

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ, А. А. БУЗНИКОВ,  
О. Б. ВАСИЛЬЕВ, Б. В. ВИНОГРАДОВ, А. А. ГРИГОРЬЕВ,  
Ю. И. РАБИНОВИЧ, Л. И. ЧАПУРСКИЙ

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СОВМЕЩЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОДСПУТНИКОВОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Область применения пилотируемых космических кораблей (КК) для изучения земной поверхности (в том числе исследований ее природных ресурсов) на основе информации, получаемой при помощи оптических, радиолокационных и других видов наблюдений все более расширяется.

Наибольший объем информации из космоса о подстилающей поверхности в настоящее время дают оптические методы исследований. В целях решения указанных задач в программе научных экспериментов на КК «Союз-6» и «Союз-7» было предусмотрено фотографирование и спектрофотометрирование земной поверхности по трассе Каспийское море — Усть-Урт — Аральское море. Для получения сведений о передаточной функции атмосферы на указанной трассе выполнялись полеты на самолетах ЛИ-2 и ИЛ-18 с комплексом аппаратуры, в состав которого входили и приборы, аналогичные тем, которые были установлены на КК. Одновременно наземными группами проводилось физико-геофизическое описание поверхности по трассе полета. В выбранной точке трассы планировалось проведение совмещенного эксперимента с одновременной работой наземной группы, самолетов и КК. Совмещенный эксперимент проводился 12 и 13 X 1969 г. Спектрофотометрирование подстилающей поверхности в указанном районе проводилось с КК «Союз-7» только 13 X 1969 г.

В настоящем сообщении дается краткий обзор некоторых полученных результатов, исключая описание и анализ фотографирования с самолетов и КК.

Спектрографирование подстилающей поверхности с КК «Союз-7» проводилось в надир через иллюминатор с помощью ручного спектрографа РСС-2 по методике, описанной в работе (1). Описание схем и принципа работы РСС-2 сделано в работе (2). Спектральный диапазон прибора занимает участок 430—690 м $\mu$  (в спектрографе применялась фотопленка «тип 15»). Линейная дисперсия прибора равна 166  $\text{\AA}/\text{мм}$ , что при ширине щели 0,3 мм обеспечивает спектральное разрешение  $\sim 50 \text{\AA}$ . Наблюдения с самолета ИЛ-18 помимо аэрофотосъемки включали измерения восходящих потоков коротковолновой и длинноволновой радиации ( $\lambda = 0,3 - 3 \mu$  и  $3 - 30 \mu$ ), инфракрасного излучения ( $\lambda = 2,8 - 5,6 \mu$ ), микроволнового излучения ( $\lambda = 3,2 \text{ см}$ ), а также спектральные измерения в диапазонах длин волн 0,4—0,85; 0,9—2,6 и 2,2—5,4  $\mu$  с высоты 8000 м. На самолете ЛИ-2 находились спектрограф РСС-2 и комплекс фотозлектрических спектрометров, работающих в спектральном диапазоне от 300 до 900 м $\mu$  (3). Самолет ЛИ-2 выполнял полеты по трассе КК — 12 X на высоте 800 и 13 X на высоте 2700 м. Часть спектров подстилающей поверхности, полученных при помощи РСС-2 13 X 1969 г. с КК «Союз-7» с высоты 219 км и с самолета с высоты 2700 м опубликована в предыдущем сообщении (3).

В восточной и западной частях рассматриваемой территории 12 X 1969 г. наблюдались тонкие перистые облака на высоте 9000 м, очень

слабо влияющие на оптические свойства атмосферы. В восточной части плато Усть-Урт имела место кучевая облачность 2—5 баллов с высотой нижнего уровня 1000 м. Над Аральским морем облака отсутствовали. Воздушная дымка слабая: видимость около 10 км в западной части и до 20 км — в восточной. На Каспийском море слабое ветровое волнение (1 балл), температура воды у поверхности 14—15° С. На плоской суглинисто-щебнистой поверхности плато Усть-Урт температура поверхности такыров около 19° С, а щебнистых — около 22° С. На Аральском море слабое ветровое волнение и зыбь 1—2 балла, температура воды у поверхности 16° С.

Аэрофотография по трассе полета КК производилась в пределах фотоактивного потока при  $\lambda = 590 - 680$  м. Она давала детальную картину распределения оптических однородных поверхностей и служила основой для привязки всех остальных данных регистрации.

Потоки отраженной радиации измерялись широкоугольным приемником с углом зрения 130° в диапазоне  $\lambda = 0,3 - 3$  м. По ним вычислялось альbedo ( $A$ ) поверхности. Значение  $A$  зависит от типа подстилающей поверхности и состояния атмосферы. Наименьшие величины  $A = 10 - 15\%$  наблюдались над поверхностью моря. Поверхности солевых отложений северного Кара-Богаз-Гола и Барса-Кельмес имеют высокие альbedo, равные 32—41%. Умеренные значения альbedo, равные 20—30%, свойственны глинистым и глинисто-щебнистым поверхностям плато Усть-Урт.

Восходящие потоки длинноволновой радиации ( $E$ ) измерялись широкоугольным приемником в диапазоне  $\lambda = 3 - 30$  м. Наиболее теплыми являются суглинистые и суглинисто-щебнистые поверхности плато ( $E = 0,50 - 0,53$  кал/см<sup>2</sup>·мин). Менее нагреты в эти часы солончаки ( $E = 0,45 - 0,48$  кал/см<sup>2</sup>·мин). Минимальные значения  $E = 0,44$  кал/см<sup>2</sup>·мин зафиксированы над поверхностью Каспийского моря. Малые различия в суммарной длинноволновой радиации над неоднородными поверхностями объясняются большим компенсирующим влиянием оптической толщины атмосферы в этом интервале спектра.

Спектральные яркости ( $B_\lambda$ ) в диапазоне  $\lambda = 0,4 - 2,6$  м были получены с помощью спектрометра с углом зрения прибора 1°. В видимой и ближней и.-к. зоне спектра ( $\lambda = 0,40 - 0,83$  м) по этим данным дифференцируются отдельные типы поверхности по интенсивности и расположению максимумов  $B_\lambda$ . Наиболее яркими являются солевые поверхности с  $B_\lambda$  около  $(2 - 3) \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>·стерад·м, при монотонном, почти горизонтальном ходе  $B_\lambda$  по спектру, что соответствует визуально белому цвету поверхности. Несколько более темными являются опесчаненные солевые коры с  $B_\lambda$  около  $(1,4 - 2,6) \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>·стерад·м, соответствующие визуально светло-серому цвету. Наименьшие значения  $B_\lambda \approx (2 - 5) \cdot 10^{-4}$  вт/см<sup>2</sup>·стерад·м с заметными шах  $B_\lambda$  около 0,5 м имеют акватории визуально темно-синего, голубовато-зеленоватого цветов. В пределах плато дифференцируются: 1) поверхности с широким развитием такыров с высокими  $B_\lambda = (1,2 - 3) \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>·стерад·м, сопровождающиеся перемещением шах  $B_\lambda$  в красную зону спектра; 2) поверхности с относительно более сомкнутой растительностью, визуально более темные ( $B_\lambda = (0,9 - 2,6) \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>·стерад·м с шах<sub>1</sub> при  $\lambda = 0,55$  м и шах<sub>2</sub> при  $\lambda = 0,75$  м и min при  $\lambda = 0,65 - 0,7$  м; 3) промежуточные по структуре типы поверхности ( $B_\lambda = (0,7 - 2) \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>·стерад·м).

Менее ощутимые различия в  $B_\lambda$  этих же типов поверхностей зафиксированы в диапазоне  $\lambda = 0,9 - 2,0$  м, что связано с большой оптической толщиной атмосферы в этом диапазоне. Замечено, однако, что отражательные и излучательные характеристики несколько растут с повышением длины волны в диапазоне  $\lambda$  от 0,9 до 2,6 м.

Измерения и.-к. радиации ( $T_{рад}$ ) в окне прозрачности атмосферы проводилось с помощью сканирующего радиометра с углом зрения 12', работающего в диапазоне  $\lambda = 2,8 - 5,6$  м. В этой области спектра были полу-

чены тепловые изображения местности и значения радиационных температур. Наиболее холодными являются акватории  $T_{\text{рад}} = 3,6 - 6,8^{\circ}\text{C}$ . Глинисто-щебнистые и щебнистые поверхности дают высокие  $T_{\text{рад}} = 11,9^{\circ}\text{C}$ . Особенно повышается  $T_{\text{рад}}$  на увалах Карабаура (до  $15,4^{\circ}\text{C}$ ). Отчетливо выделяются солончаки по низким значениям  $T_{\text{рад}} = 9,6^{\circ}\text{C}$ . Наличие спорадической облачности приводило к уменьшению  $T_{\text{рад}}$  на  $5 - 6^{\circ}\text{C}$ . Несмотря на то, что различия в тепловых характеристиках в этом диапазоне выявлены достаточно детально, в дневное время тепловая картина подвержена искаженному влиянию отраженной радиации и поглощения атмосферой.

На участке спектра при  $\lambda = 3,2$  см измерения производились микроволновым радиометром с углом зрения  $6^{\circ}$  и фактической разрешающей способностью  $800 \times 800$  м при работе с высоты 8000 м. В работе анализируются радиояркие температуры ( $T_{\text{я}}^{\circ}\text{K}$ ). Сопоставление распределения значений  $T_{\text{я}}$  с условиями атмосферы и состоянием земной поверхности показало следующее.

Наиболее высокие  $T_{\text{я}}$  в дневное время характерны для суглинисто-щебнистых поверхностей на известняках плато Усть-Урт ( $T_{\text{я}} = 249 - 267^{\circ}\text{K}$ ). Минимальные значения  $T_{\text{я}}$  приходятся на водные поверхности моря, причем значения  $T_{\text{я}}$  над морем мало изменчивы, что отражает небольшие фактурные и тепловые градиенты на поверхности моря. Повышенные значения  $T_{\text{я}} = 156 - 157^{\circ}\text{K}$  наблюдались над сухими солевыми корами Кара-Богаз-Гола. Гипсы и краевая полоса опесчаненных солончаков дают промежуточные значения  $T_{\text{я}} = 219^{\circ}\text{K}$ . Над каменной пустыней плато Усть-Урт и Кара-Богазской песчаной косой  $T_{\text{я}}$  увеличивается до  $249 - 261^{\circ}\text{K}$  (значительные вариации  $T_{\text{я}}$  связаны с изменениями экспозиции и шероховатости поверхности). Таким образом, при помощи измерений  $T_{\text{я}}$  отчетливо дифференцируются несколько типов ландшафтов: песчаные, каменные и глинистые, солончаковые, гипсово-песчаные и акватории. Кроме того, в пределах плато Усть-Урт дифференцируются ландшафты с разным соотношением каменных и глинистых пустынь: участки с преобладанием глинистых, более ровных, почти лишенных растительности поверхностей, дают в это время более низкие  $T_{\text{я}}$ , а участки ее с преобладанием более темных щебнистых поверхностей — более высокие.

Таким образом, существует как положительная, так и отрицательная корреляции между показаниями отдельных приемников отражения и излучения. Морская поверхность дает самые низкие значения  $A$ ,  $E$ ,  $T_{\text{рад}}$ ,  $T_{\text{я}}$ ,  $B_{\lambda_{0,4-1,0\mu}}$  и  $B_{\lambda_{0,4-0,5\mu}}$ . Песчаная коса имеет умеренные значения  $A$ , по которым она мало отличается от солончаков, но резко выделяется по субмаксимальным величинам  $T_{\text{рад}}$  и  $T_{\text{я}}$ . Западная, залитая нагретой водой, часть Кара-Богаз-Гола отличается от осушенных солевых кор восточной части более низкими  $A$ ,  $B_{\lambda}$  и, наоборот, более высокими  $T_{\text{рад}}$ . Солончаки отличаются высокими  $A$ ,  $B_{\lambda}$ , низкими  $T_{\text{рад}}$  и равномерным ходом  $B_{\lambda}$  по всему спектру. Поверхность каменистого плато дает по сравнению с другими элементами поверхности умеренно высокие значения  $A$ ,  $B_{\lambda_{0,4-1,0\mu}}$ ,  $T_{\text{рад}}$ ,  $T_{\text{я}}$  и значения яркости, повышающиеся в красной области спектра при  $\lambda = 0,6 - 0,7\mu$ . Увеличение площадей такыров на каменистом плато приводит к увеличению  $A$ ,  $T_{\text{рад}}$ ,  $\text{max } B_{\lambda_{0,6-0,7\mu}}$  и уменьшению  $T_{\text{я}}$ . Склоны, экспонированные на юг, выделяются по увеличению  $T_{\text{рад}}$ , хотя значения  $T_{\text{я}}$  остаются на том же уровне. Наличие спорадической облачности (2—5 баллов) повышает  $A$  и снижает  $T_{\text{рад}}$ , хотя мало отражается на значениях  $T_{\text{я}}$ . Более густая растительность отличается уменьшением  $B_{\lambda}$  и наличием  $\text{max } B_{\lambda}$  при  $\lambda = 0,5 - 0,6\mu$  и  $\lambda \geq 0,8\mu$ .

Заметим в заключение, что каждый метод дистанционной индикации дает специфическую, но ограниченную, а часто и недостаточно надежную информацию о состоянии подстилающей поверхности, океана или атмосферы. Лишь совмещенное использование комплекса методов регистрации электромагнитного поля Земли в разных областях спектра, уточняющих

и дополняющих друг друга, позволяет получить достаточно надежную, универсальную и детальную информацию о природной среде дистанционными методами. Разумеется, настоящая статья является лишь иллюстрацией имеющихся возможностей. Практическое решение задачи осуществимо лишь на основе разработки методики статистического анализа комплексных радиационных данных.

Ленинградский государственный университет  
им. А. А. Жданова  
Главная геофизическая обсерватория  
им. А. И. Воейкова  
Ленинград

Поступило  
25 VIII 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников и др., Спектрофотометрия Земли с пилотируемых космических кораблей. Доклад на XIII сессии COSPAR, 1970. <sup>2</sup> А. П. Гальцев, В. В. Михайлов и др. Проблемы физики атмосферы, № 7, 184 (1968). <sup>3</sup> К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников и др., ДАН, 195, № 5 (1970). <sup>4</sup> В. В. Михайлов, В. П. Войтов, Проблемы физики атмосферы, № 7, 175 (1969).