ниже горизонта, вносит зеркальное отражение от атмосферы Земли (естественно, что процессом, ответственным за формирование отражения, является рассеяние). Были выполнены оценки коэффициента зеркального отражения ρ атмосферы Земли при некоторых упрощающих предположениях. Атмосфера рассматривалась в виде однородных слоев с показателем преломления всей атмосферы $n=1,000292$. Использована формула Френеля, преобразованная для случая небольших углов скольжения α и $n-1 \leq 1$ (²):

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

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента от угла скольжения коэффициента зеркального отражения атмосферы Земли на различных высотах. Оценки показывают, что коэффициент зеркального отражения всей атмосферы Земли при углах скольжения $\alpha < 15'$ превышает 50%, а при угле скольжения 1° составляет около 8%.

В связи с этим следует отметить, что при наблюдении Солнца и других внеатмосферных источников излучения у горизонта Земли через плотные слои атмосферы уменьшение яркости солнечного диска и блеска точечных источников происходит не только вследствие ослабления в атмосфере, но также и за счет зеркального отражения от атмосферы. Зеркальное отраже-

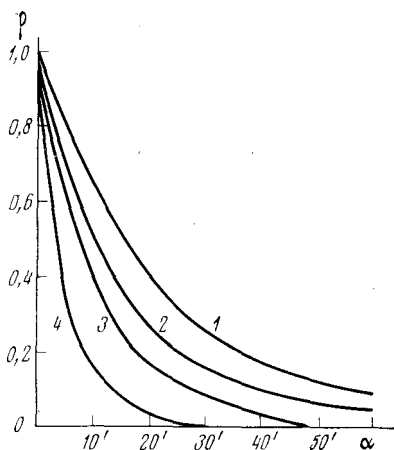


Рис. 3. Зависимость коэффициента ρ зеркального отражения атмосферы Земли от угла скольжения α на различных высотах (км): 1 — 0; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 20

ние солнечного излучения происходит как при входе в плотные слои, так и при выходе за пределы плотных слоев атмосферы. Зеркальное отражение солнечного излучения при выходе за пределы плотных слоев атмосферы, по-видимому, наблюдалось из космоса перед восходом Солнца в виде узкой полоски в направлении солнечного вертикала (¹). Это явление описано следующим образом (¹): «Над краем горизонта в надсолнечной области появляется розовая полоска 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 солнечного излучения в атмосфере Земли.

Зеркальное отражение от атмосферы Земли можно наблюдать из космоса либо при безоблачной атмосфере, либо при низкой облачности, так как оно формируется, главным образом, в плотных слоях атмосферы. Эффективная толщина слоя атмосферы Земли, создающего заметное зеркальное отражение, составляет около 10–15 км. В связи с этим при наблюдении зеркального отражения от атмосферы из космоса существенную роль играет высота полета космического корабля, так как от высоты будет зависеть угловой размер отражающего слоя: с высоты 100 км он составит $\sim 1^\circ$, с высоты 500 км $\sim 20'$, с высоты 100 000 км менее $0,5'$. Поэтому зеркально отраженное атмосферой Земли изображение Солнца (или других источников излучения) при наблюдении с небольшой высоты будет менее четким, чем при наблюдении с больших высот. Этот вывод подтверждается качеством изображений зеркального отражения Солнца, околосолнечного ореола и солнечной короны, которые были получены с КК «Союз-5», «Аполлон-12» и «Салют-1».

Способностью создавать зеркальное отражение, по-видимому, обладают и другие планеты с плотной атмосферой. Поэтому исследования зеркального отражения могут быть использованы для исследования физических свойств атмосфер планет. Особенно интересные результаты могут быть получены при исследовании зеркального отражения в области атмосферных полос поглощения, где наблюдаются аномалии показателя преломления атмосферы.

По центральному телевидению СССР 2 I 1974 г. было передано сообщение о регистрации с орбитальной станции «Скайлаб» зеркального отражения Солнца от кометы Когоутека под небольшим углом скольжения. Это явление, по-видимому, имеет ту же природу, что и сфотографированное с космических кораблей «Союз-5», «Аполлон-12» и «Салют-1» зеркальное отражение Солнца от атмосферы Земли. Тщательный анализ всех условий регистрации зеркального отражения Солнца от кометы Когоутека позволит сделать более определенные выводы.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
12 XII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Лазарев, А. А. Леонов, Оптико-механическая промышленность, № 7 (1973). ² А. И. Лазарев, А. А. Леонов, Зеркальное отражение от атмосферы Земли, Там же, № 11 (1973). ³ А. А. Леонов, А. А. Соколов, Звездные пути, 1971. ⁴ Освоение космического пространства. Официальные сообщения ТАСС и материалы центральной печати 1957–1967 гг. под ред. Г. А. Скуридина, «Наука», 1971, стр. 457. ⁵ Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций, 1972. ⁶ The Moon, Man's Greatest Adventure, Text by Silvio Bedini, Werner von Braun, Fred L. Whipple, Harry N. Abrams, N. Y., 1970. ⁷ К. Я. Кондратьев, Н. Ф. Романтеев и др., ДАН, т. 199, № 6, 1278 (1971).