

Оценка воздействия различных атмосферных параметров на биологически активную УФ-радиацию по данным расчетов и измерений

Е.Ю. Жданова, Н.Е. Чубарова*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

Поступила в редакцию 25.02.2011 г.

Рассматривается влияние различных факторов (высота Солнца, общее содержание озона, альbedo поверхности, оптические свойства аэрозолей и облачности) на два вида биологически активной ультрафиолетовой радиации (БАУФР) – эритемной БАУФР (Q_{ery}) и БАУФР, способствующей образованию витамина D₃ (Q_{vitD}). При оценке влияния факторов использовался радиационный фактор усиления (RAF_p). Выявлено, что высота Солнца и общее содержание озона определяют наибольшие различия между Q_{ery} и Q_{vitD} . Показано, что Q_{vitD} и Q_{ery} также имеют разный характер чувствительности к общему содержанию озона в зависимости от высоты Солнца. Модельные оценки RAF за счет альbedo поверхности, а также аэрозольной и облачной оптической толщины показали незначительные различия для Q_{ery} и Q_{vitD} . Наряду с оценкой чувствительности к различным факторам, были оценены диапазоны вариаций БАУФР за счет разных факторов, которые в некоторых случаях были подкреплены результатами анализа измерений эритемной радиации в Метеорологической обсерватории МГУ.

Ключевые слова: биологически активная ультрафиолетовая радиация (БАУФР), радиационный фактор усиления, общее содержание озона, аэрозольная оптическая толщина, альbedo однократного рассеяния аэрозоля, облачная оптическая толщина, альbedo поверхности; biologically active ultraviolet irradiance, Radiation Amplification Factor, total ozone, aerosol optical thickness, single scattering albedo, cloud optical thickness, surface albedo.

Введение

Ультрафиолетовая радиация оказывает существенное влияние на биосферу, биогеохимические циклы, водные и земные экосистемы, и в том числе на здоровье человека. Известно, что биологически активная ультрафиолетовая радиация (БАУФР) обладает заметным отрицательным действием на здоровье человека, которое связано с образованием эритемы (покраснением кожи) и в итоге может приводить к развитию рака кожи [1–3]. В то же время БАУФР способствует образованию витамина D₃ в коже человека, который предотвращает появление рахита, поддерживает кальциево-фосфорный баланс и иммунные функции организма [4]. Биологически активная УФ-радиация (Q_{bio}) рассчитывается как

$$Q_{bio} = \int_{280}^{400} Q(\lambda)E(\lambda)d\lambda, \quad (1)$$

где $Q(\lambda)$ – плотность потока излучения в УФ-диапазоне спектра; $E(\lambda)$ – спектр биологического действия; λ – длина волны.

* Екатерина Юрьевна Жданова (ekaterinazhdanova214@gmail.com); Наталья Евгеньевна Чубарова (n_chubarova@mail.ru).

Существует много спектров действия БАУФР [2], однако одним из наиболее распространенных является эритемный спектр действия, принятый Международной комиссией по освещению [5]. В 2006 г. этой комиссией был введен также новый спектр действия образования витамина D₃ в коже человека [1]. Оба спектра действия показаны на рис. 1.

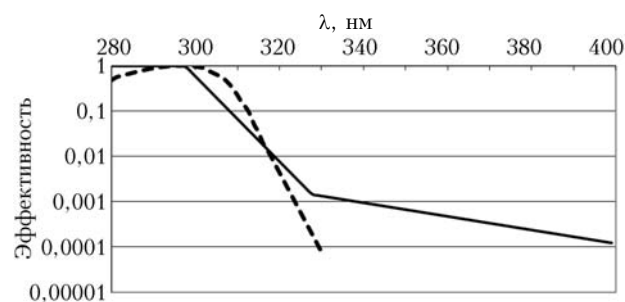


Рис. 1. Эритемный спектр действия (сплошная линия), спектр действия образования витамина D₃ (пунктир) [1, 5]

Поступление БАУФР к земной поверхности очень изменчиво и зависит от многих факторов. К важнейшим из них относятся высота Солнца, общее содержание озона, оптические свойства аэрозоля и облачности, альbedo поверхности. Поскольку рассматриваемые кривые биологического действия

имеют различную спектральную эффективность, как это видно из рис. 1, то воздействие различных факторов на разные виды БАУФР может быть неодинаковым.

В связи с этим возникла необходимость оценки влияния различных атмосферных факторов на эритемную УФР (Q_{ery}), а также УФР, способствующую образованию витамина D₃ (Q_{vitD}), с целью дальнейшего выявления оптимальных условий действия БАУФР на здоровье человека.

1. Методика работы

Для решения поставленной задачи использовался модифицированный программный комплекс TUV (Troposphere Ultraviolet Visible Model) с применением метода дискретных ординат в восьмиугольном приближении [6]. Использовалась 100-слойная модель плоскопараллельной атмосферы со спектральным разрешением плотности потока излучения 1 нм. Модель позволяет учитывать поглощение различными газами: O₃, NO₂, SO₂, O₂, HCHO. В модифицированной версии модели, которая активно использовалась в различных численных экспериментах (например, описанных в [7]), учитывается спектральный ход альбедо поверхности, проводится коррекция длины волны на рефракцию воздуха. Модификация газово-аэрозольного блока модели позволяет учитывать спектральные особенности аэрозольных параметров. Вертикальные профили газов в тропосфере и стратосфере задаются с учетом их реальных значений и т.д. В рассматриваемых далее вычислениях все другие газовые примеси принимались равными климатическим значениям для чистых регионов по [8].

Дополнительно использовались результаты анализа экспериментальных данных измерений эритемной радиации при ясном небе в метеорологической обсерватории (МО) МГУ, проведенных с помощью пиранометра UVB-1 фирмы YES [9]. Для оценки условий ясного неба использовались ежечасные данные визуальных наблюдений. При анализе аэрозольных параметров атмосферы были использованы данные солнечно-небесного фотометра CIMEL, который установлен в МО МГУ с 2001 г. [10]. При сравнениях модельных расчетов с измерениями расчет спектральных значений АОТ во всем УФ-спектре делался с использованием широко известной формулы Ангстрема по данным измерений АОТ при 340 и 380 нм. Значения альбедо однократного рассеяния пересчитывались в УФ-область спектра с учетом его спектральных изменений по теории Ми. При этом комплексный показатель преломления, восстанавливаемый в видимом диапазоне спектра по данным CIMEL, не менялся.

Основная задача данного исследования состояла в оценке спектральных различий между разными видами БАУФР. Для этого предложено использовать радиационный фактор усиления (RAF_p) [2]:

$$Q_{bio} \sim P^{RAF_p}, \quad (2)$$

где P – рассматриваемый атмосферный параметр.

Использование такого подхода позволяет получить количественные оценки различий действия атмосферных факторов на разные виды БАУФР. В предыдущих работах было показано, в частности, что этой характеристикой удобно пользоваться при оценке влияния высоты Солнца, общего содержания озона, аэрозольной и облачной оптической толщины [11]. В то же время эта характеристика не дает информации о реальной изменчивости радиации за счет того или иного фактора, так как по определению радиационный фактор усиления оперирует влиянием нормированного (единичного) изменения того или иного фактора на БАУФР. Поэтому дополнительно оценены относительные вариации БАУФР за счет того или иного параметра в диапазоне его вероятной изменчивости.

Поскольку разные виды БАУФР имеют сложную зависимость от длины волны, то для объяснения изменения чувствительности БАУФР к различным атмосферным параметрам удобно использовать эффективные длины волн. Эффективная длина волны определяется как

$$\lambda_{eff} = \frac{\int_{280}^{400} \lambda Q_{\lambda} d\lambda}{\int_{280}^{400} Q_{\lambda} d\lambda}. \quad (3)$$

2. Результаты

Расчеты факторов усиления для различных видов биологически активной радиации проведены для широкого набора параметров реальной атмосферы. Рассмотрим в качестве иллюстрации, как варьируют спектральные распределения Q_{ery} и Q_{vitD} при двух высотах Солнца 20 и 50° (рис. 2).

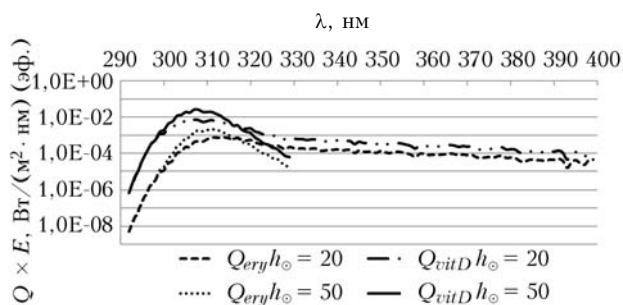


Рис. 2. Спектральное распределение Q_{ery} и Q_{vitD} при ясном небе. Общее содержание озона 350 матм·см, АОТ₃₈₀ = 0,1, высота Солнца (h_g) 20 и 50°

Видно, что оба рассматриваемых вида БАУФР имеют большую эффективность в УФ-В-области спектра. В то же время максимум спектрального распределения Q_{ery} сдвинут в более длинноволновую область по сравнению с Q_{vitD} , особенно при низких высотах Солнца. Эти спектральные изменения могут вызывать существенные различия в чувствительности Q_{ery} и Q_{vitD} к вариациям высоты Солнца.

Рассмотрим численные характеристики чувствительности различных видов БАУФР к наиболее важным характеристикам атмосферы. Значения RAF_p для наиболее значимых параметров атмосферы приведены в табл. 1, где также показаны эффективные длины волны и условия проведения расчетов.

Использование $RAF_{h_{\odot}}$ позволило нам оценить спектральные особенности изменения Q_{ery} и Q_{vitD} за счет высоты Солнца. Из табл. 1 следует, что эта чувствительность заметно больше для Q_{vitD} , чем для Q_{ery} . Это можно объяснить тем, что эффективная длина волны Q_{vitD} лежит в более коротковолновой области спектра с большими оптическими толщинами. В то же время наблюдается существенный рост эффективных длин волн Q_{ery} с уменьшением высоты Солнца, и это также снижает чувствительность Q_{ery} к высоте Солнца по сравнению с чувствительностью Q_{vitD} .

В табл. 1 приведены значения $RAF_{h_{\odot}}$ по данным модельных расчетов для нескольких значений общего содержания озона. При увеличении общего содержания озона чувствительность к изменению высоты Солнца несколько уменьшается для Q_{ery} за счет сдвига λ_{eff} во внеозонную область спектра, а $RAF_{h_{\odot}}$ несколько увеличивается для Q_{vitD} за счет общего роста суммарной оптической толщины в более коротковолновом диапазоне.

Изменение аэрозольной оптической толщины (от $AOT_{380} = 0$ до $AOT_{380} = 1$) и оптической толщины облаков практически не оказывает влияния на изменение $RAF_{h_{\odot}}$ для двух диапазонов спектра.

Рассмотрим, какова чувствительность БАУФР к общему содержанию озона (см. табл. 1). Вследствие того что для Q_{vitD} эффективные длины волны находятся в более коротковолновой части спектра, сами значения RAF_X для Q_{vitD} заметно выше, чем

Таблица 1

Значения радиационных факторов усиления RAF_p эритемной радиации и радиации, способствующей образованию витамина D₃, для наиболее значимых параметров: высоты Солнца $RAF_{h_{\odot}}$, общего содержания озона RAF_X , аэрозольной оптической толщины $RAF_{AOT_{380}}$, оптической толщины облаков RAF_{τ} , альbedo поверхности RAF_A

RAF_p (диапазон)*	Параметры расчета**	R^2	Q_{ery}	Q_{vitD}
			Эффективные длины волн, нм***	
$RAF_{h_{\odot}}$ (10–60°)	$X = 250,$ $AOT_{380} = 0 \div 1,$ $\tau = 0 \div 70,$ $A = 0,1 \div 0,9$	0,99	2...2,1 (329–313)	2,4...2,5 (311–307)
	$X = 450,$ $AOT_{380} = 0 \div 1,$ $\tau = 0 \div 70,$ $A = 0,1 \div 0,9$	0,99	1,9 (339–320)	2,6...2,7 (314–309)
RAF_X (250–450 матм · см)	$h_{\odot} = 10^{\circ},$ $AOT_{380} = 0 \div 1,$ $\tau = 0 \div 70,$ $A = 0,1 \div 0,9$	0,99	–0,8 (329–339)	–2,2...–2,3 (311–314)
	$h_{\odot} = 60^{\circ},$ $AOT_{380} = 0 \div 1,$ $\tau = 0 \div 70,$ $A = 0,1 \div 0,9$	0,99	–1,2 (313–320)	–1,4...–1,6 (307–309)
$RAF_{AOT_{380}}$ (0,1–1)	$h_{\odot} = 10 \div 60^{\circ},$ $X = 250 \div 450,$ $\tau = 0 \div 70,$ $A = 0,1 \div 0,9$	0,88–0,91	–0,05...–0,3 (325–325)	–0,05...–0,3 (310–310)
RAF_A (0,1–0,5)	$h_{\odot} = 10 \div 60^{\circ},$ $AOT_{380} = 0 \div 1,$ $X = 250 \div 450,$ $\tau = 0 \div 70$	0,91–0,94	0,1...0,2 (325–324)	0,1...0,2 (310–310)
RAF_{τ} (10–70)	$h_{\odot} = 10 \div 60^{\circ},$ $AOT_{380} = 0 \div 1,$ $X = 250 \div 450,$ $A = 0,1 \div 0,9$	0,96–0,99	–0,3...–0,7 (325–324)	–0,3...–0,7 (310–310)

* Отметим, что не для всех параметров применима степенная зависимость, позволяющая использовать данный подход, поэтому для основных параметров иногда рассматриваются более узкие диапазоны, где коэффициенты детерминации R^2 высоки.

** X – общее содержание озона, матм · см; τ – облачная оптическая толщина; h_{\odot} – высота Солнца; A – альbedo поверхности.

*** Эффективные длины волн рассчитывались для минимальных и максимальных значений (они даны в скобках) исследуемого параметра, приведенного в столбце 1.

для Q_{ery} . В то же время из табл. 1 видно, что RAF_X для Q_{ery} увеличивается с ростом высоты Солнца. Это связано с тем, что при увеличении высоты Солнца эффективная длина волны смещается в более коротковолновую часть спектра, где поглощение УФР озоном больше. При низких высотах Солнца (до 10°) эффективные длины волн Q_{ery} лежат во внеозонной области спектра, за счет чего наблюдается заметное уменьшение чувствительности Q_{ery} к озону.

При уменьшении высоты Солнца характер изменения RAF_X для Q_{vitD} иной, чем RAF_X для Q_{ery} . Эффективная длина волны Q_{vitD} меняется незначительно, и главную роль в изменении чувствительности к общему содержанию озона играет увеличение суммарной оптической толщины. В этой ситуации при большом общем содержании озона наблюдается более интенсивное поглощение рассеянной и прямой компоненты солнечного УФ-излучения, поэтому при уменьшении высоты Солнца до определенного значения происходит рост чувствительности Q_{vitD} к озону. В то же время при малых высотах Солнца (менее 10°) для Q_{vitD} будет наблюдаться обратная картина: уменьшение чувствительности Q_{vitD} к озону. При низких высотах Солнца Q_{vitD} будет определяться, главным образом, вкладом рассеянного излучения из зенита. При этом с уменьшением высоты Солнца эффективная высота ослабления излучения уже может находиться над слоем озонового максимума. Следовательно, будет регистрироваться уменьшение чувствительности к озону у поверхности земли. Прямая радиация при этом практически полностью поглощается озоном, но ее роль незначительна, поскольку ее доля в суммарной радиации стремится к нулю (менее 0,001% при высоте Солнца 5°).

В дополнение был рассчитан RAF_X при довольно высоком альбедо поверхности (90%) и протяженной облачности с оптической толщиной 70. Оказалось, что увеличение альбедо поверхности и оптической толщины облачности практически не влияет на RAF_X для Q_{ery} . При увеличении оптической толщины облачности и альбедо поверхности RAF_X для Q_{vitD} увеличивается по абсолютной величине от $-1,4$ при ясном небе до $-1,6$ (см. табл. 1). Больше изменение RAF_X для Q_{vitD} при увеличении оптической толщины облачности и альбедо поверхности по сравнению с RAF_X для Q_{ery} объясняется меньшей эффективной длиной волны. При увеличении оптической толщины облака и альбедо поверхности в результате процессов многократного рассеяния и переотражения в более коротковолновой области (Q_{vitD}) большую роль играет более эффективное поглощение озоном.

Ослабление БАУФР, приходящей к земной поверхности, за счет *аэрозолей* зависит, главным образом, от аэрозольной оптической толщины и альбедо однократного рассеяния (SSA) и в незначительной степени определяется фактором асимметрии индикатрисы рассеяния [12].

Модельные значения RAF_{AOT380} гораздо меньше значений RAF_X и RAF_{h_0} и несколько варьируют при различных SSA. При уменьшении альбедо однократного рассеяния (от 1 до 0,87) несколько увеличивается RAF_{AOT} от $-0,03$ до $-0,09$ (при высоте Солнца 60° , ОСО 350 матм·см, изменении AOT_{AOT380} от 0 до 0,5). В то же время значения RAF_{AOT380} одинаковы для двух видов БАУФР, а следовательно, не проявляются спектральные различия чувствительности БАУФР к этому фактору.

В УФ-диапазоне спектра *альбедо поверхности* (А) обычно низкое – от 1 до 8%, но резко возрастает при наличии снежного покрова. Типичное для умеренного пояса локальное альбедо снега – 72–82% [13], однако в реальных условиях средних широт в лесной зоне или в городах пространственное альбедо поверхности гораздо меньше и составляет около 40% [14]. В условиях арктических и антарктических пустынь оно может достигать 95% [15]. Как видно из табл. 1, величина радиационного фактора усиления за счет альбедо не превышает 0,2, а спектральные различия за счет влияния альбедо поверхности на Q_{ery} и Q_{vitD} отсутствуют.

Радиационный фактор усиления за счет *оптической толщины облаков* (RAF_τ) довольно существен и может достигать $-0,7$ при низких значениях альбедо поверхности. Его абсолютная величина уменьшается до $-0,3$ при альбедо поверхности 90% за счет эффектов переотражения с ростом оптической толщины. В то же время спектральных различий в чувствительности разных типов БАУФР не обнаружено.

Таким образом, наибольшее отличие в чувствительности разных типов биологически активной радиации выявлено для высоты Солнца и общего содержания озона. Отметим, что значения RAF_p для разных факторов между собой несравнимы, поскольку диапазоны изменчивости параметров заметно отличаются.

Рассмотрим теперь, насколько существенно изменяется БАУФР различных видов в реальном диапазоне изменчивости значений атмосферных параметров.

Очевидно, что наиболее существенны вариации Q_{OCO} и Q_{vitD} за счет изменения высоты Солнца. При этом поступление радиации к поверхности земли может изменяться на порядки.

Проанализируем более детально другие параметры атмосферы. На рис. 3 показан относительный рост Q_{ery} и Q_{vitD} при убывании общего содержания озона (ОСО) в диапазоне значений, характерном для сезонного хода ОСО в умеренных широтах.

Хорошо видно, что за счет уменьшения общего содержания озона рост Q_{vitD} (кривая 1) превышает 200%, а рост Q_{ery} (кривая 2) 100%. Кроме того, видно, что экспериментальные данные Q_{ery} по данным измерений в МО МГУ хорошо согласуются с результатами модельных расчетов. Соответственно значения RAF_X для Q_{ery} составляют примерно 1,2. Полученные нами оценки RAF_X согласуются и с оценками в [2].

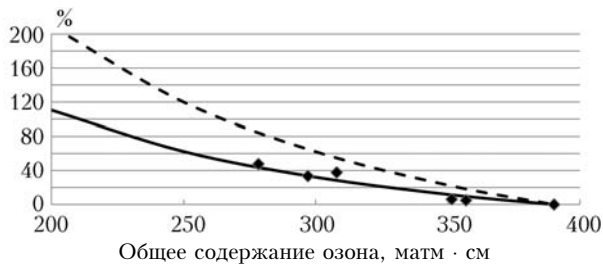
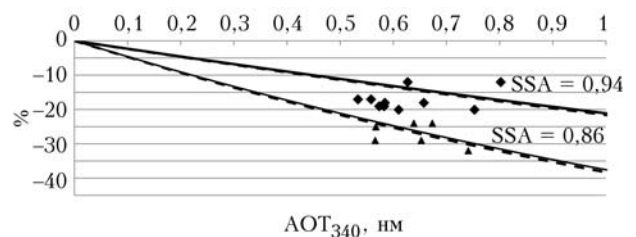


Рис. 3. Относительное изменение БАУФР (Q_{ery} – сплошная линия, Q_{vitD} – пунктирная) за счет общего содержания озона и изменение эритемной радиации по данным измерений Q_{ery} в МО МГУ. Значения Q_{ery} и Q_{vitD} нормированы на соответствующие значения при $OCO = 390$ матм · см; ♦ – экспериментальное ослабление Q_{ery}

На рис. 4 приведено относительное ослабление БАУФР за счет аэрозольной оптической толщины в диапазоне изменчивости значений, возможных для типичного аэрозоля в Москве, при двух вариантах альbedo однократного рассеяния, характерных для московских условий.

Ослабление БАУФР закономерно увеличивается с ростом АОТ и с уменьшением SSA. Отметим, что максимальное ослабление составляет почти 40% при SSA, равном 0,86, и AOT_{380} , равном 1, для обоих видов БАУФР. Отметим, что за счет разницы в значениях SSA различия в БАУФР могут достигать 17% при AOT_{380} , составляющем единицу. Отметим, однако, что мы не учитываем возможное существование спектрального хода альbedo однократного рассеяния в УФ-диапазоне. В то же время согласованные модельные и экспериментальные изменения Q_{ery} при различных SSA свидетельствуют о возможности в первом приближении использовать его постоянное значение.

В условиях лесных пожаров при значительном возрастании AOT_{380} ослабление за счет дымового аэрозоля может быть выражено гораздо сильнее (до 97%), что определяется экстремально большими опти-



♦ экспериментальное ослабление Q_{ery} за счет АОТ, SSA = 0,94
▲ экспериментальное ослабление Q_{ery} за счет АОТ, SSA = 0,85

Рис. 4. Относительное ослабление БАУФР как функция АОТ на 340 нм для SSA = 0,94 и 0,86 по модельным и экспериментальным данным, полученным в МО МГУ. Высота Солнца 60° и OCO 350 матм · см

ческими толщинами и умеренно поглощающим аэрозолем с SSA, равном 0,9, в УФ-диапазоне [16, 17].

Альbedo поверхности может играть существенную роль при наличии, главным образом, снежного покрова. В табл. 2 приведены значения эффектов альbedo поверхности за счет переотражения для облачных и безоблачных условий.

При ясном небе и небольшом аэрозольном содержании атмосферы ($AOT_{380} = 0,1$) максимальный рост БАУФР относительно условий с альbedo поверхности $A = 0$ меняется от 17–18% зимой в условиях городской застройки при A равном 0,4 [15] до 54–55% в условиях арктических пустынь (табл. 2). В условиях облачности, как видно из табл. 2, за счет эффектов многократного отражения рост БАУФР может достигать сотен процентов, при этом начинают проявляться слабые спектральные различия, выраженные в некотором уменьшении роста для Q_{vitD} за счет большего влияния поглощения озоном для этого диапазона спектра и «гибели» фотонов в более поглощающей среде.

В табл. 2 приведены также оценки относительных изменений БАУФР при различных оптических

Таблица 2

Относительные изменения БАУФР (%) за счет облачности при различных значениях альbedo поверхности и вклад переотраженной радиации при различных условиях облачности. Высота Солнца 40° и OCO 350 матм · см, $AOT_{380} = 0,15$

τ	A	$\frac{Q_{ery}(\tau, A)}{Q_{ery}(\tau, A = 0)} - 1$	$\frac{Q_{vitD}(\tau, A)}{Q_{vitD}(\tau, A = 0)} - 1$	$\frac{Q_{ery}(\tau, A)}{Q_{ery}(\tau = 0, A = 0)} - 1$	$\frac{Q_{vitD}(\tau, A)}{Q_{vitD}(\tau = 0, A = 0)} - 1$
0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	-43	-43
30	0	0	0	-69	-69
70	0	0	0	-84	-85
0	0,4	17	18	17	18
10	0,4	32	31	-25	-25
30	0,4	43	42	-56	-56
70	0,4	51	50	-77	-77
0	0,95	54	55	54	55
10	0,95	134	130	34	32
30	0,95	254	240	9	5
70	0,95	410	377	-21	-27

толщинах облаков и разным альбедо поверхности. В условиях сплошного покрова облаков с $\tau = 70$, характерных для мощной облачности нижнего яруса, и при отсутствии эффектов переотражения от поверхности ($A = 0$) ослабление БАУФР может достигать 84–85%. В то же время высокие значения альбедо поверхности ($A = 95\%$) способствуют росту радиации на 5–9% даже в условиях относительно плотной облачности с $\tau = 30$ по сравнению с ясным небом и $A = 0$. Наличие аэрозолей несколько снижает поступление БАУФР к поверхности земли при сплошном облачном покрове. Усиление ослабления при возрастании τ связано с дополнительным аэрозольным поглощением в плотном облачном слое.

Заключение

На основании проведенных расчетов было показано, что различия в спектрах эритемного действия и спектра действия образования витамина D₃ могут приводить к существенным различиям в оценке воздействия таких факторов, как высота Солнца и общее содержание озона.

Показано, что Q_{vitD} гораздо чувствительнее к ОСО, чем Q_{ery} . Обе эти величины имеют также разный характер чувствительности к общему содержанию озона в зависимости от высоты Солнца. Результаты экспериментальных оценок чувствительности Q_{ery} к озону, полученные по данным МО МГУ, удовлетворительно согласуются с результатами модельных расчетов.

Модельные оценки RAF за счет аэрозольной и облачной оптических толщин, альбедо поверхности показали незначительные спектральные различия между влиянием этих факторов на Q_{ery} и Q_{vitD} .

Использование рассчитанных RAF_p как показателей степенной зависимости может быть полезным для быстрых оценок относительных вариаций БАУФР за счет различных факторов.

Влияние аэрозольной оптической толщины на БАУФР несколько увеличивается при уменьшении SSA. В то же время вариации аэрозоля, особенно при низких значениях SSA, могут значительно ослаблять БАУФР, что подтверждено также экспериментальными исследованиями в МО МГУ.

Сплошной покров мощной облачности нижнего яруса может существенно ослабить радиацию (до 84–85%) при $\tau = 70$. В то же время высокие значения альбедо поверхности ($A = 95\%$) способствуют росту БАУФР на 5–9% даже в условиях относительно плотной облачности с $\tau = 30$ по сравнению с БАУФР при ясном небе и $A = 0$.

Влияние альбедо поверхности при ясном небе проявляется в существенном росте БАУФР от 17–18% зимой в условиях городской застройки при $A = 40\%$ [15] до 54–55% в условиях арктических пустынь. В то же время за счет эффектов многократного переотражения мощная облачность существенно (~400%) увеличивает поступление БАУФР при экстремально высоких значениях альбедо поверхности относительно условий с $A = 0$.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 09-05-00582.

1. Bouillon R., Eisman J., Garabedian M., Holick M., Kleinschmidt J., Suda T., Terenetskaya I., Webb A. Action spectrum for the production of previtamin D₃ in human skin // Int. Commission on Illumination. Technical report, 2006. P. 1–12.
2. Booth C.R., Madronich S. Radiation amplification factors: improved formulations accounts for large increases in ultraviolet radiation associated with antarctic ozone depletion // Ultraviolet radiation in Antarctica: measurements and biological effects. Washington, DC. 1994. P. 39–42.
3. Van der Leun J.C., Tang X., Bornman J.F. UNEP, Environmental effects of ozone depletion: 2006 Assessment, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. P. 209.
4. Bornman J.F., Paul N., Tang X. UNEP, Environmental effects of ozone depletion: 2010 Assessment, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. P. 328.
5. McKinlay A.F., Diffey B.L. (Eds.), A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin // Commission Int. de l'Éclairage (CIE). Research Note. 1987. V. 6, N 1. P. 17–22.
6. Madronich S., Flocke S. The role of solar radiation in atmospheric chemistry // Handbook of Environ. Chem. / Ed. by P. Boule. Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. P. 1–26.
7. Чубарова Н.Е. О роли тропосферных газов в поглощении УФ-радиации // Докл. РАН. 2006. Т. 407, № 2. С. 294–297.
8. WMO, Radiation Commission. A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computations, WCP-112, WMO/TD-24. World Clim. Res. Programme, Int. Assoc. for Meteorol. and Atmos. Phys. Geneva, 1986. P. 53.
9. Chubarova N.E. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8. P. 3025–3031.
10. Улюмджиева Н.Н., Чубарова Н.Е., Смирнов А.В. Аэрозольные характеристики атмосферы в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL // Метеорол. и гидрол. 2005. № 1. С. 48–57.
11. Chubarova N.Ye., Nezval' Ye.I. Ozone, aerosol and cloudiness impacts on biologically effective radiation and UV radiation less 380 nm // IRS'96: Current problems in Atmospheric Radiation. A. Deepak Publishing. Hampton, Virginia, USA. 1997. P. 886–889.
12. Chubarova N.Y. Seasonal distribution of aerosol properties over Europe and their impact on UV irradiance // Atmos. Meas. Technol. 2009. V. 2. P. 593–608. URL: www.atmos-meas-tech.net/2/593/2009/
13. Feister U., Greve R. Spectral albedo measurements in the UV and visible region over different types of surfaces // J. Photochem. and Photobiol. 1995. V. 62, N 4. P. 736–744.
14. Chubarova N.Ye., Yurova A.Yu., Krotkov N., Herman J., Bhartia P.K. Comparisons between ground measurements of broadband ultraviolet irradiance (300 to 380 nm) and total ozone mapping spectrometer ultraviolet estimates at Moscow from 1979 to 2000 // Opt. Eng. 2002. V. 41, N 12. P. 3070–3081.
15. Blumthaler M., Ambach W. Solar UVB-albedo of various spaces // Photochem. and Photobiol. 1988. V. 48, N 1. P. 85–88.

16. Чубарова Н.Е., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время лесных и торфяных пожаров в 1972, 2002 и 2010 гг. в Подмосковье по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2011 (в печати).
17. Chubarova N.Y., Prilepsy N.G., Rublev A.N., Riebau A.R. A Mega-Fire Event in Central Russia: Fire Weather, Radiative, and Optical Properties of the Atmosphere, and Consequences for Subboreal Forest Plants // Developments in Environmental Science. V. 8 / A. Bytnerowicz, M. Arbaugh, A. Riebau and C. Andersen (Eds.). Elsevier B.V. 2009. P. 249–267.

E.I. Zhdanova, N.E. Chubarova. Estimation of different atmospheric parameters impact on biologically active UV irradiance according to calculations and measurements.

Different factors (sun elevation, total ozone, surface albedo, optical properties of aerosols and clouds), which influence on the two types of biologically active ultraviolet irradiance (Q_{bio}) – erythemally weighted UV irradiance (Q_{ery}) and vitamin D action spectrum weighted UV irradiance (Q_{vitD}) – were analyzed. The Q_{bio} sensitivity to some factors is characterized by Radiation Amplification Factor (RAF). It was revealed that sun elevation and total ozone determine the strongest difference between the character of Q_{ery} and Q_{vitD} changes. The Q_{ery} and Q_{vitD} were shown to have different sensitivity character to total ozone, which depends on sun elevation. Modelling of RAF values due to aerosol and cloud optical thickness and surface albedo have shown insignificant differences between Q_{ery} and Q_{vitD} . Along with calculations of sensitivity to various factors, we also estimated the ranges of Q_{bio} variations in different conditions, which in some cases were supported by the analysis of measurements of Q_{ery} at the Meteorological observatory of the Moscow State University.