

Е.И. Незваль

ТРЕНДЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ РАДИАЦИИ В МОСКВЕ

По данным наземных измерений (1968–1993 гг.) рассмотрено изменение прихода УФ-радиации $\lambda \leq 380$ нм в целом за год и отдельно за теплый (V – IX) и холодный (XI – III) периоды. Оценены их тренды. Проанализирована связь между приходом УФ-радиации и баллом общей и нижней облачности.

Естественная ультрафиолетовая (УФ) радиация является важным фактором природной среды, оказывающим влияние на биосферу. В силу большой энергии кванта она обладает высокой фотобиологической и фотохимической активностью. Действие УФ-радиации на живой организм весьма разносторонне. Достигающая земли УФ-радиация в умеренных дозах оказывает благотворное действие, однако избыток УФ-радиации ведет к очень серьезным заболеваниям [5,11,13,17]. Большие дозы УФ-радиации оказывают вредное действие на растения, водные экосистемы, а также приводят к увеличению повторяемости смогов в урбанизированных районах, оказывают негативное действие на строительные материалы и конструкции [5,11,13,17]. Поэтому исследование многолетних изменений в приходе УФ-радиации представляет большой интерес. Однако до настоящего времени на территории нашей страны не существует сети станций, измеряющих УФ-радиацию.

В метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии Географического факультета МГУ начиная с конца 1967 г. ведется непрерывная регистрация суммарной и рассеянной радиации всего УФ-участка спектра ($\lambda \leq 380$ нм) с помощью приборов, разработанных сотрудниками обсерватории [14]. Ошибка измерений составляет около 10%.

Рассмотрим многолетние изменения в приходе УФ-радиации за 1968–1993 гг. В табл. 1 приведены средние значения (M) и средние квадратические отклонения (σ) для годовых сумм суммарной ($Q_{\text{уф}}$), рассеянной ($D_{\text{уф}}$) и прямой УФ-радиации на горизонтальную поверхность ($S'_{\text{уф}}$), а также для сумм УФ-радиации за теплый (май – сентябрь) и холодный (ноябрь–март) периоды. В этой же таблице представлены данные для ряда метеорологических параметров, оказывающих воздействие на приход УФ-радиации.

Значения общей ($N_{\text{о.с}}$) и нижней ($N_{\text{н.с}}$) облачности получены на основании ежедневных наблюдений за светлую часть суток.

Величины аэрозольной оптической толщины для длины волны $\lambda = 550$ нм $\tau_a(\lambda_0)$ рассчитаны Г.М. Абакумовой и Е.В. Ярхо [3] по данным прямой интегральной радиации с использованием методики, изложенной в работе Т.А. Тарасовой и Е.В. Ярхо [12]. Расчеты выполнялись только для тех случаев, когда на диске Солнца и в околосолнечной зоне с радиусом 5° отсутствовала облачность. Таким образом, данные аэрозольной оптической толщины характеризуют в основном условия замутненности атмосферы только в ясные дни и в дни с небольшой облачностью.

Изменения общего содержания озона практически не сказываются на приходе радиации всего УФ-участка солнечного спектра, так как доля коротковолновой УФ-радиации, на которую оказывает сильное воздействие озон, очень мала. По данным модельных расчетов [15], при изменении общего содержания озона от 0,20 до 0,50 атм·см суммарная УФ-радиация $\lambda \leq 380$ нм в зависимости от высоты Солнца уменьшается всего на 6 – 7%.

Как видно из табл. 1, изменчивость годовых сумм суммарной УФ-радиации невелика, коэффициент вариации $V = (M/\sigma) \cdot 100\% = 6\%$; в теплое время года $V = 7\%$, а в холодное – его

величина достигает 13%. Значительно большей изменчивостью характеризуется приход прямой УФ-радиации: в теплый период $V = 13\%$, в холодный – V достигает почти 30%.

Таблица 1

Средние значения (M) и средние квадратические отклонения (σ) некоторых радиационных и метеорологических характеристик атмосферы

Характеристика	Год		V–IX		XI–III	
	M	σ	M	σ	M	σ
$Q_{\text{уф}}$, МДж/м ²	152,4	9,8	108,1	7,3	23,0	2,9
$D_{\text{уф}}$, »	127,6	8,6	87,8	6,1	21,3	2,5
$S_{\text{уф}}$, »	24,8	2,8	20,3	2,7	1,7	0,5
$N_{\text{о.с.}}$, баллы	8,0	0,4	7,4	0,5	8,5	0,6
$N_{\text{н.с.}}$, »	6,1	0,5	5,2	0,7	6,8	0,7
U , %	37,6	2,9	48,8	4,8	20,7	4,2
$\tau_a(\lambda_0)$	0,24	0,05	0,25	0,05	0,18	0,07

Как для общей, так и для нижней облачности наибольшая изменчивость отмечается для теплового периода, при этом для нижней облачности она заметно выше ($V = 13\%$). В отличие от облачности относительная продолжительность солнечного сияния U наиболее сильно изменяется от года к году в холодный период (в XI–III $V = 20\%$, в V–IX $V = 10\%$).

Наибольшими изменениями от года к году отличается аэрозольная оптическая толщина. Коэффициент вариации для $\tau_a(\lambda_0)$ в теплый период составляет 20%, в холодный же возрастает почти до 40%. Такая большая изменчивость $\tau_a(\lambda_0)$ в значительной степени обусловлена влиянием извержений вулканов [3,4].

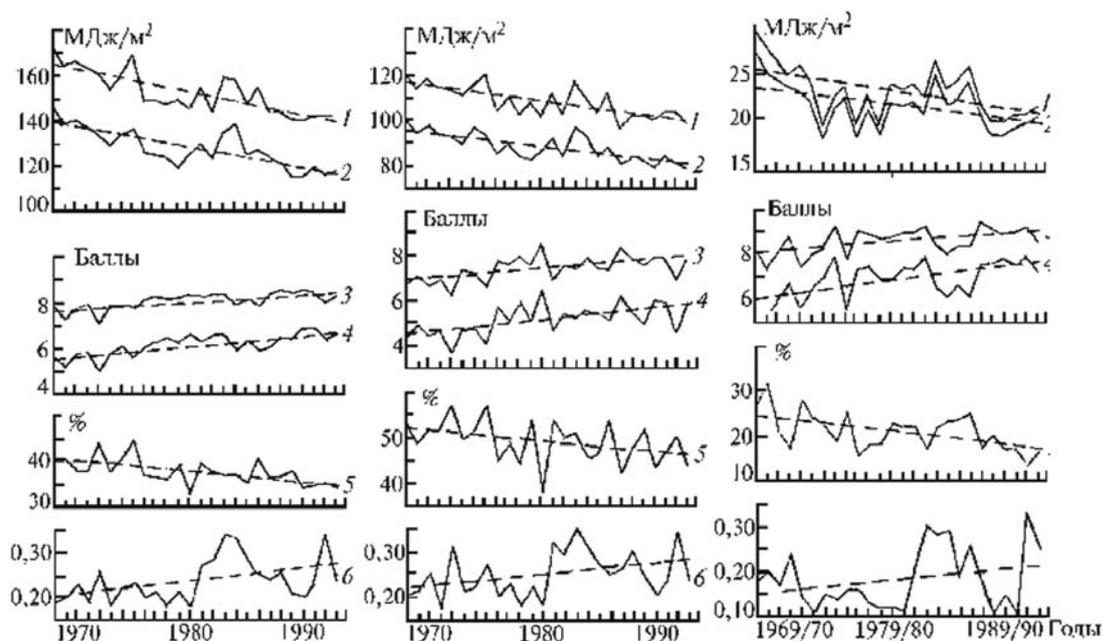


Рис. 1. Изменение сумм суммарной (1), рассеянной (2) УФ-радиации, среднего балла общей (3), нижней (4) облачности за светлую часть суток, относительной продолжительности солнечного сияния (5) и аэрозольной оптической толщины атмосферы для $\lambda = 550$ нм в целом за год – а, за теплый период года (V – IX) – б и за холодный период (XI – III) – в

На рис. 1 видны изменения от года к году большинства параметров, приведенных в табл. 1. Как следует из рисунка, не отмечается точного совпадения максимальных или минимальных сумм УФ-радиации с минимальными или максимальными значениями отдельно общей или нижней облачности. Это обусловлено тем, что приход УФ-радиации определяется

не только количеством облаков, но и сочетанием облаков различных ярусов, степенью закрытости диска Солнца и оптической толщиной облаков. Определенную роль играет и замутненность атмосферы. Так, например, в теплый период 1972 г. наблюдались минимальные значения как общей, так и нижней облачности, однако суммы прямой УФ-радиации оказались достаточно низкими – 20,7 МДж/м² (максимум – 27,2 в 1975 г. и минимум – 15,4 МДж/м² в 1987 г.). Это объясняется сильным ослаблением прямой УФ-радиации во время дымной мглы, вызванной лесными и торфяными пожарами [2]. При этом за счет поглощения аэрозолями несколько снижены и суммы рассеянной УФ-радиации.

Тем не менее обнаруживается довольно тесная линейная связь между приходом УФ-радиации и баллом общей и особенно нижней облачности (табл. 2). В табл. 2 приведены также значения H :

$$H = |r| \times \sqrt{n-1},$$

где n – число лет наблюдений. Значимость коэффициента корреляции r проверялась путем сравнения полученных значений H с их критическими значениями для $n = 26$ при заданной надежности вывода P [10], (см. табл. 2). Значения H для коэффициента корреляции между приходом суммарной УФ-радиации и баллом нижней облачности существенно превосходят критические значения H даже для $P = 0,999$.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции r между приходом прямой $S'_{уф}$, рассеянной $D_{уф}$ и суммарной $Q_{уф}$ УФ-радиации за год, за теплый и холодный периоды и метеорологическими характеристиками атмосферы (1968–1993 гг.)*

Период	Вид радиации	Характеристики					
		$N_{о.с}$		$N_{н.с}$		U	
		r	H	r	H	r	H
Год	$Q_{уф}$	-0,72	3,60	-0,77	3,85	0,74	3,70
	$D_{уф}$	-0,67	3,35	-0,72	3,60	0,61	3,05
	$S'_{уф}$	-0,44	2,20	-0,45	2,25	0,71	3,55
V–IX	$Q_{уф}$	-0,76	3,80	-0,77	3,85	0,73	3,65
	$D_{уф}$	-0,60	3,00	-0,62	3,10	0,53	2,65
	$S'_{уф}$	-0,66	3,30	-0,67	3,35	0,76	3,80
XI–III	$Q_{уф}$	-0,59	2,95	-0,75	3,75	0,71	3,55
	$D_{уф}$	-0,54	2,70	-0,73	3,65	0,64	3,20
	$S'_{уф}$	-0,58	2,90	-0,56	2,80	0,75	3,75

* В случае XI–III отсчет начинается с холодного периода 1967/68 г. Для $n = 26$ при $P = 0,95$ $H = 1,941$; при $P = 0,99$ $H = 2,479$; при $P = 0,999$ $H = 3,037$.

В отличие от интегрального потока [1] отмечаются достаточно высокие отрицательные коэффициенты корреляции между приходом рассеянной УФ-радиации и баллом облачности. Это объясняется различным влиянием облачности на величину рассеянной УФ- и интегральной радиации. По данным работы [6] при наличии облачности суточные суммы рассеянной интегральной радиации в среднем увеличиваются на 20–50% по сравнению с ясными днями и только при сплошной плотной облачности наблюдается понижение суточных сумм рассеянной радиации на 20–30%. В УФ-области спектра $\lambda \leq 380$ нм в среднем небольшой прирост в суточных суммах рассеянной радиации отмечается только в летние месяцы при средней за день облачности 2–3 балла, а потери при сплошном покрове облаков нижнего яруса достигают 50–60%.

Для прямой УФ-радиации, как и следовало ожидать, наиболее высокая корреляция отмечается с продолжительностью солнечного сияния.

По данным табл. 3, для большинства месяцев характерны очень высокие коэффициенты корреляции между месячными суммами УФ-радиации и баллом облачности. Исключение

составляют их значения для ноября и декабря. Это, по-видимому, объясняется тем, что в указанные месяцы облачность достигает наибольших значений, велико число дней со сплошной нижней облачностью и изменения в приходе радиации определяются, главным образом, оптической толщиной облаков.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между приходом суммарной УФ-радиации за отдельные месяцы и метеорологическими характеристиками атмосферы

Месяцы	$N_{o.c}$		$N_{н.с}$		U	
	r	H	r	H	r	H
Январь	-0,70	3,50	-0,74	3,70	0,54	2,70
Февраль	-0,75	3,75	-0,85	4,25	0,84	4,20
Март	-0,67	3,35	-0,80	4,00	0,67	3,35
Апрель	-0,78	3,90	-0,81	4,05	0,82	4,10
Май	-0,75	3,75	-0,80	4,00	0,80	4,00
Июнь	-0,78	3,90	-0,84	4,20	0,88	4,40
Июль	-0,80	4,00	-0,74	3,70	0,77	3,85
Август	-0,70	3,50	-0,64	3,20	0,81	4,05
Сентябрь	-0,86	4,30	-0,91	4,55	0,88	4,40
Октябрь	-0,67	3,35	-0,87	4,35	0,91	4,55
Ноябрь	-0,52	2,60	-0,62	3,10	0,61	3,05
Декабрь	-0,33	1,65	-0,37	1,85	0,50	2,50

Наиболее низкие значения коэффициентов корреляции между приходом суммарной УФ-радиации и продолжительностью солнечного сияния отмечаются в ноябре – январе, когда доля прямой УФ-радиации в суммарной в целом за месяц составляет всего 1–2%. Как следует из наших данных, даже в летние месяцы при фактических условиях облачности суммарный приход УФ-радиации на 80% определяется рассеянной радиацией.

За рассматриваемый период отмечается заметное уменьшение в приходе как суммарной, так и рассеянной УФ-радиации. Данные регрессионного анализа свидетельствуют о том, что имеет место значимый отрицательный линейный тренд в приходе УФ-радиации, составляющий 15–20% в зависимости от периода года. Значимость трендов оценивалась с помощью параметра распределения Стьюдента t (табл. 4).

Таблица 4

Тренды радиационных и метеорологических характеристик атмосферы за год, за теплый и холодный периоды, %

Характеристика	Год		V–IX		XI–III	
	Δ	t^*	Δ	t^*	Δ	t^*
$Q_{уф}$	-16	-6,90	-15	-5,43	-20	-3,10
$D_{уф}$	-16	-6,44	-16	-5,90	-18	-2,88
$N_{o.c}$	11	4,66	14	3,21	12	3,03
$N_{н.с}$	21	5,37	27	3,30	27	3,67
U	-14	-3,74	-12	-2,21	-30	-3,04
$\tau_a(\lambda_0)$	35	2,45	28	1,88	41	1,50

* $t_{кр} = 2,06$ при $P = 0,95$.

В условиях Москвы наблюдается очень сильный рост (до 27% в теплый период года) нижней облачности. Несколько меньше на (11–14%) за эти годы выросла общая облачность. При этом отмечается значимый отрицательный тренд относительной продолжительности солнечного сияния, изменяющийся от 12% в теплый до 28% в холодный периоды.

Как следует из табл. 5, отрицательный тренд УФ-радиации в холодное время года определяется резким снижением радиации во вторую половину периода (I–III). При этом обращают на себя внимание очень большие положительные тренды нижней облачности в январе – феврале и резкое снижение в эти же месяцы продолжительности солнечного сияния. В октябре – декабре тренды УФ-радиации отсутствуют, при этом в октябре и ноябре наблюдается тенденция к уменьшению облачности, хотя эти изменения не значимы.

Тренды суммарной УФ-радиации и некоторых метеорологических характеристик атмосферы за отдельные месяцы, %

Месяцы	$Q_{\text{уф}}$	t	$N_{\text{о.с}}$	t	$N_{\text{н.с}}$	t	U	t
Январь	-20	-2,56	24	3,15	79	4,59	-59	-2,68
Февраль	-21	-2,02	31	2,69	60	2,23	-57	-2,71
Март	-22	-3,04	14	1,68	27	1,89	-15	-0,96
Апрель	-22	-3,37	11	2,03	27	2,63	-21	-1,82
Май	-5	-0,90	2	0,28	17	0,87	8	0,54
Июнь	-19	-4,03	20	2,65	36	2,65	-21	-2,28
Июль	-12	-2,72	15	1,77	15	1,09	-8	-0,80
Август	-19	-3,43	15	1,97	31	2,49	-16	-1,80
Сентябрь	-23	-3,05	19	2,82	35	2,31	-29	-1,82
Октябрь	1	0,14	-7	-1,40	-11	-1,07	34	1,15
Ноябрь	3	0,35	-5	-1,31	-11	1,85	45	1,08
Декабрь	-1	-0,18	0	0,15	3	0,38	30	0,78

На основании приведенных данных можно сделать вывод о том, что уменьшение прихода УФ-радиации в значительной степени обусловлено ростом облачности.

Интересно отметить, что значимый рост средних за год значений нижней облачности за период 1964–1986 гг., составляющий 11%, отмечался в Эстонии [16].

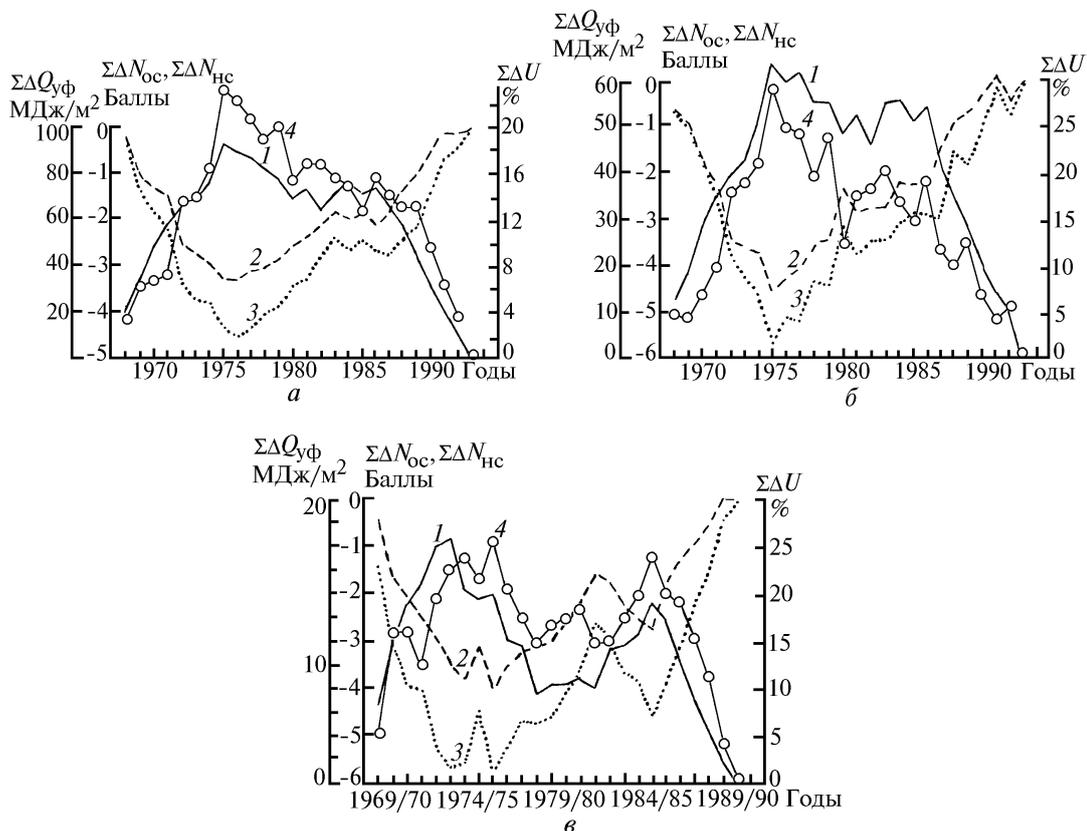


Рис. 2. Интегрально-разностные кривые распределения суммарной УФ-радиации ($\Sigma \Delta Q_{\text{уф}}$), балла общей ($\Sigma \Delta N_{\text{о.с}}$), нижней ($\Sigma \Delta N_{\text{н.с}}$) облачности и относительной продолжительности солнечного сияния ($\Sigma \Delta U$): а – год, б – V – IX, в – XI – III

По-видимому, рост облачности за последние 20–25 лет наблюдался и в других районах европейской части СНГ. В работах Л.В. Клименко [8,9] показано, что за последние 25 лет в теплое время года в южной половине европейской территории бывшего СССР резко повысилась повторяемость циклонических процессов (147% от средней за 100 лет), что ведет к увеличению

облачности. За 1971–1990 гг. в холодное время также возросло число циклонических процессов и резко сократилась повторяемость антициклонов (исключая азорские).

Тесная связь между приходом УФ-радиации и баллом облачности или продолжительностью солнечного сияния прослеживается при сопоставлении их интегрально-разностных кривых распределения [7], рис. 2. Эта характеристика получена путем суммирования отклонений рассматриваемой величины за каждый год от ее среднего. Куполообразная форма кривых наглядно свидетельствует о наличии трендов. Обращает на себя внимание, что примерно с середины 70-х годов отмечаются устойчивый рост облачности и уменьшение в приходе УФ-радиации по сравнению со средними за период наблюдений величинами.

По данным наблюдений в Москве отмечается значительный рост аэрозольной оптической толщины атмосферы, однако благодаря большой изменчивости этой величины, значимый тренд отмечается только для года в целом. Тем не менее рост мутности атмосферы также приводит к снижению прихода УФ-радиации. В условиях города одной из причин уменьшения прихода как суммарной, так и рассеянной УФ-радиации может быть постепенное возрастание количества поглощающих аэрозолей.

Из вышесказанного следует, что при рассмотрении изменений в приходе коротковолновой, наиболее биологически активной УФ-радиации, необходимо учитывать не только воздействие на нее уменьшения общего содержания озона в атмосфере, но и тренды облачности.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках 18-й государственной научно-технической программы <Глобальные изменения природной среды и климата> (проект 5.1.9.).

1. Абакумова Г.М., Гараджа М.П., Евневич Т.В., Еремина И.Д., Незваль Е.И., Никольская Н.П., Шиловецова О.А. Климат Москвы за последние 30 лет. М.: МГУ, 1989. 94 с.
2. Абакумова Г.М., Гараджа М.П., Евневич Т.В., Зайцева Н.А., Незваль Е.И., Никольская Н.П. // Метеорология и гидрология. 1986. N 11. С. 46–52.
3. Абакумова Г.М., Ярхо Е.В. // Метеорология и гидрология. 1992. N 11. С. 107–113.
4. Абакумова Г.М., Ярхо Е.В. // Известия РАН. Сер. ФАО. 1994. Т. 30. N 3. С. 405–410.
5. Белинский В.А., Гараджа М.П., Меженная Л.М., Незваль Е.И. Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба. М.: МГУ, 1968. 228 с.
6. Гараджа М.П., Незваль Е.И. // Погода и климат Москвы и Московской области. Труды МосЦГНС. Вып. 1. М.: Гидрометеоздат, 1988. С. 125–130.
7. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 245 с.
8. Клименко Л.В. // Метеорология и гидрология. 1994. N 5. С. 94–100.
9. Клименко Л.В. // Метеорология и гидрология. 1994. N 8. С. 44–51.
10. Румшиский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. М.: Наука, 1971. 192 с.
11. Стржижовский А.Д., Дьяконов А.С., Белоусов В.В. // Космическая биология и авиакосмическая медицина. М.: Медицина, 1991. N 4. С. 4–10.
12. Тарасова Т.А., Ярхо Е.В. // Метеорология и гидрология. 1991. N 12. С. 66–71.
13. Ультрафиолетовое излучение. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 14. ВОЗ. Женева. 1984. 115 с.
14. Ультрафиолетовые измерительные приборы. Пушино, Координационный центр стран СЭВ и СФРЮ по проблеме <Исследования в области биологической физики>. 1977. С. 35–38.
15. Чубарова Н.Е. // Известия АН СССР. Сер. ФАО. 1991. N 9. С. 1022–1027.
16. Russak V. Trends of solar radiation, cloudiness and atmospheric transparency during recent decades in Estonia. Tellus. 1990. 42B. P. 206–210.
17. UV - B Monitoring Workshop: A Review of the Science and Status of Measuring and Monitoring Programs. 10–12 march 1992, Washington D.C.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
27 декабря 1994 г.

E. I. Nezval. UV-radiation Trends in Moscow.

Variability of incoming UV-radiation ($\lambda \leq 380$ nm) for a year as a whole and separately for warm (V–IX) and cold (XI–III) periods is examined based on data of ground measurements (1968–1993). The variability trends are estimated. Correlation between incoming UV-radiation and total and low cloudiness amount is analyzed.