

В.В. Зуев, Н.Е. Зуева

Влияние вариаций суммарного озона на изменение уровня ультрафиолетовой солнечной радиации УФ-В-диапазона длин волн

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 20.03.2006 г.

Рассматривается влияние колебаний ОСО на изменение уровня приземной УФ-В-радиации в регионах умеренных широт северного полушария. Проведен анализ спектрального состава излучения. Установлено, что корреляция относительных отклонений от нормы суточных значений дозы УФ-В-радиации и суммарного озона статистически значима даже для доверительной вероятности 0,99. Исследовано влияние на уровень корреляции процедуры сглаживания скользящим средним, а также усреднения в рамках 10 сут, месяца и года. Показано, что в исследованиях влияния на биосферу солнечного УФ-В-излучения на длинах волн короче 315 нм в регионах средних и высоких широт с высоким уровнем суммарного озона при отсутствии длительных рядов радиационных измерений в качестве адекватной замены могут быть использованы ряды ОСО.

Введение

Известно, что уровень солнечной радиации, в том числе и УФ-В-диапазона (295–315 нм), имеет явно выраженный годовой ход с максимумом, приходящимся в северном полушарии на летние месяцы. Понятно, что к таким регулярным изменениям биологические объекты, сформировавшие в процессе эволюции соответствующие защитные механизмы, адаптированы. В то же время существенное отклонение от нормы, особенно в течение достаточно длительного временного интервала, может привести к значительным негативным последствиям. Увеличение дозы солнечного УФ-В-излучения приводит к повреждению ДНК, белков и мембран клеток живых организмов, вызывает изменения фотосинтеза, роста, развития и морфогенеза, транспорта веществ и дыхания растений [1–3].

Особая биологическая активность УФ-излучения объясняется тем, что захват молекулой высокоэнергетического кванта может привести к ее возбуждению вплоть до ионизации и диссоциации [4]. Оказывая прямое воздействие на биосферу Земли, УФ-В-излучение является значимым климатообразующим фактором.

Тем не менее до настоящего времени существует проблема получения достоверных данных об уровне солнечной УФ-радиации с помощью космической аппаратуры, а ряды наземных наблюдений, часто являющиеся фрагментарными, лишь на единичных станциях в лучшем случае превышают десятилетие. По этой причине имеющиеся данные порой дают противоречивые результаты [5].

Известно, что для чистой атмосферы долговременные изменения уровня приземной солнечной УФ-В-радиации в значительной степени контроли-

руются общим содержанием озона (ОСО), или суммарным озоном, преимущественно за счет поглощения в озоносфере, при этом ослабление радиации увеличивается по мере уменьшения длины волны солнечного излучения [5–7].

Поглощая солнечное УФ-излучение в том же диапазоне длин волн, что и молекулы живых клеток, озон оберегает живые организмы от жесткого УФ-излучения, повреждающее действие которого может превышать возможности защитных механизмов и приводить к нарушению физиологических, биохимических и макромолекулярных процессов. Таким образом формируется опосредованная связь между изменениями состояния озоносферы (ОСО) и параметрами, характеризующими биологические объекты. При этом принципиально, что мониторинг поля ОСО, в отличие от инструментальных наблюдений УФ-радиации, осуществляется уже около полувека и полученные данные являются достаточно надежными.

Постановка задачи

Безусловно, уровень приземной УФ-В-радиации зависит не только от состояния озоносферы. Значимую роль в формировании поля УФ-радиации играют гелиогеофизические и метеорологические факторы, в частности циркуляционные атмосферные процессы, облачный и аэрозольный режим атмосферы, альbedo подстилающей поверхности, степень континентальности, орографические условия, угловая высота Солнца [5, 8, 9]. Однако данные о влиянии колебаний суммарного озона на вариации солнечного УФ-В-излучения в условиях меняющихся вышеперечисленных параметров довольно противоречивы. Так, согласно исследованиям УФ-В-радиации, проведенным в Салониках в 1991–1997 гг. (Греция;

40,6° с.ш.), долговременные изменения солнечного излучения на длине волны короче 320 нм на уровне земли контролировались главным образом суммарным озоном [5]. Однако по данным, полученным в рамках кампании «Второй эксперимент по исследованию стратосферы Арктики и средних широт Европы (SESAME)» в марте 1995 г., изменчивость доз эритемной радиации (300–320 нм), вызванная облачностью, может быть сравнима с вариациями, обусловленными колебаниями ОСО. При этом отмечается, что для Салоники влияние облаков является приоритетным и в 3–4 раза превосходит влияние озона [10].

Поскольку в своих исследованиях изменение биопараметров мы связываем не с вариациями уровня УФ-В-радиации непосредственно, а с изменениями ОСО, необходимо достоверно знать, насколько правомерна такая замена. Задача состоит в том, чтобы выявить диапазон длин волн солнечного УФ-В-излучения, для которого влияние суммарного озона является преобладающим, и установить границы временного интервала, за пределами которого максимально нивелируется влияние таких значимых факторов, как облачность и атмосферный аэрозоль.

Подобный подход обусловлен еще и тем, что большинство живых организмов обладает определенной устойчивостью к кратковременным воздействиям повышенных доз УФ-В-радиации, поэтому к необратимым процессам может приводить только достаточно длительное воздействие жесткого солнечного УФ-излучения как следствие кумулятивного эффекта [11]. Одновременно нужно установить зависимость корреляции от географического фактора, главным образом от широты, в значительной степени определяющей как спектральный состав солнечного излучения, так и состояние озоносферы.

В конечном итоге необходимо показать, что, несмотря на влияние прочих факторов, между вариациями ОСО и изменениями биологически активной УФ-В-радиации действительно существует не просто статистически значимый, а высокий уровень корреляции, что позволит использовать долговременные ряды данных ОСО как достоверный параметр для исследования влияния коротковолновой солнечной радиации на изменение биопараметров. В свою очередь, это подтвердит достоверность реконструкции и прогноза изменений состояния озоносферы на основе биоиндикационных данных.

Выбор рядов наблюдений. Анализ спектрального состава УФ-излучения

Биологические объекты наших исследований связаны преимущественно с регионами, расположенными в умеренных и субарктических широтах северного полушария. К сожалению, не только на территории Сибири, но и в России нет ни одной станции, где были бы получены непрерывные ряды достаточно длительных наблюдений солнечного излучения УФ-В-диапазона. Поэтому для решения поставленной задачи были выбраны ряды наземных наблю-

дений ежедневных доз радиации (D) на длинах волн 295, 300, 305, 310, 315 нм для Эдмонта (Канада; 53,55° с.ш.; 114,10° з.д.) и Кагосимы (Япония; 31,58° с.ш.; 130,565° в.д.) [12], кардинально отличающиеся по своему широтному расположению, степени континентальности и климатическим условиям. Выбор Эдмонта, ряд суточных значений ОСО для которого получен по данным космической аппаратуры TOMS [13], обусловлен еще и тем, что этот регион является наиболее близким аналогом районов юга Западной Сибири. Для Кагосимы использовались данные ежедневных наземных измерений ОСО [12]. Таким образом, в целях проведения корреляционного анализа с использованием пакета программ «Origin» были сформированы временные ряды для Эдмонта и Кагосимы, которые охватывают периоды 25.07.1996–31.12.2004 и 01.01.1991–31.12.2001 гг. соответственно.

Колебания как ОСО, так и дозы приземного солнечного УФ-В-излучения имеют ярко выраженный годовой ход, который определялся по средним за анализируемый период ежедневным данным с применением процедуры сглаживания FFT-фильтром. В качестве примера на рис. 1 приведены среднегодовые хода, или климатические нормы, ОСО и УФ-В-радиации на длине волны 305 нм для Эдмонта и Кагосимы за период наблюдений 25.07.1996–31.12.2001 гг. с ярко выраженной несинхронностью.

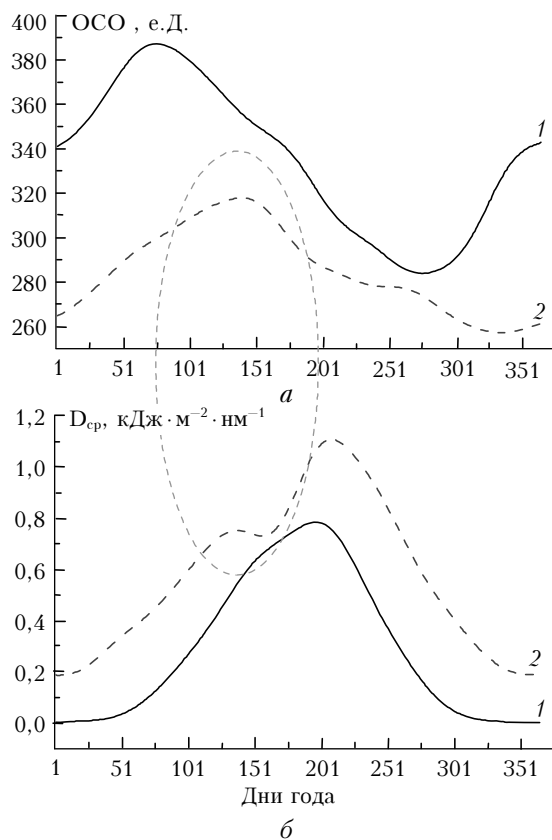


Рис. 1. Среднегодовые хода ОСО и УФ-В-радиации на длине волны 305 нм за период 25.07.96–31.12.01 г. для Эдмонта (кривая 1) и Кагосимы (кривая 2). Выделена область, соответствующая максимальному уровню суммарного озона для Кагосимы

Кроме того, хорошо видно различие в уровне суммарного озона двух климатических зон, особенно в зимне-весенние месяцы (рис. 1, а).

Содержание озона для Эдмонта в среднем на 18,6% выше, чем для Кагосимы. Значительное отличие, связанное с широтными особенностями регионов, наблюдается и в положении климатических максимумов ОСО. Максимум суммарного озона Эдмонта приходится на март–апрель, а Кагосимы – на период с середины апреля до середины июня.

Спектральный состав излучения также в значительной степени зависит от региона наблюдений. Однако положение максимумов кривых годового хода совпадает, поскольку наибольшие значения дневных доз радиации независимо от длины волны излучения и широтного расположения региона наблюдаются в летние месяцы при годовом максимуме солнечстояния (рис. 1, б). Своеобразие среднегодового хода дозы радиации на кривой 2 (выделенная область) обусловлено приходящимся на этот период климатическим максимумом озона.

В табл. 1 и на рис. 2 представлены результаты количественного анализа спектра солнечного излучения УФ-В-диапазона. В табл. 1 приведены среднесуточные в течение года и периодов июнь–август и декабрь–февраль суммарные дозы радиации на длинах волн 295, 300, 305, 310, 315 нм, а также доля энергии излучения, соответствующая каждой длине волны.

Диаграмма на рис. 2 наглядно демонстрирует различия в спектре солнечного излучения УФ-В-диапазона и перераспределение энергии в зависимости от широты региона и времени года. Видно, что наиболее существенные изменения характерны для энергетического спектра более высоких широт.

Основное различие спектрального состава солнечного излучения исследуемых регионов проявляется главным образом в зимний период. В целом по году суммарная среднесуточная доза для Эдмонта на 42,6% ниже, чем для Кагосимы. Если летом различие минимально и составляет 2,5%, то зимой оно достигает 356,6%.

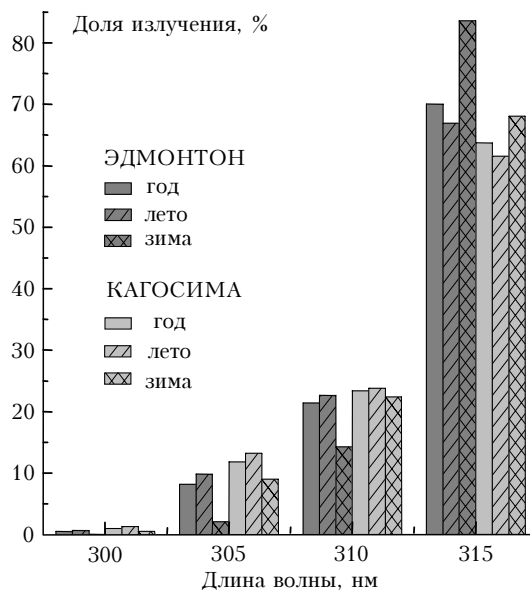


Рис. 2. Распределение среднесуточной дозы солнечного УФ-В-излучения по длинам волн для временных диапазонов год, лето (июнь–август) и зима (декабрь–февраль) для периода наблюдений 25.07.96–31.12.01 г.

Летом в Эдмонтоне доля УФ-радиации на длине волны 295 нм составляет всего 0,008% суммарной дозы, а с середины октября и до конца февраля не регистрируется совсем, при этом существенно возрастает доля радиации на длине волны 315 нм. Для Кагосимы доля радиации на длине волны 295 нм также пренебрежимо мала и составляет 0,084% от суммарной дозы летом и 0,016% зимой. Хотя основная доля солнечного излучения УФ-В-диапазона приходится на длину волны 315 нм, суммарная доля излучения на длинах волн 300, 305 и 310 нм весьма значима и составляет 30,0% от среднесуточной суммарной дозы радиации для Эдмонта и 36,2% для Кагосимы. Причем в летний период эта доля возрастает, составляя уже 33,1 и 38,4% соответственно. В то же время как в целом по году, так и для сезонов мизерность доли радиации на длине волны

Таблица 1

Среднесуточные суммарные дозы УФ-В-радиации для периодов год, лето (июнь–август), зима (декабрь–февраль) и доля радиации на конкретных длинах волн

Период наблюдений	D, кДж·м ⁻² ·нм ⁻¹			Длина волны, нм	Доля радиации, %		
	Год	Лето	Зима		Год	Лето	Зима
<i>Эдмонтон</i>							
25.07.1996 – 31.12.2001	3,4238	7,0554	0,5587	295	0,008	0,013	–
				300	0,456	0,653	0,028
				305	8,150	9,836	2,098
				310	21,362	22,608	14,271
				315	70,015	66,891	83,603
<i>Кагосима</i>							
25.07.1996 – 31.12.2001	4,8831	7,2341	2,5511	295	0,056	0,0842	0,016
				300	1,032	1,332	0,525
				305	11,797	13,211	8,999
				310	23,380	23,826	22,375
				315	63,735	61,547	68,085

295 нм даже для низких широт умеренного пояса позволяет в дальнейшем не учитывать излучение на данной длине волны. Отметим также, что безотносительно к региону среднесуточный спектральный состав излучения по году гораздо ближе к летнему периоду.

Результаты корреляционного анализа

При анализе влияния суточных и среднемесячных колебаний ОСО на изменение уровня УФ-В-излучения вследствие существенного временного сдвига был исключен годовой ход рассматриваемых рядов, которые затем были нормированы и выражены в относительных единицах (относительных отклонениях) по формуле

$$I_i(t) = [X_i(t) - \bar{X}_i(t)] / \bar{X}_i(t), \quad (1)$$

где $X_i(t)$ — текущее значение ряда, $\bar{X}_i(t)$ — климатическая норма, соответствующая данному значению.

Оценка статистической значимости полученных результатов выполнялась с использованием t -критерия Стьюдента.

Для рядов относительных отклонений суточных значений дозы УФ-В-радиации длин волн 300, 305, 310, 315 нм и ОСО результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Коэффициенты корреляции (R) для уровня доверительной вероятности $\beta = 0,95$ приведены для всего периода наблюдений, теплого (апрель—сентябрь) и холодного полугодий (октябрь—март). В табл. 2 указаны доверительные интервалы коэффициентов корреляции (Δr) и значения коэффициентов корреляции, необходимые для достижения статистической

значимости на уровне 0,95, уровень достоверности (r_{\min}), для соответствующей выборки (N). Для $N > 50$ доверительный интервал коэффициента корреляции рассчитывался по формуле

$$\Delta r = t_{\beta} \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}, \quad (2)$$

где квантиль $t_{\beta} = 1,96$ (для $\beta = 0,95$) [14].

Незначительное отличие исследуемых временных рядов по периоду наблюдений и количеству данных позволяет проводить сравнение результатов, полученных для выбранных регионов.

Результаты анализа показывают очень высокую отрицательную корреляцию рядов относительных отклонений ежедневных значений ОСО и УФ-В-излучения для Эдмонта на всех длинах волн для всех временных периодов. На рис. 3 приведены временные ряды относительных отклонений УФ-радиации на длине волны 305 нм (рис. 3, а) и ОСО (рис. 3, б).

Выделяются значительные кратковременные всплески доз УФ-излучения, приходящиеся на зимне-весенний период. Видно, что их появление всегда связано с кратковременным уменьшением суммарного озона, которое может иметь место во время зимне-весенней перестройки стратосферы.

Для Кагосимы в интервале длин волн 300—310 нм степень корреляции рядов также является достаточно высокой, существенно превышая r_{\min} , хотя на длине волны 315 нм в целом по году и для теплого полугодия значение $|R|$ оказывается ниже величины r_{\min} . Независимо от широтного расположения регионов значения коэффициентов корреляции в теплое полугодие на соответствующей длине волны по модулю несколько ниже, чем в холодное.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции и доверительные интервалы рядов относительных отклонений суточных значений дозы УФ-В-радиации и ОСО

Эдмонтон ($R \pm \Delta r_{0,95}$)			
Длина волны, нм	Полный период (25.07.96—31.12.04)	Теплое полугодие (апрель—сентябрь)	Холодное полугодие (октябрь—март)
300	-0,673 ± 0,020	-0,743 ± 0,023	-0,646 ± 0,030
305	-0,666 ± 0,020	-0,611 ± 0,033	-0,713 ± 0,025
310	-0,548 ± 0,025	-0,473 ± 0,041	-0,617 ± 0,031
315	-0,377 ± 0,032	-0,356 ± 0,046	-0,415 ± 0,042
N	2896	1410	1486
$(r_{\min})_{0,95}$	-0,094	-0,098	-0,097
$(r_{\min})_{0,99}$	-0,097	-0,099	-0,099
Кагосима ($R \pm \Delta r_{0,95}$)			
Длина волны, нм	Полный период (01.01.91—31.12.01)	Теплое полугодие (апрель—сентябрь)	Холодное полугодие (октябрь—март)
300	-0,488 ± 0,025	-0,400 ± 0,039	-0,565 ± 0,031
305	-0,310 ± 0,029	-0,250 ± 0,044	-0,368 ± 0,039
310	-0,179 ± 0,032	-0,148 ± 0,046	-0,210 ± 0,043
315	-0,084 ± 0,032*	-0,070 ± 0,047*	-0,098 ± 0,045
N	3613	1753	1860
$(r_{\min})_{0,95}$	-0,092	-0,097	-0,097
$(r_{\min})_{0,99}$	-0,096	-0,098	-0,098

Примечание. Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции для доверительной вероятности 0,95. Знаком «*» отмечены значения коэффициентов корреляции ниже r_{\min} для доверительной вероятности 0,99.

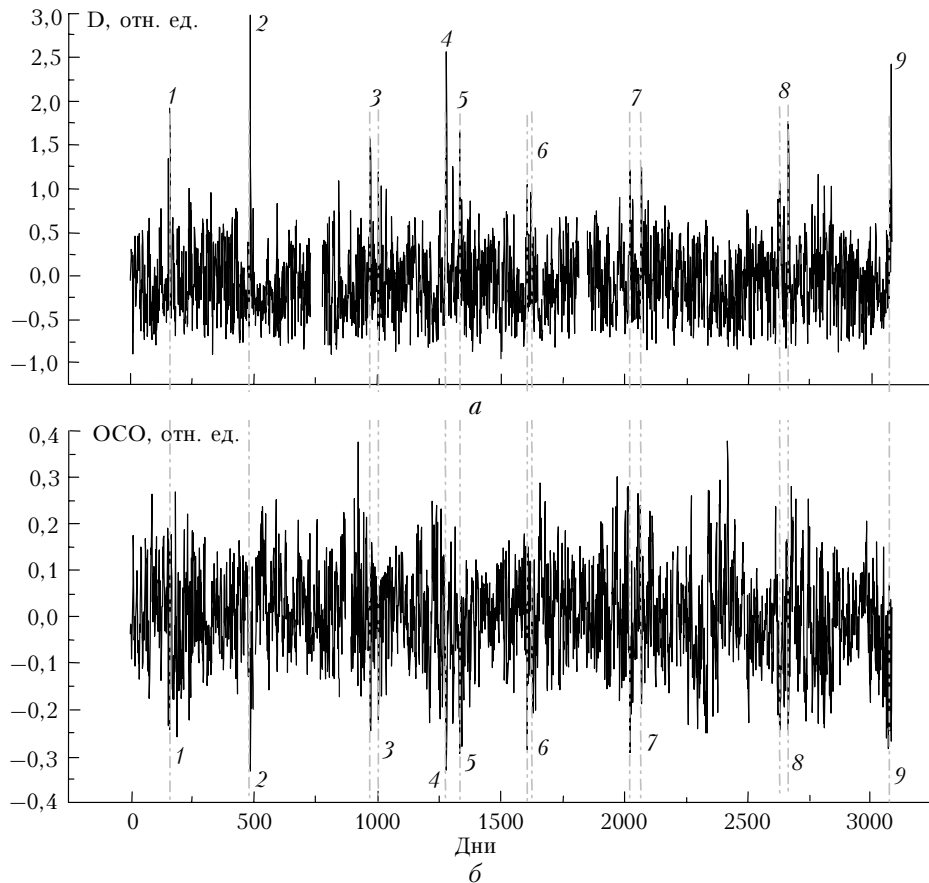


Рис. 3. Временные ряды относительных отклонений суточных значений дозы УФ-В-радиации на длине волны 305 нм и суммарного озона для Эдмонта

Иная ситуация наблюдается только для Эдмонта на длине волны 300 нм, для которой $|R|$ в теплое полугодие является более высоким, что, вероятно, может быть связано с погрешностями измерений в коротковолновом диапазоне УФ-излучения в зимнее время. В целом по мере смещения в длинноволновую область наблюдается снижение корреляции рассматриваемых рядов.

В климатологии при исследовании связей между параметрами широко используются методы сглаживания рядов, в частности метод скользящих средних, который представляет собой фильтр, позволяющий гасить высокочастотные и выделять более долгопериодные колебания. Использование скользящих средних дает возможность выявлять основные тенденции поведения рассматриваемых рядов [15]. Поскольку между анализируемыми рядами ОСО и УФ-В-излучения существует значимая корреляция, применение подобной методики позволило бы ослабить фактор аэрозольно-облачного влияния на вариации УФ-В-радиации. Однако в этом случае необходимо решить вопрос о целесообразном выборе интервала сглаживания.

Применение процедуры сглаживания скользящим средним к рядам относительных отклонений ОСО и дозы УФ в диапазоне 300–315 нм приводит к нескольким различным результатам, напрямую зависящим от региона. Изменение модуля коэффициентов корреляции ($|R|$) в зависимости от интервала сглаживания всего периода наблюдений показано на рис. 4.

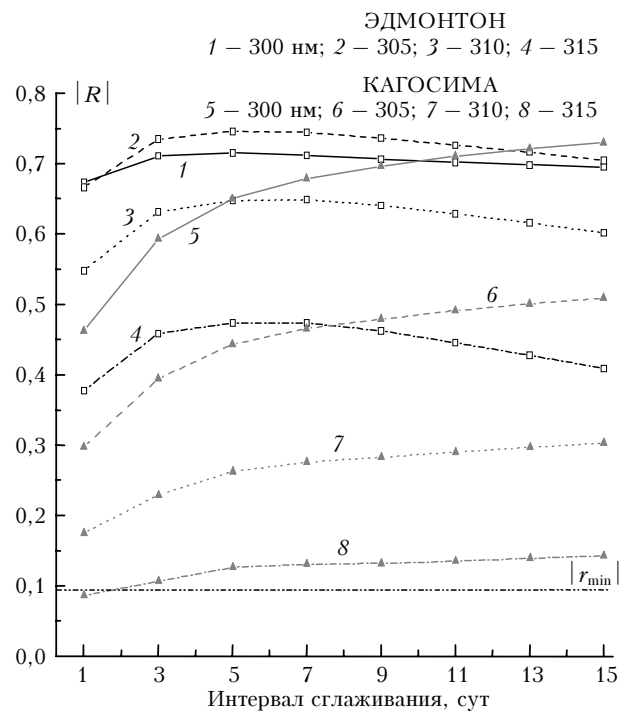


Рис. 4. Зависимость модулей коэффициентов корреляции рядов относительных отклонений суточных значений дозы УФ-В-радиации на длинах волн 300, 305, 310, 315 нм и ОСО для Эдмонта и Кагосимы от интервала сглаживания для полных периодов наблюдений

Изменение $|R|$ теплового и холодного полугодий для Эдмонта и Кагосимы представлено на рис. 5.

Независимо от региона сглаживание по трем и пяти точкам приводит к росту абсолютного значе-

ния R как для полных рядов, так и для теплового и холодного периодов, при этом значения коэффициентов корреляции рядов Эдмонта по модулю остаются выше соответствующих рядов для Кагосимы.

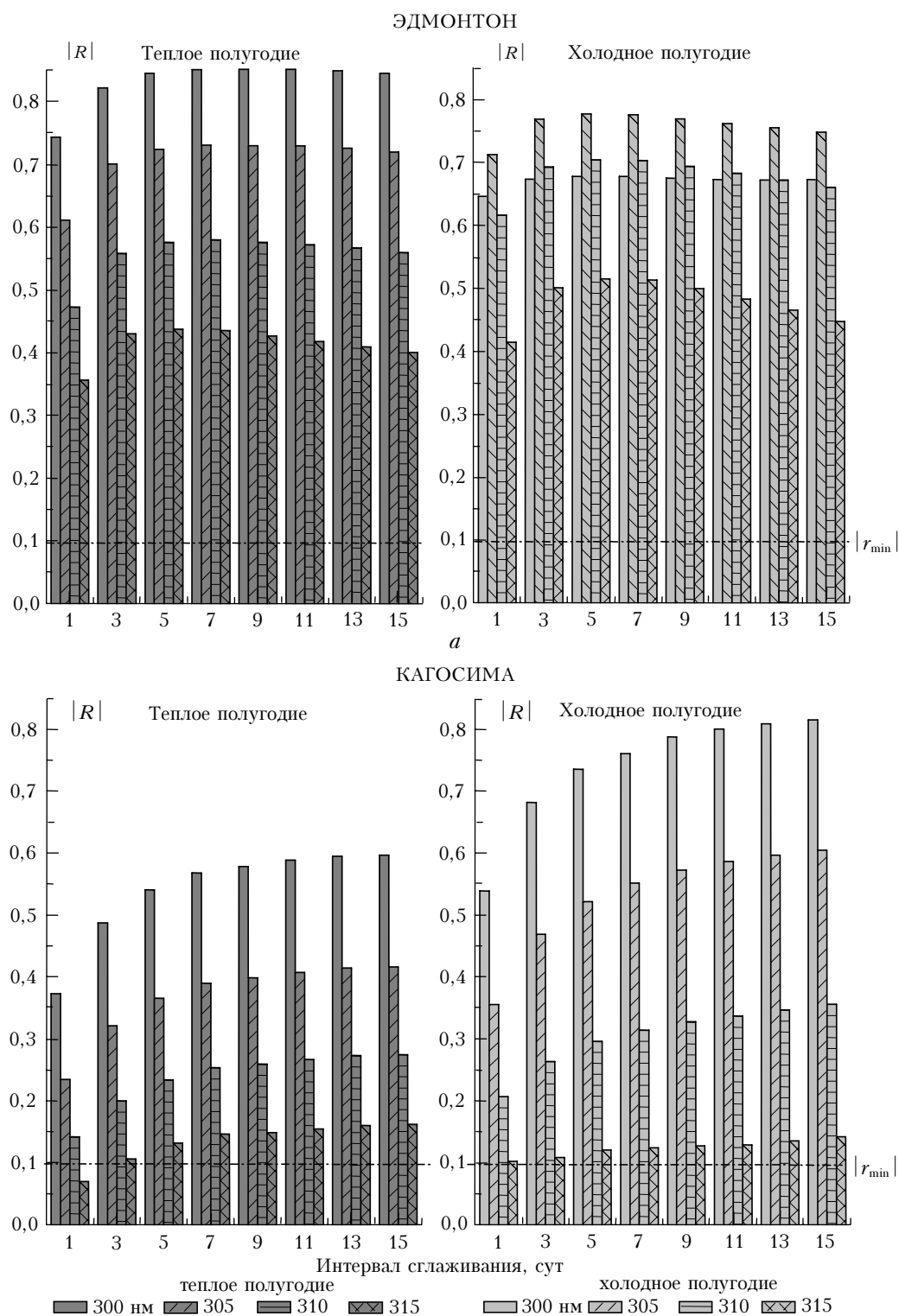


Рис. 5. Изменение модулей коэффициентов корреляции нормированных рядов отклонений суточных значений дозы УФ-В-радиации на длинах волн 300, 305, 310, 315 нм и ОСО Эдмонта и Кагосимы в зависимости от интервала сглаживания для теплового и холодного полугодий

По модулю коэффициенты корреляции полных нормированных рядов ОСО и D для Эдмонта увеличиваются при сглаживании по 3–7 точкам (на длине волны 300 нм – при сглаживании по 3–5 точкам) (см. рис. 4). Дальнейшее расширение интервала сглаживания приводит к понижению корреляции. Для теплого периода (рис. 5, а) расширение интервала сглаживания приводит к росту $|R|$. Некоторое снижение корреляции при сглаживании более чем по пяти точкам наблюдается только для длины волны 315 нм. Для холодного полугодия сглаживание по 3–5 точкам приводит к увеличению корреляции, однако при сглаживании по семи и более точкам происходит постепенное понижение $|R|$, хотя, безусловно, его значения остаются очень высокими.

Таким образом, уменьшение значений коэффициентов корреляции при сглаживании скользящим средним полных рядов отклонений ОСО и дозы излучения более чем по семи точкам явно связано со снижением уровня корреляции в холодное полугодие. Заметим, что для холодного времени года процедура сглаживания практически не оказывает влияния на величину $|R|$ рядов отклонений ОСО и дозы излучения на длине волны 300 нм.

Для Кагосимы с ростом длины волны заметно уменьшается различие абсолютных значений R между теплым и холодным полугодиями (рис. 5, б), что, вероятно, связано со снижением влияния ОСО на уровень излучения в диапазоне 310–315 нм и усилением аэрозольно-облачного влияния. Модуль коэффициентов корреляции относительных отклонений ОСО и доз УФ-В-радиации в диапазоне 300–315 нм растет по мере расширения интервала сглаживания как для полного периода наблюдений, так

и для теплого и холодного полугодий (см. рис. 4 и рис. 5, б). На длине волны 315 нм для всего периода наблюдений и теплого полугодия при сглаживании по трем точкам корреляция нормированных рядов ОСО и D превышает r_{\min} , при этом по модулю коэффициент корреляции в теплое время года становится даже выше, чем в холодный период. Однако сглаживание по более чем 9–11 точкам уже не приводит к значимому росту корреляции.

Следовательно, при использовании для корреляционного анализа процедуры сглаживания скользящим средним оптимальным для регионов, расположенных на широте Эдмонта, можно считать интервал 5–7, а Кагосимы 9–11 дней. Именно такие временные интервалы соответствуют периодам колебаний синоптического масштаба, циклонам, антициклонам и фронтам [16]. Усредняя и тем самым ослабляя влияние метеорологических процессов на уровень приземной УФ-радиации, процедура сглаживания в рамках синоптического периода позволяет выявить более значимую корреляцию вариаций УФ-В-излучения с состоянием озоносферы, что особенно важно для регионов с относительно низким уровнем суммарного озона и высокой дозой излучения.

Рассмотрим корреляцию нормированных рядов отклонений усредненных по 10 дням (период колебаний синоптического масштаба) ежедневных данных, нормированных рядов отклонений среднемесячных значений (для всего периода наблюдений, теплого и холодного полугодий), среднегодовых значений ОСО и соответствующих рядов дозы УФ-В-радиации.

Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции и доверительные интервалы рядов усредненных по 10 дням относительных отклонений суточных значений, рядов относительных отклонений среднемесячных значений и среднегодовых значений дозы УФ-В-радиации и ОСО

Эдмонтон ($R \pm \Delta r_{0,95}$)					
Длина волны, нм	Усреднение по 10 дням (25.07.96–31.12.04)	Усреднение по месяцу (08.1996–12.2004)			Усреднение по году (1997–2004)
		Полный период	Теплое полугодие	Холодное полугодие	
300	$-0,734 \pm 0,053$	$-0,76 \pm 0,08$	$-0,73 \pm 0,13$	$-0,77 \pm 0,11$	$-0,80 \pm 0,29^*$
305	$-0,740 \pm 0,052$	$-0,68 \pm 0,11$	$-0,61 \pm 0,18$	$-0,70 \pm 0,14$	$-0,81 \pm 0,28^*$
310	$-0,639 \pm 0,068$	$-0,55 \pm 0,14$	$-0,48 \pm 0,22$	$-0,57 \pm 0,19$	$-0,81 \pm 0,28^*$
315	$-0,459 \pm 0,091$	$-0,30 \pm 0,18$	$-0,32 \pm 0,26^*$	$-0,30 \pm 0,25^*$	$-0,77 \pm 0,33^*$
N	287	100	49	51	8
$(r_{\min})_{0,95}$	-0,122	-0,20	-0,28	-0,28	-0,70
$(r_{\min})_{0,99}$	-0,152	-0,26	-0,37	-0,36	-0,82
Кагосима ($R \pm \Delta r_{0,95}$)					
Длина волны, нм	Усреднение по 10 дням (01.01.91–31.12.01)	Усреднение по месяцу (01.1991–12.2001)			Усреднение по году (1991–1992, 1994–2001)
		Полный период	Теплое полугодие	Холодное полугодие	
300	$-0,720 \pm 0,050$	$-0,73 \pm 0,08$	$-0,56 \pm 0,17$	$-0,81 \pm 0,08$	$-0,73 \pm 0,31^*$
305	$-0,499 \pm 0,077$	$-0,50 \pm 0,13$	$-0,38 \pm 0,21$	$-0,59 \pm 0,16$	$-0,69 \pm 0,34^*$
310	$-0,296 \pm 0,094$	$-0,28 \pm 0,16$	$-0,24 \pm 0,23^*$	$-0,34 \pm 0,21$	$-0,64 \pm 0,41^*$
315	$-0,140 \pm 0,101^*$	$-0,12 \pm 0,17^*$	$-0,14 \pm 0,24^*$	$-0,12 \pm 0,24^*$	$-0,60 \pm 0,44^*$
N	360	130	64	66	10
$(r_{\min})_{0,95}$	-0,105	-0,17	-0,25	-0,24	-0,62
$(r_{\min})_{0,99}$	-0,141	-0,23	-0,32	-0,32	-0,75

См. примечание к табл. 2.

При $N < 50$ для определения доверительного интервала использовалась уточненная формула

$$\Delta r = t_{\beta} \frac{1 - r^2}{\sqrt{N - 2}}. \quad (3)$$

Для полного периода наблюдений при усреднении рядов суточных относительных отклонений ОСО и дозы УФ-В-радиации по 10 дням наблюдается очень высокий уровень отрицательной корреляции, хотя некоторые региональные особенности, безусловно, имеют место и абсолютные значения коэффициентов корреляции для Кагосимы несколько ниже, чем для Эдмонтона. По мере смещения в длинноволновую область наблюдается снижение корреляции, которое более явно проявляется в южных широтах. Таким образом, при усреднении в рамках синоптического периода влияние вариаций ОСО на изменение уровня УФ-В-радиации является определяющим для всего диапазона в северных широтах и, по крайней мере, в диапазоне 300–305 нм в южных широтах умеренного пояса северного полушария.

В большей степени широтная зависимость коэффициентов корреляции проявляется для нормированных рядов среднемесячных, а также рядов среднегодовых значений ОСО и дозы УФ-В-излучения. В северных регионах умеренных широт сохраняется высокая отрицательная корреляция, как рядов среднемесячных относительных отклонений, так и среднегодовых данных, хотя по-прежнему явно проявляется зависимость коэффициента корреляции от длины волны, $|R|$ уменьшается при смещении в область более длинных волн.

Такая же закономерность наблюдается и в южных регионах. Однако при усреднении рядов ОСО и D по месяцу и году, как и для нормированных рядов ежедневных данных, относительно низкое содержание суммарного озона ослабляет степень его влияния на уровень ультрафиолетовой радиации на длинах волн более 310 нм. В результате для излучения на длине волны 315 нм, а по теплоту полугодия при усреднении по месяцу и на длине волны 310 нм коэффициенты корреляции по модулю оказываются ниже уровня достоверности r_{\min} . Следует обратить внимание на то, что в связи с полным отсутствием данных о дозе излучения УФ-В-диапазона в течение 2 мес (июнь и июль) при анализе связи временных рядов среднегодовых значений Кагосимы опущен 1993 г. Попытка рассчитать среднегодовые значения исследуемых параметров по данным 10 мес приводит к серьезному искажению рядов, так как для данного региона этот период соответствует максимальным дозам УФ-В-радиации и на июнь приходится климатический максимум ОСО.

Отметим, что независимо от региона для рядов относительных отклонений среднемесячных значений ОСО и дозы излучения абсолютные значения коэффициентов корреляции холодного полугодия для одной и той же длины волны, за исключением 315 нм, остаются выше, чем теплого.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что на долю биологически активной радиации УФ-В-диапазона приходится от 30,0 до 38,4% дозы в зависимости от региона и времени года. Доля излучения на длине волны 295 нм ничтожно мала, а в северных широтах в течение холодного полугодия не регистрируется совсем.

Показано, что в регионах с высоким уровнем суммарного озона между рядами относительных отклонений суточных значений ОСО и дозы УФ-В-радиации на длинах волн короче 315 нм существует статистически высокая даже для доверительной вероятности 0,99 отрицательная корреляция. Для регионов южных широт с более низким уровнем суммарного озона столь высокий уровень корреляции существует между нормированными рядами ОСО и дозы солнечного УФ-излучения на длинах волн короче 310 нм.

Излучение на длине волны 315 нм слабее поглощается озоносферой, и статистический уровень корреляции рядов ОСО и дозы значительно понижается. Изменчивость дозы радиации на этой длине волны связана с сезонностью и зависит от географического и широтного расположения региона, а также от аэрозольно-облачного состояния атмосферы и альбедо поверхности.

Применение процедуры сглаживания скользким средним и усреднение в рамках периода синоптических колебаний около 10 дней значительно усиливает связь колебаний состояния озоносферы с изменением уровня УФ-В-радиации, что особенно важно для регионов с низким ОСО.

Для рядов среднегодовых и нормированных среднемесячных значений ОСО и дозы УФ-В-радиации статистически высокая (по крайней мере, для доверительной вероятности $\beta = 0,95$) отрицательная корреляция сохраняется для длин волн короче 315 нм в регионах умеренных широт с высоким уровнем суммарного озона и короче 310 нм в регионах с относительно низким ОСО.

Таким образом, в исследованиях влияния УФ-В-радиации длин волн короче 315 нм на биологические объекты, при отсутствии достоверных непрерывных длительных рядов радиационных наблюдений, в регионах средних и высоких широт с высоким уровнем суммарного озона в качестве адекватной замены, безусловно, могут быть использованы временные ряды ОСО.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 04-04-96016-р2004урал_а, 05-05-98003-р_об_а.

1. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высш. школа, 2005. 737 с.
2. Hollosy F. Effect of ultraviolet radiation on plant cells // *Micron*. 2002. V. 33. N 2. P. 179–197.
3. McKinley A.F., Diffey B.L. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin // *CIE J*. 1987. V. 6. P. 17–22.
4. Кошелев В.В., Михалев А.В., Черниговская М.А., Тащилин М.А. Исследования изменчивости УФ-В- радиа-

- ции разных временных масштабов // Современные достижения в исследованиях окружающей среды и экологии: Сб. науч. статей, посвящ. памяти акад. РАН В.Е. Зуева. Томск: STT, 2004. С. 226–233.
5. *Kondratyev K.Ya., Varotsos C.A.* Atmospheric Ozone Variability: Implications for Climate Change, Human Health and Ecosystems // Springer / PRAXIS, Chichester, U.K. 2000. 617 p.
 6. *Fioletov V.E., Evans W.F.J.* The influence of ozone and other factors on surface radiation // D.I. Wardle, J.B. Kerr, C.T. McElroy, D.R. Francis (eds.). *Ozone Sci.: a Canadian Perspective on Changing ozone Layer*. Toronto: University of Toronto, 1997. P. 73–90.
 7. *Zerefos C.S.* Factors influencing the transmission of solar ultraviolet irradiance through the earth's atmosphere // Zerefos C.S., Bais A.F. (eds.). *Solar Ultraviolet Radiation*. NATO ASI Series. Berlin: Springer-Verlag, 1997. V. 52. P. 133–141.
 8. *Ellinger R., Huber M., Ambach W., Blumthaler M.* Variability of solar UV-B irradiance with cloudiness and ozone in Innsbruck // Proc. 24th Int. Conf. Alpine Meteorol. 1996. Bled, Sept. 9–13, 1996. Ljubljana: ICAM'96. 1996. P. 431–436.
 9. *Kylling A., Dahlback A., Mayer B.* The effect of clouds and surface albedo on UV irradiance at a high latitude site // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27. N 9. P. 1411–1414.
 10. *Bais A., Blumthaler M., Webb A.R., Groeber J., Kirsch P.J., Gardiner B.G., Zerefos C.S., Svenoe T., Martin T.J.* Spectral UV measurements over Europe within the SESAME activities // *J. Geophys. Res.* D. 1997. V. 102. N 8. P. 1151–1154.
 11. *Sprotova M., Marek M.V., Nedbal L., Prasil O., Kalina J.* Seasonal changes of photosynthetic assimilation of Norway spruce under impact of enhanced UV-B radiation // *Plant Sci.* 1999. V. 79. N 142. P. 37–45
 12. <http://www.woudc.org>
 13. http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html
 14. *Исаев А.А.* Статистика в метеорологии и климатологии. М.: МГУ, 1998. 248 с.
 15. *Палуи И.А.* Прикладная статистика. М.: Высш. школа, 2004. 176 с.
 16. *Зуев В.В.* Дистанционный оптический контроль стратосферных изменений. Томск: МГП «РАСКО», 2000. 245 с.

V.V. Zuev, N.E. Zueva. Influence of total ozone variations on change of the level of solar radiation of UV-B wavelength range.

We consider the influence of total ozone variations on change of the level of near-ground UV-B radiation in regions of northern hemisphere midlatitudes. Spectral composition of radiation is analyzed. It is found that the correlation of relative deviations from the standard diurnal doses of UV-B radiation and total ozone is statistically significant even for 0.99 confidence probability. We studied how the correlation level is influenced by running-mean smoothing procedure, as well as by averaging over 10 days, a month, and a year. It is shown that when studying the influence of solar UV-B radiation at wavelengths shorter than 315 nm on biosphere in the middle and high latitudes with high level of total ozone, the total ozone time series can adequately replace extended time series of radiation measurements.