

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ, Ю. М. ТИМОФЕЕВ,
О. М. ПОКРОВСКИЙ, Т. А. ДВОРОВИК

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ
ИНФРАКРАСНОГО ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С АМС
«МАРИНЕР-9»**

Дистанционные оптические методы в настоящее время широко используются для изучения физического состояния атмосфер Земли и планет (¹⁻⁵). Уходящее тепловое излучение системы атмосфера — подстилающая поверхность несет в себе важную информацию о термическом состоянии атмосферы и поверхности, составе атмосферы, свойствах подстилающей поверхности и др. Как показано в работе (⁴), данные измерений уходящего теплового излучения в области 15 μ полосы углекислого газа можно использовать для определения вертикального профиля температуры в атмосфере Марса.

Благодаря любезности сотрудника Годдардовского центра космических исследований доктора Р. А. Ханела, приславшего серию спектров уходящего излучения, зарегистрированных автоматической межпланетной станцией (АМС) «Маринер-9», авторы получили возможность провести независимую интерпретацию данных этих измерений, используя свои представления о физических параметрах атмосферы Марса, механизмах трансформации излучения и алгоритмы обращения интегрального уравнения Фредгольма первого рода. Такая независимая интерпретация является полезной, в частности, с точки зрения исследования объективности метода термического зондирования.

На рис. 1 представлены 5 спектров уходящего излучения в области 15 μ полосы CO_2 и кривые яркостных температур $T_\lambda(\nu)$. Отметим, что спектры 1, 2 относятся к условиям замутненной атмосферы (период пылевой бури), спектры 3—5 относятся к периоду, когда атмосфера в значительной степени была свободна от пыли. На всех спектрах 15 μ полоса CO_2 проявляется как полоса поглощения, что указывает на наличие в атмосфере Марса уменьшения температуры с высотой.

Для строгого решения соответствующего интегрального уравнения обратной задачи и получения количественных данных о вертикальных профилях температуры необходимо задать определенную модель атмосферы Марса: газовый состав, давление у поверхности p_0 , излучательную способность, характеристики поглощения. Во всех расчетах принималось $\epsilon = 1$. Для получения ядер интегральных уравнений использовались данные прямого расчета функций пропускания в 15 μ полосе CO_2 . Влияние поглощения пылью при интерпретации результатов измерений излучения не учитывалось из-за отсутствия соответствующих данных. Можно, однако, утверждать, что это влияние может быть заметным лишь в случае спектров 1 и 2 в нижних слоях атмосферы. По различным оценкам в период пылевой бури «пылевая» оптическая толщина атмосферы τ_α на длине волны 15 μ составляла не более 0,1—0,2 и поэтому влияние пыли не могло быть существенным во всей полосе, за исключением ее крыльев. В качестве алгоритма обращения применялся метод регуляризации А. Н. Тихо-

нова ⁽⁶⁾ с выбором квазиоптимального приближения по методике одного из авторов статьи ⁽⁷⁾.

На рис. 2 приведены вертикальные профили температуры, полученные в результате решения обратной задачи. Восстановления соответствуют случаю чисто углекислой атмосферы с давлением у поверхности, равным 5 мбар (рис. 2б). Следует прежде всего обратить внимание на существенные отличия профилей, соответствующих спектрам 1, 2 и 3–5 (рис. 1). Профили 1 и 2 (рис. 2) характеризуются малым или почти полным отсутствием вертикальных градиентов температуры, относительно высокой температурой верхней атмосферы. Такой ход температуры обусловлен влиянием пыли на радиационные характеристики атмосферы. Расчетные

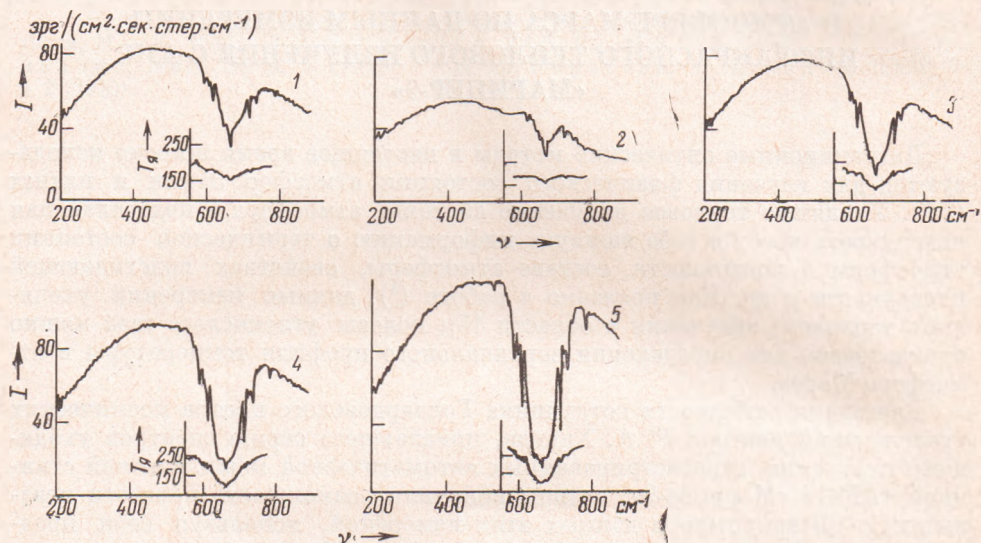


Рис. 1. Спектры уходящего излучения в области 15μ полосы CO₂ и кривые яркостных температур $T_b(\nu)$

профили температуры, полученные в работе ⁽⁸⁾, где учтено влияние неселективного поглощения пылью, близки к профилям 1 и 2. Профиль 2 близок к изотермическому, в нижних слоях атмосферы обнаруживается слабая инверсия температуры. Приписывая во внимание, что момент измерения спектра 2 относится к 18^h местного времени, можно предполагать, что инверсия обусловлена начавшимся процессом выхолаживания подстилающей поверхности.

Профили 3–5 характеризуются значительно большими вертикальными градиентами температуры, более холодной (на 30–40°) верхней атмосферой. Такая существенная перестройка вертикальной термической структуры атмосферы Марса скорее всего связана с тем, что к этому времени атмосфера в значительной степени очистилась от пыли.

Отдавая себе отчет в некотором произволе выбора модели атмосферы при интерпретации данных измерений, мы попытались исследовать влияние некоторых параметров на результаты решения обратной задачи. На рис. 2 представлены профили, иллюстрирующие влияние давления у поверхности на обращение данных. На этом рисунке приведены профили, полученные в предположении $p_0 = 10$ мбар (рис. 2а). Видно, что влияние изменения давления p_0 на профили 1, 3–5 наблюдается только вблизи поверхности планеты. В свободной атмосфере изменения температуры невелики и составляют меньше 5° К. Интересно появление у поверхности планеты почти изотермического слоя. Вероятно, эта изотермия связана с завышением давления у поверхности и относится к тончайшему слою поверхности, ответственному за излучение в этом диапазоне.

Несколько другая картина наблюдается для профиля 2. Здесь изменения более значительны и достигают 12° . Амплитуда инверсии увеличилась с 3 до 10° . Однако и в этом экстремальном случае влияния p_0 основные особенности профиля — малые вертикальные градиенты, наличие слабой инверсии — сохранились.

Исследования влияния изменений состава атмосферы показали, что оно незначительно. В частности, профили, полученные для 100 и 90% содержания CO_2 , отличаются в среднем на 6° .

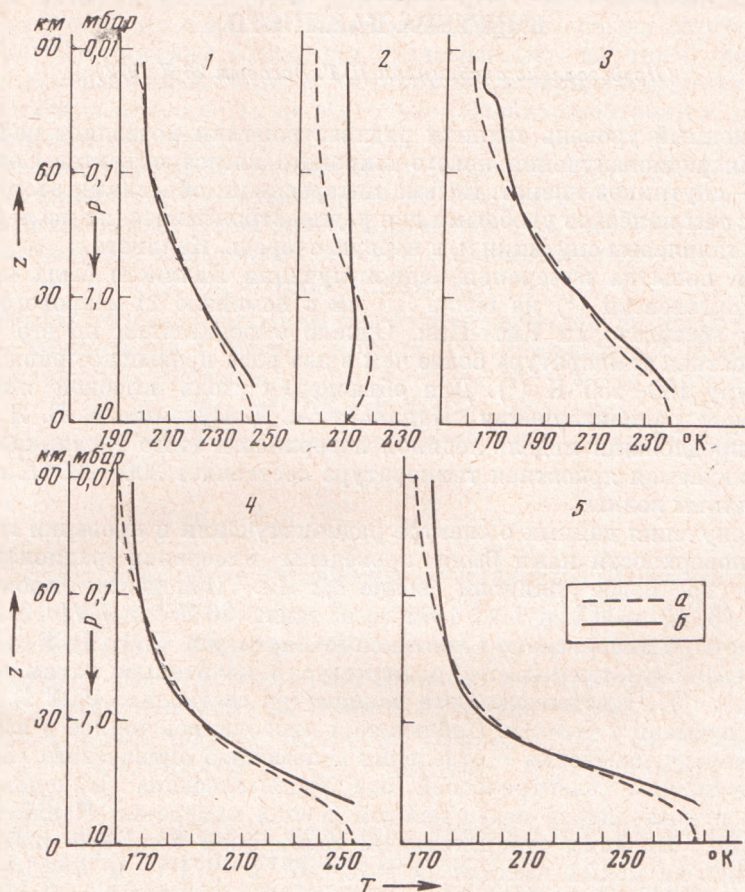


Рис. 2. Вертикальные профили температуры, полученные в результате решения обратной задачи. а — $p_0 = 10$ мбар, б — $p_0 = 5$ мбар

Таким образом, можно утверждать, что приведенные данные указывают на объективность метода термического зондирования атмосферы, которая может быть повышена при использовании данных измерений уходящего излучения планеты в других диапазонах спектра.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
22 I 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Мороз, Физика планет, «Наука», 1967. ² Сборн. статей: Физика Луны и планет, «Наука», 1972. ³ К. Я. Кондратьев, Ю. М. Тимофеев, Термическое зондирование атмосферы со спутников, Л., 1970. ⁴ Ю. М. Тимофеев, О. М. Покровский, Т. А. Дворовик, Космические исследования, 10, в. 1, 92 (1972). ⁵ R. A. Nanel, B. J. Conrath et al., Science, 175, 305 (1972a). ⁶ А. Н. Тихонов, ДАН, 153, № 1, 49 (1963). ⁷ О. М. Покровский, Вестн. ЛГУ, сер. Математика, механика, астрономия, № 19, в. 4, 148 (1970). ⁸ P. Gierasch, R. Goody, Science, 29, 400 (1972).