

УДК 551.521

ГЕОФИЗИКА

А. Е. САЛОМОНОВИЧ, С. В. СОЛОМОНОВ, А. С. ХАЙКИН,  
В. С. КОВАЛЕВ, А. А. КОБЗЕВ

## ИЗМЕРЕНИЯ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ

(Представлено академиком Н. Г. Басовым 26 III 1975)

Проведение внеатмосферных исследований космических источников в субмиллиметровом диапазоне с помощью бортовых телескопов (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>) требует создания чувствительных бортовых радиометров. При этом в качестве приемных элементов оказывается необходимым использовать детекторы, охлаждаемые до температуры жидкого гелия. В процессе испытаний разработанного в Физическом институте АН СССР бортового субмиллиметрового радиометра на ИСЗ «Космос-669» были выполнены относительно продолжительные измерения субмиллиметрового излучения Земли.

Как известно, исследования излучения Земли со спутников в СВЧ и ИК диапазонах развиты весьма широко (см., например, (<sup>3-4</sup>, <sup>41</sup>)). Однако в СВЧ диапазоне поглощение атмосферы сравнительно невелико (за исключением отдельных линий, например, кислорода  $\lambda \sim 5$  мм, и воды  $\lambda \sim 13,5$  мм), и в наблюдаемое с ИСЗ излучение существенный вклад вносит подстилающая поверхность. В окнах прозрачности инфракрасного диапазона ситуация аналогична, но, кроме того, велико рассеяние солнечного света в облаках.

Субмиллиметровый диапазон ( $\sim 50-1000$  мкм) соответствует наибольшему поглощению в атмосфере (см., например, (<sup>5</sup>)). Наблюдения в этом диапазоне позволяют поэтому во многих случаях исследовать излучение собственно атмосферы, исключив излучение подстилающей поверхности. Выбрав несколько участков в субмиллиметровом диапазоне, отвечающих различным величинам атмосферного поглощения, можно получать информацию об условиях в различных ее слоях и, в первую очередь, о влагосодержании верхних слоев атмосферы. В описываемом ниже эксперименте, с помощью приемников из Ge: В и  $n$ -InSb выделены два таких участка (канала): 60—130 мкм (большое поглощение) и 350—650 мкм (меньшее поглощение).

Радиометр снабжен телеобъективом Кассегрена с главным сферическим зеркалом диаметром 100 мм. В фокусе телеобъектива находится кварцевое входное окно световода, помещенного в гелиевый криостат. К «холодному» концу световода присоединена интегрирующая камера, в которой расположены детекторы: германиевый, чувствительный к области 60—130 мкм (по уровню 0,1 максимальной чувствительности) и из антимонида индия  $n$ -типа, чувствительный (с учетом полосового фильтра) к области 350—650 мкм. Сохранение жидкого гелия в условиях орбитального полета обеспечивается безазотным гелиевым криостатом емкостью 10 л, в котором приняты меры, предотвращающие попадание жидкого гелия в горловину (<sup>6</sup>). Модуляция принимаемого излучения с частотой 200 гц осуществляется механическим обтюратором, размещенным перед главным зеркалом.

Направление линии визирования изменяется по программе плоским поворотным входным зеркалом. Периодические (через  $\sim 2$  часа) калибровки в полете производятся разворотом линии визирования из надира в зенит

на калибровочный излучатель (черное тело, температура которого измеряется).

Приемно-регистрирующий электронный блок размещается в герметизированном контейнере ИСЗ и обеспечивает усиление электрических сигналов от приемников обоих субмиллиметровых каналов ( $\sim 100$  и  $\sim 500$  мкм) в широком динамическом диапазоне, синхронное детектирование усиле-

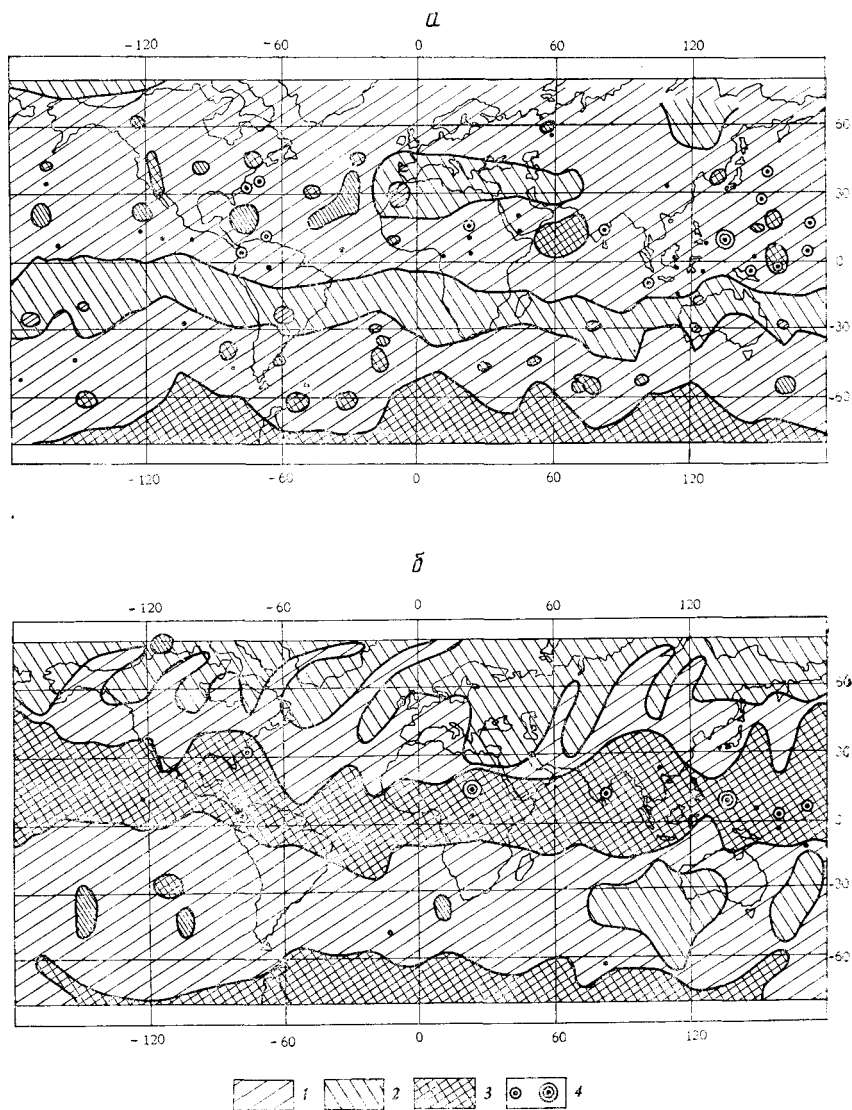


Рис. 1. Распределение яркости излучения по географическим координатам земного шара в четырех градациях: 1 — яркость выше среднего уровня, 2 — средний уровень, 3 — ниже среднего уровня, 4 — компактные холодные области. Результат осреднения за 15 витков 30 VII 1974. а — канал 350–650 мкм, б — канал 60–130 мкм

ных сигналов, а также управление радиометром и его калибровку. Информация с выходов электронного блока передается по каналам телеметрии. Подробное описание радиометра содержится в (7, 8).

Радиометр с детекторами, охлаждаемыми жидким гелием, был установлен на борту ИСЗ «Космос-669», запущенного 26 VII 1974 г. на орбиту с наклоном  $81,4^\circ$  и высотой около 220 км. После включения радиометр нормально работал непрерывно в течение более 4 суток (75 витков). Расшифровка телеметрических записей позволяет получить информацию о

распределении яркости излучения атмосферы Земли при наблюдении в надир и о зависимости яркости от надирного угла.

Предварительный анализ полученной информации дает следующие результаты.

1) Средняя яркостная температура безоблачных участков в северном полушарии, измеренная в канале 100 мкм, равна  $220 \pm 10^\circ \text{K}$ , а в канале 500 мкм —  $270 \pm 10^\circ \text{K}$ . Сравнивая эти данные с осредненными вертикальными профилями температуры (<sup>9</sup>), можно заключить, что слой, ответствен-

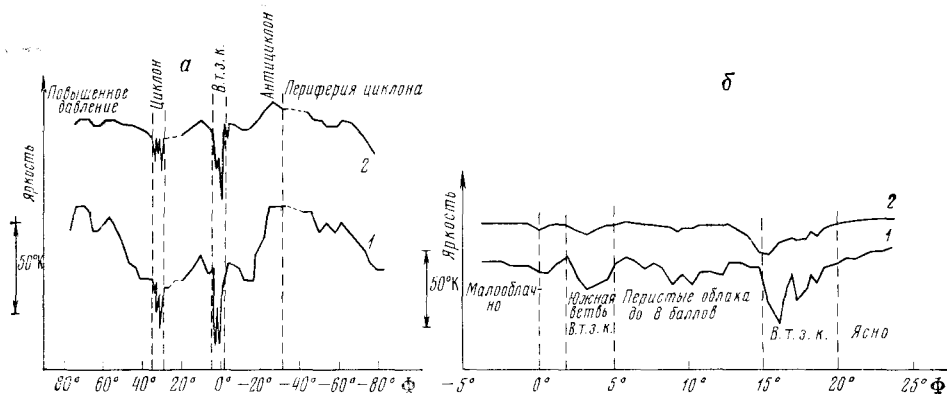


Рис. 2. Распределение яркости субмиллиметрового излучения над Тихим океаном ( $\lambda = +168^\circ$ ) 28 VII 1974 г. (а) и над Африкой ( $\lambda = +23^\circ$ ) 29 VII 1974 г. (б).  
1 —  $\lambda = 100$  мкм, 2 —  $\lambda = 500$  мкм

ный за излучение в канале 100 мкм, расположен на высотах 10–26 км, а в канале 500 мкм — на высотах 1–5 км, т. е. в стратосфере и тропосфере соответственно. Поскольку за излучение земной атмосферы в указанных каналах ответствен водяной пар (в отсутствие облачности), оказывается возможным по измерениям в субмиллиметровом диапазоне получать уникальную информацию о влагосодержании высоких слоев атмосферы.

2) Обнаружены крупномасштабные области вариаций яркости излучения, положение которых хорошо коррелирует с положением областей повышенного и пониженного атмосферного давления на уровне моря. Так на рис. 1 отчетливо заметны в обоих каналах относительно теплые арктические и относительно холодные антарктические области. Для канала 100 мкм характерно понижение яркости в приэкваториальной зоне и повышение яркости в субтропических и средних широтах. Вместе с тем в измерениях обоих каналов отсутствует корреляция между географическим распределением яркости и характером земной поверхности (материки, океаны). В Антарктике положение области пониженной яркости в канале 500 мкм совпадает с районом полюса холода.

Эти результаты объясняются сезонными и зональными вариациями атмосферного давления на уровне моря: в областях повышенного давления водяной пар опускается до меньших высот, где температура излучающего слоя выше, в то время как в областях низкого давления водяной пар поднимается до значительных высот, где температура излучающего слоя ниже; отсутствие корреляции с характером поверхности объясняется весьма сильным поглощением в нижних слоях атмосферы.

3) Рассмотрение хода яркостных температур вдоль траектории ИСЗ показывает, наряду с упомянутыми выше плавными изменениями, также наличие компактных областей с резкими уменьшениями яркости, главным образом в низких широтах. На рис. 2 показаны примеры таких изменений. Области резкого уменьшения яркости, особенно заметные в канале 100 мкм, совпадают с районами циклонов и внутритропической зоны конвергенции (в.т.з.к.), где имеются мощные восходящие токи влажного воздуха.

В районах пониженного давления происходит вынос значительных масс водяного пара в высокие слои атмосферы. При этом водяной пар охлаждается до весьма низких температур и конденсируется, образуя мощные облачные системы. Верхние ярусы таких систем — ледяные перистые облака — в зоне конвергенции могут достигать высоты 15 км. Возможно, эти облака ответственны за резкое понижение яркости субмиллиметрового излучения. Вследствие значительного рассеяния на кристаллах льда и отличия коэффициента излучения от единицы (<sup>10</sup>), яркостная температура перистых облаков может оказаться ниже температуры соседних участков. Об аналогичном «потемнении» на волне ~130 мкм сообщалось по результатам измерений на спутнике «Нимбус 5» (<sup>11</sup>). Наши измерения показывают, однако, что связь «провалов» яркости субмиллиметрового излучения с наличием перистых облаков нельзя считать несомненной. На рис. 2б видно, что падение яркости в области мощной перистой облачности оказывается существенно меньшим, чем в области внутритропической зоны конвергенции, где количество перистых облаков меньше. Во всяком случае, очевидно, что резкие «провалы» яркости связаны с мощными восходящими токами влажного воздуха. Выяснение природы этой связи представляет несомненный интерес.

Из изложенного следует, что наблюдаемые вариации яркости субмиллиметрового излучения, как компактные, так и крупномасштабные, связаны с общей циркуляцией в атмосфере Земли. Измерения в субмиллиметровом диапазоне создают новые возможности изучения процессов, протекающих в земной атмосфере. Создание чувствительного субмиллиметрового радиометра, который впервые успешно работал на орбите ИСЗ, позволяет реализовать эти возможности.

Авторы благодарны А. Б. Фрадкову и В. Ф. Троицкому за работы по созданию бортового криостата, В. Н. Бакуну, Г. Б. Семинову и С. Н. Чурилову, принимавшим участие в разработке и испытаниях радиометра, а также Е. П. Домбковской за предоставление синоптической информации и за весьма полезное обсуждение результатов измерений.

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
26 II 1975

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Е. Саломенович, УФН, т. 99, 417 (1969).    <sup>2</sup> А. Е. Саломенович, А. С. Хайкин, Тр. Физ. ин-та им. П. Н. Лебедева АН СССР, т. 77, 33 (1974).    <sup>3</sup> К. Я. Кондратьев, Ю. М. Тимофеев, Термическое зондирование атмосферы со спутников, Л., Гидрометеиздат, 1970.    <sup>4</sup> А. Е. Башаринов, А. С. Гурвич, С. Т. Егоров, ДАН, т. 188, 1273 (1969); Радиоизлучение Земли как планеты, М., «Наука», 1974.    <sup>5</sup> С. А. Жевакин, А. П. Наумов, Изв. высш. учебн. завед., Радиофизика, т. 6, 674 (1963).    <sup>6</sup> А. Б. Фрадков, В. Ф. Троицкий, Тр. Физ. ин-та им. П. Н. Лебедева АН СССР, т. 77, 85 (1974); Препринт ФИАН, № 62, 1974; Космические исследования, в печати (1975).    <sup>7</sup> А. Е. Саломенович, С. В. Соломонов и др., Препринт ФИАН, № 126, 1974.    <sup>8</sup> В. Н. Бакун, В. С. Ковалев и др., Препринт ФИАН, № 78, 1974.    <sup>9</sup> К. Т. Логвинов, Метеорологические параметры стратосферы, Л., Гидрометеиздат, 1970.    <sup>10</sup> L. P. Grant, G. E. Hunt, Symposium on Radiation, Bergen, Aug., 1968; J. T. Houghton, G. E. Hunt, Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 97, 1 (1971).    <sup>11</sup> J. J. Barnett, J. T. Houghton et al., Nature, v. 245, 141 (1973).