

УДК 629.195:551.521

ГЕОФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ, А. А. БУЗНИКОВ,
Б. В. ВИНОГРАДОВ, В. Н. ВОЛКОВ, В. В. ГОРБАТКО, О. И. СМОКТИЙ, В. М. ОРЛОВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРОФОТОМЕТРИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ «СОЮЗ-7»

Впервые эксперимент по спектрофотометрированию сумеречного ореола Земли из космоса был осуществлен в январе 1969 г. во время полета космического корабля «Союз-5». Основные результаты этого эксперимента изложены в работах (1-4). При осуществлении группового полета космических кораблей «Союз-6, 7, 8» программа комплексного оптического эксперимента была расширена и предусматривала решение следующих основных задач:

1. Спектрофотометрирование Солнца и сумеречного ореола земной атмосферы при различных условиях визирования, освещения Солнцем, расположения наблюдателя в космосе для исследования яркостной и цветовой картины ореола и изучения вертикального распределения различных компонент атмосферы.

2. Спектрофотометрирование различных природных образований с целью изучения возможностей их идентификации по спектральным отражательным характеристикам, измеренным из космоса.

3. Синхронное осуществление комплексной программы наземных и самолетных оптических исследований атмосферы и различных типов подстилающих поверхностей в подспутниковой зоне для получения данных, характеризующих спектральную передаточную функцию атмосферы, спектры и спектральные контрасты природных образований в зависимости от основных оптических параметров.

Спектрофотометрирование сумеречной атмосферы и подстилающих поверхностей с космического корабля «Союз-7» проводилось при помощи модифицированного ручного спектрографа РСС-2 (5), входной телеобъектив которого (фокусное расстояние $f=135$ мм, относительное отверстие $D/f=1:4$) одновременно фокусирует изображение спектрофотометрируемого удаленного объекта на входную щель спектрографа (канал спектрографа) и непосредственно на фотоленку (канал фотопривязки). Для данной конструкции спектрографа линейная дисперсия равна $166 \text{ \AA}/\text{мм}$, спектральная ширина щели 50 \AA , спектральный диапазон измерений $430-690$ мн. Предельная угловая разрешающая способность канала спектрографа составляет $2'$, а канала фотопривязки $4'$. Обработка спектров проводилась согласно методике, описанной в (4).

В предыдущем эксперименте (1) не оценивался эффект спектрального пропускания солнечного излучения через иллюминатор космического корабля. Для оценки этой величины перед объективом спектрографа устанавливался светорассеивающий фильтр с известными оптическими характеристиками, затем прибор направлялся на Солнце.

Сравнение плотностей почернений фотоленки в спектрографе, полученных от эталонного источника и от Солнца при использовании указанного выше светорассеивающего фильтра, позволяет найти спектральную освещенность единичной площадки, которую создает солнечное излучение при прохождении через иллюминатор космического корабля.

Во время группового полета космических кораблей «Союз-6, 7, 8» спектрофотометрирование сумеречного ореола проводилось на 87 витке косми-

ческого корабля «Союз-7» в 21 час 41 мин. по московскому времени по мере захода Солнца. Географические координаты космического корабля «Союз-7» в момент эксперимента были: $23,18^\circ$ с. ш. и $23,39^\circ$ в. д. (район северо-восточной Африки). Высота орбиты в момент эксперимента составляла приблизительно 218 км.

Сравнение полученных результатов с данными аналогичного эксперимента, проведенного во время полета космического корабля «Союз-5», по-

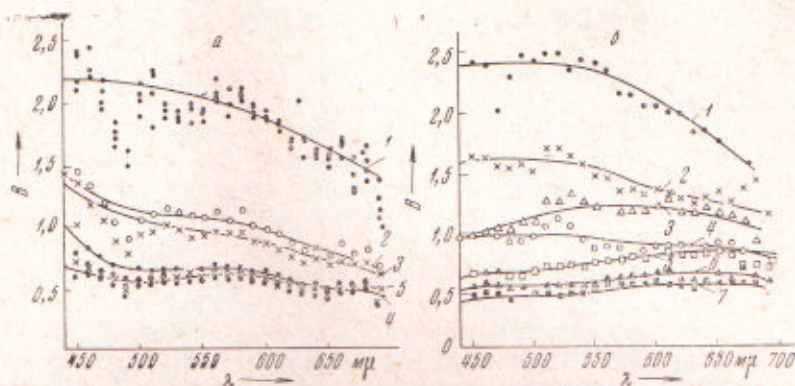


Рис. 1. Кривые спектральной яркости B , $(\text{вт}/\text{м}^2 \cdot \text{мк} \cdot \text{стерад}) \cdot 10$ природных поверхностей, полученные 13 октября 1969 г. во время полета пилотируемого космического корабля «Союз-7». а — с космического корабля: 1 — плотная облачность, 2, 3 — тонкая облачность, 4 — поверхность пустыни в северной части Аравийского полуострова, 5 — поверхность пустыни на плато Усть-Урт у восточного побережья Каспийского моря; б — с самолета: 1 — плотная облачность, 2 — тонкая облачность, 3 — пески, 4 — солончаки, 5 — каменистые пустыни, пересеченные грунтовыми дорогами, 6, 7 — каменистые пустыни

казывает, что качественное поведение монохроматических кривых яркости ореола в обоих экспериментах одинаково. Однако абсолютные величины яркости в предшествующем эксперименте (1) были в 2—3 раза меньше ($\lambda = 650 \mu$). Так же как и в предыдущем эксперименте (1), на кривых монохроматической яркости отсутствуют заметные депрессии, вызываемые аэрозольными слоями, локализованными на разных уровнях в атмосфере.

В настоящем сообщении представлены также данные о спектрах различных природных поверхностей, полученных 13 октября 1969 г. с космического корабля «Союз-7» по трассе от Аравийского полуострова до Аральского моря. Спектрофотометрирование различных участков земной поверхности производилось в течение короткого промежутка времени от 13 час. 19 мин. до 13 час. 29 мин. московского времени при высотах Солнца $35-50^\circ$.

Во время полета космического корабля «Союз-7» были получены спектры следующих идентифицированных категорий природных поверхностей: (1) плотная облачность, (2) тонкая облачность, (3) каменистая пустыня, (4) тень от облачности (рис. 1 а). Сплошная и плотная кучевая и слоисто-кучевая облачность характеризуется максимальными значениями яркости в пределах $0,20-0,24 \text{ вт}/\text{м}^2 \cdot \text{мк} \cdot \text{стерад}$ в диапазоне длин волн от 440 до 580 мк (рис. 1а, 1). Заметное падение яркости до $0,14-0,15 \text{ вт}/\text{м}^2 \cdot \text{мк} \cdot \text{стерад}$ происходит в оранжево-красном участке спектра при $\lambda = 580-690 \text{ мк}$. Тонкая облачность высоко-слоистых и слоисто-кучевых форм разного уровня дает интегральное изображение как облачного слоя, так и просвечивающей затененной поверхности. Последняя существенно не изменяет спектрального хода яркости, но сильно снижает ее абсолютные значения до $0,12-0,14 \text{ вт}/\text{м}^2 \cdot \text{мк} \cdot \text{стерад}$ в интервале $\lambda = 440-580 \text{ мк}$ и до $0,07-0,10 \text{ вт}/\text{м}^2 \cdot \text{мк} \cdot \text{стерад}$ в интервале $\lambda = 580-690 \text{ мк}$ (рис. 1а, 2, 3).

Каменистая пустыня плато Усть-Урт сложена известняками и покрыта серо-бурыми суглинисто-щебнистыми почвами, местами такырами и маломощными пылевато-песчаными наносами. Растительный покров — разреженный и заметного влияния на спектры ландшафтов не оказывает. Подстилающие поверхности такого рода дают кривые спектральной яркости

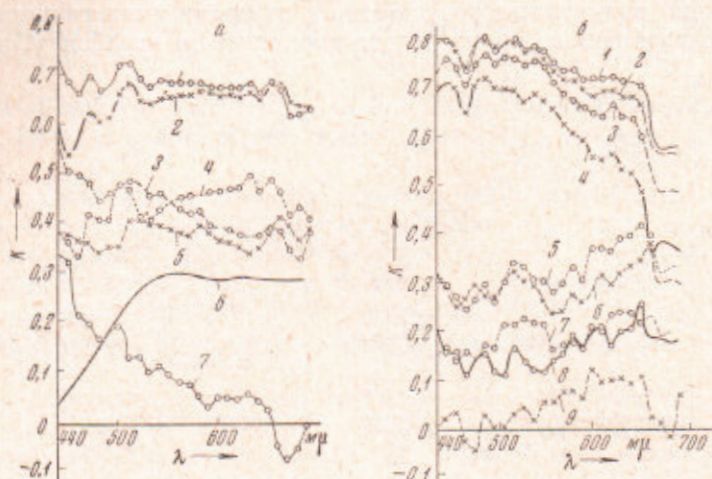


Рис. 2. Кривые спектральных контрастов K природных поверхностей, полученные по данным спектрофотометрирования 13 октября во время полета пилотируемого космического корабля «Союз-7». *а* — с космического корабля: 1 — плотная облачность — пустыня (Аравия); 2 — плотная облачность — пустыня (Усть-Урт); 3 — тонкая облачность — пустыня (Усть-Урт), 4 — плотная облачность — тонкая облачность, 5 — тонкая облачность — пустыня (Аравия), 6 — освещенная пустыня (Аравия) — пустыня (Усть-Урт), 7 — освещенная пустыня — частично затененная пустыня (Усть-Урт). *б* — с самолета: 1, 2 — плотная облачность — каменистая пустыня, 3 — плотная облачность — суглинисто-щебнистая пустыня, пересеченная дорогами, 4 — плотная облачность — суглинисто-щебнистая пустыня, пересеченная дорогами — каменистая пустыня, 5, 6 — суглинисто-щебнистая пустыня — суглинисто-щебнистая пустыня, пересеченная дорогами — каменистая пустыня, 7 — суглинисто-щебнистая пустыня — суглинисто-щебнистая пустыня, пересеченная дорогами, 8 — суглинисто-щебнистая пустыня — каменистая пустыня, 9 — два участка каменистой пустыни на плато Усть-Урт

с очень слабо выраженными изменениями интенсивности по спектру в пределах $0,05-0,07$ ватт/м²·мк·стерад (рис. 1*а*, 4, 5).

Наконец, представляет интерес анализ наиболее темного типа спектрофотометрированной поверхности — участков несплошной тени от облачности. Поскольку тени были несплошными, они дали значения яркости намного более низкие, чем каменистые пустыни ($0,04-0,05$ ватт/м²·мк·стерад), причем эти различия в сине-зеленой области спектра заметно меньше, чем в красно-оранжевой.

Спектральные контрасты вычислялись по приведенным выше данным спектральных яркостей во всех возможных сочетаниях природных поверхностей (рис. 2*а*).

Спектральные контрасты плотной облачности и частично затененной поверхности каменистой пустыни достигают максимальных значений $k = 0,77$ при $\lambda = 630$ мк. Этот контраст несколько снижается в сине-зеленой области, где $k = 0,62$. Спектральные контрасты плотной облачности и каменистой пустыни также дают высокие абсолютные значения k в пределах $0,6-0,7$. Изменения контрастов — ровные по всей кривой или снижаются в коротковолновой части спектра (рис. 2*а*, 1, 2). Спектральные контрасты тонкой облачности и каменистой пустыни имеют аналогичный ход ярко-

сти, однако абсолютные величины контраста снижаются до $\sim 0,4$ (рис. 2а, 3, 5). Умеренные величины контраста дают плотная и тонкая облачность (рис. 2а, 4). Ход кривой монотонный с вариациями k в пределах 0,40—0,45. Спектральные контрасты освещенной и затененной каменной пустыни также невелики ($k \approx 0,3$), причем они заметно снижаются в коротковолновой области спектра и повышаются в длинноволновой (рис. 2а, 6). Контрасты между отдаленными участками каменной пустыни наименьшие $k = 0,05—0,15$ (рис. 2а, 7), причем повышение контрастов заметно как в зелено-голубой области спектра при $\lambda = 520$ м, так и в красной при $\lambda = 660$ м.

Приведенные выше результаты были сопоставлены с синхронными самолетными измерениями яркостей и контрастов, полученных при помощи аналогичной аппаратуры (РСС-2) над плато Усть-Урт в области «точки встречи» космического корабля и научно-исследовательского самолета. Спектрофотометрирование со спутника проводилось с высоты 220 км, а с самолета — приблизительно с 2,7 км. Сопоставление результатов спутниковых (рис. 1а, 2а) и самолетных (рис. 1б, 2б) измерений спектральных яркостей и контрастов одних и тех же типов подстилающих поверхностей показывает, что влияние дымки на оптические характеристики по сравнению с измерениями с высоты 2,7 км сравнительно невелико. Как и следовало ожидать, эффект дымки заметно сказывается в коротковолновой области спектра. В длинноволновом диапазоне рассеяние солнечного излучения атмосферой, расположенной выше 2,7 км, очень слабо влияет на абсолютные значения яркостей природных поверхностей.

В заключение следует отметить, что ход спектральных яркостей природных поверхностей позволяет дифференцировать некоторые типы природных образований по спектрам, измеренным с космического корабля. Вместе с тем следует подчеркнуть, что атмосфера искажает ход кривых спектральной яркости и снижает спектральные контрасты. Однако оптическая плотность земной безоблачной атмосферы не слишком велика, поэтому по совокупности данных об отражательной способности, радиационной температуре и комплексу других отражательных и излучательных характеристик подстилающих поверхностей принципиально возможна достаточно тонкая дифференциация природных образований по их спектрам.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
3 VI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. Я. Кондратьев, Б. В. Волынов и др., ДАН, 190, № 2 (1970).
² К. Я. Кондратьев, А. П. Гальцев и др., ДАН, 191, № 4 (1970). ³ К. Я. Кондратьев, А. П. Гальцев и др., ДАН, 191, № 5 (1970). ⁴ К. Я. Кондратьев, Б. В. Волынов и др., Изв. АН СССР, сер. физ. атмосферы и океана, № 4 (1970). ⁵ А. П. Гальцев, В. В. Михайлов и др., Проблемы физики атмосферы, № 7 (1969).