

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Е. Зуев, В. С. Комаров, Н. Я. Ломакина,  
С. А. Михайлов, Об оптимальном представлении  
высотных профилей  $\text{CO}_2$  и малых газовых состав-  
ляющих атмосферы,  
*Докл. АН СССР*, 1985, том 280, номер 5, 1086–1090

<https://www.mathnet.ru/dan46898>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.81

17 мая 2025 г., 08:20:54



Были проанализированы возможные связи наблюдаемых изменений гравитационного поля с различными факторами глобального характера: изменением астрономической широты пунктов наблюдений из-за свободной нутации оси вращения Земли, вариациями скорости вращения Земли и солнечной активности. Таких связей не обнаружено. На основании данных регулярных гидрологических режимных наблюдений (скважина находится в 1 км от гравиметрического пункта) нами не найдено ни качественной, ни количественной связи изменений силы тяжести в Новосибирске с изменением гравитационного притяжения водоносного слоя при вариациях его уровня [5].

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о существовании нерегулярных, сравнительно быстрых изменений силы тяжести, происходящих одновременно в разнесенных по долготе точках поверхности Земли. Для исследования природы и закономерностей обнаруженного явления необходимо увеличение числа пунктов с регулярными повторными абсолютными гравиметрическими измерениями и более широкое участие в таких исследованиях других стран, имеющих лазерные гравиметры.

Авторы выражают признательность М.Г. Смирнову, В.Г. Тарасюку и С.Н. Щеглову за участие в экспериментах.

Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения  
Академии наук СССР, Новосибирск

Поступило  
12 VI 1984

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н., Коронкевич В.П. и др. — Квантовая электроника, 1979, т. 6, № 3, с. 560.
2. Буланже Ю.Д., Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н. и др. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1983, № 3, с. 43.
3. Буланже Ю.Д. — ДАН, 1981, т. 256, № 6, с. 1330.
4. Парийский Н.Н., Перцев Б.П., Крамер М.В. В кн.: Повторные гравиметрические наблюдения. (Сб. научн. тр.). Ротапринт, М., 1982, с. 12.
5. Вихирев Б.В. — Там же, 1976, с. 4.

УДК 551.510.41

Г Е О Ф И З И К А

Академик В.Е. ЗУЕВ, В.С. КОМАРОВ, Н.Я. ЛОМАКИНА, С.А. МИХАЙЛОВ

### ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ $\text{CO}_2$ И МАЛЫХ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АТМОСФЕРЫ

Актуальные задачи численного моделирования процессов переноса оптического излучения в земной атмосфере прежде всего требуют достоверных знаний его энергетического ослабления на различных высотах, обусловленного поглощением излучения водяным паром, озоном и другими атмосферными газами. Очевидно, что для практического решения многочисленных задач, связанных с проблемой поглощения радиации атмосферными газами, необходимо создание соответствующих статистических моделей, которые позволяли бы описать эффекты ослабления оптического излучения в глобальном масштабе и до максимально возможных высот. Подобные модели созданы для водяного пара и озона [1—4], в то время как для  $\text{CO}_2$  и малых газовых примесей (МГП)  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  они до сих пор не построены, поскольку накопленные к настоящему времени высотные наблюдения за их концентрацией носят эпизодический характер и относятся к раз-

Т а б л и ц а 1

Параметры  $S_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ , а также относительные ошибки аппроксимации  $\epsilon$  (%), полученные для модели высотного распределения  $\text{CO}_2$  и МГП

Газ	Слой, км	$S_0$ , ppmv	$\alpha$ , км <sup>-1</sup>	$\beta$ , км <sup>-1</sup>	$\epsilon$ , %
$\text{CO}_2$	0-8	337,9	-2,7938	-	0,6
	8-12	315,5	6,2961	-	0,8
	12-18	340,7	-2,9246	-	0,4
	18-29	323,2	2,5036	-	0,3
	29-50	350,7	-	-0,0148	0,6
CO	0-1	0,476	-0,3480	-	-
	1-5	0,128	-	0,0000	6
	5-24	0,128	-	-0,1268	5
	24-50	0,012	0,0011	-	3
$\text{CH}_4$	0-12	1,500	-	0,0000	3
	12-50	1,500	-	-0,0403	1

Т а б л и ц а 1 (окончание)

Газ	Слой, км	$S_0$ , ppmv	$\alpha$ , км <sup>-1</sup>	$\beta$ , км <sup>-1</sup>	$\epsilon$ , %
$\text{N}_2\text{O}$	0-16	0,285	-	0,0000	3
	16-30	0,285	-	-0,0887	2
	30-50	0,082	-	-0,2247	4
$\text{NO}_2$	0-9	3,770	-	-0,3241	-
	9-12	0,204	-	0,5815	5
	12-50	1,167	-	0,0977	1
NO	0-1	0,072	-	-1,3322	-
	1-9	0,019	-	0,0626	1
	9-14	0,031	-	0,7441	1
	14-16	1,280	-	-0,7357	5
	16-38	0,294	-	0,1748	0,7
	38-50	13,755	-	-0,0372	-

П р и м е ч а н и е. Для  $\text{NO}_2$  и NO значения  $S_0$  даны в ppbv.

личным географическим районам, сезонам и слоям атмосферы. К тому же единичные наблюдения за каждым из этих газов получены с помощью различной измерительной аппаратуры, характеризующейся разной точностью локальных измерений.

С учетом сказанного нами была предпринята попытка разработать метод оптимального обобщения имеющихся данных эпизодических изменений концентрации  $\text{CO}_2$  и МГП, который бы позволил оптимальным образом учесть их разную точность и различное число на отдельных уровнях и дать достаточно адекватное описание фоновое распределения их концентрации по высоте. Для решения указанной задачи произведено осреднение соответствующих экспериментальных данных о концентрации  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$  и NO, полученных для умеренных широт в СССР и за рубежом до 1983 г., и проведен физический анализ полученных профилей объемного отношения смеси  $\bar{S}(H)$ .

Анализ полученных профилей высотного распределения концентраций  $\text{CO}_2$  и МГП показал, что отдельные участки этих профилей могут быть представлены

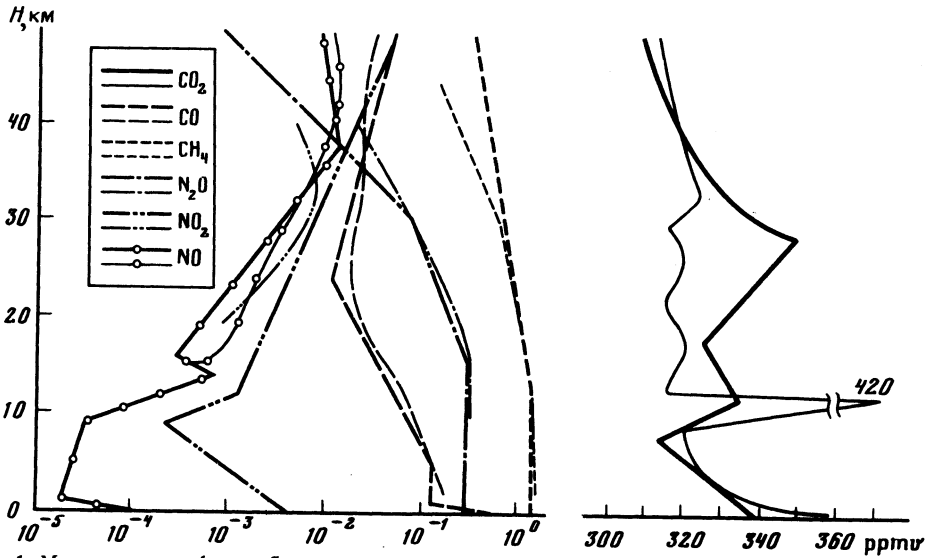


Рис. 1. Модельные профили объемного отношения смеси малых газовых составляющих: жирные линии – по данным авторов, тонкие – по данным [5–8]

или некоторой постоянной величиной  $\bar{S}(H)$ , или линейной функцией

$$(1) \quad S(H) = S_0 \pm \alpha(H - H_0),$$

или экспоненциальной функцией

$$(2) \quad S(H) = S_0 \exp[\pm \beta(H - H_0)],$$

где  $S_0$  и  $S(H)$  – фоновые концентрации исследуемого газа на нижнем уровне аппроксимируемого слоя  $H_0$  и на высоте  $H$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  – эмпирические параметры, для определения которых использован метод наименьших квадратов, предполагающий минимизацию функционала

$$(3) \quad Q(\alpha) \text{ или } Q(\beta) = \sum_{k=1}^n \lambda_k (\bar{S}_k - S_k^*)^2 = \min.$$

Здесь  $\bar{S}_k$  и  $S_k^*$  – значения фоновой концентрации газа на  $k$ -м уровне ( $k = 1, 2, \dots, n$ ), полученные соответственно по наблюдениям и по формулам (1) и (2);  $\lambda_k$  – заданный весовой коэффициент. При этом для упрощения расчетов с использованием функции (2) последняя приведена к линейному виду.

На основе (3) и соотношений (1) и (2) получены соответствующие формулы для расчета параметров  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$(4) \quad \alpha = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k (H_k - H_0) \bar{S}_k - S_0 \sum_{k=1}^n \lambda_k (H_k - H_0)}{\sum_{k=1}^n \lambda_k (H_k - H_0)^2},$$

$$(5) \quad \beta = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k (H_k - H_0) \ln \bar{S}_k - \ln S_0 \sum_{k=1}^n \lambda_k (H_k - H_0)}{\sum_{k=1}^n \lambda_k (H_k - H_0)^2},$$

причем весовой коэффициент  $\lambda_k$ , учитывающий для каждого уровня  $k$  число и точность взятых для расчета  $\bar{S}_k$  экспериментальных наблюдений, задавался в виде

$$(6) \quad \lambda_k = c_k^2 / \epsilon_k^2,$$

где  $c_k^2 = \left( \sum_{k=1}^n \frac{1}{\epsilon_k^2} \right)^{-1}$  — некоторый нормировочный коэффициент;  $\epsilon_k^2 = \sigma_k^2 / (N_k - 1)$  — дисперсия ошибки определения  $\bar{S}_k$  (здесь  $\sigma_k$  — стандартное отклонение концентрации  $i$ -го газа, а  $N_k$  — число наблюдений на  $k$ -м уровне).

Оценка значений  $S$  для слоев атмосферы, характеризующихся примерным потоянством вертикального профиля концентрации газа, производилась с помощью выражения вида

$$(7) \quad S = \frac{\sum_{k=1}^n \bar{S}_k N_k}{\sum_{k=1}^n N_k},$$

где  $\bar{S}_k$  — среднее значение концентрации  $i$ -го газа на уровне  $k$ ;  $N_k$  — число наблюдений на том же уровне.

В табл. 1 приведены значения параметров  $S_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  для моделей высотного распределения  $\text{CO}_2$  и МГП, построенных для умеренных широт, а также величины относительной ошибки аппроксимации, выраженной в процентах.

Сами же модельные профили этих газов приведены на рис. 1. Здесь же для сравнения даны и модельные профили  $\text{CO}_2$  и малых газовых примесей, построенные ранее на ограниченном материале и лишь для стратосферы авторами [5] ( $\text{CO}_2$ ), [6] ( $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$ ), [7] ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и [8] ( $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}$ ).

Из указанного сравнения следует, что между построенными нами модельными профилями и полученными ранее другими авторами существуют различия. Так, по нашим данным вертикальный профиль  $\text{CO}_2$ , наряду с максимумом вблизи тропопаузы (на высоте 10–12 км), как в [5], имеет четко выраженный максимум содержания углекислого газа на высотах 25–30 км, что не отмечалось ранее. Для высотного распределения  $\text{CO}$  характерно почти постоянное содержание окиси углерода не только в слое 20–28 км, как считалось ранее, а в существенно большем слое (от 20 до 50 км). Для вертикального распределения  $\text{CH}_4$  характерно более медленное, а для распределения  $\text{N}_2\text{O}$  более быстрое, чем было известно, уменьшение концентрации с высотой в слое 30–50 км. Существенно отличается от установленных ранее значений содержание  $\text{NO}_2$  в средней стратосфере (на высотах более 35 км). По нашим данным объемное отношение смеси  $\text{NO}_2$  изменяется здесь в пределах 11–18 млрд<sup>-1</sup>, в то время как согласно [8] оно не превышает 8 млрд<sup>-1</sup>. И, наконец, уровень максимальной концентрации  $\text{NO}$  расположен не на 45 км, как считалось ранее, а несколько ниже (на высоте 38 км). Поэтому для данного газа характерно более быстрое уменьшение его содержания на высотах 38 км.

В заключение подчеркнем, что, несмотря на значительное число высотных измерений содержания  $\text{CO}_2$  и других малых газовых составляющих, полученных данных еще далеко недостаточно для построения статистических моделей атмосферы, содержащих не только фоновые характеристики распределения этих составляющих в тропо- и стратосфере, но и параметры их изменчивости во времени и пространстве. В связи с этим задачу накопления соответствующего надежного экспериментального материала следует считать актуальной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. McClatchey R.A., Fenn R.V., Selby J.E.A. et al. Optical properties of the atmosphere. AFCRL-71-0279, 10 May, 1971, ERP, № 354, p. 86.
2. U.S. Standard. NESS, Washington, 1976, 20233.
3. Krueger A.J., Minzner R.A. — J. Geophys. Res., 1976, vol. 81, № 24, p. 4477-4481.
4. Karries J.E. — Rev. Geophys. Space Phys., 1976, vol. 14, № 4, p. 565-575.
5. Метеорология верхней атмосферы Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 270 с.
6. The Stratosphere 1981. Theory and Measurements. Geneva, 1982. 435 p.
7. Isakson I.A. — Pageoph, 1973, vol. 106/108, p. 1438.
8. Wofsy S.C., Logan J.A. In: Causes and effects of stratospheric ozone zeduction: an update. Washington: Nat. Acad. Press, 1982, p. 167-205.

УДК 629.195 : 551.521

Г Е О Ф И З И К А

Академик К.Я. КОНДРАТЬЕВ, Н.И. МОСКАЛЕНКО,  
С.Я. СКВОРЦОВА, А.Р. ЗАКИРОВА, Ф.С. ЯКУПОВА, С.В. ГУСЕВ

### ГЛОБАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Решение задач воздействия атмосферного аэрозоля (АА) на климат Земли, дистанционного зондирования атмосферы из космоса, изучения и контроля природных ресурсов Земли требует осуществления глобального моделирования оптических характеристик (ОХ) АА (спектральных коэффициентов поглощения, рассеяния, индикатрис рассеяния). В настоящей работе предлагается система глобального моделирования ОХ АА на ЭВМ.

Известно, что АА чрезвычайно изменчив по микроструктуре, химическому составу и оптическим свойствам. Последнее обусловлено многообразием механизмов генерации АА. В [1-3] нами разработаны модели ОХ АА, учитывающие региональное и зональное деление земного шара, представление аэрозолей в виде отдельных фракций для независимых механизмов их генерации. Вертикальные профили оптической плотности каждой фракции аэрозоля строятся с учетом сезонных их вариаций, высоты зоны активного турбулентного теплообмена (ЗАТО) и циркуляции воздушных масс. ОХ каждой фракции АА вычисляются для эквивалентного ансамбля частиц сферической формы. В настоящей работе глобальная структурная модель АА строится на основании карты естественных ландшафтов земного шара, поля температуры подстилающей поверхности или температуры приземного слоя воздуха, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра. Основу ее составляют "плавающий" по высоте и широте фоновый аэрозоль и возмущенные слои аэрозоля ЗАТО, полосовые выносы пылевого аэрозоля средней тропосферы, вулканического стратосферного аэрозоля.

В соответствии с [1] в вертикальной структуре АА выделяются: 1) пограничная зона приземной атмосферной дымки толщиной 0-70 м, в которой наблюдаются значительные суточные вариации плотности АА и объемная концентрация частиц обычно уменьшается с высотой; 2) слой активного турбулентного обмена с постоянной по высоте концентрацией АА, верхняя граница которого  $z_2$  изменяется в широких пределах от 0,007 до 4 км (нижний предел значений  $z_2$  ограничивается высотой приземной пограничной зоны  $z_1$ ); 3) слой средней тропосферы  $z_2 - z_3$  с резким падением концентрации аэрозоля до фонового уровня; 4) слой