

Н.А. Князев

**КОРРЕКЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ *IN SITU* ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИЗ КОСМОСА**

Предложен метод коррекции оптической модели атмосферы в задаче определения температурного профиля по результатам восстановления вертикального профиля неселективной компоненты оптической толщины атмосферы по измерениям уходящего ИК-излучения. Даны примеры решения модельных задач.

**1. Введение**

Пространственно-временная изменчивость оптического состояния атмосферы является основным фактором, затрудняющим интерпретацию данных дистанционного термического зондирования Земли из космоса. Существующие методы обращения спутниковых данных [1] позволяют проводить восстановление вертикальных профилей температуры  $T(\xi)$  атмосферы. Однако вариации оптически активных компонентов атмосферы (водяной пар, углекислый газ, аэрозоль и т. д.) в значительной степени определяют вариации измеряемых на спутнике полей излучения уходящей ИК-радиации при заданном термическом состоянии системы «атмосфера-поверхность». В конечном итоге точность обращения спутниковых данных определяется корректным учетом оптического состояния атмосферы *in situ* — пропускания атмосферы в заданных спектральных участках  $\Delta\lambda_i$ , систем дистанционного зондирования в момент спутниковых измерений.

К знанию функций пропускания атмосферы каналов  $\Delta\lambda_i$  систем дистанционного термического зондирования атмосферы при восстановлении вертикальных профилей  $T(\xi)$  предъявляются жесткие требования [2, 3]. Обычно используются предварительно рассчитанные для заданных районов и сезонов функции пропускания. Однако наиболее точный прямой полинейный расчет не обеспечивает восстановление  $T(\xi)$  с требуемой точностью, поскольку невозможно отразить все многообразие реальных оптических состояний атмосферы на основе ограниченного числа моделей. Для коррекции рассчитанных функций пропускания в [2] предлагается использовать измерения ослабления ИК-радиации атмосферой с летающих под ИСЗ стратостатов или зондов. При уточнении функций пропускания для заданного района в [4, 5] также предполагается использование данных аэрологического зондирования, но уже о температурном профиле  $T(\xi)$  в одной подспутниковой точке. И в [6] для «широтной и зональной настройки» оптической модели атмосферы используются данные подспутникового реперного зондирования. Коррекция оптической модели атмосферы в [6] обеспечивается решением задачи минимизации отклонения разности измеренных  $\tilde{I}_i$  и вычисленных по радиозондовым данным  $I_i$  интенсивностей от разности интенсивностей  $\tilde{I}_i$  и  $\bar{I}_i$ , рассчитанных для среднеклиматической модели атмосферы. Такой метод коррекции может привести к потере информации об искомом профиле  $T(\xi)$ , содержащейся в каждом спутниковом измерении.

Наличие в спектральных измерениях уходящего ИК-излучения информации как о вертикальном профиле температуры  $T(\xi)$ , так и об оптическом состоянии атмосферы предполагает физически обоснованный метод определения искомых параметров системы «атмосфера — поверхность» непосредственно из спутниковых измерений *in situ*. При этом снимается вопрос о тождественности скорректированных с использованием подспутниковых аэрологических данных функций пропускания оптическому состоянию атмосферы при спутниковых измерениях, не обеспеченных такими данными, и подспутниковое реперное зондирование не требуется. При заданной спектральной зависимости аэрозольного ослабления в двух областях спектра 4, 3 и 15 мкм в [7] предпринималась попытка восстановления вертикального профиля  $T(\xi)$  совместно с оценкой аэрозольного ослабления по многоканальным измерениям  $\tilde{I}_i$  в этих двух областях спектра. Удовлетворительный результат решения модельной задачи [7] объясним использованием «измерений» и в «окнах» прозрачности 3,7 и 11 мкм с тем же, что и в участках спектра 4,3 и 15 мкм, *a priori* известным аэрозольным ослаблением. Изменчивость спектральной зависимости аэрозольного ослабления, в том числе и в соседних участках спектра 11 и 15 мкм, обуславливает невозможность использования «комплексного» метода [7] при интерпретации реальных спутниковых измерений.

Коррекцию оптической модели атмосферы при решении задачи термического зондирования в этой работе предлагается проводить с использованием метода восстановления оптической толщины без привлечения подспутниковых аэрологических измерений.

## 2. Определение оптической толщины

Задача определения профиля оптической толщины  $\tau_i(0, \xi)$  по спутниковым измерениям уходящего ИК-излучения  $\tilde{I}_i(\Theta)_j$  формулируется следующим образом:

$$\min_{\Phi(\tau) \leq 1} \Phi(\tau), \tau_i(0, \xi) \in \Omega, \quad (1)$$

Здесь невязка:

$$\Phi(\tau) = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [\tilde{I}_i(\theta_j) - I_i(\theta_j)]^2 / \sigma_{ij}^2, \quad (2)$$

где  $\sigma_{ij}^2$  – дисперсия ошибки измерений;  $\tilde{I}_i(\theta_j)$  – спутниковые измерения;  $I_i(\theta_j)$  – рассчитываемые при минимизации  $\Phi(\theta)$  интенсивности уходящего ИК-излучения в направлении зенитного угла  $\theta_j$ , в  $i$ -м спектральном канале (со спектральной характеристикой  $\varphi_i(\lambda)$  с полушириной  $\Delta\lambda_i$ ); функции искомого  $\tau_i(0, \xi)$  –

$$I_i(\theta_j) = \varepsilon_i(\psi_j) \cdot B_i(T_0) \cdot P_i(0, 1, \theta_j) - \int_0^1 B_i[T(\xi)] \cdot \frac{\partial P_i(0, \xi, \theta_j)}{\partial \xi} d\xi. \quad (3)$$

Решение уравнения переноса длинноволновой радиации в виде (2) используется для удобства расчетов. Здесь  $\varepsilon_i(\psi_j)$  – эффективные значения излучательной способности подстилающей поверхности в направлении  $\psi_j$  ( $\psi_j = \Theta_j$  при неучете кривизны Земли;  $B_i[T(\xi)]$  – функция Планка ( $B_i[T(\xi)] = B_{\lambda_i}[T(\xi)]$  для  $\lambda_i$  из  $\Delta\lambda_i$ );  $\xi = p/p_0$  – высота в относительных единицах давления ( $p_0$  – нормальное давление на уровне поверхности).

Функция пропускания  $P_i(0, \xi, \Theta_j)$  слоя атмосферы  $(0, \xi)$  в направлении  $\Theta_j$  представлена в виде:

$$P_i(0, \xi, \theta_j) = P_i^c(0, \xi, \theta_j) \cdot P_i^m(0, \xi, \theta_j) \quad (4)$$

– произведение селективной  $P_i^c(0, \xi, \Theta_j)$ , рассчитанной для заданной модели пропускания ИК-излучения в линиях поглощения газовых компонент атмосферы (с учетом  $\varphi_i(\lambda)$ ), и неселективной компоненты функции пропускания  $P_i(0, \xi, \Theta_j) = \exp\{\eta - m_j \tau_i(0, \xi)\}$  [8] ( $m_j = \sec \Theta_j$  – воздушная масса). Искомая оптическая толщина  $\tau_i(0, \xi)$  характеризует поглощение ИК-радиации в континууме и аэрозолям, а также включает в себя возможные ошибки расчета величины  $P_i^c(0, \xi, \Theta_j)$ , в том числе из-за несоответствия реальной атмосферы при спутниковых измерениях среднеклиматической модели атмосферы.

Пример расчета селективного поглощения атмосферы (модель – тропики) в области спектра 10–15 мкм [8] приведена на рис. 1. Здесь также представлен расчет с тем же разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$  поглощения однокомпонентной (водяной пар) атмосферы, а также спектральные характеристики  $\varphi_i(\lambda)$  спектральных каналов несциллирующего (измерения в надир) полукомплекта ИК-радиометра ИСЗ «Космос-1151», «измерения» в которых использовались ниже для восстановления температурного профиля атмосферы  $T(\xi)$ .

Использование угловых измерений для определения  $\tau_i(0, \xi)$  при минимизации невязки  $\Phi(\tau)$  (2) не является обязательным – их наличие позволяет в силу сглаживающего влияния оператора задачи уменьшить влияние случайной ошибки измерений  $\sigma_{ij}$ . При задании спектрального хода  $\tau_i(0, \xi)$ , например, в параметрическом виде  $\tau_i(0, \xi) = \alpha_i \cdot \tau_{\lambda_0}(0, \xi)$  ( $\tau_{\lambda_0}(0, \xi)$  – оптическая толщина атмосферы на некоей опорной длине волны  $\lambda_0$ ), использование многоканальных измерений в постановке задачи (1) оправдано. На рис. 1 также приведены спектральный ход поглощения ИК-радиации водяным паром в континууме  $\alpha_i^{\text{H}_2\text{O}}$  по измерениям [9] в микроокнах прозрачности и возможный спектральный ход аэрозольного поглощения  $\alpha_i^{\text{aэp}}$  по данным [10] ( $\alpha_i = 1$  при  $\lambda_i = 11 \text{ мкм}$ ). Вопрос о соотношении континуального поглощения водяным паром и аэрозольного ослабления к настоящему времени остается еще нерешенным. По-видимому, это обусловлено как трудностью расчетов континуального и аэрозольного поглощения, так и сильной изменчивостью (в том числе и спектральной) аэрозоля (см., например, [10, 11]). Существенным приближением при решении задачи (1) по многоспектральным измерениям  $I_i(\Theta_j)$  является лишь предположение о неселективности  $\tau_i(0, \xi)$  в интервале  $\Delta\lambda_i$  для спектрального хода оптических толщин по  $\lambda_i$  возможна, как указано выше, параметризация вида  $\tau_i(0, \xi) = \alpha_i \tau_{\lambda_0}(0, \xi)$ .

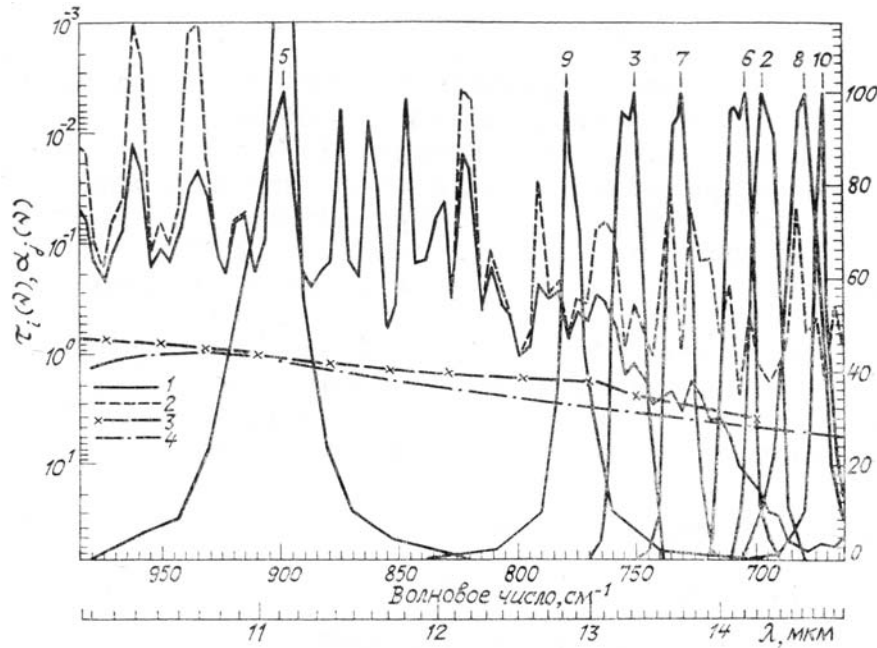


Рис. 1. 1 — рассчитанное [9] селективное поглощение ИК-радиации трехкомпонентной (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) атмосферой (модель — тропики, разрешение 4 см<sup>-1</sup>); 2 — то же — однокомпонентной (H<sub>2</sub>O); 3 — спектральный ход поглощения водяным паром в континууме [9]; 4 — то же — аэрозоля  $\alpha_\lambda^{sp}$  [10]

Поиск неселективной компоненты оптической толщины  $\tau_i(0, \xi)$  в постановке (1) проводится на множестве монотонных и ограниченных функций  $\Omega$ , обеспечивающем регуляризованное решение обратной задачи. Поиск решения  $\tau_i(0, \xi)$  при минимизации невязки  $\Phi(\tau)$  возможен и на других, быть может, достаточно экзотичных подмножествах  $\omega$  множества  $\Omega$ . Из опыта решения задачи (1) следует отметить невозможность удовлетворительного определения оптической толщины  $\tau_i(0, \xi)$  по измерениям в полосе поглощения CO<sub>2</sub> 15 мкм. Этот факт объясняется сглаживающим действием оператора  $W_i(\xi)$  (весовой функции) на «истинный» профиль  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  при формировании интенсивности  $I_i(\Theta_j)$ . Однако предлагаемый метод позволяет уверенно восстанавливать  $\tau_i(0, \xi)$  по угловым измерениям  $I_i(\Theta_j)$  в «окне» прозрачности. При этом результаты восстановления  $\tau_i(0, \xi)$  слабо зависят от используемого при решении задачи (1) вида профиля  $T(\xi)$ . При поиске  $\tau_i(0, \xi)$  можно использовать профили  $T_s(\xi)$ , восстановленные методом статистической регуляризации по надирным измерениям  $\tilde{I}_i(0^\circ)$  в полосе CO<sub>2</sub> 15 мкм с ядрами уравнений (3), соответствующими оценкам селективного поглощения для среднеклиматической модели атмосферы. Решение задачи (1) по измерениям  $\tilde{I}_i(\Theta_j)$  в «окне» прозрачности не позволяет надежно выявить вертикальную структуру истинного профиля  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$ , однако характерна устойчивость решения  $\tau_i(0, 1)$  при задании входного параметра  $T_0$  с погрешностью — 1,5–2°C. Уверенное определение  $\tau_i(0, 1)$  по измерениям в «окне» объясняется особенностью (дельта-образностью) ядра интегрального уравнения (3) на уровне поверхности и видом весовых функций  $W_i(\xi)$  в этом участке спектра.

Примеры восстановления вертикальных профилей  $\tau_i(0, \xi)$  при минимизации  $\Phi(\tau)$  (1) приведены на рис. 2. Исходный профиль (кривая 1) моделировался с экспоненциальным распределением по высоте с дополнительным наложением аэрозольного поглощения на высоте  $h \sim 6$  км ( $\tilde{\tau}_{\lambda_0}(0, \xi) = 0,2 \cdot \exp\{-0,125 \cdot h(\xi)\} + 0,1\delta(h, 6)$ ), где  $\delta(h, 6) = 0$  при  $h > 6$  км;  $\delta(h, 6) = 1$  при  $h \leq 6$  км. Решение замкнутой задачи (1) по „измерениям“  $\tilde{I}_5(\theta_j)$  ( $\varepsilon_i(\psi_j) = 1$ ) 5-го канала ( $\lambda_5 = 10,99$  мкм) сканирующего полукомплекта [8] ИК-радиометра ИСЗ „Космос–1151“ ( $\theta_1 = 48^\circ$ ,  $\theta_2 = 54^\circ$ ) дает сглаженный профиль  $\tau_5(0, \xi)$  (кривая 2).

Поиск  $\tau_{\lambda_0}(0, \xi)$  с привлечением еще „измерений“  $\tilde{I}_6(\theta_j)$  6-го канала ( $\lambda_6 = 14,14$  мкм) обеспечивает несколько лучшее определение вертикальной структуры  $\tilde{\tau}_{\lambda_0}(0, \xi)$ . При этом рассматривались различные значения  $\tilde{\alpha}_6$  соотношения оптической толщины  $\tilde{\tau}_6(0, \xi)$  к опорной  $\tilde{\tau}_5(0, \xi)$  ( $\lambda_0 = \lambda_5$ ,  $\tilde{\alpha}_5 = 1$ ). Кривая 3 иллюстрирует решение замкнутой задачи при  $\tilde{\tau}_6(0, \xi) = \tilde{\tau}_5(0, \xi)$  ( $\tilde{\alpha}_6 = \tilde{\alpha}_5 = 1$ ), кривая 4 — при спектральной зависимости  $\tilde{\alpha}_i$  по измерениям [9]. В обоих случаях поиск  $\tau_5(0, \xi)$  (при  $\lambda_0 = \lambda_5 = 11$  мкм) проводился с заданием *a priori* значений  $\alpha_i$  таких же, что и „истинные“  $\tilde{\alpha}_i$ , при которых для случаев

3, 4 моделировались исходные профили  $\tilde{\tau}_5(0, \xi)$ ,  $\tilde{\tau}_6(0, \xi)$  ( $\alpha_6 = \tilde{\alpha}_6$ ,  $\alpha_5 = \tilde{\alpha}_5 = 1$ ). С заданием  $\alpha_6 = \alpha_5 = 1$  при поиске  $\tau_5(0, \xi)$  для случая 4 ( $\tilde{\alpha}_6$  по [9]) сходимости при минимизации  $\Phi(\tau)$  нет при ошибках измерений  $\sigma_{ij}$ , соответствующих характеристикам ИК-радиометра ИСЗ „Космос – 1151”. Однако задание *a priori* других величин  $\alpha_6$ , также искажающих моделируемый спектральный ход  $\tau_5(0, \xi)$ ,  $\tau_6(0, \xi)$ , позволяет проводить восстановление  $\tau_5(0, \xi)$  (кривая 5 ( $\alpha_5 = \tilde{\alpha}_5 = 1$ ,  $\alpha_6 = \tilde{\alpha}_6/2$ )), т.е. можно при некоторой постановке задачи (1) оценить по многоспектральным измерениям  $I_i$  при заданной ошибке измерений  $\sigma_{ij}$  спектральный ход  $\tilde{\alpha}_i$  неселективной компоненты оптической толщины атмосферы.

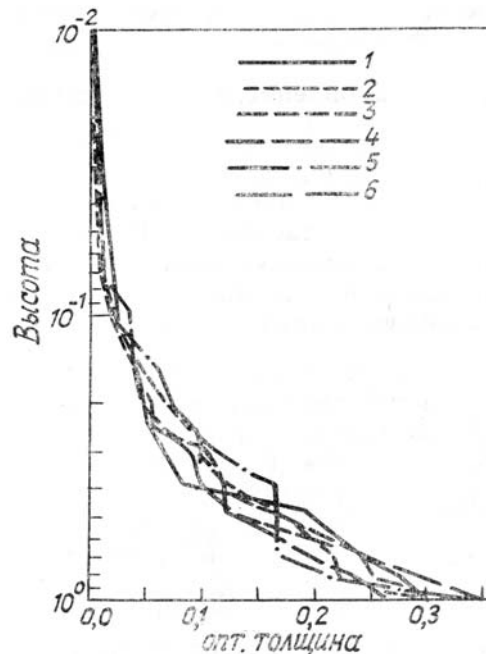


Рис. 2. Восстановление профиля оптической толщины: 1 — исходный профиль; 2 — решение замкнутой задачи по «измерениям»  $\tilde{I}_5(\theta_j)$  ( $\lambda_5 = 10,99$  мкм,  $\theta_1 = 48^\circ$ ,  $\theta_2 = 54^\circ$ ); 3 — решение замкнутой задачи по «измерениям»  $\tilde{I}_5(\theta_j)$ ,  $\tilde{I}_6(\theta_j)$  ( $\lambda_6 = 14,14$  мкм,  $\tilde{\alpha}_5 = \tilde{\alpha}_6 = \alpha_5 = \alpha_6$ ); 4 — по «измерениям» 3, но  $\tilde{\alpha}_i$ ,  $\alpha_i$  по [9]; 5 — по «измерениям» 3, но  $\tilde{\alpha}_i$  по [9],  $\alpha_5 = \tilde{\alpha}_5$ ,  $\alpha_6 = \tilde{\alpha}_6/2$ ; 6 — по данным 4 (незамкнутая задача)

### 3. Восстановление профиля температуры

Используя результаты определения оптической толщины предлагаемым методом, логично на их основании рассмотреть возможность коррекции оптической модели атмосферы в задаче термического зондирования атмосферы. Примеры восстановления вертикального профиля температуры атмосферы  $T(\xi)$  методом статистической регуляриции при неточном задании ядер уравнений (3) приведены на рис. 3. Здесь и ниже рассматриваются решения незамкнутой задачи, т.е. измерения  $\tilde{I}_i(\theta_j)$ , рассчитанные по (3) с «истинными»  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$ ,  $\tilde{T}(\xi)$ , отягощались случайной ошибкой измерений  $\sigma_{ij}$ . Уровень ошибок  $\sigma_{ij}$ , набор спектральных каналов соответствуют характеристикам ИК-радиометра ИСЗ «Космос-1151» ( $\varphi_i(\lambda)$ , используемые при восстановлении  $T(\xi)$  каналов, см. на рис. 1).

Профиль  $T_s(\xi)$  (кривая 2 на рис. 3) иллюстрирует возможность метода статистической регуляризации с точным заданием ядер (см. и [1]) уравнений (3) при таких  $\sigma_{ij}$  «измерений»  $\tilde{I}_i(0^\circ)$ . Восстановление профиля  $T_s(\xi)$  по интенсивностям  $\tilde{I}_i(0^\circ)$ , формируемым с введением к селективному поглощению неселективной компоненты  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$ , с ядрами, соответствующими оценкам селективного поглощения  $P_i^c(0, \xi, \Theta_i)$ , приводит к большим ошибкам. В случае  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  вида 1 на рис. 2, одинаковых во всех спектральных каналах ( $\alpha_i = 1$ ) для профиля  $\tilde{T}(\xi)$  (кривая 1 на рис. 3) ошибки определения достигают 8–10°C (кривая 3). При  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  со спектральным ходом  $\tilde{\alpha}_i$  по [9] — до 20°C (кривая 4). В зависимости от вида  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  так и от «истинных»  $\tilde{T}(\xi)$  ошибки определения  $T_s(\xi)$  при использовании расчетов  $P_i^c(0, \xi, \Theta_i)$ , соответствующих среднеклиматической модели атмосферы, могут достигать и больших величин.

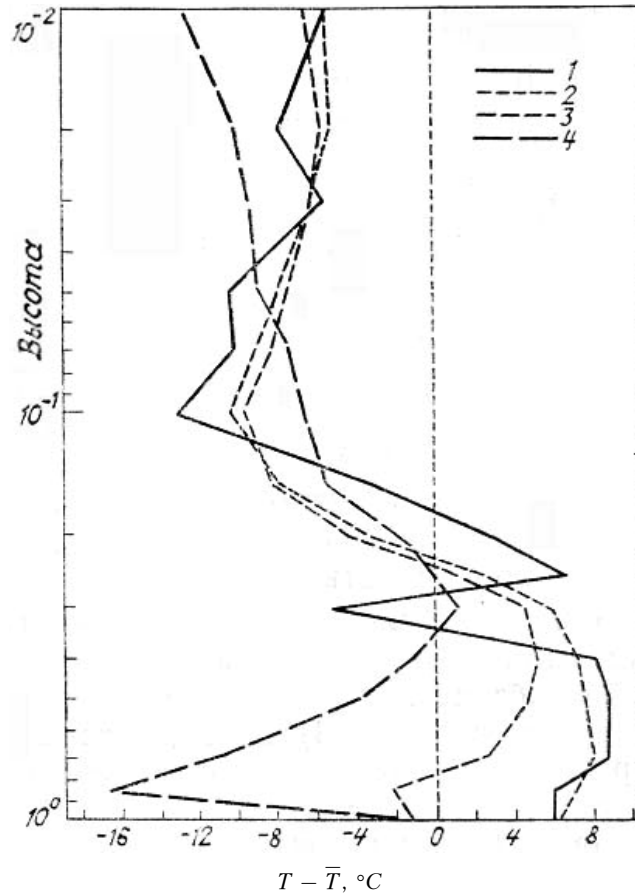


Рис. 3. Восстановление температурного профиля  $T(\xi)$  (отклонение от среднеклиматического  $t(\xi) = \bar{T}(\xi) - T(\xi)$  без коррекции оптической модели атмосферы: 1 — исходный профиль; 2 — восстановление с невозмущенными ядрами; 3 — восстановление с введением  $\tau_i(0, \xi)$  из кривой 1 рис. 2 ( $\alpha_i = 1$ ); 4 — то же, что и 3, но  $\alpha_i$  по [9]

В зависимости от соотношения неизвестной неселективной компоненты  $\tau_i(0, \xi)$  и величины селективного поглощения по спектру (в выбранных спектральных каналах  $\Delta\lambda_i$ ) точность определения вертикальной структуры  $T_s(\xi)$  различна. При нейтральном спектральном ходе  $\tau_i(0, \xi)$  ( $\alpha_i = 1$ )  $T_s(\xi)$  плохо определяется лишь в нижних слоях атмосферы (кривая 5), поскольку значения  $\tau_i(0, \xi)$  в этом случае сопоставимы с селективным поглощением в каналах на краю полосы  $\text{CO}_2$  15 мкм, интенсивности уходящего излучения в которых определяются собственным излучением атмосферы в этих слоях. При спектральном ходе  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  по [9] неучет возможных поправок к рассчитанным  $P_i^c(0, \xi, \Theta_i)$ , используемых при восстановлении  $T_s(\xi)$ , существенен по этой же причине и в верхних слоях атмосферы.

Решение задачи (1) позволяет провести коррекцию ядер уравнений (3) и улучшить определение вертикального профиля  $T_s(\xi)$ . Результат восстановления профиля  $\tau_i(0, \xi)$  (кривая 2 на рис. 2) при нейтральном спектральном ходе  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  с соответствующей коррекцией  $P_i^c(0, \xi, \Theta_i)$  по (4) позволяет определить профиль  $T_s(\xi)$  (кривая 3 на рис. 4) почти с той же точностью, что и при точном задании ядер уравнения (3). При использовании *a priori* знания спектрального хода  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  (величины  $\alpha_i = \tilde{\alpha}_i$ ) коррекция оптической модели приводит к тем же результатам (кривая 4). Однако и при неточном знании спектрального хода  $\tilde{\tau}_i(0, \xi)$  ( $\tilde{\alpha}_i$  по [9], но коррекция  $P_i(0, \xi, \Theta_i)$  по результатам восстановления  $\tau_i(0, \xi)$ , кривая 5 на рис. 2 с  $\alpha_i = \tilde{\alpha}_i/2$ ) профиль  $T_s(\xi)$  определяется с тем же успехом (кривая 5 на рис. 4). Малая критичность к возможным ошибкам параметризации спектрального хода неселективной компоненты  $P_i^H(0, \xi, \Theta_i)$  функций пропускания каналов в полосе поглощения  $\text{CO}_2$  15 мкм в задаче определения  $T_s(\xi)$  объяснима сглаживающим влиянием весовых функций  $W_i(\xi)$  (ядер уравнения (3)), вид которых, а не величины  $P_i(0, \xi, \Theta_i)$  при коррекции оптической модели атмосферы, определяет точность восстановления  $T_s(\xi)$ . В этом смысле возможен выбор величин  $\alpha_i$  по [10] (кривая 4 на рис. 1). Однако полное пренебрежение возможной спектральной зависимостью искомым поправок  $\tau_i(0, \xi)$ , как отмечалось выше, может привести к неудовлетворительным результатам.

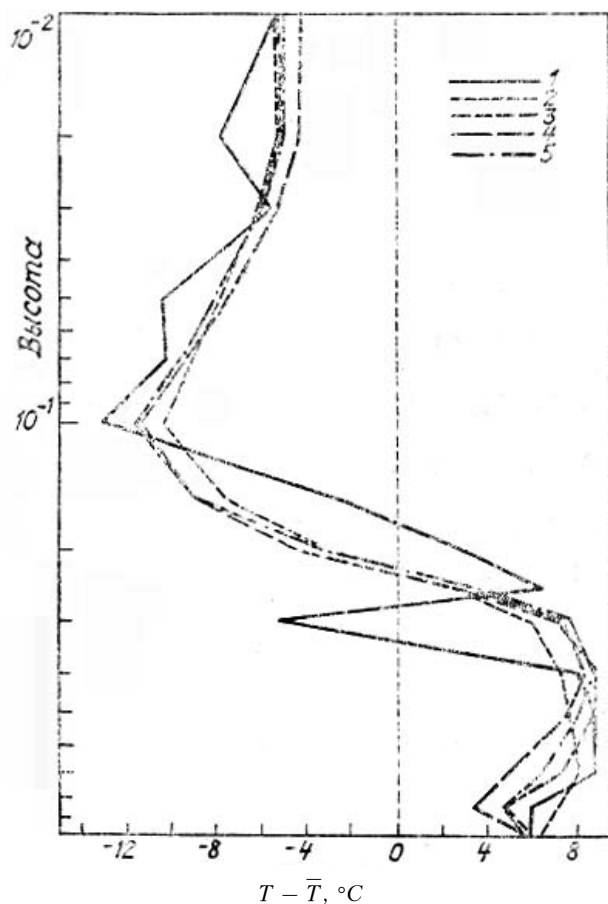


Рис. 4. Восстановление температурного профиля  $t(\xi)$  с коррекцией по результатам определения  $\tau_i(0, \xi)$ : 1 и 2 — то же, что и на рис. 3; 3 — восстановление с определением  $\tau_i(0, \xi)$  по «измерениям»  $\tilde{I}_5(\theta_j)$ ,  $\tilde{I}_6(\theta_j)$  ( $\tilde{\alpha}_i = 1$ ,  $\tau_i(0, \xi)$  из зависимости 1 рис. 2,  $\alpha_i = 1$ ); 4 — то же, что и 3, но  $\tilde{\alpha}_i$ ,  $\alpha_i$  по [9]; 5 — то же, что и 4, но  $\alpha_i = \tilde{\alpha}_i/2$  ( $\alpha_\lambda = \tilde{\alpha}_\lambda = 1$ ,  $\lambda = 11$  мкм)

#### 4. Заключение

Представленная работа определяет возможный подход к решению комплексной задачи спектрально-углового термического зондирования Земли из космоса. Только регуляризация решений соответствующих обратных задач может гарантировать надежность определения искомых параметров.

1. Князев Н. А., Малкевич М. С. // Исследования Земли из космоса 1987. № 3. С. 43–53.
2. Houghton J. T. // Appl. Opt. 1977. V. 16. № 2. P. 319–321.
3. Тимофеев Ю. М. // Труды ГосНИЦИПР. 1982. Вып. 15. С. 33–40.
4. Покровский О. М., Тимофеев Ю. М. // Изв. АН СССР. ФАО. 1971. Т. 7. № 3. С. 349–351.
5. Денисов С. Г., Покровский О. М. // Изв. АН СССР. ФАО. 1977. Т. 13. № 10. С. 1009–1117.
6. Покровский О. М., Белявский А. И. // Изв. АН СССР. ФАО. 1983. Т. 19. № 6. С. 613–621.
7. Петренко Б. З. // Изв. АН СССР. ФАО. 1981. Т. 17. № 3. С. 250–258.
8. Князев Н. А. // Исследования Земли из космоса. 1988. № 4. С. 12–24.
9. Bignell K., Saiedy F., Sheppard P. A. // J. Opt. Soc. Amer. 1963. V. 53. № 4. P. 466–479.
10. Volz F. E. // Appl. Opt. 1983. V. 22. № 23. P. 3690–3700.
11. Ивлев Л. С., Андреев С. Д. Оптические свойства атмосферных аэрозолей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. 359 с.

Институт космических исследований  
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию  
1 августа 1988 г.

N. A. Knyazev. **In Situ Correction of Atmospheric Optical Models in Thermal Sensing from Space.**

A method of correction of optical models of the atmosphere in the problem on atmospheric temperature determination using the results of restoration of vertical profiles of nonselective component of atmospheric optical depth is proposed. The examples of solving the model problems are given.