

УДК 531.521

Т.Б. Журавлева

ВЛИЯНИЕ ОБЛАКОВ НА ПОГЛОЩЕНИЕ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ В АТМОСФЕРЕ. ЧАСТЬ 2. ОТНОШЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ФОРСИНГОВ НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ И УРОВНЕ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассматриваются два подхода к определению отношения радиационных форсингов на верхней границе атмосферы и уровне подстилающей поверхности r (коротковолновая радиация). Согласно регрессионному подходу к определению r эффекты случайной геометрии облаков слабо влияют на отношение радиационных форсингов. В соответствии с другим подходом величина r зависит не только от изменения поглощения, обусловленного появлением облаков в безоблачной атмосфере, но и от вариаций альbedo на верхней границе атмосферы. По этой причине незначительные отличия r в кучевых и слоистых облаках, которые имеют место для небольших значений альbedo подстилающей поверхности $A_s \leq 0,2$, могут увеличиться до десятков процентов при дальнейшем увеличении A_s для оптически тонких облаков и (или) малых баллах облачности при зенитных углах Солнца $\xi_0 \leq 30^\circ$. При усреднении отношения радиационных форсингов по всему множеству оптических и геометрических характеристик облаков зависимость r от типа облачности существенно уменьшается. Исследуется также вопрос о том, в какой степени отношение радиационных форсингов можно считать мерой поглощения облаками.

1. Введение

В течение последних лет для описания влияния облаков на поглощение коротковолновой радиации в атмосфере интенсивно используется подход (см., например, [1–4]), суть которого состоит в анализе величины r – отношения радиационных форсингов (CRF) на уровне подстилающей поверхности (SFC) и верхней границы атмосферы (TOA):

$$r = \frac{CRF_{SFC}}{CRF_{TOA}} = \frac{F_{SFC}^{all} - F_{SFC}^{clr}}{F_{TOA}^{all} - F_{TOA}^{clr}}. \quad (1)$$

Здесь F – полный поток излучения на заданных атмосферных уровнях; индексы «*all*» и «*clr*» относятся соответственно к облачной и безоблачной атмосфере.

На основе космических, самолетных и наземных наблюдений получены следующие оценки величины r :

- в тропиках $r \approx 1,5$ [3, 4];
- независимо от географической широты местности, где проводились измерения, $r \approx 1,5$ [1];
- в районе тропиков r сильно изменчиво и медиана $r \approx 1,4$, в умеренных широтах $r \approx 1,1$ и в полярных регионах $r \leq 1$ [2];
- $r \approx 1,14$ (коротковолновая радиация) и $r \approx 1,7$ (видимый диапазон) [5]. Экспериментально определенное значение r в большинстве случаев не совпадает с результатами модельных расчетов, согласно которым $r_{mod} \leq 1,1 - 1,2$ [1–3].

В работе [1] предлагается другой подход к определению отношения радиационных форсингов – через наклон s линейной регрессии между альbedo на верхней границе атмосферы R_{TOA} и пропусканием на уровне подстилающей поверхности Q_{SFC} :

$$r^{(s)} = -(1 - A_s)/s, \quad (2)$$

A_s – альbedo подстилающей поверхности. Согласно данным натурных измерений [1] при $A_s = 0,17$ величина $s_{exp} = -0,6$. Это совпадает с результатами, приведенными в [4], и отличается от [2], согласно которым при $A_s = 0,15$ диапазон изменения s_{exp} составляет $-0,67 \leq s_{exp} \leq -0,87$, а среднее значение $s_{exp} = -0,77$. В [1] приведено также значение наклона линейной регрессии между R_{TOA} и Q_{SFC} , полученного на основе некоторого (к сожалению, не описанного) множества модельных расчетов: при $A_s = 0,17$ $s_{mod} = -0,8$.

Как следует из приведенных результатов, отношения радиационных форсингов, определенные разными авторами на основе различных множеств натурных измерений, могут сильно отличаться между собой. Причины расхождений частично обсуждаются в [2, 6]. Другая проблема состоит в том, что величины r (формула (1)), s и соответственно $r^{(s)}$ (формула (2)), полученные из экспериментальных данных, в большинстве случаев не совпадают с модельными расчетами. Наблюдаемый дискрипанс может быть частично обусловлен несовершенством плоскопараллельной модели облаков, используемой в расчетах.

Данная работа является логическим продолжением исследований, выполненных в [7]. На основе тех же моделей разорванной облачности и атмосферы в целом и архива результатов (потоки восходящей и нисходящей радиации на 12 атмосферных уровнях) рассчитывается отношение радиационных форсингов согласно двум упомянутым выше подходам. Исследуется, насколько сильно влияют на r , $r^{(s)}$ и s эффекты, обусловленные случайной геометрией облачных полей, при изменении верхней границы облаков и альbedo подстилающей поверхности. Рассматривается также вопрос о том, в какой степени отношение радиационных форсингов можно считать мерой поглощения в облаках.

Ниже будем использовать те же обозначения, что и в [7].

2. Влияние стохастической геометрии облаков на отношение радиационных форсингов

Для исследования факторов, влияющих на отношение радиационных форсингов, представим формулу (1) в более удобном виде. Обозначим через $\Delta R_{TOA} = R_{TOA}^{all} - R_{TOA}^{clr}$, $\Delta A = A^{all} - A^{clr}$ изменения, которые вносит в альbedo на верхней границы атмосферы и поглощение безоблачной атмосферы появление облаков. В соответствии с (1) можно записать

$$F_{SFC}^{all} - F_{SFC}^{clr} = r F_{TOA}^{all} - r F_{TOA}^{clr} = -r \Delta R_{TOA}.$$

С другой стороны,

$$F_{SFC}^{all} - F_{SFC}^{clr} = -\Delta R_{TOA} - \Delta A.$$

Отсюда

$$\Delta R_{TOA} + \Delta A = r \Delta R_{TOA}$$

и, следовательно,

$$r = 1 + \Delta A / \Delta R_{TOA}.$$

(3)

На основе (3) нетрудно получить, что для слоистых облаков справедливо равенство

$$r_{Sl} = r_{pp},$$

где r_{pp} – отношение радиационных форсингов в условиях сплошной облачности ($N = 1$).

Из формулы (3) следует, что отношение радиационных форсингов зависит не только от ΔA , но и от R_{TOA} . По мере увеличения альbedo подстилающей поверхности A_s , при малых баллах облачности ($N \approx 0,1 \div 0,3$) и (или) оптически тонких облаках ($\tau \approx 5$) и небольших зенитных углах Солнца ($\xi_{\odot} \leq 30^\circ$), различие между R_{TOA}^{all} и R_{TOA}^{clr} уменьшается. Это означает, что возрастание r может быть обусловлено не столько вариациями поглощения ΔA , сколько уменьшением ΔR_{TOA} (эффект альbedo). Сказанное выше иллюстрируют приведенные на рис. 1 результаты расчетов ΔA , ΔR_{TOA} (в относительных единицах) и r для кучевых облаков. Для оптически тонких облаков нижнего яруса при A_s представлены расчеты r при $\xi_{\odot} \geq 30^\circ$. Это связано с тем, что при $\xi_{\odot} = 0^\circ$ близкие значения R_{TOA}^{all} и R_{TOA}^{clr} приводят к большой относительной погрешности расчета r .

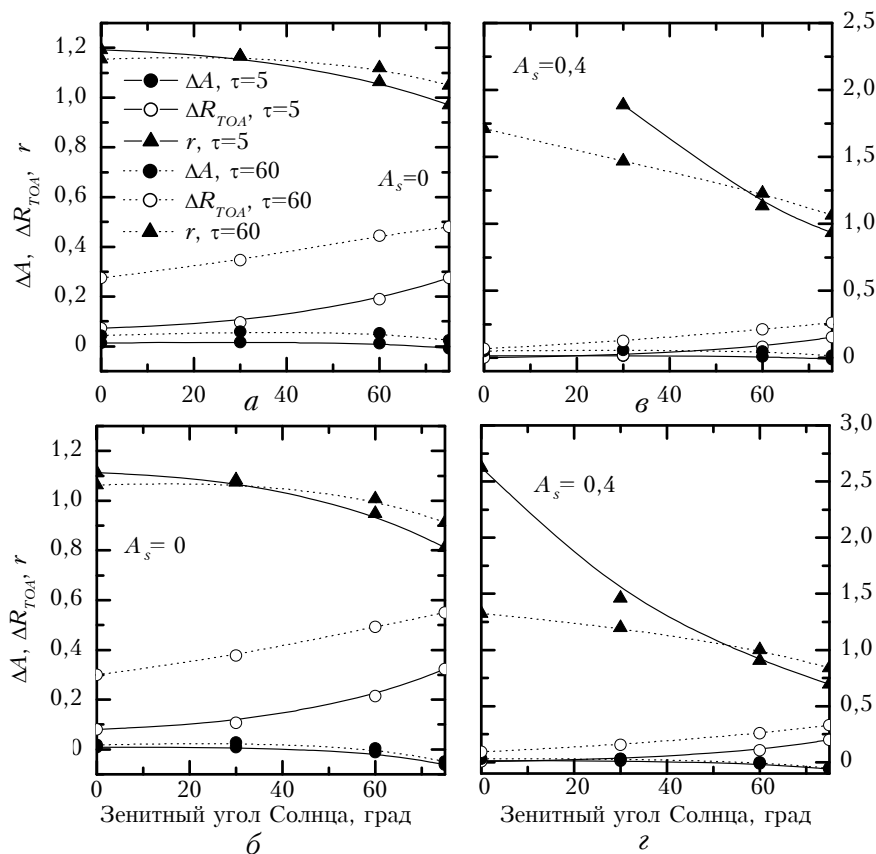


Рис. 1. Изменчивость ΔA и ΔR_{TOA} и отношение радиационных форсингов r в кучевых облаках нижнего (а, в) и среднего (б, г) ярусов при $\gamma = 2$, $N = 0,5$ и различных значениях альbedo подстилающей поверхности A_s и оптической толщине облачного слоя

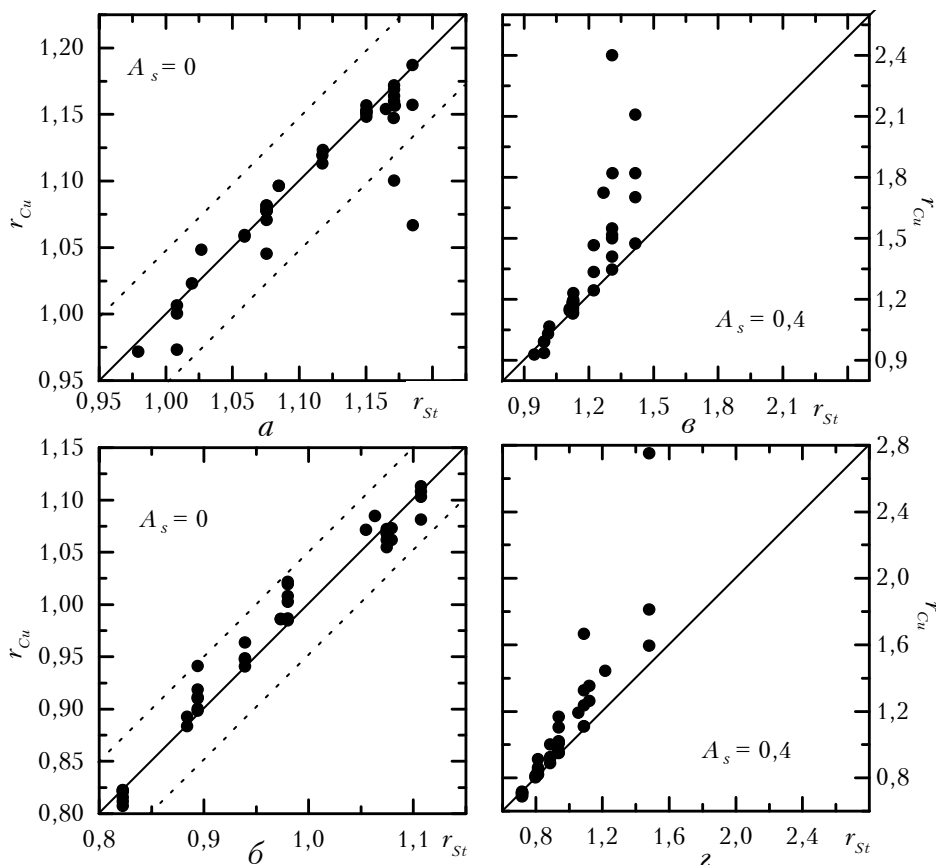


Рис. 2. Соотношение радиационных форсингов в кучевой и слоистой облачности в облаках нижнего (а, б) и среднего (в, г) ярусов при различных значениях альbedo подстилающей поверхности A_s

На рис. 2 представлено отношение радиационных форсингов в кучевых облаках (r_{Cu}) как функция r в слоистой облачности (r_{St}). Каждая точка на этом графике (r_{St} , r_{Cu}) соответствует расчету при одном и том же наборе входных параметров задачи, отличающемся значением параметра γ : $\gamma \ll 1$ для слоистых и $0,5 \leq \gamma \leq 2$ для кучевых облаков. Приведенные результаты показывают следующее.

При $A_s = 0$ для облаков нижнего и среднего ярусов 1) r_{Cu} и r_{St} не превышают 1,2 и 2) r_{Cu} и r_{St} мало отличаются между собой: практически во всем диапазоне изменения входных параметров задачи $|r_{Cu} - r_{St}| \leq 0,05$.

При возрастании альbedo подстилающей поверхности до $A_s = 0,4$ диапазон изменения r увеличивается: 1) $r_{St} \leq 1,5$ как для облаков нижнего, так и для облаков среднего яруса; 2) $r_{Cu} \leq 1,8$ – для облаков среднего и $r_{Cu} \leq 2,4$ – для облаков нижнего яруса. Максимальные значения r имеют место при $\xi_{\odot} = 0^{\circ}$, что является следствием эффекта альbedo.

Отношение радиационных форсингов (независимо от A_s) является убывающей функцией ξ_{\odot} при прочих фиксированных параметрах задачи (см. рис. 1). Подобные результаты приведены также в работе [8], в которой рассматриваются облака, имеющие более

сложный фазовый состав (кристаллы льда, кристаллы льда и капли жидкой воды).

При $A_s = 0,4$ различие между r_{Cu} и r_{St} увеличивается и r_{Cu} может превосходить r_{St} примерно в 1,5 раза. Наибольшие отличия r_{Cu} и r_{St} наблюдаются для оптически тонких облаков и малых баллах облачности при $\xi_{\odot} \leq 30^{\circ}$.

Влияние эффектов случайной геометрии на отношение радиационных форсингов на примере одной облачной ситуации рассматривается также в работе [9], где для этой цели используется другая модель разорванной облачности [10]. Авторы [9] связывают приращение r с возрастанием поглощения, которое является следствием увеличения средней длины пути фотонов в стохастических облачных полях по сравнению с горизонтально однородным облачным слоем. В пуассоновской модели разорванной облачности средняя длина пробега фотонов в кучевых облаках также больше, чем в слоистых [11], что, однако, не приводит к существенному возрастанию поглощения, как это было показано в [7, 12]. В связи с этим величина $\Delta\lambda$ слабо зависит от типа облаков, и различие между r_{Cu} и r_{St} в большей степени связано с эффектом альbedo, т.е. уменьшением величины ΔR_{TOA} , которое наиболее заметно проявляется в кучевых облаках.

Выше обсуждалось отношение радиационных форсингов для отдельных облачных ситуаций. Чтобы получить среднее значение r , необходимо в идеале располагать информацией о том, чему равна вероятность появления той или иной облачной ситуации. Поскольку такая информация отсутствует, на этом этапе исследований будем считать, что все облачные ситуации равновероятны и тогда среднее значение \bar{r} – это усредненное по всему множеству входных параметров задачи отношение радиационных форсингов. Предполагая, что оптические и геометрические характеристики облаков изменялись в пределах, указанных во введении к [7], получили следующие оценки \bar{r}_{Cu} и \bar{r}_{St} :

– облака нижнего яруса:

$$\text{при } A_s = 0,0 \quad \bar{r}_{Cu} = \bar{r}_{St} \approx 1,1 \mp 0,06,$$

$$\text{при } A_s = 0,4 \quad \bar{r}_{Cu} = 1,34 \mp 0,34, \quad \bar{r}_{St} = 1,21 \mp 0,19;$$

– облака среднего яруса:

$$\text{при } A_s = 0,0 \quad \bar{r}_{Cu} = \bar{r}_{St} \approx 0,98 \mp 0,1$$

$$\text{при } A_s = 0,4 \quad \bar{r}_{Cu} = 1,07 \mp 0,39, \quad \bar{r}_{St} = 0,95 \mp 0,21.$$

Из приведенных результатов следует:

– при увеличении верхней границы облаков отношение радиационных форсингов уменьшается. Это совпадает с расчетами, полученными в [2, 3];

– в облаках нижнего яруса \bar{r} является возрастающей функцией A_s ; в облаках среднего яруса зависимость \bar{r} от A_s определяется типом облачности: при $0 \leq A_s \leq 0,4$ в кучевых облаках \bar{r}_{Cu} возрастает с увеличением A_s , в слоистых – слабо убывает;

– при $A_s = 0,0$ эффекты, обусловленные случайной геометрией облаков, практически не влияют на величину r и $\bar{r}_{Cu} = \bar{r}_{St}$ в широком диапазоне входных параметров задачи. Увеличение альbedo подстилающей поверхности приводит к тому, что \bar{r}_{Cu} возрастает по сравнению с \bar{r}_{St} , однако разница между ними $\Delta\bar{r} = \bar{r}_{Cu} - \bar{r}_{St}$ не столь значительна: так, при $A_s = 0,4$ $\Delta\bar{r} = 0,13$ для облаков как нижнего, так и среднего яруса.

Аналогичный результат приведен в [2], в которой проверялась гипотеза о влиянии морфологии облаков на отношение радиационных форсингов. (Такое предположение является небезосновательным, поскольку наибольшее влияние на радиационный бюджет на уровне верхней границы атмосферы оказывают: в тропиках – конвективные облака, в умеренных широтах – облака слоистых форм). Расчеты среднесуточных значений r , выполненные в условиях конвективной и слоистой облачности, показывают, что различие между отношениями радиационных форсингов не превышает 0,15.

3. Регрессионный подход к определению отношения радиационных форсингов

В этом разделе рассматривается регрессионный подход к определению отношения радиационных форсингов – через наклон s линейной регрессии между альbedo на верхней границе атмосферы R_{TOA} и пропусканием на уровне подстилающей поверхности Q_{SFC} (формула (2)). При таком подходе отношение радиационных форсингов $r^{(s)}$ является характеристикой некоторого ряда наблюдений или множества расчетов (рис. 3).

Рассмотрим подробнее, какие факторы влияют на величину s (и $r^{(s)}$ соответственно). В табл. 1 приведены значения s для облаков нижнего и среднего ярусов при различных значениях A_s .

Т а б л и ц а 1

Наклон линейной регрессии s между R_{TOA} и Q_{SFC} для облаков нижнего и среднего ярусов

Положение облаков в атмосфере	$A_s = 0$		$A_s = 0,2$		$A_s = 0,4$	
	Cu	St	Cu	St	Cu	St
Нижний ярус	-0,87	-0,87	-0,68	-0,68	-0,48	-0,48
Средний ярус	-1,0	-0,99	-0,81	-0,81	-0,62	-0,62

Из приведенных результатов следует:

– с увеличением верхней границы облаков $|s|$ увеличивается. Это совпадает с расчетами, представленными в [13];

– при возрастании альbedo подстилающей поверхности $|s|$ уменьшается, что соответствует модельным результатам [2];

– эффекты, обусловленные стохастической геометрией облачных полей, оказывают слабое влияние на величину наклона линейной регрессии между R_{TOA} и Q_{SFC} и, как следствие, на отношение радиационных форсингов, рассчитанных по формуле (2).

4. Отношение радиационных форсингов как мера поглощения в облаках

Выше показано, как влияют вариации высоты верхней границы облаков и альbedo подстилающей поверхности на отношение радиационных форсингов, и исследовано влияние эффектов случайной геометрии на эту величину. Однако остается открытым вопрос: в какой степени эту величину можно считать мерой поглощения в облаках? Мнения разных авторов по этому поводу расходятся. Так, например, в работах [1, 8] физический смысл r трактуется на основе формулы (3) следующим образом: если поглощение в облачной атмосфере A_{atm}^{all} совпадает с поглощением в безоблачной атмосфере A_{atm}^{clr} , т.е. $\Delta A = 0$, то $r = 1$; если $A_{atm}^{all} > A_{atm}^{clr}$, то $r > 1$ и, стало быть, появление облаков увеличивает поглощение в безоблачной атмосфере. Отсюда следует предположе-

ние о том, что отношение радиационных форсингов напрямую характеризует те изменения в поглощении атмосферы, которые вносит появление облаков. Это

отличается от точки зрения авторов [2], согласно которой на отношение радиационных форсингов влияет, помимо облаков, множество других факторов.

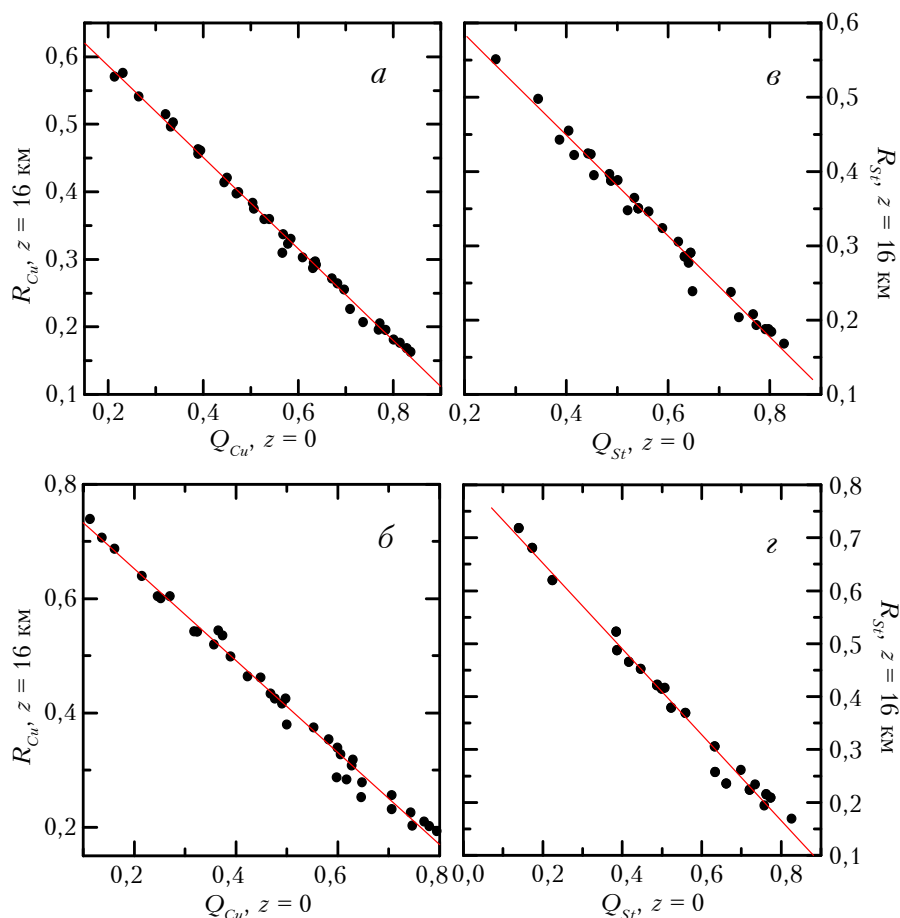


Рис. 3. Альbedo на верхней границе атмосферы R_{TOA} как функция пропускания на уровне подстилающей поверхности Q_{SFC} в кучевых и слоистых облаках нижнего (а, в) и среднего (б, з) ярусов при $A_s = 0,2$

Рассмотрим соотношения между ΔA и r , рассчитанные по формуле (1) для кучевых и слоистых облаков при $A_s = 0$ (рис. 4). Очевидно, что однозначная зависимость между этими величинами отсутствует: например, двум различным облачным ситуациям: (A) $\xi_{\odot} = 0$, $N = 0,5$, $\gamma = 2$, $\tau = 5$ и (B) $\xi_{\odot} = 75^\circ$, $N = 0,5$, $\gamma = 2$, $\tau = 30$, для которых $\Delta A \approx 1\%$, соответствуют различные значения r : $r = 1,19$ и $r = 1,02$ (точки A и B на рис. 4,а). Такое расхождение обусловлено тем, что в первом случае $\Delta R_{TOA} = 0,072$, а во втором – $\Delta R_{TOA} = 0,442$ соответственно.

При $A_s = 0$ коэффициенты линейной корреляции k между ΔA и r равны:

- нижний ярус: $k^{low,Cu} \approx k^{low,St} \approx 0,6$;
- верхний ярус: $k^{mid,Cu} \approx k^{mid,St} \approx 0,8$.

Если удалить из рассмотрения варианты расчетов, для которых увеличение r обусловлено эффектом альbedo, то для облаков нижнего яруса коэффициент корреляции между r и ΔA увеличится: $k^{low,Cu} \approx k^{low,St} \approx 0,7$. (Для облаков среднего яруса это

увеличение будет менее значимым). При увеличении A_s коэффициенты линейной корреляции уменьшаются, особенно для кучевых облаков, и при $A_s = 0,4$ составляют:

- нижний ярус: $k^{low,Cu} = 0,4$, $k^{low,St} = 0,5$;
- верхний ярус: $k^{mid,Cu} = 0,6$, $k^{mid,St} = 0,7$.

Таким образом, одной из причин относительно невысокой корреляции между r и ΔA для отдельных облачных ситуаций является эффект альbedo.

Обсудим теперь, в какой степени *среднее значение радиационных форсингов* характеризует *среднюю изменчивость поглощения* при переходе от состояния ясного неба к облачной атмосфере ($\Delta \bar{A}$). Для этого проанализируем, как соотносятся между собой величины \bar{r} (формула (1)), $r^{(s)}$ (формула (2)) и $\Delta \bar{A}$ (табл. 2). Такое сравнение поможет также понять, насколько адекватно рассматриваемые подходы к определению радиационных форсингов описывают изменения поглощения в атмосфере.

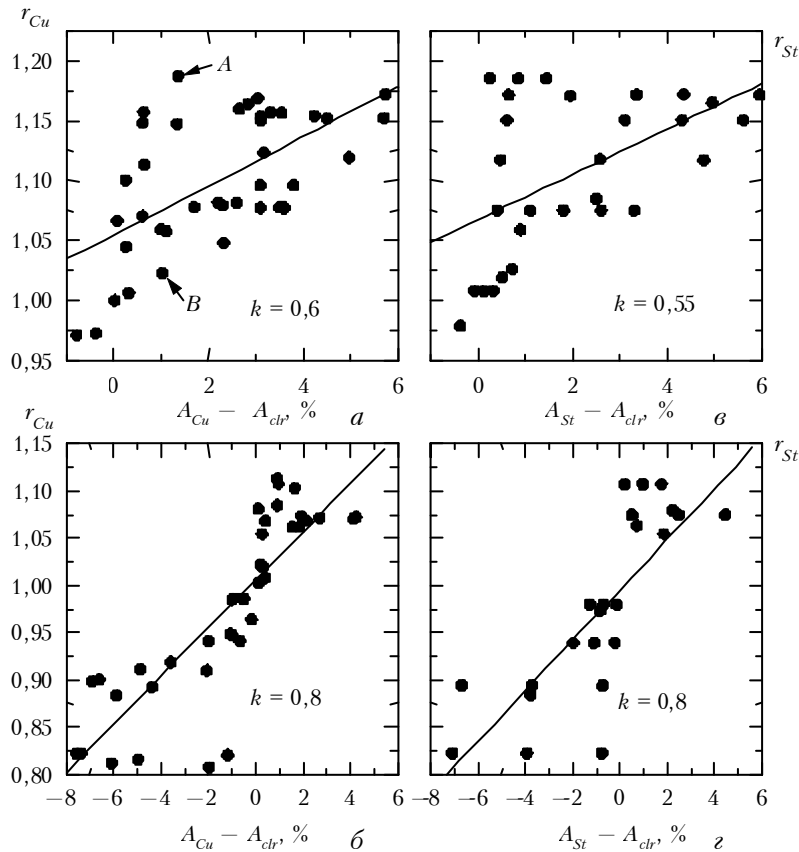


Рис. 4. Отношение радиационных форсингов как функция изменчивости поглощения ΔA в кучевых и слоистых облаках нижнего (а, в) и среднего (б, г) ярусов при $A_s = 0$

Т а б л и ц а 2

Отношения радиационных форсингов, рассчитанные на основе различных подходов к их определению (формулы (1) и (2)) и средние вариации поглощения в атмосфере $\Delta \bar{A}$

$r, r^{(s)}, \Delta A$	Нижний ярус				Средний ярус			
	$A_s = 0$		$A_s = 0,4$		$A_s = 0$		$A_s = 0,4$	
	Cu	St	Cu	St	Cu	St	Cu	St
Формула (1) \bar{r}	$1,1 \pm 0,06$	$1,1 \pm 0,06$	$1,34 \pm 0,34$	$1,21 \pm 0,19$	$0,98 \pm 0,1$	$0,98 \pm 0,1$	$1,07 \pm 0,39$	$0,95 \pm 0,21$
Формула (2) $r^{(s)}$	1,15	1,15	1,25	1,25	1	1	0,97	0,97
$\Delta \bar{A}, \%$	2,21	2,12	2,34	1,94	-1,17	-0,95	-1,1	-1,3

Из результатов, приведенных в табл. 2, следует, что $\Delta \bar{A}$ определяется в основном высотой верхней границы облаков и мало зависит от типа облачности и альбедо подстилающей поверхности. Для облаков нижнего яруса $\Delta \bar{A} > 0$, т.е. появление облаков нижнего яруса в среднем увеличивает поглощение в атмосфере по сравнению с безоблачным небом, тогда как увеличение верхней границы облаков до $H_{cl}^t = 7$ км приводит к обратному эффекту.

Насколько хорошо эти закономерности отражают $r^{(s)}$ и \bar{r} ? Отношение радиационных форсингов, определенное согласно регрессионному подходу по формуле (2), позволяет достаточно точно описать среднюю изменчивость поглощения. Так, 1) $r^{(s)}$ не зависит от типа облаков; 2) величина $r^{(s)}$

устойчиво связана с высотой верхней границы: для облаков нижнего яруса $r^{(s)} > 1$, тогда как для облаков среднего яруса $r^{(s)} \leq 1$.

Среднее значение \bar{r} , рассчитанное на основе формулы (1), качественно и количественно совпадает с $r^{(s)}$ для слоистых облаков. Хорошее соответствие между \bar{r} и $r^{(s)}$ наблюдается также для кучевых облаков при $A_s = 0,0$. Это означает, что \bar{r} , как и $r^{(s)}$, в этих случаях достаточно хорошо описывает среднюю изменчивость поглощения $\Delta \bar{A}$. Увеличение A_s делает \bar{r} более чувствительным к типу облачности, и в кучевых облаках при $A_s = 0,4$ имеет место неравенство $\bar{r} > r^{(s)}$. Однако если для облаков нижнего яруса справедливы неравенства $\bar{r} > 1$ и $r^{(s)} > 1$, то для облаков

среднего яруса ситуация иная: $r^{(s)} < 1 < \bar{r}$. Поскольку в описанном случае $\Delta\bar{A}_{Cu} < 0$, то использование для расчета радиационных форсингов формулы (1) может привести к ошибочному выводу о том, что присутствие кучевых облаков среднего яруса в среднем увеличивает поглощение безоблачной атмосферы, тогда как завышенное значение \bar{r} является скорее всего следствием эффекта альbedo. Можно предположить, что удаление из множества рассматриваемых облачных ситуаций тех, для которых эффект альbedo проявляется наиболее сильно, может улучшить соответствие между \bar{r} и $r^{(s)}$ и установить более надежную связь между средним значением радиационных форсингов и средней изменчивостью поглощения в атмосфере.

5. Заключение

В данной работе исследуется отношение радиационных форсингов в коротковолновой области спектра на основе двух различных подходов. Показано, что при использовании для расчета r формулы (1) отношение радиационных форсингов для отдельных облачных ситуаций зависит не только от изменчивости поглощения $\Delta A = A^{all} - A^{clr}$, но и от вариаций альbedo на верхней границе атмосферы $\Delta R_{TOA} = R_{TOA}^{all} - R_{TOA}^{clr}$. В связи с этим возрастание r может быть обусловлено не столько увеличением ΔA , сколько эффектом альbedo, т.е. уменьшением величины ΔR_{TOA} , которое наблюдается при увеличении A_s и $\xi_{\odot} \leq 30^\circ$ при малых баллах облачности и (или) оптически тонких облаках. Это приводит к тому, что однозначная связь между r и ΔA отсутствует, а коэффициент линейной корреляции между ними при $A_s = 0,0$ составляет $\approx 0,6$ для облаков нижнего и $\approx 0,8$ для облаков среднего яруса, уменьшаясь с возрастанием A_s .

Установлено, что если при $A_s \leq 0,2$ тип облачности слабо влияет на отношение радиационных форсингов ($|r_{Cu} - r_{St}| \leq 0,1$), то при увеличении A_s диапазон изменения r возрастает и различие между r_{Cu} и r_{St} может достигать десятков процентов. При увеличении уровня верхней границы облаков отношение радиационных форсингов уменьшается. При усреднении r по всему множеству оптических и геометрических характеристик облаков (в предположении, что все облачные ситуации равновероятны) зависимость r от типа облачности уменьшается, и при $A_s = 0,4$ $|\bar{r}_{Cu} - \bar{r}_{St}| \approx 0,15$. Таким образом, при расчетах по формуле (1) эффекты, обусловленные случайной геометрией облаков, влияют на отношение радиационных форсингов, однако их воздействие в среднем не настолько велико, чтобы связывать значительные расхождения модельных расчетов и экспериментальных оценок r с учетом в облачных моделях стохастической структуры реальных облаков.

Другой подход к определению отношения радиационных форсингов состоит в определении наклона линейной регрессии между альbedo R_{TOA} и пропусканием Q_{SFC} и расчете $r^{(s)}$ согласно формуле (2). При изменении $0,0 \leq A_s \leq 0,4$ величина $r^{(s)}$ обратно пропорциональна уровню верхней границы облаков и слабо зависит от типа облачности.

Показано, что \bar{r} и $r^{(s)}$ достаточно хорошо совпадают для слоистой облачности при любых значениях A_s и в кучевых облаках при $A_s \leq 0,2$. В этих случаях \bar{r} и $r^{(s)}$ качественно правильно описывают среднее изменение атмосферного поглощения при переходе от ясного неба к облачной атмосфере $\Delta\bar{A}$: значениям $\bar{r} > 1$ и $r^{(s)} > 1$ соответствует возрастание (в среднем) поглощения в атмосфере $\Delta\bar{A} > 0$, тогда как значениям $\bar{r} \leq 1$ и $r^{(s)} \leq 1$ соответствует $\Delta\bar{A} \approx -1\%$, что свидетельствует о незначительном уменьшении (или неизменности ввиду малого значения $\Delta\bar{A}$) поглощения безоблачной атмосферы при появлении облаков. При $A_s = 0,4$ \bar{r} и $r^{(s)}$ в кучевых облаках среднего яруса связаны неравенством $r^{(s)} < 1 < \bar{r}$, тогда как $\Delta\bar{A} \approx -1\%$. Завышенное значение \bar{r} неточно описывает среднюю изменчивость поглощения в атмосфере, что обусловлено эффектом альbedo на верхней границе облаков. Это означает, что отношение радиационных форсингов не следует однозначно рассматривать как меру поглощения коротковолновой радиации облаками и поэтому напрямую связывать расхождения расчетных и экспериментальных значений r с проблемой аномального поглощения облаками.

1. Cess R.D., Zhang M.H., Minnis P. et al. // Science. 1995. V. 267. P. 496–499.
2. Li Z., Barker H.W. and Moreau L. // Nature. 1995. V. 376. P. 486–490.
3. Ramanathan V., Subasilar B., Zhang G. et al. // Science. 1995. V. 267. P. 499–503.
4. Pilewskie P. and Valero F. // Science. 1995. V. 267. P. 1626–1629.
5. Кондратьев К.Я., Биненко В.И., Мельникова И.Н. // Метеорология и гидрология. 1996. N 2. С. 14–23.
6. Stephens G.L., Cess R.D., Zhang M.H., Pilewskie P. and Valero F. // Science. 1996. V. 271. P. 1131–1136.
7. Журавлева Т.Б. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 8. С. 852–860.
8. Lubin D., Chen J.-P., Pilewskie P., Ramanathan V., and Valero F. // JGR. 1996. V. 101. N D12. P. 16961–16972.
9. Byrne R.N., Somerville R., Subasilar B. // JAS. 1996. V. 53. N 6. P. 878–886.
10. Malvagi F., Byrne R.N., Pomraning G.C. and Somerville R. // JAS. 1993. V. 50. P. 2146–2158.
11. Тумов Г.А. // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1984. Т. 20. N 5. С. 1372–1378.
12. Тумов Г.А., Журавлева Т.Б. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 10. С. 1419–1427.
13. Schmetz J. // JAS. 1993. V. 50. N 8. P. 1122–1132.

T.B. Zhuravleva. **Influence of Clouds on Shortwave Absorption in the Atmosphere. Part 2. Ratio of Radiative Forcings at the Top of the Atmosphere and at the Underlying Surface.**

Two approaches are proposed to determine the ratio r of radiative forcings at the top of the atmosphere (TOA) and at the underlying surface (shortwave radiation). According to regression approach to r determination, the cloud random geometry has little effect on the ratio of radiative forcings. The second approach assumes that r depends not only on the absorption change due to occurrence of clouds in the clear atmosphere, but also on associated albedo alterations at TOA. For this reason, the r difference between cumulus and stratus clouds, while being small at low surface albedos $A_s \leq 0,2$, may increase by tens of percent as A_s increases for optically thin clouds and (or) small cloud fractions at solar zenith angle $\xi_{\odot} \leq 30^\circ$. After the ratio of radiative forcings is averaged over the entire set of cloud optical and geometrical characteristics, the dependence of r on cloud type becomes much weaker. Also studied is the question of how accurately does the ratio of radiative forcings represent the actual cloud absorption.