

УДК 551.501: 629.195.1

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАССОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ПОГЛОЩЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПАРНИКОВЫМИ  
ГАЗАМИ В АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ  
СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Доктор техн. наук А.Х. Ахмеджанов  
А.Н. Искаков

*Для выделенного прямоугольного участка территории Западно-Казахстанской области по данным сенсора Aqua/AIRS получены, за период времени 12.2007...06.2009, средне-сезонные профили температуры атмосферы. Вычислены вертикальные распределения массовых коэффициентов поглощения ИК-излучения парниковых газов  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $O_3$  и  $N_2O$  для двух профилей температуры летнего и зимнего сезонов. Установлено, что поглотительная способность  $CO_2$  в летнем сезоне больше, чем в зимнем, а для  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $O_3$  и  $N_2O$  – наоборот – в летнем меньше, чем в зимнем сезоне.*

Использование спутниковой информации открыло принципиально новый этап глобальных мониторинговых наблюдений атмосферы Земли. Прием в режиме реального времени данных 36-канального спектрорадиометра MODIS позволяет вести региональный мониторинг атмосферы на новом количественном уровне [2]. Базирующийся на спутнике Aqua гиперспектрометр AIRS обеспечивает измерения температуры атмосферы с погрешностью 1К в километровом слое даже при наличии значительной облачности [3].

В настоящее время актуальным является развитие методов восстановления ключевых параметров атмосферы. AIRS (инфракрасный зондировщик атмосферы) позволяет получать данные от 2378 спектральных каналов в условиях ночных съемок, по которым, в частности, восстанавливаются (<http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov>) температурные профили атмосферы. Алгоритм восстановления основан на использовании множества весовых функций, и при этом постулируется, что данная весовая функция, максимум которой приходится на определенную высоту, соответствует генерации ИК-излучения атмосферой на этой высоте [4].

К настоящему времени для территории Казахстана еще не проводились расчеты вертикального распределения массовых коэффициентов

поглощения ИК-излучения парниковыми газами с использованием спутниковой информации. Данная работа призвана восполнить этот пробел.

Для прямоугольного участка Западно-Казахстанской области с координатами сторон  $W = 51,5753173^\circ$ ,  $N = 48,570498^\circ$ ,  $S = 47,1588134^\circ$ ,  $E = 52,6300048^\circ$ , использовались ежедневные данные температурных профилей атмосферы сенсора AIRS за период 12.2007...06.2009, приходящиеся на середины каждого месяца и усреднены по сезонам (рис. 1).

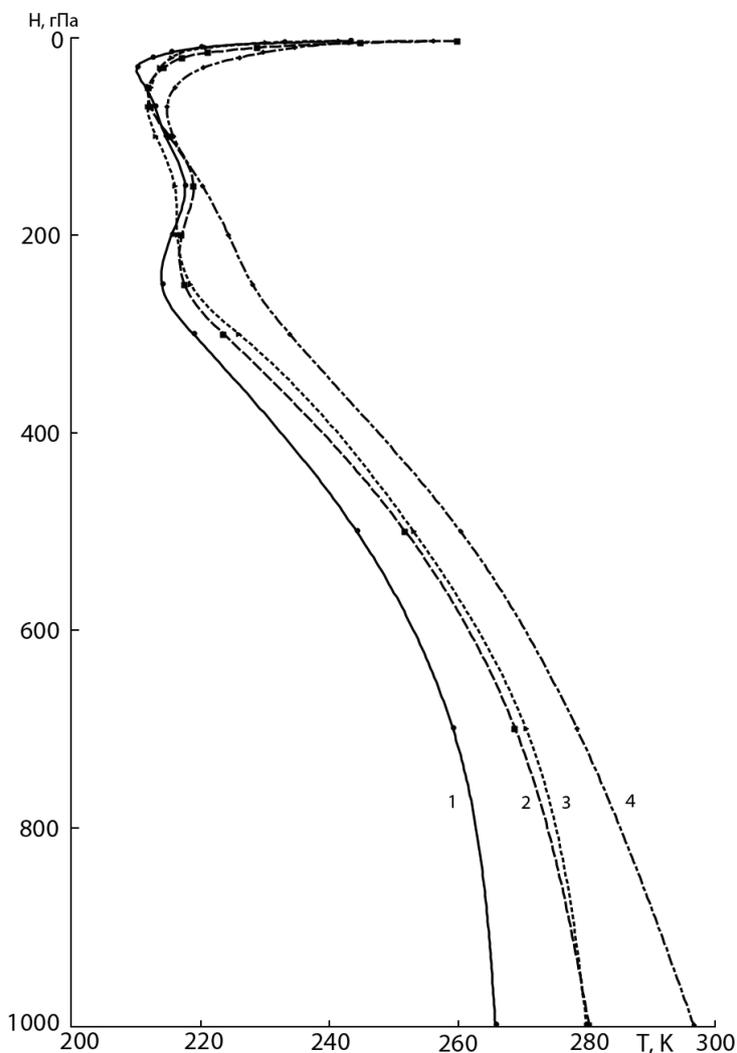


Рис. 1. Средние профили температуры атмосферы по сезонам за период 12.2007...06.2009 гг. (1 – зима, 2 – весна, 3 – осень, 4 – лето).

На рис. 1 видно, что осенний и весенний профили температуры лежат внутри середины области, ограниченной зимним и летним профи-

лями температуры. Для вычисления массового коэффициента поглощения ограничимся зимним и летним профилями температуры, а его значения для весенне-осеннего периода можно упрощенно вычислять как среднее между значениями для зимне-летнего периода.

По определению, объемный ( $k$  [ $\text{м}^{-1}$ ]) и массовый ( $\alpha$  [ $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ]) коэффициенты поглощения излучения  $i$ -м газом связаны между собой соотношением:

$$k = \alpha \cdot \rho_i = \alpha \cdot (\rho_i / \rho) \cdot \rho, \quad (1)$$

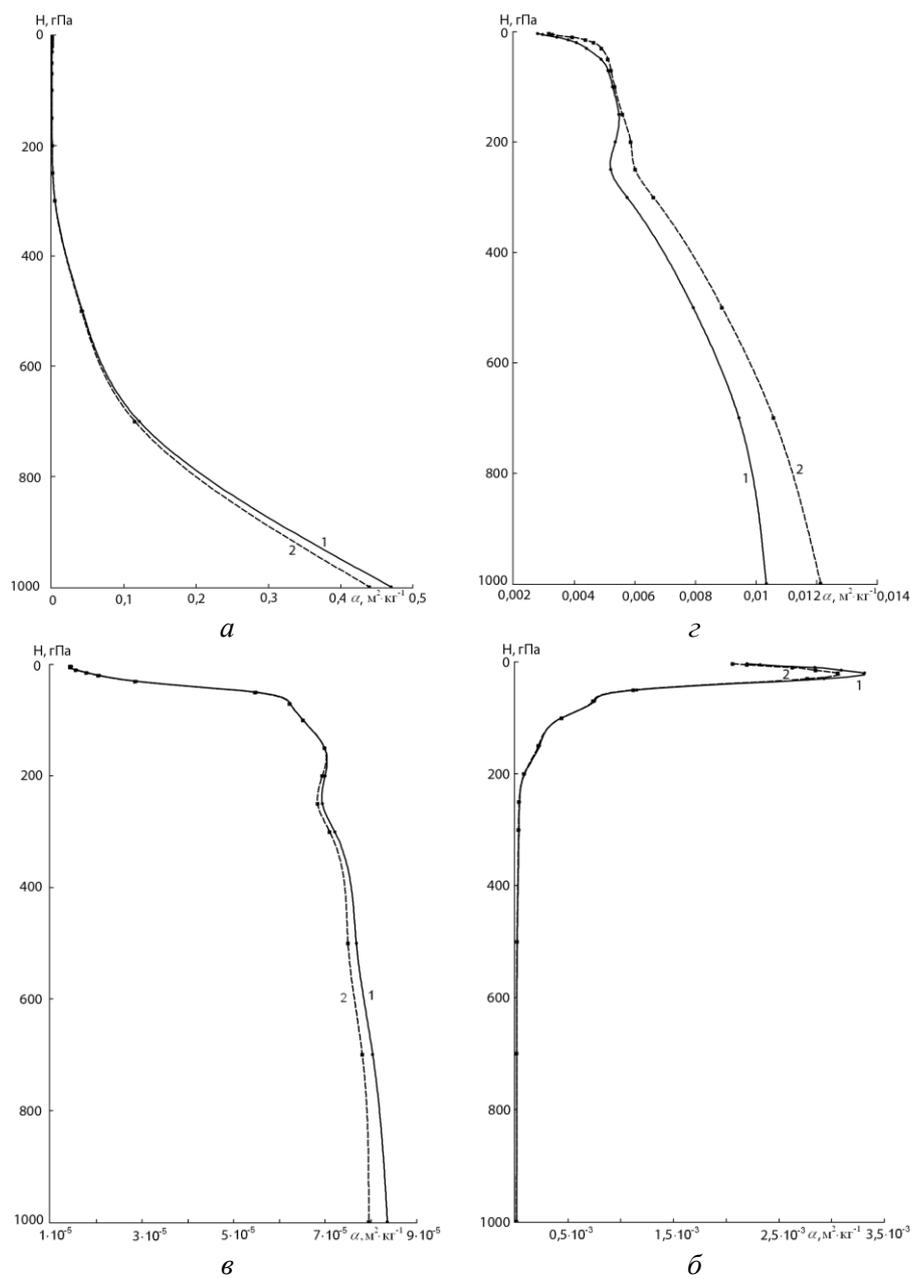
где  $\rho_i / \rho$  – относительная парциальная плотность  $i$ -го газа в смеси,  $\rho$  – плотность [ $\text{кг м}^{-3}$ ] воздуха для стандартной атмосферы [1].

$$k_{\omega}(p) = q_i(p) \sum_k R_{ik}(p) \sum_j S_{ikj}(T(p)) \cdot \Phi_{ikj}(\omega_{ikj} - \omega, T(p)), \quad (2)$$

где  $T(p)$  – температурный профиль;  $q_i(p)$  – профиль объемной концентрации  $i$ -го газа,  $R_{ik}(h) = a_{ik}(h) / a_{ik}^0$  – отношение данной распространенности на высоте  $h$  к естественной распространенности  $k$ -го изотопа  $i$ -го газа;  $S_{ikj}$  – интенсивность  $j$ -й спектральной линии [ $\text{см} \cdot \text{моль}^{-1}$ ],  $\Phi_{ikj}$  – форма спектральной линии;  $\omega$  – волновое число [5]. Длина волны излучения  $\lambda$  [ $\text{мкм}$ ] связана с волновым числом  $\omega$  [ $\text{см}^{-1}$ ] соотношением:  $\lambda = 10^4 / \omega$ . Данные о распространенности  $k$ -го изотопа  $i$ -го газа, интенсивности и форме линий поглощения представлены в БД HITRAN (<http://www.hitran.com>). Давление изменяется в диапазоне 3...1000 гПа, что соответствует диапазону изменения высоты 40...0 км. Согласно [6] функция пропускания электромагнитного излучения в земной атмосфере зависит от длины волны излучения, обнаруживая при этом три характерные области: два окна «прозрачности» и одно окно полного поглощения ИК-излучения. Рабочий диапазон длин волн сенсора MODIS охватывает указанные три области, а 36 каналов, на которые разбит диапазон волн сенсора, в принципе позволяет дифференцировать вклад в поглощение ИК-излучения от основных парниковых газов.

Наиболее благоприятными каналами сенсора MODIS для проявления поглотительных свойств парниковых газов являются следующие: для  $\text{H}_2\text{O}$  – 27-й канал (1450,3...1530,2  $\text{см}^{-1}$ ), для  $\text{CO}_2$  – 36 канал (695,2...710  $\text{см}^{-1}$ ), для  $\text{CH}_4$  – 28 канал (1337,8...1393,7  $\text{см}^{-1}$ ), для  $\text{O}_3$  – канал 30 (1012,1...1043,8  $\text{см}^{-1}$ ) и для  $\text{N}_2\text{O}$  – 24 канал (2223,2...2255,8  $\text{см}^{-1}$ ). Для указанных каналов по формулам (2) и (1) вычислены, применительно к зимнему и летнему температурным про-

филям, вертикальные распределения средних в канале массовых коэффициентов поглощения парниковых газов (рис. 2).



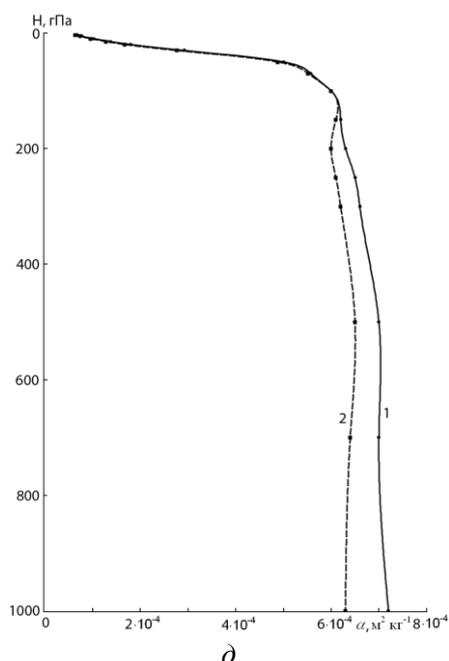


Рис. 2. Вертикальные распределения в канале средних массовых коэффициентов поглощения парниковых газов в зимнем (1) и летнем (2) сезонах для парниковых газов: а –  $H_2O$ , б –  $CO_2$ , в –  $CH_4$ , г –  $O_3$ , д –  $N_2O$ .

Моделирование поведения массового коэффициента поглощения в каналах сенсора MODIS для реальных профилей температуры над территорией Казахстана, выявило ряд интересных особенностей.

Монотонное уменьшение поглотительной способности наиболее четко проявляется для  $CO_2$  (рис. 2б), так как его объемная концентрация практически постоянна до высот 80...90 км. Аналогичное поведение поглотительной способности наблюдается и для  $CH_4$  (рис. 2в), для  $H_2O$  (рис. 2а) такое уменьшение поглотительной способности неочевидно, поскольку его объемная концентрация уменьшается до высоты 300...400 гПа на 3...4 порядка; оно может, в принципе, оставаться постоянным, как для  $N_2O$  (рис. 2д), у которого объемная концентрация практически постоянна до высоты 200 гПа. Для  $O_3$  (рис. 2г) «всплеск» поглотительной способности в диапазоне высот 20...70 гПа повторяет «всплеск» его объемной концентрации на этих высотах. Поглотительная способность рассмотренных газов, за исключением  $CO_2$ , в зимнем сезоне больше, чем в летнем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атмосфера (справочник) / Под ред. Ю.С. Седунова. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 510 с.

