

Член-корреспондент К. Я. КОНДРАТЬЕВ, О. Б. ВАСИЛЬЕВ,
В. С. ГРИШЕЧКИН

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ КОРОТКОВОЛНОВЫХ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

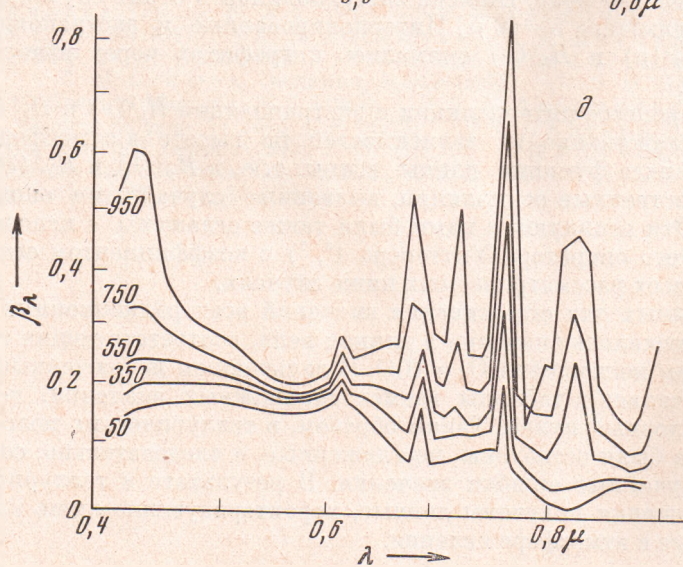
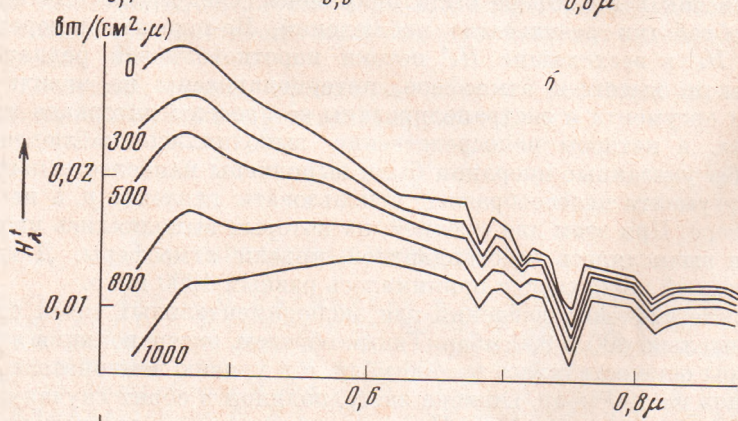
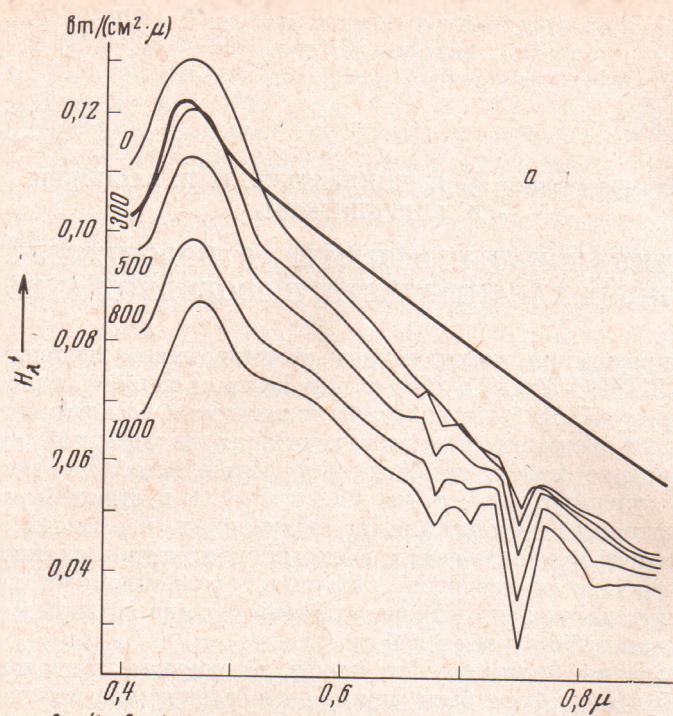
Во время проведения комплексного радиационного эксперимента по программе «КЭНЭКС-70» 25 X 1970 г. при быстром спуске в полдень самолета-лаборатории ИЛ-18 были получены падающие и восходящие коротковолновые потоки радиации на разных уровнях в свободной атмосфере. Подробное описание применявшейся аппаратуры, методики наблюдений и основных полученных результатов дано в ⁽¹⁻⁴⁾. В настоящей работе осуществляется попытка вычисления из полученных на разных уровнях в свободной атмосфере падающих и восходящих коротковолновых потоков радиации вертикальных профилей различных радиационных характеристик. Результаты вычислений представляются в виде графиков, весь табличный материал публикуется в работе ⁽⁵⁾.

При вычислении вертикальных профилей различных радиационных характеристик в атмосфере были применены следующие статистические методы обработки результатов наблюдений. Во-первых, измеренные падающие $H_{\lambda}^{\downarrow}$ и восходящие $H_{\lambda}^{\uparrow}$ потоки коротковолновой радиации были сглажены по высоте в атмосфере, интерполированы на эквидистантные значения аргумента и экстраполированы за пределы интервала изменений аргумента, в котором непосредственно выполнялись наблюдения. Для того чтобы указанные операции были выполнены наиболее успешно, в качестве аргумента целесообразнее использовать давление p , а не высоту h в атмосфере. При этом для уровней, на которых выполнялись наблюдения, давление вычислялось по стандартной модели атмосферы. Давление на уровне земной поверхности принималось равным 1000 мбар.

Крайние значения давления для экспериментальных точек составляли приблизительно 400 и 900 мбар. Таким образом, экстраполяция за пределы атмосферы осуществлялась на 400 мбар, а к уровню земной поверхности — всего лишь на 100 мбар. Ошибка экстраполяции в обоих случаях, по-видимому, не превышала 5—10%. Интерполированные и экстраполированные значения $H_{\lambda}^{\downarrow}(p)$ и $H_{\lambda}^{\uparrow}(p)$ снимались с графиков через интервал $\Delta p = 100$ мбар.

Хотя в процессе интерполяции и экстраполяции $H_{\lambda}^{\downarrow}(p)$ и $H_{\lambda}^{\uparrow}(p)$ производилось сглаживание их зависимостей по высоте в атмосфере, в представлениях их в функции длины волны, т. е. в $H_{\lambda}^{\downarrow}(\lambda)$ и $H_{\lambda}^{\uparrow}(\lambda)$ имелись все же существенные осцилляции, вызванные случайными ошибками наблюдений. Эти осцилляции нами были также сглажены с использованием вероятностного оператора Уиттекера ^(6, 7) с коэффициентом сглаживания $\epsilon = 10^{-2}$ во всех рассматриваемых ниже случаях.

Из исходных для сглаживания значений всех радиационных характеристик исключались значения в длинах волн, соответствующих теллурическим полосам поглощения O_2 и H_2O . В дальнейшем исключенные значения вновь включались в таблицы взамен сглаженных значений, полученных на месте условных нулей. Таким образом, в теллурических полосах поглощения нами были оставлены несглаженные, а следовательно, содержащие большие случайные ошибки значения. В результате в теллурических полосах поглощения получены данные, характеризующие лишь качественно наблюдаемые в атмосфере явления.



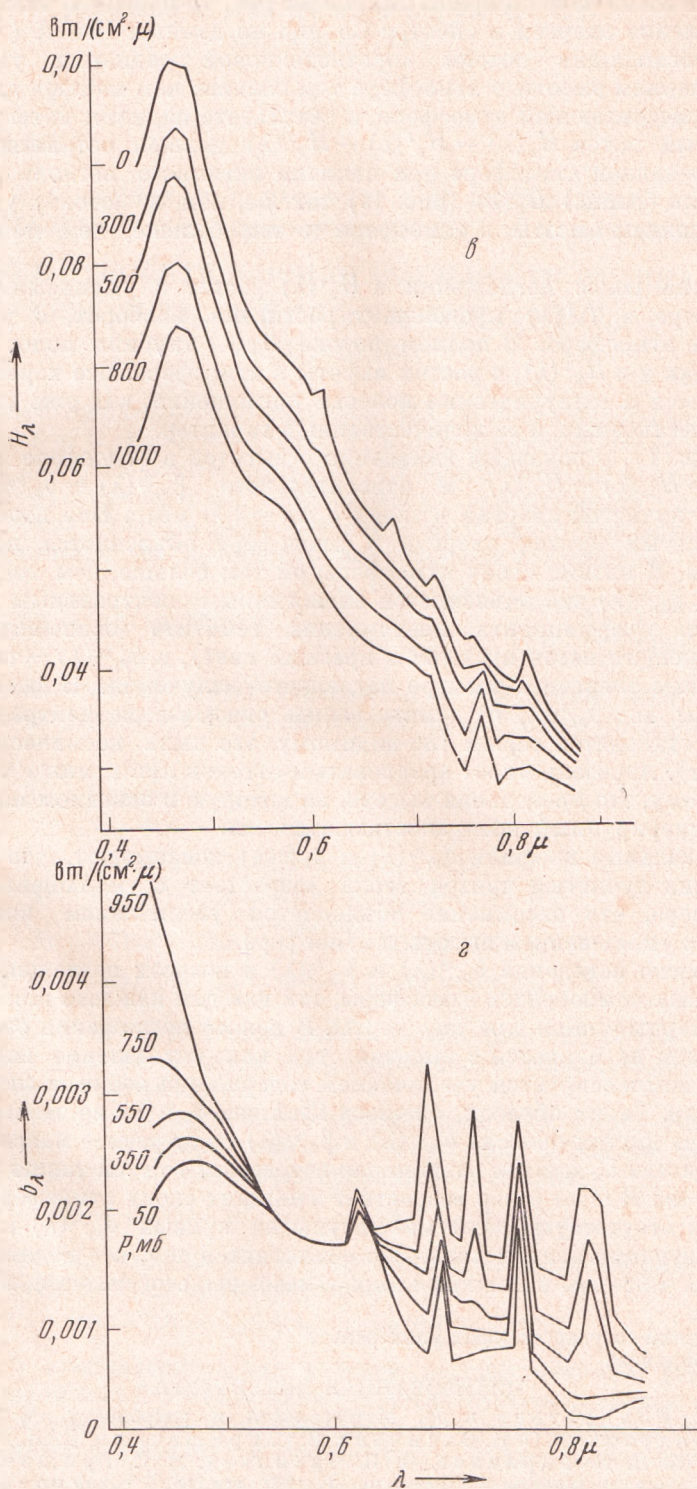


Рис. 1. Зависимости от длины волны падающих (а) и восходящих (б) потоков, баланса (в), абсолютного (г) и относительного (д) притоков лучистой коротковолновой радиации на разных уровнях в атмосфере. Цифры у кривых — давление в миллибарах

На рис. 1а, б показаны зависимости $H_p^+(\lambda)$ и $H_p^-(\lambda)$ на различных уровнях в атмосфере (жирной линией на рис. 1а показано внеатмосферное распределение энергии в спектре Солнца по данным НАСА⁽³⁾). Падающие и восходящие потоки коротковолновой радиации уменьшаются с уменьшением высоты в атмосфере тем больше, чем меньше длина волны. В чисто рассеивающей атмосфере, в результате наличия интеграла потока⁽⁸⁾, полный поток $H_p(\lambda) = H_p^+(\lambda) - H_p^-(\lambda)$ должен оставаться постоянным. В реальной атмосфере при наличии истинного поглощения полный поток (или баланс) $H_p(\lambda)$ (рис. 1в) так же, как и потоки, уменьшается с уменьшением высоты в атмосфере и тем больше, чем меньше длина волны.

Глубина полос поглощения в $H_p^+(\lambda)$ растет с уменьшением высоты в атмосфере, в $H_p^-(\lambda)$ продолжает расти, но, наоборот, с увеличением высоты в атмосфере. В полном потоке $H_p(\lambda)$ глубина полос возрастает так же, как и в $H_p^+(\lambda)$, с ростом высоты в атмосфере. Все характеристики, относящиеся к теллурическим полосам поглощения, как уже указывалось, носят качественный, а не количественный характер.

На рис. 1г, д показаны изменения с высотой в атмосфере абсолютного $b_{p_1 p_2}(\lambda) = H_{p_2}(\lambda) - H_{p_1}(\lambda)$ и относительного $\beta_{p_1 p_2}(\lambda) = b_{p_1 p_2}(\lambda) / H_{p_2}^+(\lambda)$ притоков лучистой энергии в слоях с $\Delta p = 100$ мбар. Вне полос поглощения лучистый приток энергии в атмосфере объясняется поглощением аэрозолем. В низких слоях атмосферы он тем больше, чем меньше длина волны. В $\beta_{p_1 p_2}(\lambda)$ это объясняется аналогичным спектральным ходом мнимой части коэффициента преломления гематита (основного вещества, окрашивающего песок пустыни в красный цвет), в $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ — также и распределением энергии в спектре падающего излучения. В высоких слоях атмосферы ход $\beta_{p_1 p_2}(\lambda)$ от длины волны оказывается нейтральным, т. е. аэрозоль становится серым (по-видимому, это пыль космического происхождения). Аэрозоль имеет красноватый оттенок лишь ниже тропопавзы, по-видимому, это предельная высота, на которую в основном может подниматься генерируемый поверхностью аэрозоль.

Вертикальные профили $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ и $\beta_{p_1 p_2}(\lambda)$ показывают, что вне полос поглощения лучистый приток тепла возрастает с уменьшением высоты в атмосфере, что несомненно объясняется увеличением концентрации аэрозоля с уменьшением высоты в атмосфере.

Интересно поведение $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ и $\beta_{p_1 p_2}(\lambda)$ в полосах поглощения различных газовых компонентов атмосферы, так как для каждого газа выявляются характерные лишь для него черты. В полосе поглощения озона $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ практически не меняется с высотой, так как уменьшение концентрации аэрозоля компенсируется увеличением содержания озона в слоях с $\Delta p = 100$ мбар. Таким образом, в полосе Шапюи $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ не зависит от высоты. Во всех других полосах $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ и $\beta_{p_1 p_2}(\lambda)$ дают резкие максимумы. При этом в полосах O_2 приток равномерно возрастает во всей толще атмосферы, в полосах же H_2O он резко возрастает в нижних слоях атмосферы, а в верхних слоях отсутствуют даже максимумы на кривых $b_{p_1 p_2}(\lambda)$ и $\beta_{p_1 p_2}(\lambda)$ на соответствующих длинах волн. Это объясняется тем, что водяной пар расположен в основном в нижних слоях атмосферы, особенно над пустынными районами.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
16 II 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. Я. Кондратьев и др. Метеорология и гидрология, № 6, 48 (1971).
- ² К. Я. Кондратьев, О. Б. Васильев, В. С. Гришечкин, ДАН, 198, № 5, 1070 (1971).
- ³ К. Я. Кондратьев, О. Б. Васильев, В. С. Гришечкин и др., В сборн. Перенос излучения в атмосфере, Л., 1972, стр. 15.
- ⁴ Э. Уиттекер, Г. Робинсон, Математическая обработка результатов наблюдений, М.—Л., 1933, стр. 230.
- ⁵ V. I. Sakharov, O. B. Vasilyev, Intern. Astronom. Union Symposium № 48 Morioka Japan, 1971. Rotation of the Earth, Dordrecht (Holland), 1972, p. 113.
- ⁶ В. И. Сахаров, Изв. Главной астрономической обсерватории АН СССР, № 185, 32 (1970).
- ⁷ В. В. Соболев, Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет, М., 1956, стр. 300.
- ⁸ T. M. Mitchell, Appl. Meteor., 10, 703 (1971).