

**А.И. Жуков, М.А. Федоров**

## **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛИННОВОЛНОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ПО АКВАТОРИИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА**

На основе математической обработки статистического массива климатических факторов за многолетний период исследовано пространственное и сезонное распределение молекулярного поглощения оптического излучения в атмосфере по макроклиматическим районам земного шара. Рассчитаны среднее значение молекулярного поглощения излучения, его географический ход и сезонные изменения по акватории северной части Мирового океана.

### **1. Введение**

Пространственные и сезонные изменения прозрачности атмосферы для различных участков спектра оптического излучения представляют интерес для прикладных задач атмосферной оптики. В [1, 2] рассмотрены пространственно-временные статистические параметры прозрачности всей толщи атмосферы в видимом (0,34 ... 0,63 мкм) диапазоне длин волн оптического излучения только над территорией бывшего СССР. В [3] приведены результаты расчета показателя молекулярного поглощения (ПМП) для большого числа длин волн в диапазоне 2,9 ... 10,8 мкм для нескольких моделей атмосферы: тропики, зима средних широт и зима арктических широт.

В настоящей статье сообщаются результаты исследования пространственных и временных изменений ПМП длинноволнового оптического излучения в диапазоне 10,6 мкм, выполненного на основе обработки статистического массива климатических факторов по акватории северной части Мирового океана. В качестве основных климатических факторов, определяющих величину ПМП, применяются давление, температура и абсолютная влажность воздуха в нижнем слое атмосферы.

Примененная методика обработки статистического массива климатических факторов и полученные результаты представляют собой пример разработки оптической модели атмосферы для рассматриваемой акватории.

### **2. Методика обработки статистического массива климатических факторов**

При средних погодных условиях (при отсутствии особых метеорологических явлений – туманов, осадков и т.п.) основной составляющей ослабления длинноволнового оптического излучения диапазона 10,6 мкм в атмосфере является молекулярное поглощение на парах воды и углекислом газе, содержание которых в атмосфере зависит от климатических факторов – давления, абсолютной влажности и температуры воздуха.

За указанными климатическими факторами ведутся постоянные метеонаблюдения, результаты которых могут быть использованы как исходные данные для статистических оценок молекулярного поглощения излучения в атмосфере.

В качестве первого источника исходных данных были использованы обобщенные результаты наблюдений девяти кораблей погоды за 1951–1960 гг. [4]. В этот период времени каждый из кораблей занимал определенное место в Атлантическом океане с широтой от 35 до 66° с.ш. и проводил четырехразовые ежесуточные наблюдения за атмосферой и океаном. Полученные данные усреднялись по времени наблюдения и месяцам для каждого корабля.

В качестве второго источника исходных данных был использован ГОСТ 24482-80 «Макроклиматические районы земного шара с тропическим климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей», в котором обобщены данные двадцатилетних метеонаблюдений. Из всего многообразия представленных в

ГОСТ 24482-80 статистических значений климатических факторов были использованы материалы группы станций, объединенных в тропически влажный район. Станции этого района охватывают южную часть Атлантики, Индийский океан и южную часть Тихого океана.

В основу расчета ПМП по метеоданным положены две формулы:

1) эмпирическая формула для ПМП в континууме водяного пара, заимствованная из [5] и преобразованная для  $\lambda = 10,6$  мкм и  $\gamma = 0,00366$  к виду

$$\alpha_{\text{H}_2\text{O}} = 3,14 \cdot 10^{-6} \exp \{1800 (1/T) - (1/296)\} (P + 272 P_{\text{H}_2\text{O}}) P_{\text{H}_2\text{O}},$$

где  $\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$  – ПМП в водяном паре,  $\text{км}^{-1}$ ;  $T$  – температура воздуха, К;  $P$  – давление воздуха, Торр;  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  – парциальное давление водяного пара, Торр;

2) эмпирическая формула ПМП для углекислого газа на длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм [6]:

$$\alpha_{\text{CO}_2} = 7,57 \cdot 10^{-2} (296/T)^{3/2} \exp \{2233 [(1/296) - (1/T)]\},$$

где  $\alpha_{\text{CO}_2}$  – ПМП в углекислом газе,  $\text{км}^{-1}$ .

ПМП излучения в атмосфере представляет собой сумму  $\alpha_{\text{H}_2\text{O}} + \alpha_{\text{CO}_2}$ . При расчете  $\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $\alpha_{\text{CO}_2}$  по метеоданным кораблей погоды значения давления и температуры воздуха и парциального давления водяного пара выбирались из статистического материала по метеонаблюдениям. При обработке метеоданных ГОСТ 24482-80 давление воздуха принималось равным среднему значению 760 Торр.

### 3. Статистические параметры изменчивости молекулярного поглощения

Наиболее общие результаты оценки величины ПМП длинноволнового излучения в северной части Мирового океана приведены на рис. 1, где представлены среднегодовые значения ПМП (с минимальными и максимальными среднемесячными отклонениями) в зависимости от широты. На рис. 2 приведены данные по годовому ходу ПМП. На рис. 1 и 2 буквами А, В, С, D, Е, I, J, К, М обозначены корабли погоды (в международных обозначениях), буквами в кружочках Б, К, Г и М – наземные станции Битам, Калькутта, Гавана и Манаус.

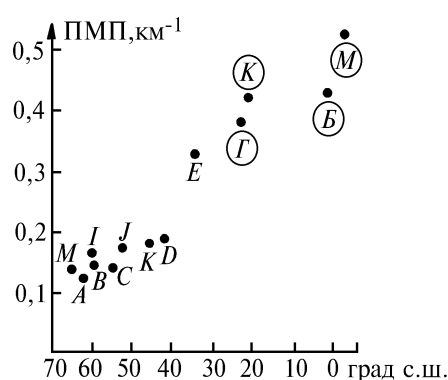


Рис. 1

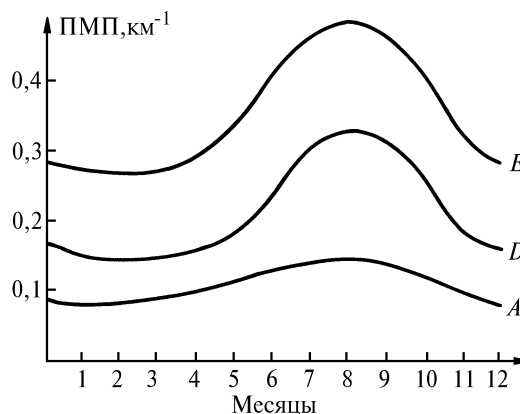


Рис. 2

На рис. 1 показан явно выраженный широтный ход ПМП. В полярных широтах среднегодовые значения ПМП близки к  $0,1 \text{ км}^{-1}$ . В средних широтах ПМП имеет величину в диапазоне  $0,15 \dots 0,20 \text{ км}^{-1}$ . В низких широтах и у экватора среднегодовые значения ПМП возрастают до  $0,35 \dots 0,50 \text{ км}^{-1}$ . Из рис. 1 и 2 видно также, что годовой ход ПМП имеет особо большую амплитуду в области  $40 \pm 20^\circ$  с.ш., где максимальные среднемесячные значения (июль – сентябрь) превосходят минимальные (январь – март) в 2 ... 2,5 раза. Полученные результаты находятся в соответствии с результатами работы [3], согласно которой значения ПМП составляют: для зимы арктических широт –  $0,05 \text{ км}^{-1}$ , для зимы средних широт –  $0,1 \text{ км}^{-1}$  и для тропиков –  $0,6 \text{ км}^{-1}$ .

В ГОСТ 24482-80 материалы представлены так, что дают возможность оценить не только среднемесячные и среднегодовые значения ПМП, но и повторяемость (относительную частоту

повторения) его конкретных значений.

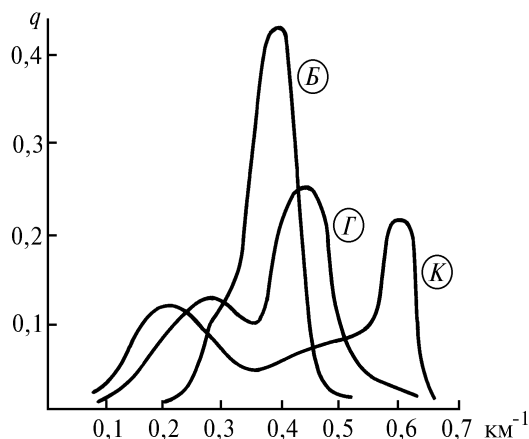


Рис. 3

На рис. 3 в качестве примера приведены данные повторяемости ( $q$ ) ПМП для трех пунктов: Битама (Б), Калькутты (К) и Гаваны (Г). Из рис. 3 видно, что хотя кривые повторяемости ПМП для Калькутты и Гаваны имеют два максимума, все три кривые показывают наибольшую повторяемость ПМП со значениями более  $0,4 \text{ км}^{-1}$ . Из сравнения рис. 1 и 3 видно, что среднегодовые значения ПМП для Гаваны составляют  $0,38 \text{ км}^{-1}$  ( $0,30 \dots 0,46 \text{ км}^{-1}$ ), но наиболее часто (в 25% случаев) встречаются значения ПМП, равные  $0,45 \text{ км}^{-1}$ .

Приведенные оценки ПМП по северной части акватории Мирового океана показывают, что среднегодовая величина ПМП возрастает с севера на юг от  $0,1$  до  $0,2 \text{ км}^{-1}$  в средних широтах и достигает значений  $0,4 \dots 0,5 \text{ км}^{-1}$  в тропиках и на экваторе. В южных широтах наиболее вероятные значения ПМП составляют  $0,4 \text{ км}^{-1}$ .

#### 4. Заключение

В настоящей статье проведена оценка пространственного и сезонного распределения молекулярного поглощения длинноволнового оптического излучения диапазона  $10,6 \text{ мкм}$  в атмосфере по акватории северной части Мирового океана. Оценены среднегодовая величина ПМП, его широтный ход и повторяемость для нескольких характерных пунктов наблюдения. Полученные результаты дают возможность численно оценивать территориально и по сезонам условия распространения излучения диапазона с  $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$  в атмосфере северной части Мирового океана.

1. Общее содержание атмосферного озона и спектральная прозрачность атмосферы. Справочные данные за 1972–1979 гг. / Под ред. Г.П. Гушина. Л.: Гидрометеониздат, 1978, 1979, 1980, 1981.
2. Зуев В.Е., Задде Г.О., Белан Б.Д. Спектральная прозрачность атмосферы над территорией СССР (безоблачные условия). Обзор. ИОА, 1984.
3. Kelly P.L., Mc Clatchey R.A., Long R.K., Snelson A. // Optical and Quantum Electronics. 1976. V. 8. P. 117.
4. Таблицы статистических характеристик термодинамических параметров атмосферы Северного полушария. Ч. 3. Атлантический и Тихий океаны. Обнинск: Изд. ВНИИГМИ–МЦД, 1979.
5. Roberts R.E., Selly J.E.A., Biberman L.M. // Appl. Optics. 1976. V. 15. N 9. P. 2085.
6. Breig E.L. // J. of the Opt. Soc. of Am. 1972. V. 62. N 4. P. 518.

Всероссийский научно-исследовательский институт «Альтаир»,  
г. Москва

Поступила в редакцию  
14 декабря 1994 г.

#### A.I. Zhukov, M.A. Fedorov. Areal and Seasonal Distribution of the Longwave Optical Radiation Molecular Absorption in the Atmosphere over Northern Region of the Ocean.

Using the mathematical processing of the statistical massive of climatic data over several years we investigated the areal and seasonal distribution of the optical radiation molecular absorption in the atmosphere over climatic regions of the world ocean. We calculated mean value of the molecular absorption and its geographical and seasonal variability over northern region of the world ocean.