

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АСИММЕТРИИ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ, РАССЕЯННЫХ НА АЭРОЗОЛЯХ В КРАСНОЙ И БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

В.В. Пашнев¹, В.Е. Павлов², Ю.Я. Матюшенко¹, В.В. Белозерских¹

¹Алтайский государственный университет, г. Барнаул

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

На основе результатов решения уравнения переноса излучения в безоблачной атмосфере разработан приближенный метод оценки коэффициентов асимметрии рассеянного света на частицах аэрозоля в длинах волн 0,675, 0,870 и 1,02 мкм. Форма модельной аэрозольной индикатрисы рассеяния в уравнении переноса соответствует наличию в атмосфере трех групп частиц: ультрамикроскопических, субмикронных и грубодисперсных, а также их смесей в разных пропорциях. Разработываемый метод рассчитан на использование данных наблюдений прозрачности (оптических толщ) атмосферы, яркости дневного неба и альbedo подстилающей поверхности при фиксированных зенитных углах Солнца. Показано, что на основе наблюдений угловой зависимости яркости в любых единицах возможно определение коэффициентов асимметрии однократно-го аэрозольного рассеяния света интерполяционным путем. Приведены результаты расчетов в форме таблиц для выполнения необходимых промежуточных операций.

Ключевые слова: красная и ближняя инфракрасная области спектра, оптические толщи молекулярного и аэрозольного рассеяния, аэрозольные модели атмосферы, альbedo подстилающей поверхности, уравнение переноса излучения.

ВВЕДЕНИЕ

Происходящие на Земле глобальные изменения климата [1-4] требуют осуществления систематического контроля состояния атмосферы. Главной причиной наблюдаемого эффекта является увеличение концентрации парниковых газов. При этом, кроме роста температуры, отмечается изменчивость и некоторых других атмосферных характеристик, в частности, могут иметь место отступления функций распределения некоторых параметров от гауссовой формы. Подобные эффекты приводят к некоторым экстремальным явлениям [5-6] даже в тех географических районах, где ранее они не отмечались.

Определение коэффициента асимметрии аэрозольного рассеяния Γ_a - довольно громоздкая задача. Здесь может быть 2 пути к ее решению. Один из них - использование аэрозольных ловушек в ряде пунктов на разных уровнях над землей, забор проб частиц и их микроскопический анализ с последующим интегрированием результатов. Затем на основе теории Ми [7] - определение величин Γ_a аэрозольной смеси. В целом это долгосрочный и дорогостоящий путь.

Обычно, еще со времен Е.В. Пясковской-Фесенковой [8], для этих целей применяются данные параллельных измерений аэрозольных оптических толщ атмосферы τ_a , яркости дневного безоблачного неба B и альbedo подстилающей поверхности q . Эти величины связаны между собой интегро-дифференциальным уравнением переноса излучения [9], которое позволяет исключить составляющую многократно рассеянного света из яркости. Много-

кратно рассеянный свет является помехой при определении Γ_a .

Ранее эта задача по определению величины Γ_a , упрощенным методом из наблюдаемой яркости неба решалась нами для инфракрасной области спектра (длины волны $\lambda = 1,02$ мкм) [10]. Настоящая публикация является ее продолжением. В ней дополнительно приводятся численные материалы, которые могут стать основой распространения упрощенных методик определения Γ_a на длины волн 0,675 и 0,870 мкм. Их выбор не случаен: светофильтры с максимумами пропускания в этих спектральных участках, где поглощение света газами атмосферы минимально, встроены в фотометры дневного неба системы AERONET [11-12]. Несколько сотен таких фотометров функционируют в разных пунктах земного шара. Главная цель этого глобального эксперимента состоит в получении регулярных сведений о пространственном распределении концентраций аэрозоля и его радиационных свойств.

В ряде пунктов в экспериментальную программу AERONET включены полетные измерения альbedo подстилающей поверхности q . Оценочное значение этого параметра необходимо для определения Γ_a из данных измерений яркости неба.

Как и прежде [10], в приводимых ниже таблицах содержатся сведения о влиянии на яркость вариаций аэрозольной индикатрисы рассеяния $f_a(\varphi)$, молекулярной τ_m и аэрозольной τ_a оптических толщ, зенитных углов Солнца Z_0 и альbedo подстилающей поверхности q . Угловой ход наблюдаемой яркости неба служит основой определения Γ_a .

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И СООТНОШЕНИЯ

В расчетах коэффициентов асимметрии диффузных световых потоков, включающих в себя эффекты однократного, многократного рассеяния и отражения света от земной поверхности Г, анализируется доходящее до поверхности Земли рассеянное излучение в следующем виде:

$$B_n(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0, q) = B_1(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0) + B_2(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0) + B_q(\tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0, q), \quad (1)$$

где $B_1(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0)$ – яркость однократно рассеянного света, $B_2(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0)$ – компонента, обусловленная многократным рассеянием, и $B_q(\tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0, q)$ – отражением света от подстилающей поверхности с альбедо q . Где φ – угол ния, τ_m и τ_a – соответственно молекулярные и аэрозольные оптические толщи, η_a – альбедо аэрозольных частиц. Последняя величина для частиц природного аэрозоля обычно растет с увеличением длины волны и в области спектра $\lambda \sim 1$ мкм близка к 0,9-1,0. Отражение света будем считать ортотропным, т.е. последний член в (1) не зависящим от угла φ . Выбор участка спектра, где полосы газового поглощения практически отсутствуют, позволяет добиться выполнения условия $\eta_m \sim 1$. Решая уравнение переноса излучения, входящие в (1) компоненты B_1, B_2, B_q и разделив их на $E_{0,\lambda} e^{-\tau_{sec}(Z_0)} sec(Z_0)$, где $E_{0,\lambda}$ – спектральная солнечная постоянная, получим угловые зависимости направленных коэффициентов рассеяния f_n [10] в альмукантарате Солнца (т.н. индикатрис яркости) в виде сумм трех компонент:

$$f_n(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0, q) = f_1(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0) + f_2(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0) + f_q(\tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0, q), \quad (2)$$

где η_a – вероятность выживания кванта для аэрозольных частиц, f_1 – коэффициент направленного однократного рассеяния. Функции f_2 и f_q – добавки к f_1 за счет многократного рассеяния и отражения света от подстилающей поверхности. Функцию f_n часто называют абсолютной индикатрисой яркости. Следует заметить, что определяемая по яркости неба компонента $f_1(\varphi, \tau_m, \tau_a, \eta_a, Z_0)$ первичного рассеяния не зависит от толщи поглощения. Аэрозоль примем состоящим из трех фракций: ультрамикроскопической, субмикронной и грубодисперсной. Наблюдаемые коэффициенты асимметрии определяются как отношения суммарных световых потоков в переднюю и заднюю полусферы:

$$\Gamma = \frac{\int_0^{\pi/2} f_n(\varphi) \cdot \sin(\varphi) d\varphi}{\int_{\pi/2}^{\pi} f_n(\varphi) \cdot \sin(\varphi) d\varphi}. \quad (3)$$

В случае близости η_a к единице, что обычно имеет место для природного аэрозоля в исследуемой области спектра [7], величина Γ зависит от вида функций $f_1(\varphi), f_2(\varphi)$ и $f_q(\varphi)$, а следовательно, и от параметров τ_m, τ_a, Z_0 и q . В формуле (3) эти зависимости опущены.

РАСЧЕТЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ АСИММЕТРИИ

Расчеты коэффициентов асимметрии Γ были выполнены путем решения уравнения переноса излучения методом Монте-Карло, разработанного сотрудниками ИОА СО РАН [13-14]. В расчетах использована модель однородной атмосферы [15]. Базовые значения Γ_a для каждой аэрозольной индикатрисы рассеяния приняты равными 6,00, 7,10, 8,65, 10,65 и 13,85 [13-14], что эквивалентно присутствию в атмосфере мелкодисперсной, субмикронной, грубодисперсной и смешанных фракций частиц [16].

С учетом молекулярных толщ $\tau_m(\lambda)$, равных 0,007, 0,014 и 0,043, для каждой длины волны были вычислены индикатрисы однократного рассеяния $f_1(\varphi)$. На основе теории рассчитаны добавочные члены $f_2(\varphi)$ и $f_q(\varphi)$. В итоге были определены абсолютные индикатрисы яркости $f_n(\varphi)$. При этом значения параметров варьировались так: τ_a от 0,05 до 0,3 с шагом 0,05, Z_0 от 65 до 75° и q от 0 до 0,7 с шагом 0,1.

Во избежание дополнительных ошибок в вычислениях величин Γ по формуле (2) зенитные углы Солнца Z_0 были ограничены снизу значениями 65° и сверху - 75° [7]. Оптические толщи натурального аэрозоля в изучаемых спектральных участках обычно не превышают величину 0,1, поэтому верхняя ца $\tau_a \leq 0,3$ заведомо охватывает абсолютное большинство природных ситуаций в безоблачной атмосфере. В случае $\tau_a < 0,05$, при малости молекулярной оптической толщи в расчетах τ_n можно использовать теорию однократного рассеяния.

Значения рассчитанных по формуле (2) величин Γ при указанных выше вариациях параметров приведены в таблицах 1-3. Плотность результатов достаточно высока, чтобы стать основой разработки различных интерполяционных схем вычисления аэрозольных коэффициентов асимметрии аэрозольного рассеяния по данным измерений Γ, τ_a и q . При этом погрешность определения Γ_a будет зависеть не столько от точности самой интерполяционной методики, сколько от ошибок измерений Γ, τ_a и q . Например, точность определения коэффициента прозрачности по измерениям в красной области спектра с погрешностью 1% дает возможность найти оптическую толщину атмосферы τ_a с относительной ошибкой не менее 10% [14, 17].

Табл. 1. Коэффициенты асимметрии рассеянных световых потоков Γ для $\lambda = 0,675$ мкм при разных значениях атмосферных параметров q, Z_0, τ_a и Γ_a

Γ_a	Z_0°	τ_a	q							
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
6,00	65	0,05	1,97	1,90	1,83	1,77	1,72	1,68	1,64	1,60
		0,10	2,47	2,35	2,25	2,16	2,08	2,01	1,95	1,89
		0,15	2,74	2,60	2,48	2,37	2,28	2,20	2,12	2,06
		0,20	2,89	2,74	2,61	2,49	2,39	2,30	2,22	2,15
		0,25	2,97	2,81	2,68	2,56	2,46	2,36	2,28	2,20
		0,30	2,99	2,83	2,70	2,58	2,48	2,38	2,30	2,22
	67,5	0,05	1,96	1,89	1,83	1,78	1,73	1,69	1,65	1,62

7,10		0,10	2,45	2,35	2,25	2,17	2,09	2,03	1,97	1,92	10,65	67,5	0,05	2,20	2,11	2,04	1,97	1,91	1,86	1,81	1,77									
		0,15	2,72	2,59	2,48	2,38	2,29	2,21	2,14	2,08			0,10	2,90	2,76	2,63	2,52	2,43	2,34	2,26	2,19									
		0,20	2,86	2,72	2,60	2,49	2,40	2,31	2,24	2,17			0,15	3,33	3,16	3,01	2,87	2,75	2,65	2,55	2,46	0,20	3,59	3,40	3,23	3,08	2,95	2,83	2,72	2,63
		0,25	2,93	2,79	2,67	2,56	2,46	2,37	2,29	2,22			0,25	3,76	3,55	3,37	3,21	3,07	2,94	2,82	2,72	0,30	3,85	3,61	3,43	3,26	3,12	2,99	2,87	2,76
		0,30	2,95	2,81	2,68	2,57	2,47	2,39	2,30	2,23			0,30	3,76	3,55	3,37	3,21	3,07	2,94	2,82	2,72	0,05	2,18	2,10	2,03	1,97	1,92	1,87	1,82	1,78
	70	0,05	1,95	1,89	1,84	1,79	1,74	1,70	1,67	1,63		0,10	2,44	2,34	2,25	2,18	2,11	2,05	1,99	1,94	0,15	2,70	2,58	2,48	2,39	2,30	2,23	2,16	2,10	
		0,10	2,44	2,34	2,25	2,18	2,11	2,05	1,99	1,94		0,20	2,83	2,71	2,60	2,50	2,41	2,33	2,26	2,19	0,25	2,90	2,77	2,66	2,56	2,46	2,38	2,30	2,23	
		0,15	2,70	2,58	2,48	2,39	2,30	2,23	2,16	2,10		0,30	2,92	2,79	2,68	2,58	2,48	2,40	2,32	2,25	0,25	3,53	3,36	3,20	3,07	2,94	2,83	2,73	2,64	
		0,20	2,83	2,71	2,60	2,50	2,41	2,33	2,26	2,19		0,30	2,92	2,79	2,68	2,58	2,48	2,40	2,32	2,25	0,25	3,66	3,48	3,32	3,18	3,05	2,93	2,83	2,73	
		0,25	2,90	2,77	2,66	2,56	2,46	2,38	2,30	2,23		0,30	2,92	2,79	2,68	2,58	2,48	2,40	2,32	2,25	0,25	3,66	3,48	3,32	3,18	3,05	2,93	2,83	2,73	
	72,5	0,05	1,95	1,89	1,84	1,80	1,76	1,72	1,68	1,65		0,10	2,43	2,34	2,26	2,19	2,13	2,07	2,01	1,97	0,15	2,68	2,58	2,48	2,40	2,32	2,25	2,19	2,13	
		0,10	2,43	2,34	2,26	2,19	2,13	2,07	2,01	1,97		0,20	2,81	2,70	2,60	2,50	2,42	2,35	2,28	2,21	0,25	2,87	2,76	2,65	2,56	2,49	2,39	2,32	2,26	
		0,15	2,68	2,58	2,48	2,40	2,32	2,25	2,19	2,13		0,30	2,89	2,77	2,67	2,58	2,51	2,45	2,34	2,27	0,25	2,87	2,76	2,65	2,56	2,49	2,39	2,32	2,26	
		0,20	2,81	2,70	2,60	2,50	2,42	2,35	2,28	2,21		0,30	2,89	2,77	2,67	2,58	2,51	2,45	2,34	2,27	0,25	2,87	2,76	2,65	2,56	2,49	2,39	2,32	2,26	
		0,25	2,87	2,76	2,65	2,56	2,49	2,39	2,32	2,26		0,30	2,89	2,77	2,67	2,58	2,51	2,45	2,34	2,27	0,25	2,87	2,76	2,65	2,56	2,49	2,39	2,32	2,26	
	75	0,05	1,95	1,90	1,85	1,81	1,77	1,74	1,71	1,68		0,10	2,42	2,34	2,27	2,20	2,15	2,09	2,04	1,99	0,15	2,66	2,57	2,49	2,41	2,34	2,28	2,22	2,16	
		0,10	2,42	2,34	2,27	2,20	2,15	2,09	2,04	1,99		0,20	2,78	2,73	2,59	2,51	2,44	2,37	2,30	2,24	0,25	2,84	2,74	2,65	2,56	2,48	2,41	2,34	2,28	
		0,15	2,66	2,57	2,49	2,41	2,34	2,28	2,22	2,16		0,30	2,85	2,75	2,65	2,57	2,49	2,42	2,35	2,28	0,25	2,84	2,74	2,65	2,56	2,48	2,41	2,34	2,28	
		0,20	2,78	2,73	2,59	2,51	2,44	2,37	2,30	2,24		0,30	2,85	2,75	2,65	2,57	2,49	2,42	2,35	2,28	0,25	2,84	2,74	2,65	2,56	2,48	2,41	2,34	2,28	
		0,25	2,84	2,74	2,65	2,56	2,48	2,41	2,34	2,28		0,30	2,85	2,75	2,65	2,57	2,49	2,42	2,35	2,28	0,25	2,84	2,74	2,65	2,56	2,48	2,41	2,34	2,28	
8,65	65	0,05	2,08	2,00	1,92	1,86	1,80	1,75	1,71	1,67	0,10	2,69	2,55	2,44	2,33	2,24	2,17	2,10	2,03	0,15	3,05	2,89	2,74	2,62	2,50	2,41	2,32	2,24		
		0,10	2,69	2,55	2,44	2,33	2,24	2,17	2,10	2,03	0,20	3,23	3,05	2,90	2,76	2,64	2,54	2,44	2,36	0,25	3,33	3,15	2,99	2,85	2,72	2,61	2,51	2,42		
		0,15	3,05	2,89	2,74	2,62	2,50	2,41	2,32	2,24	0,30	3,39	3,21	3,04	2,90	2,77	2,66	2,56	2,46	0,25	3,33	3,15	2,99	2,85	2,72	2,61	2,51	2,42		
		0,20	3,23	3,05	2,90	2,76	2,64	2,54	2,44	2,36	0,30	3,39	3,21	3,04	2,90	2,77	2,66	2,56	2,46	0,25	3,33	3,15	2,99	2,85	2,72	2,61	2,51	2,42		
		0,25	3,33	3,15	2,99	2,85	2,72	2,61	2,51	2,42	0,30	3,39	3,21	3,04	2,90	2,77	2,66	2,56	2,46	0,25	3,33	3,15	2,99	2,85	2,72	2,61	2,51	2,42		
	67,5	0,05	2,06	1,99	1,92	1,86	1,81	1,76	1,72	1,68	0,10	2,67	2,54	2,44	2,34	2,26	2,18	2,11	2,05	0,15	3,01	2,86	2,72	2,61	2,51	2,41	2,33	2,26		
		0,10	2,67	2,54	2,44	2,34	2,26	2,18	2,11	2,05	0,20	3,19	3,03	2,89	2,76	2,65	2,55	2,46	2,37	0,25	3,28	3,11	2,97	2,83	2,72	2,61	2,52	2,43		
		0,15	3,01	2,86	2,72	2,61	2,51	2,41	2,33	2,26	0,30	3,34	3,16	3,01	2,88	2,76	2,66	2,56	2,47	0,25	3,28	3,11	2,97	2,83	2,72	2,61	2,52	2,43		
		0,20	3,19	3,03	2,89	2,76	2,65	2,55	2,46	2,37	0,30	3,34	3,16	3,01	2,88	2,76	2,66	2,56	2,47	0,25	3,28	3,11	2,97	2,83	2,72	2,61	2,52	2,43		
		0,25	3,28	3,11	2,97	2,83	2,72	2,61	2,52	2,43	0,30	3,34	3,16	3,01	2,88	2,76	2,66	2,56	2,47	0,25	3,28	3,11	2,97	2,83	2,72	2,61	2,52	2,43		
	70	0,05	2,05	1,99	1,92	1,87	1,82	1,78	1,74	1,70	0,10	2,63	2,52	2,43	2,34	2,26	2,19	2,13	2,07	0,15	2,97	2,83	2,72	2,61	2,51	2,43	2,35	2,28		
		0,10	2,63	2,52	2,43	2,34	2,26	2,19	2,13	2,07	0,20	3,15	3,00	2,87	2,75	2,65	2,55	2,47	2,39	0,25	3,23	3,08	2,95	2,83	2,72	2,63	2,54	2,46		
		0,15	2,97	2,83	2,72	2,61	2,51	2,43	2,35	2,28	0,30	3,27	3,12	2,99	2,87	2,76	2,66	2,57	2,48	0,25	3,23	3,08	2,95	2,83	2,72	2,63	2,54	2,46		
		0,20	3,15	3,00	2,87	2,75	2,65	2,55	2,47	2,39	0,30	3,27	3,12	2,99	2,87	2,76	2,66	2,57	2,48	0,25	3,23	3,08	2,95	2,83	2,72	2,63	2,54	2,46		
		0,25	3,23	3,08	2,95	2,83	2,72	2,63	2,54	2,46	0,30	3,27	3,12	2,99	2,87	2,76	2,66	2,57	2,48	0,25	3,23	3,08	2,95	2,83	2,72	2,63	2,54	2,46		
	72,5	0,05	2,04	1,98	1,93	1,88	1,83	1,79	1,75	1,72	0,10	2,61	2,51	2,42	2,34	2,27	2,21	2,15	2,09	0,15	2,93	2,81	2,70	2,61	2,52	2,44	2,37	2,30		
		0,10	2,61	2,51	2,42	2,34	2,27	2,21	2,15	2,09	0,20	3,10	2,97	2,85	2,75	2,65	2,56	2,48	2,41	0,25	3,18	3,05	2,93	2,82	2,75	2,63	2,55	2,47		
		0,15	2,93	2,81	2,70	2,61	2,52	2,44	2,37	2,30	0,30	3,22	3,08	2,96	2,85	2,78	2,71	2,57	2,50	0,25	3,18	3,05	2,93	2,82	2,75	2,63	2,55	2,47		
		0,20	3,10	2,97	2,85	2,75	2,65	2,56	2,48	2,41	0,30	3,22	3,08	2,96	2,85	2,78	2,71	2,57	2,50	0,25	3,18	3,05	2,93	2,82	2,75	2,63	2,55	2,47		
		0,25	3,18	3,05	2,93	2,82	2,75	2,63	2,55	2,47	0,30	3,22	3,08	2,96	2,85	2,78	2,71	2,57	2,50	0,25	3,18	3,05	2,93	2,82	2,75	2,63	2,55	2,47		
75	0,05	2,03	1,98	1,93	1,88	1,84	1,81	1,77	1,74	0,10	2,58	2,49	2,42	2,35	2,28	2,22	2,17	2,12	0,15	2,88	2,78	2,68	2,60	2,52	2,45	2,38	2,32			
	0,10	2,58	2,49	2,42	2,35	2,28	2,22	2,17	2,12	0,20	3,04	2,93	2,83	2,74	2,65	2,57	2,50	2,43	0,25	3,12	3,01	2,90	2,80	2,72	2,63	2,56	2,49			
	0,15	2,88	2,78	2,68	2,60	2,52	2,45	2,38	2,32	0,30	3,14	3,02	2,92	2,82	2,73	2,65	2,57	2,50	0,25	3,12	3,01	2,90	2,80	2,72	2,63	2,56	2,49			
	0,20	3,04	2,93	2,83	2,74	2,65	2,57	2,50	2,43	0,30	3,14	3,02	2,92	2,82	2,73	2,65	2,57	2,50	0,25	3,12	3,01	2,90	2,80	2,72	2,63	2,56	2,49			
	0,25	3,12	3,01	2,90	2,80	2,72	2,63	2,56	2,49	0,30	3,14	3,02																		

	67,5	0,30	5,45	5,04	4,69	4,39	4,13	3,90	3,71	3,53
		0,05	2,43	2,32	2,23	2,15	2,08	2,01	1,95	1,90
		0,10	3,45	3,26	3,09	2,95	2,82	2,71	2,61	2,52
		0,15	4,21	3,94	3,72	3,52	3,35	3,20	3,06	2,94
		0,20	4,57	4,29	4,05	3,83	3,65	3,48	3,33	3,20
		0,25	5,02	4,69	4,40	4,15	3,93	3,74	3,56	3,41
	0,30	5,30	4,86	4,55	4,29	4,06	3,85	3,67	3,51	
	70	0,05	2,40	2,31	2,23	2,15	2,09	2,03	1,98	1,93
		0,10	3,43	3,26	3,10	2,97	2,85	2,74	2,64	2,56
		0,15	4,14	3,90	3,69	3,51	3,35	3,21	3,08	2,97
		0,20	4,61	4,34	4,10	3,89	3,71	3,55	3,40	3,27
		0,25	4,92	4,62	4,37	4,14	3,94	3,76	3,60	3,46
		0,30	5,08	4,77	4,51	4,27	4,06	3,88	3,71	3,55
	72,5	0,05	2,41	2,32	2,25	2,18	2,12	2,07	2,01	1,97
		0,10	3,37	3,22	3,09	2,97	2,86	2,77	2,68	2,60
		0,15	4,04	3,83	3,65	3,50	3,35	3,22	3,11	3,00
		0,20	4,44	4,21	4,00	3,82	3,66	3,51	3,37	3,25
		0,25	4,78	4,51	4,28	4,07	3,92	1,00	3,56	3,42
		0,30	4,88	4,62	4,38	4,17	4,02	3,88	3,65	3,51
	75	0,05	2,38	2,31	2,25	2,19	2,13	2,08	2,04	1,99
0,10		3,27	3,15	3,04	2,94	2,84	2,76	2,68	2,60	
0,15		3,90	3,73	3,59	3,45	3,33	3,22	3,11	3,02	
0,20		4,28	4,09	3,92	3,76	3,62	3,48	3,36	3,25	
0,25		4,57	4,36	4,16	3,99	3,83	3,69	3,55	3,43	
0,30		4,66	4,44	4,24	4,07	3,90	3,76	3,62	3,49	

Табл. 2. Коэффициенты асимметрии рассеянных световых потоков Г для $\lambda = 0,870$ мкм при разных значениях атмосферных параметров q , Z_0 , τ_a и Γ_a

Γ_a	Z_0°	τ_a	q							
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
6,00	65	0,05	3,15	2,95	2,77	2,63	2,51	2,40	2,31	2,23
		0,10	3,69	3,43	3,21	3,03	2,87	2,74	2,62	2,52
		0,15	3,84	3,57	3,35	3,15	2,99	2,85	2,72	2,61
		0,20	3,85	3,59	3,36	3,18	3,01	2,87	2,74	2,63
		0,25	3,79	3,54	3,33	3,15	2,99	2,85	2,73	2,62
		0,30	3,72	3,49	3,29	3,11	2,96	2,82	2,70	2,60
	67,5	0,05	3,12	2,93	2,78	2,64	2,52	2,42	2,33	2,25
		0,10	3,65	3,41	3,21	3,04	2,89	2,76	2,65	2,55
		0,15	3,79	3,54	3,33	3,15	3,00	2,86	2,74	2,64
		0,20	3,80	3,56	3,35	3,18	3,02	2,89	2,77	2,66
		0,25	3,73	3,50	3,31	3,14	2,99	2,86	2,74	2,64
		0,30	3,65	3,44	3,25	3,09	2,95	2,82	2,71	2,61
	70	0,05	3,10	2,93	2,78	2,65	2,54	2,45	2,36	2,28
		0,10	3,61	3,39	3,21	3,05	2,91	2,79	2,68	2,58
		0,15	3,74	3,52	3,33	3,16	3,01	2,89	2,77	2,67
		0,20	3,73	3,52	3,33	3,17	3,03	2,90	2,78	2,68
		0,25	3,68	3,48	3,30	3,14	3,00	2,88	2,76	2,66
		0,30	3,60	3,41	3,24	3,09	2,96	2,84	2,73	2,63
	72,5	0,05	3,08	2,92	2,79	2,67	2,57	2,48	2,40	2,32
		0,10	3,58	3,39	3,22	3,07	2,94	2,83	2,72	2,63
		0,15	3,70	3,50	3,33	3,17	3,04	2,92	2,81	2,71
		0,20	3,69	3,50	3,33	3,18	3,04	2,92	2,82	2,72
		0,25	3,63	3,45	3,29	3,15	3,02	2,90	2,79	2,70
		0,30	3,54	3,37	3,22	3,08	2,96	2,85	2,75	2,65
75	0,05	3,06	2,92	2,80	2,70	2,60	2,52	2,44	2,37	
	0,10	3,54	3,37	3,22	3,09	2,97	2,86	2,76	2,67	
	0,15	3,66	3,48	3,33	3,19	3,06	2,95	2,85	2,75	
	0,20	3,65	3,48	3,32	3,19	3,07	2,95	2,85	2,76	
	0,25	3,58	3,42	3,27	3,14	3,02	2,91	2,82	2,72	

	65	0,30	3,49	3,34	3,20	3,08	2,96	2,86	2,76	2,67
		0,05	3,51	3,27	3,07	2,90	2,75	2,63	2,52	2,42
		0,10	4,26	3,94	3,67	3,45	3,26	3,09	2,95	2,82
		0,15	4,51	4,17	3,88	3,64	3,43	3,25	3,10	2,96
		0,20	4,55	4,21	3,93	3,69	3,48	3,30	3,14	3,01
		0,25	4,50	4,18	3,90	3,67	3,47	3,29	3,14	3,00
	0,30	4,39	4,09	3,83	3,61	3,42	3,25	3,10	2,97	
	67,5	0,05	3,48	3,26	3,07	2,91	2,78	2,66	2,55	2,46
		0,10	4,20	3,91	3,66	3,45	3,27	3,12	2,98	2,86
		0,15	4,41	4,10	3,84	3,62	3,43	3,26	3,11	2,98
		0,20	4,45	4,15	3,89	3,67	3,48	3,31	3,16	3,02
		0,25	4,38	4,09	3,84	3,63	3,44	3,28	3,14	3,01
		0,30	4,30	4,03	3,79	3,59	3,41	3,25	3,10	2,98
	70	0,05	3,45	3,25	3,08	2,93	2,80	2,69	2,59	2,50
		0,10	3,90	3,66	3,45	3,27	3,12	2,98	2,86	2,75
		0,15	4,34	4,06	3,82	3,62	3,44	3,28	3,14	3,02
		0,20	4,34	4,07	3,84	3,64	3,46	3,31	3,17	3,04
		0,25	4,30	4,04	3,81	3,62	3,44	3,29	3,15	3,03
		0,30	4,20	3,96	3,75	3,56	3,40	3,25	3,12	3,00
	72,5	0,05	3,42	3,24	3,08	2,94	2,82	2,72	2,62	2,54
0,10		4,06	3,83	3,62	3,45	3,29	3,16	3,03	2,92	
0,15		4,24	4,00	3,79	3,61	3,44	3,30	3,16	3,05	
0,20		4,24	4,00	3,80	3,62	3,45	3,31	3,18	3,06	
0,25		4,18	3,96	3,76	3,58	3,43	3,29	3,16	3,04	
0,30		4,09	3,88	3,69	3,52	3,37	3,24	3,11	3,00	
75	0,05	3,36	3,21	3,07	2,95	2,84	2,75	2,66	2,58	
	0,10	3,98	3,78	3,61	3,45	3,31	3,19	3,07	2,97	
	0,15	4,14	3,93	3,75	3,58	3,44	3,30	3,18	3,07	
	0,20	4,13	3,93	3,75	3,59	3,44	3,31	3,19	3,08	
	0,25	4,07	3,88	3,71	3,55	3,41	3,28	3,17	3,06	
	0,30	3,99	3,81	3,64	3,49	3,36	3,23	3,12	3,02	
65	0,05	4,02	3,73	3,48	3,28	3,10	2,95	2,82	2,70	
	0,10	5,06	4,65	4,30	4,02	3,77	3,56	3,38	3,23	
	0,15	5,45	4,99	4,61	4,30	4,03	3,80	3,60	3,43	
	0,20	5,58	5,13	4,75	4,43	4,16	3,93	3,72	3,55	
	0,25	5,49	5,06	4,70	4,40	4,13	3,91	3,71	3,53	
	0,30	5,41	5,00	4,65	4,35	4,09	3,87	3,67	3,50	
67,5	0,05	3,96	3,69	3,47	3,28	3,11	2,97	2,85	2,73	
	0,10	4,96	4,59	4,28	4,01	3,79	3,59	3,42	3,27	
	0,15	5,30	4,89	4,55	4,26	4,01	3,80	3,61	3,44	
	0,20	5,38	4,98	4,64	4,35	4,10	3,89	3,69	3,53	
	0,25	5,32	4,94	4,61	4,33	4,09	3,88	3,69	3,52	
	0,30	5,20	4,84	4,54	4,27	4,04	3,84	3,65	3,49	
70	0,05	3,89	3,65	3,45	3,28	3,12	2,99	2,87	2,77	
	0,10	4,48	4,18	3,93	3,72	3,53	3,37	3,22	3,09	
	0,15	5,14	4,79	4,48	4,22	4,00	3,80	3,62	3,47	
	0,20	5,20	4,85	4,55	4,29	4,07	3,87	3,69	3,53	
	0,25	5,15	4,81	4,53	4,28	4,06	3,86	3,69	3,53	
	0,30	5,05	4,74	4,46	4,22	4,01	3,82	3,66	3,50	
72,5	0,05	3,81	3,60	3,42	3,26	3,12	3,00	2,89	2,79	
	0,10	4,70	4,42	4,17	3,96	3,77	3,60	3,45	3,32	
	0,15	4,96	4,65	4,39	4,16	3,96	3,78	3,62	3,48	
	0,20	4,99	4,69	4,43	4,21	4,01	3,83	3,67	3,52	
	0,25	4,95	4,67	4,42	4,20	4,00	3,82	3,67	3,52	
	0,30	4,81	4,55	4,32	4,11	3,92	3,75	3,60	3,46	
75	0,05	3,71	3,53	3,38	3,25	3,12	3,01	2,92	2,82	
	0,10	4,51	4,28	4,07	3,88	3,72	3,57	3,44	3,32	
	0,15	4,74	4,50	4,28	4,08	3,91	3,75	3,61	3,48	
	0,20	4,79	4,55	4,33	4,13	3,96	3,80	3,65	3,52	

		0,25	4,70	4,47	4,27	4,08	3,91	3,76	3,62	3,49
		0,30	4,59	4,37	4,17	3,99	3,83	3,68	3,54	3,42
10,65	65	0,05	4,43	4,09	3,81	3,57	3,37	3,20	3,05	2,92
		0,10	6,02	5,47	5,03	4,67	4,36	4,14	3,88	3,68
		0,15	6,67	6,03	5,52	5,10	4,74	4,44	4,18	3,96
		0,20	7,07	6,39	5,84	5,39	5,01	4,69	4,41	4,17
		0,25	7,01	6,35	5,82	5,38	5,00	4,68	4,41	4,17
		0,30	6,66	6,10	5,63	5,24	4,91	4,62	4,36	4,14
	67,5	0,05	4,45	4,13	3,86	3,64	3,45	3,28	3,13	3,00
		0,10	5,90	5,41	5,00	4,67	4,38	4,13	3,92	3,73
		0,15	6,40	5,85	5,40	5,03	4,71	4,43	4,19	3,99
		0,20	6,76	6,16	5,66	5,25	4,90	4,60	4,34	4,11
		0,25	6,69	6,12	5,66	5,26	4,93	4,64	4,38	4,16
		0,30	6,57	6,03	5,57	5,19	4,86	4,57	4,32	4,10
	70	0,05	4,36	4,08	3,84	3,63	3,45	3,29	3,15	3,03
		0,10	5,18	4,80	4,49	4,22	3,99	3,79	3,61	3,45
		0,15	6,25	5,76	5,34	4,99	4,69	4,43	4,20	4,00
		0,20	6,38	5,89	5,48	5,12	4,82	4,55	4,32	4,11
		0,25	6,41	5,93	5,53	5,18	4,88	4,61	4,38	4,17
		0,30	6,20	5,74	5,35	5,02	4,73	4,48	4,25	4,06
	72,5	0,05	4,29	4,03	3,82	3,63	3,46	3,32	3,18	3,07
		0,10	5,57	5,20	4,88	4,61	4,37	4,16	3,97	3,81
0,15		6,05	5,63	5,27	4,97	4,70	4,46	4,25	4,06	
0,20		6,10	5,68	5,32	5,01	4,74	4,50	4,29	4,10	
0,25		6,13	5,72	5,36	5,05	4,78	4,54	4,33	4,13	
0,30		6,00	5,61	5,27	4,98	4,72	4,48	4,28	4,09	
75	0,05	4,17	3,96	3,78	3,62	3,47	3,34	3,22	3,11	
	0,10	5,33	5,02	4,75	4,51	4,30	4,11	3,94	3,79	
	0,15	5,74	5,40	5,10	4,84	4,61	4,40	4,22	4,05	
	0,20	5,78	5,45	5,16	4,90	4,67	4,46	4,27	4,10	
	0,25	5,75	5,43	5,14	4,88	4,65	4,45	4,26	4,09	
	0,30	5,63	5,32	5,04	4,80	4,58	4,38	4,21	4,04	
13,85	65	0,05	5,05	4,63	4,28	3,99	3,75	3,54	3,35	3,19
		0,10	7,29	6,57	6,00	5,53	5,14	4,80	4,52	4,28
		0,15	8,41	7,54	6,85	6,29	5,82	5,42	5,09	4,80
		0,20	8,62	7,77	7,08	6,52	6,05	5,65	5,30	5,00
		0,25	9,16	8,17	7,39	6,76	6,24	5,80	5,43	5,11
		0,30	8,94	8,04	7,32	6,72	6,23	5,81	5,44	5,13
	67,5	0,05	5,11	4,73	4,41	4,14	3,91	3,71	3,53	3,38
		0,10	7,11	6,44	5,89	5,45	5,07	4,76	4,48	4,24
		0,15	8,06	7,27	6,63	6,11	5,67	5,30	4,98	4,70
		0,20	8,67	7,78	7,07	6,48	6,00	5,59	5,24	4,94
		0,25	8,84	8,00	7,32	6,75	6,27	5,86	5,51	5,20
		0,30	8,86	7,98	7,27	6,69	6,20	5,78	5,42	5,10
	70	0,05	4,93	4,59	4,30	4,05	3,84	3,65	3,49	3,34
		0,10	6,06	5,59	5,20	4,86	4,58	4,33	4,11	3,92
		0,15	7,66	6,98	6,43	5,96	5,57	5,23	4,94	4,68
		0,20	8,09	7,37	6,78	6,28	5,86	5,49	5,18	4,90
		0,25	7,94	7,28	6,73	6,26	5,86	5,51	5,21	4,94
		0,30	8,11	7,42	6,85	6,37	5,96	5,60	5,28	5,01
	72,5	0,05	4,80	4,50	4,25	4,03	3,84	3,67	3,51	3,38
		0,10	6,66	6,16	5,74	5,37	5,06	4,79	4,55	4,34
0,15		7,56	6,97	6,47	6,04	5,68	5,36	5,08	4,83	
0,20		7,78	7,15	6,63	6,18	5,80	5,46	5,17	4,91	
0,25		7,90	7,27	6,74	6,29	5,90	5,56	5,26	4,99	
0,30		7,70	7,12	6,63	6,21	5,84	5,52	5,23	4,97	
75	0,05	4,78	4,51	4,29	4,08	3,90	3,74	3,60	3,47	
	0,10	6,40	5,99	5,64	5,33	5,06	4,82	4,61	4,41	
	0,15	7,28	6,78	6,34	5,97	5,64	5,34	5,08	4,85	

		0,20	7,37	6,86	6,43	6,05	5,71	5,42	5,16	4,92
		0,25	7,37	6,88	6,46	6,09	5,77	5,48	5,22	4,99
		0,30	7,16	6,70	6,30	5,95	5,64	5,36	5,11	4,88

Табл. 3. Коэффициенты асимметрии рассеянных световых потоков Г для $\lambda = 1,02$ мкм при разных значениях атмосферных параметров q , Z_0 , τ_a и Γ_a

Γ_a	Z_0°	τ_a	q								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
6,00	65	0,05	4,01	3,69	3,43	3,21	3,03	2,87	2,74	2,62	
		0,10	4,32	4,00	3,71	3,46	3,26	3,08	2,93	2,80	
		0,15	4,30	3,96	3,68	3,45	3,25	3,08	2,93	2,80	
		0,20	4,17	3,88	3,62	3,40	3,21	3,04	2,90	2,77	
		0,25	4,02	3,74	3,50	3,29	3,12	2,96	2,82	2,70	
		0,30	3,89	3,64	3,42	3,23	3,06	2,91	2,78	2,67	
	67,5	0,05	3,97	3,67	3,43	3,22	3,05	2,90	2,77	2,66	
		0,10	4,26	3,94	3,67	3,45	3,26	3,09	2,95	2,82	
		0,15	4,21	3,91	3,65	3,44	3,25	3,09	2,95	2,82	
		0,20	4,10	3,82	3,58	3,37	3,20	3,04	2,90	2,78	
		0,25	3,96	3,70	3,48	3,29	3,12	2,97	2,84	2,73	
		0,30	3,81	3,57	3,37	3,19	3,03	2,90	2,77	2,66	
	70	0,05	3,94	3,67	3,44	3,25	3,08	2,94	2,81	2,70	
		0,10	4,21	3,91	3,67	3,46	3,28	3,12	2,99	2,86	
		0,15	4,16	3,88	3,65	3,45	3,27	3,12	2,98	2,86	
		0,20	4,03	3,78	3,56	3,37	3,21	3,06	2,93	2,81	
		0,25	3,90	3,66	3,46	3,28	3,13	2,99	2,87	2,75	
		0,30	3,75	3,54	3,35	3,19	3,04	2,91	2,80	2,69	
72,5	0,05	3,89	3,65	3,44	3,26	3,11	2,97	2,85	2,75		
	0,10	4,16	3,90	3,67	3,48	3,31	3,16	3,03	2,91		
	0,15	4,11	3,86	3,65	3,46	3,30	3,15	3,02	2,91		
	0,20	3,98	3,76	3,56	3,38	3,23	3,09	2,97	2,85		
	0,25	3,84	3,63	3,45	3,29	3,14	3,01	2,89	2,79		
	0,30	3,70	3,51	3,34	3,19	3,05	2,93	2,82	2,72		
75	0,05	3,85	3,64	3,45	3,29	3,15	3,02	2,91	2,80		
	0,10	4,11	3,88	3,68	3,50	3,35	3,21	3,08	2,97		
	0,15	4,05	3,83	3,64	3,47	3,32	3,19	3,07	2,96		
	0,20	3,93	3,73	3,55	3,39	3,25	3,12	3,00	2,90		
	0,25	3,79	3,60	3,44	3,29	3,15	3,03	2,92	2,82		
	0,30	3,64	3,46	3,31	3,17	3,05	2,93	2,83	2,73		
7,10	65	0,05	4,70	4,29	3,96	3,69	3,46	3,27	3,10	2,96	
		0,10	5,15	4,75	4,37	4,06	3,80	3,58	3,39	3,22	
		0,15	5,16	4,71	4,35	4,05	3,80	3,58	3,40	3,23	
		0,20	5,02	4,65	4,30	4,02	3,77	3,56	3,37	3,21	
		0,25	4,87	4,49	4,17	3,90	3,67	3,47	3,29	3,14	
		0,30	4,66	4,34	4,05	3,80	3,58	3,39	3,22	3,07	
	67,5	0,05	4,61	4,24	3,93	3,68	3,47	3,28	3,13	2,99	
		0,10	5,09	4,67	4,32	4,04	3,79	3,58	3,40	3,24	
		0,15	5,05	4,65	4,32	4,04	3,80	3,59	3,41	3,25	
		0,20	4,91	4,54	4,23	3,96	3,74	3,54	3,37	3,21	
		0,25	4,71	4,37	4,09	3,84	3,63	3,44	3,28	3,13	
		0,30	4,56	4,24	3,98	3,74	3,54	3,37	3,21	3,07	
	70	0,05	4,54	4,21	3,93	3,69	3,49	3,32	3,17	3,03	
		0,10	4,98	4,61	4,29	4,03	3,80	3,60	3,43	3,28	
		0,15	4,92	4,56	4,26	4,01	3,79	3,59	3,42	3,27	
		0,20	4,79	4,47	4,19	3,95	3,74	3,55	3,39	3,24	
		0,25	4,61	4,30	4,04	3,82	3,62	3,45	3,29	3,15	
		0,30	4,43	4,15	3,91	3,71	3,52	3,36	3,21	3,08	
72,5	0,05	4,47	4,17	3,92	3,71	3,52	3,36	3,21	3,08		
	0,10	4,86	4,53	4,25	4,01	3,80	3,62	3,46	3,32		
	0,15	4,80	4,49	4,22	3,99	3,79	3,61	3,45	3,31		

		0,20	4,64	4,36	4,11	3,89	3,70	3,53	3,38	3,24	
		0,25	4,48	4,21	3,98	3,78	3,60	3,44	3,30	3,17	
		0,30	4,31	4,07	3,86	3,67	3,50	3,35	3,21	3,09	
	75	0,05	4,37	4,12	3,90	3,71	3,54	3,39	3,26	3,14	
		0,10	4,74	4,46	4,21	4,00	3,81	3,64	3,49	3,36	
		0,15	4,66	4,40	4,17	3,97	3,79	3,63	3,48	3,35	
		0,20	4,53	4,28	4,07	3,88	3,70	3,55	3,41	3,28	
		0,25	4,36	4,13	3,93	3,76	3,59	3,45	3,32	3,20	
		0,30	4,17	3,97	3,78	3,61	3,46	3,33	3,20	3,09	
	8,65	65	0,05	5,65	5,12	4,70	4,35	4,06	3,82	3,61	3,43
			0,10	6,38	5,87	5,35	4,93	4,58	4,28	4,03	3,81
			0,15	6,48	5,93	5,36	4,95	4,61	4,32	4,07	3,85
0,20			6,35	5,84	5,35	4,94	4,60	4,31	4,05	3,84	
0,25			6,05	5,56	5,10	4,74	4,43	4,17	3,94	3,74	
0,30		5,86	5,45	5,02	4,67	4,37	4,11	3,88	3,68		
67,5		0,05	5,02	4,61	4,27	3,99	3,75	3,55	3,37	3,22	
		0,10	6,22	5,66	5,21	4,84	4,52	4,26	4,02	3,82	
		0,15	6,25	5,70	5,25	4,87	4,55	4,28	4,04	3,83	
		0,20	6,10	5,59	5,17	4,81	4,51	4,25	4,02	3,82	
		0,25	5,82	5,36	4,98	4,65	4,37	4,13	3,91	3,72	
0,30		5,61	5,18	4,82	4,51	4,24	4,00	3,80	3,62		
70	0,05	5,26	4,98	4,63	4,33	4,08	3,86	3,67	3,50		
	0,10	6,05	5,53	5,14	4,80	4,51	4,25	4,03	3,84		
	0,15	6,09	5,61	5,20	4,86	4,56	4,31	4,08	3,89		
	0,20	5,85	5,41	5,04	4,72	4,45	4,21	4,00	3,81		
	0,25	5,62	5,21	4,87	4,58	4,32	4,10	3,90	3,72		
0,30	5,38	5,02	4,70	4,42	4,18	3,97	3,78	3,61			
72,5	0,05	5,22	4,86	4,55	4,28	4,06	3,86	3,68	3,52		
	0,10	5,82	5,40	5,05	4,74	4,48	4,25	4,05	3,87		
	0,15	5,79	5,38	5,04	4,74	4,48	4,25	4,05	3,87		
	0,20	5,58	5,21	4,90	4,62	4,38	4,16	3,97	3,80		
	0,25	5,38	5,04	4,75	4,49	4,26	4,06	3,88	3,72		
0,30	5,14	4,83	4,56	4,32	4,11	3,92	3,75	3,59			
75	0,05	5,04	4,74	4,47	4,24	4,04	3,85	3,69	3,55		
	0,10	5,53	5,20	4,91	4,65	4,42	4,21	4,03	3,87		
	0,15	5,49	5,16	4,87	4,62	4,40	4,20	4,02	3,86		
	0,20	5,32	5,01	4,74	4,50	4,29	4,11	3,94	3,78		
	0,25	5,07	4,81	4,56	4,34	4,14	3,96	3,80	3,66		
0,30	4,90	4,62	4,39	4,19	4,00	3,85	3,70	3,56			
10,65	65	0,05	6,66	6,01	5,50	5,07	4,72	4,43	4,18	3,96	
		0,10	8,21	7,37	6,62	6,02	5,54	5,14	4,80	4,51	
		0,15	8,21	7,32	6,62	6,05	5,58	5,19	4,86	4,57	
		0,20	8,37	7,50	6,75	6,16	5,66	5,25	4,91	4,61	
		0,25	7,75	6,99	6,38	5,88	5,46	5,10	4,79	4,52	
		0,30	6,91	6,31	5,81	5,40	5,04	4,73	4,47	6,91	
	67,5	0,05	6,60	5,97	5,46	5,05	4,70	4,41	4,16	3,94	
		0,10	7,82	7,02	6,38	5,86	5,43	5,07	4,77	4,50	
		0,15	7,81	7,02	6,39	5,87	5,44	5,08	4,77	4,50	
		0,20	7,93	7,12	6,48	5,95	5,51	5,14	4,82	4,54	
		0,25	7,54	6,82	6,24	5,76	5,36	5,01	4,71	4,45	
	0,30	7,25	6,58	6,04	5,59	5,12	4,88	4,59	4,34		
70	0,05	6,52	5,94	5,48	5,09	4,76	4,48	4,24	4,03		
	0,10	7,55	6,85	6,26	5,78	5,38	5,04	4,74	4,49		
	0,15	7,79	7,08	6,49	6,01	5,60	5,25	4,95	4,68		
	0,20	7,53	6,85	6,30	5,83	5,44	5,10	4,81	4,55		
	0,25	7,28	6,65	6,13	5,70	5,32	5,00	4,72	4,47		
0,30	6,90	6,36	5,90	5,51	5,17	4,87	4,61	4,38			
72,5	0,05	6,34	5,84	5,42	5,06	4,76	4,50	4,27	4,07		
	0,10	7,25	6,66	6,16	5,74	5,38	5,07	4,80	4,57		

		0,15	7,32	6,73	6,24	5,83	5,47	5,16	4,88	4,64	
		0,20	7,13	6,57	6,10	5,70	5,35	5,05	4,79	4,55	
		0,25	6,84	6,32	5,89	5,51	5,19	4,90	4,65	4,42	
		0,30	6,54	6,07	5,67	5,32	5,02	4,75	4,51	4,30	
	75	0,05	6,00	5,60	5,25	4,96	4,70	4,47	4,27	4,09	
		0,10	6,84	6,36	5,95	5,60	5,29	5,02	4,78	4,56	
		0,15	6,89	6,41	5,99	5,64	5,33	5,05	4,81	4,59	
		0,20	6,75	6,29	5,89	5,55	5,25	4,98	4,74	4,53	
		0,25	6,42	6,00	5,64	5,33	5,05	4,80	4,58	4,38	
		0,30	6,15	5,77	5,43	5,14	4,88	4,64	4,43	4,24	
	13,85	65	0,05	8,54	7,54	6,80	6,17	5,68	5,27	4,92	4,63
			0,10	11,11	9,61	8,46	7,58	6,88	6,31	5,84	5,44
0,15			11,82	9,90	9,08	8,16	7,43	6,83	6,33	5,91	
0,20			11,03	9,65	8,60	7,78	7,11	6,55	6,08	5,69	
0,25			11,09	10,03	8,57	7,71	7,02	6,45	5,98	5,57	
0,30			10,22	9,24	8,24	7,45	5,52	6,28	5,83	5,45	
67,5		0,05	8,16	7,31	6,65	6,10	5,66	5,28	4,96	4,68	
		0,10	10,56	9,28	8,30	7,52	6,89	6,37	5,93	5,55	
		0,15	10,79	9,46	8,45	7,65	7,00	6,46	6,01	5,62	
		0,20	10,96	9,64	8,62	7,80	7,14	6,59	6,12	5,72	
		0,25	10,54	9,35	8,40	7,65	7,02	6,50	6,06	5,68	
		0,30	10,34	9,13	8,18	7,42	6,80	6,28	5,84	5,46	
70	0,05	7,80	7,05	6,44	5,95	5,53	5,18	4,88	4,62		
	0,10	9,87	8,72	7,98	7,31	6,75	6,28	5,87	5,52		
	0,15	10,17	9,05	8,18	7,47	6,88	6,39	5,97	5,61		
	0,20	9,91	8,85	8,00	7,31	6,74	6,26	5,85	5,49		
	0,25	9,72	8,74	7,96	7,31	6,76	6,30	5,90	5,55		
	0,30	9,27	8,36	7,63	7,03	6,52	6,08	5,71	5,38		
72,5	0,05	7,56	6,92	6,39	5,95	5,58	5,25	4,97	4,72		
	0,10	9,32	8,44	7,72	7,13	6,63	6,20	5,83	5,51		
	0,15	9,86	8,88	8,09	7,44	6,89	6,43	6,03	5,69		
	0,20	9,57	8,66	7,92	7,31	6,79	6,34	5,96	5,62		
	0,25	9,18	8,35	7,66	7,09	6,60	6,18	5,81	5,49		
	0,30	8,85	8,05	7,39	6,84	6,37	5,96	5,61	5,30		
75	0,05	7,44	6,88	6,40	6,00	5,64	5,32	5,05	4,82		
	0,10	9,05	8,24	7,61	7,08	6,63	6,23	5,89	5,59		
	0,15	9,22	8,47	7,82	7,27	6,79	6,41	6,05	5,74		
	0,20	8,92	8,33	7,69	7,15	6,69	6,22	5,88	5,58		
	0,25	8,61	7,90	7,34	6,86	6,44	6,10	5,78	5,49		
	0,30	8,11	7,59	7,07	6,62	6,23	5,83	5,53	5,26		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемая проблема относится к классу обратных задач геофизики [11-19]. Однако далеко не все специалисты в области оптики атмосферы владеют техникой решения задач подобного типа и располагают необходимым программным обеспечением. Приводимые в настоящей работе данные решения прямой задачи, представленные в форме подробных таблиц, позволяют путем применения интерполяционных методов получить по сути те же окончательные результаты. В абсолютном большинстве случаев можно в процессе определения величин Γ_a использовать линейные (рис. 1), либо квадратичные (рис. 2) приближения. Отличия абсолютных величин в первую очередь обусловлены изменением молекулярной толщи при сохранении остальных параметров. Об

этом свидетельствуют графики и для области спектра 1,02 мкм в статье [10].

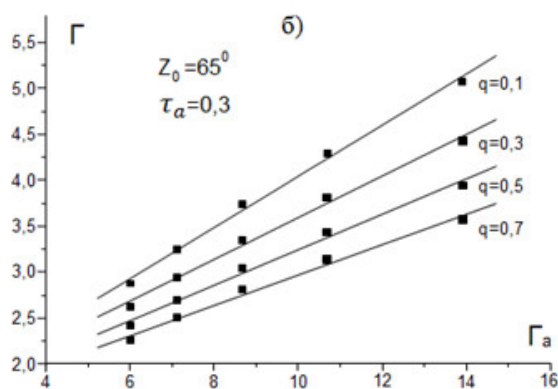
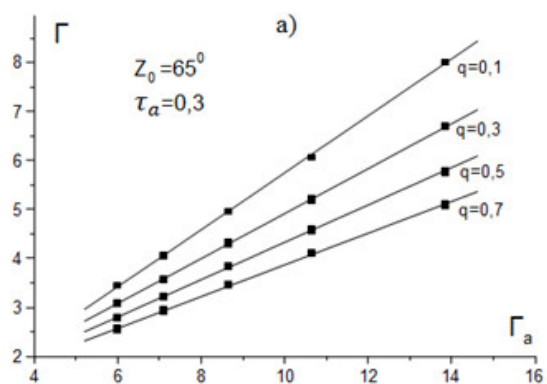


Рис. 1. Связь суммарных и аэрозольных коэффициентов асимметрии рассеянных световых потоков Γ и Γ_a при четырех значениях альбедо q

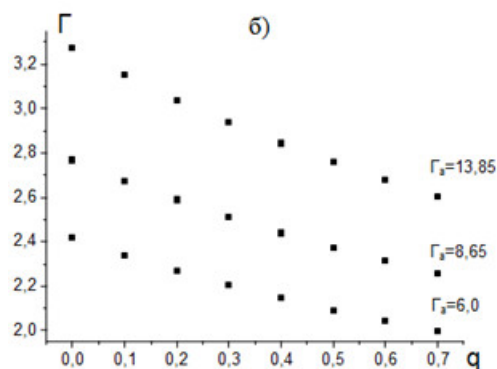
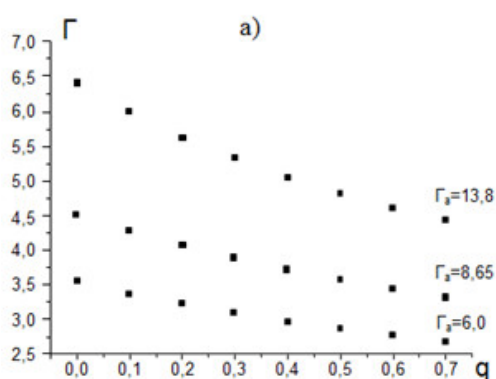


Рис. 2. Зависимость коэффициента асимметрии индикатрисы яркости от альбедо подстилающей поверхности; $Z_0 = 75^\circ$, $\tau_a = 0,1$, $\lambda = 870$ нм (а), 675 нм (б)

Авторы благодарны сотрудникам Института оптики атмосферы СО РАН Т.Б. Журавлевой, С.Ю. Андрееву и Т.В. Бедаревой за предоставленное в их распоряжение программное обеспечение для решения уравнения переноса излучения методом Монте-Карло.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. Т.1. Изменение климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.
2. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме) / Отв. редактор Б.А. Моргунов. – М.: Научный мир, 2011. – 200 с.
3. Кабанов М.В. Региональные климаторегулирующие факторы в Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 107-113.
4. Кондратьев К.Я. Радиационные характеристики атмосферы и подстилающей поверхности. – М.: Гидрометеиздат, 1969. – 682 с.
5. Голицын Г.С., Мохов И.И., Акперов М.Г., Бардин М.Ю. Функция распределения вероятности для циклонов и антициклонов в период 1952-2000 гг.: инструмент для определения изменений глобального климата // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 413, № 2. – С. 254-256.
6. Логинов С.В., Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние негауссовой статистики атмосферных переменных на экстремальные внутримесячные аномалии // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 307-317.
7. Г.ВанДе Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М. ИИЛ. 1961 -536с.
8. Пясковская-Фесенкова Е.В. Исследование рассеяния света в земной атмосфере. – М.: Наука, 1957. – 218 с.
9. Минин И.Н. Теория переноса излучения в атмосферах планет. М. Наука. 1988 - 266с.
10. Пашнев В.В., Павлов В.Е., Орлов С.С., Матющенко Ю.Я. Факторы, определяющие наблюдаемые значения коэффициентов асимметрии световых потоков в ближней ИК области спектра // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 5. – С. 385-390.
11. AerosolRoboticNetwork (AERONET) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.
12. ENVISAT products specifications. Volume 11: MERIS products specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth.esa.int/web/sppa/documentation/envisat/meris>.
13. Журавлева Т.Б. Моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях. Часть 1. Детерминированная атмосфера // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 2. – С.99-114.
14. Андреев С.Ю., Бедарева Т.В. Информационно-вычислительная система для исследования спектрально-угловых

характеристик солнечной радиации // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, № 05. – С. 408-413.

15. Лившиц Г.Ш. Рассеяние света в атмосфере. – Алма-Ата.: Наука, 1968. – 177 с.

16. Розенберг Г.В., Горчаков Г.И., Георгиевский Ю.С., Любовцева Ю.С. Оптические параметры атмосферного аэрозоля. В книге «Физика атмосферы и проблемы климата». – М.: Наука, 1980. – С. 216-257.

17. Пясковская-Фесенкова Е.В. Исследование рассеяния света в земной атмосфере. – М.: Наука, 1957. – 218 с.

18. Антюфеев В.С., Назаралиев М.А. Обратные задачи атмосферной оптики. – Новосибирск: Вычислительный центр СО АН СССР, 1988. – 156 с.

19. Dubovik O.T., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D.200. – Vol. 105, No. 16. – P. 20673-20696.

Пашнев Владимир Валентинович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры Вычислительной техники и электроники Алтайского государственного университета, тел. 8-905-926-5417, e-mail: pashnev@phys.asu.ru;

Павлов Владимир Евгеньевич, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов Института водных и экологических проблем СО РАН, тел. 8-964-514-7177, e-mail: vpavlov_37@mail.ru;

Матющенко Юрий Яковлевич, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры Вычислительной техники и электроники Алтайского государственного университета, тел. 8-960-936-4750, e-mail: matyuschenko@phys.asu.ru

Белозерских Василий Вениаминович, старший преподаватель кафедры Вычислительной техники и электроники Алтайского государственного университета, тел. 8-903-947-7115, e-mail: bww@phys.asu.ru.

TABLES FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR DETERMINING THE ASYMMETRY COEFFICIENTS OF THE LIGHT FLUXES IN THE RED AND NEAR IR REGIONS OF THE SPECTRUM SCATTERED BY AEROSOL PARTICLES

V.V. Pashnev¹, V.E. Pavlov², Yu.Ya. Matyuschenko¹, V.V. Belozerskikh¹

¹Altai State University, Barnaul

²Institute of Water and Ecological Problems SB RAS, Barnaul

Abstract – Based on the results of solving the radiation transfer equation in a cloudless atmosphere, an approximate method has been developed for estimating the asymmetry coefficients of scattered light on aerosol particles at wavelengths of 0.675, 0.870 and 1.02 μm . The shape of the model aerosol indicatrix of scattering in the transport equation corresponds to the presence in the atmosphere of three groups of particles: ultramicroscopic, submicron and coarse-dispersed, as well as their mixtures in different proportions. The developed method is designed to use the observations of the transparency (optical depths) of the atmosphere, the brightness of the daytime sky and the albedo of the underlying surface at fixed zenith angles of the Sun. It is shown that, based on observations of the angular dependence of brightness in any units, it is possible to determine the asymmetry coefficients of a single aerosol light scattering by interpolation. The results of calculations in the form of tables for performing the necessary intermediate operations are given.

Index terms: red and near infrared spectral regions, optical thick of molecular and aerosol scattering, aerosol models of the atmosphere, albedo of the underlying surface, radiation transfer equation.

REFERENCES

1. Evaluation report on climate change and its effects on the territory of the Russian Federation. – M.: Roshydromet, 2008. – 227 p.
2. Diagnostic analysis of the state of the environment of the Arctic zone of the Russian Federation (Extended summary) / Exec. editor B.A. Morgunov. – M.: Scientific world, 2011. – 200 p.
3. Kabanov M.V. Regional climate regulation factors in Western Siberia // Geography and natural resources. – 2015. – No. 3. – P. 107-113.
4. Kondratyev K.Ya. Radiation characteristics of the atmosphere and underlying surface. – M.: Gidrometeoizdat, 1969. – 682 p.
5. Golitsyn G.S., Mokhov I.I., Akperov M.G., Bardin M.Yu. The probability distribution functions for cyclones and anticyclones in the period 1952-2000: a tool for determining changes in global climate // Reports of the Academy of Sciences. – 2007. – Vol. 413, No. 2. – P. 254-256.
6. Loginov S.V., Eliseev A.V., Mokhov I.I. The influence of non-Gaussian statistics of atmospheric variables on extreme intramonth anomalies // Izvestia RAN. Physics of the atmosphere and the ocean. – 2017. – Vol. 53, No. 3. – P. 307-317.
7. Pashnev V.V., Pavlov V.E., Orlov S.S., Matyuschenko Yu.Ya. Factors determining the observed values of the asymmetry coefficients of light fluxes in the atmosphere in the IR region of the spectrum // Optics of the Atmosphere and Ocean. – 2018. – Vol. 31, No. 5. – P. 385-390.
8. AerosolRoboticNetwork (AERONET) [Electronic resource]. – Access mode: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.
9. ENVISAT products specifications. Vol. 11: MERIS uctecifications [Electronic resource]. – Access mode: http://earth.eo.esa.int/pcs/envisat/meris/documentation/meris_3rd_reproc/Vol11_Meris_6a.pdf.
10. Zhuravleva T.B. Modeling the transfer of solar radiation in different atmospheric conditions. Part 1. Deterministic Atmosphere // Atmospheric and Ocean Optics. – 2008. – Vol. 28, No. 2. – P. 99-114.
11. Andreev S.Yu., Bedareva T.V. Information-computational system for the study of spectral-angular characteristics of solar radiation // Optics of the Atmosphere and Ocean. – 2013. – Vol. 26, No. 05. – P. 8-416.
12. Livshits G.Sh. Light scattering in the atmosphere. – Alma-Ata.: Science, 1968. – 177 p.
13. Rosenberg G.V., Gorchakov G.I., Georgievsky Yu.S., Lyubovtseva Yu.S. Optical parameters of atmospheric aerosol. In the book "Atmosphere Phyzika and Climate Problems". – M.: Science, 1980. – P. 216-257.
14. Pyaskovskaya-Fesenkova E.V. The study of light scattering in the earth's atmosphere. – M.: Science, 1957. – 218 p.
15. Antyufeev V.S., Nazarialiev M.A. Inverse problems of atmospheric optics. – Novosibirsk: Computing Center of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1988. – 156 p.
16. Dubovik O.T., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D.200. – Vol. 105, No. 16. – P. 20673-20696.

Pashnev Vladimir Valentinovich, Ph.D., associate professor of the department of Computing engineering and electronics of the Altai State University, tel. 8-905-926-5417, e-mail: pashnev@phys.asu.ru;

Pavlov Vladimir Evgenievich, doctor of physics and mathematics, professor, chief researcher of the laboratory of physics of atmospheric-hydropheric processes, Institute of water and ecological problems, SB RAS, tel. 8-964-514-7177, e-mail: vpavlov_37@mail.ru;

Matyuschenko Yury Yakovlevich, Ph.D., associate professor of the department of Computing engineering and electronics of the Altai State University, tel. 8-960-936-4750, e-mail: matyuschenko@phys.asu.ru;

Belozerskikh Vasily Veniaminovich, senior lecturer, department of Computing engineering and electronics of the Altai State University, tel. 8-903-947-7115, e-mail: bww@phys.asu.ru