

Влияние города на приходящую ультрафиолетовую радиацию по результатам многолетнего мониторинга в районе Томска

Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев, Т.К. Складнева*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 19.09.2011 г.

Проводится анализ влияния «городской шапки загрязнения» на приходящую УФ–В-радиацию, измеренную с помощью спектрофотометра Brewer MKIV № 049 в районе Академгородка г. Томска. Результаты измерения проанализированы с учетом направлений ветра, переносящего воздух в приземном слое со стороны города и из-за его пределов. Показано, что ослабление интенсивности приходящей УФ-радиации «городской шапкой загрязнения» наблюдается как в теплый, так и в холодный периоды. Степень ослабления УФ-радиации городом зависит от зенитного угла и имеет спектральную зависимость. Отмечено, что влияние разных частей города на приходящую радиацию различно.

Ключевые слова: солнечная радиация, мониторинг, ультрафиолетовый; solar radiation, monitoring, UV.

Введение

Солнечная радиация, включая ультрафиолетовый (УФ) спектр, является одним из основных климатообразующих факторов. Ультрафиолетовая радиация оказывает существенное воздействие на земные и водные экосистемы, влияет на качество воздуха, биогеохимические циклы и в значительной степени на здоровье человека. Известно, что человек чутко реагирует на изменение количества приходящей УФ-радиации. Небольшие дозы УФ-радиации благотворно сказываются на здоровье людей, способствуя формированию витамина D3, в то время как значительное облучение может вызывать различные заболевания кожи, глаз, иммунной системы.

Вариации приземной УФ-радиации определяются угловой высотой Солнца, его активностью, альбедо подстилающей поверхности, состоянием атмосферы в районе проведения измерений (облачным покровом, составом и концентрацией атмосферного аэрозоля, газовыми составляющими атмосферы, общим содержанием озона и его вертикальным распределением). Воздействие каждого из этих факторов различается не только в разных регионах планеты, но и внутри региона (вследствие влияния промышленных центров и крупных городов). Приземная УФ-радиация весьма чувствительна к региональным особенностям динамики и состава нижней и средней атмосферы.

В мире существует сеть измерительных станций, на которых ведется мониторинг УФ-радиации. В нее включен ряд российских измерительных станций (http://www.woudc.org/data/metadata/platform_e.html). Однако в России и некоторых странах бывшего Советского Союза сеть станций не многочисленна.

С помощью спектрофотометра Brewer ведутся регулярные измерения общего содержания озона (ОСО) и спектрального потока солнечной УФ–В-радиации на Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, в г. Обнинске (НПО «Тайфун»), в Якутске и Томске.

Проводится мониторинг УФ-радиации с помощью УФ-пиранометров UVB-1 YES: в метеорологической обсерватории МГУ более 10 лет (<http://www.momsu.ru/ufr.html>), в ИОА СО РАН (г. Томск) более 8 лет [1].

Наиболее обеспечена измерительными приборами на постсоветском пространстве наземная станция по мониторингу солнечной радиации Института прикладной физики АН Молдовы, расположенная в г. Кишиневе (47° с.ш., 29° в.д.). Регулярные измерения солнечной радиации на этой станции ведутся с 2003 г. (<http://www.arg.phys.asm.md>).

Одним из важных вопросов является рассмотрение влияния антропогенного фактора на измеряемую УФ-радиацию. Особенно это актуально для городов, где на уровень УФ-радиации влияет не только изменение облачности, озона и альбедо подстилающей поверхности, но и содержание малых газовых примесей и аэрозоля. Достаточно большое количество работ [2–8] демонстрирует влияние вариаций концентрации аэрозоля на изменения приземной УФ-радиации. В работе [9] показано, что в некоторые

* Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Георгий Алексеевич Ивлев (ivlev@iao.ru); Татьяна Константиновна Складнева (tatyana@iao.ru).

месяцы теплого периода более высокий уровень биологически активной ультрафиолетовой радиации в пригороде Москвы по сравнению с Москвой (до 20%) объясняется различиями в содержании малых газовых примесей и аэрозоля.

В работе [10] сравниваются результаты измерения солнечной радиации в диапазоне 285–450 нм в промышленном и фоновом районах. Показано, что в летний период уменьшение УФ-радиации в промышленном районе может достигать 40% по сравнению с чистым районом, а в зимний период эти различия значительно ниже. Отмечено, что на разных участках рассматриваемого спектрального диапазона степень ослабления приходящей радиации значительно варьируется. В работе [11] показано, что рост аэрозольной оптической толщины на 1% в год в течение 2000–2006 гг. явился причиной уменьшения УФ-радиации в Пекине. В то же время, как отмечают авторы, в г. Салоники (Греция) в результате уменьшения загрязнения воздуха зарегистрирован рост УФ-радиации в период 1984–2008 гг.

В результате ранее проведенного анализа данных измерения УФ-радиации в Академгородке в 2004–2007 гг. [1] был сделан вывод, что основные изменения в годовом ходе приходящей УФ-В-радиации наблюдаются в спектральном интервале 295–310 нм. Однако авторы не рассматривали причины этих изменений.

В настоящей статье рассматривается влияние «городской шапки загрязнения» на значения приземной общей УФ-радиации. Проводится анализ полученных результатов с учетом направлений ветра, переноса воздуха в приземном слое со стороны города и из-за его пределов.

1. Характеристика эксперимента

С января 2004 г. по инициативе Центральной аэрологической обсерватории в г. Томске ведутся регулярные измерения ультрафиолетовой радиации спектрофотометром Brewer MKIV № 049 в области ультрафиолетового спектра 290–325 нм с шагом 0,5 нм. Прибор установлен на крыше четырехэтажного корпуса станции высотного зондирования ИОА СО РАН, расположенного в юго-восточной части города в районе Академгородка (рис. 1).

Здание с западной и северной сторон окружено участками смешанного леса, высота которого не превышает высоту площадки, на которой установлен прибор. С южной стороны к зданию примыкает поляна, а с восточной двухэтажное строение. Таким образом, можно сказать, что прибор установлен на преобладающей высоте по отношению к окружающим его зданиям и участкам леса и имеется возможность проводить измерения в течение всего светового дня.

За период измерений спектрофотометр проходил техническое обслуживание и калибровку по вторичному эталону МКП № 017 в августе 2003, 2005 и в сентябре 2008 гг. Спектрофотометр Brewer MKIV измеряет общую УФ-радиацию с точностью по спектру ($0,006 \pm 0,002$) нм. Сканирование происходит с шагом 0,5 нм от 290 до 325 нм. За время, равное 5 мин 25 с,

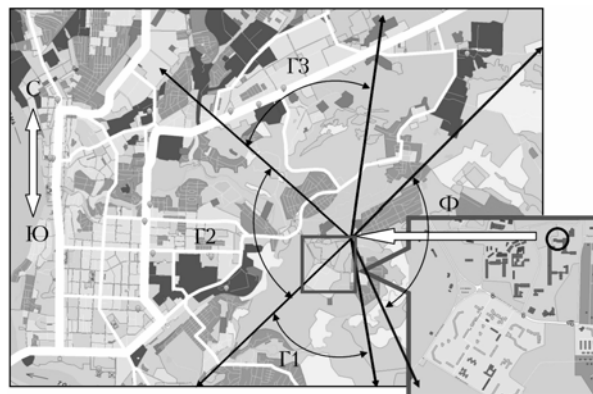


Рис. 1. Место расположения прибора на карте г. Томска: Ф – сектор $45 \div 135^\circ$, направление ветра на место измерения из-за пределов города; Г1 – сектор $165 \div 225^\circ$, с южной стороны города и пригородов; Г2 – сектор $225 \div 315^\circ$, с западной стороны города; Г3 – сектор $315 \div 15^\circ$, с северной стороны города и пригородов

производится проход в обе стороны и получение двух значений на каждой длине волны. Итоговым результатом является спектр, полученный из среднеарифметических значений. Программное обеспечение позволяет получать как спектральное распределение УФ-радиации, так и интегральные значения в заданной области спектра.

В г. Томске помимо стационарных источников загрязнения атмосферы [12] значительную долю загрязнения составляют выбросы продуктов сгорания топлива автотранспорта [13]. В городской атмосфере Томска происходят фотохимические процессы [14], повышающие в приземном слое концентрацию газов, поглощающих ультрафиолетовую радиацию. Форма «городской шапки загрязнения» формируется в результате взаимодействия городского острова тепла и набегающего на город фонового потока [15]. С подветренной стороны города формируется вихревая ячейка со слабым противотоком, что приводит к накоплению примесей. С наветренной стороны город достаточно хорошо проветривается.

В качестве исходных данных использованы результаты измерения спектрального распределения УФ-радиации в 2004–2009 гг. Мы посчитали обоснованным, что зона влияния городского загрязнения находится в секторе направлений ветра $165 \div 15^\circ$ относительно пункта наблюдения (Г1, Г2, Г3), а сектор направлений ветра $45 \div 135^\circ$ приносит воздух, который неподвержен влиянию городского загрязнения (Ф) (рис. 1).

Для того чтобы исключить влияние подстилающей поверхности и облачности на приходящую радиацию, из всего массива были выбраны данные измерений УФ-радиации в условиях *ясного неба* (общий балл облачности равен 0) для двух периодов: 1) теплого (май–сентябрь) (1988 измерений); 2) холодного (ноябрь–март) с устойчивым снежным покровом (992 измерения).

Учитывая длительность периода измерений, количество случаев невелико.

В отобранный массив также не были включены данные, когда над местом проведения измерений

наблюдался шлейф дыма от ГРЭС, расположенной западнее.

На рис. 2 изображены зоны, показывающие, какие значения зенитных солнечных углов в течение дня (теплого или холодного периодов) могут быть зафиксированы для места наблюдения в районе Академгородка.

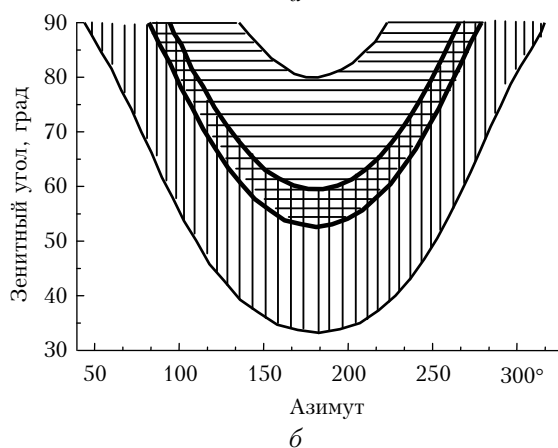
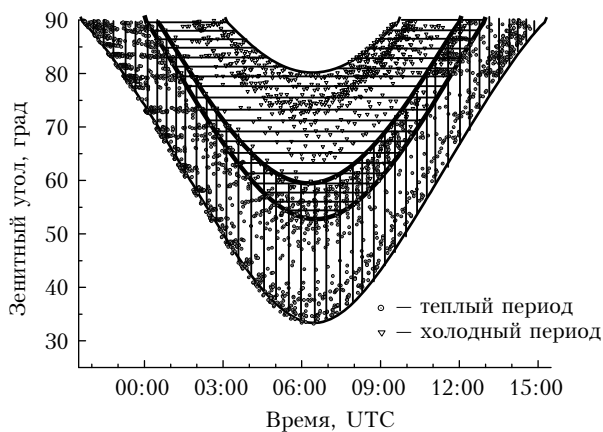


Рис. 2. Зоны возможных зенитных углов в теплый (вертикальные отрезки) и холодный (горизонтальные) периоды, а также зафиксированные зенитные углы в теплый (кружки) и холодный (треугольники) периоды в районе Академгородка

Видно, что область пересечения зон для теплого и холодного периодов является незначительной и при близких зенитных углах измерений, проведенных в разное время, азимут на Солнце с места наблюдения может значительно отличаться. Это приводит к тому, что прямые солнечные лучи при одинаковой высоте Солнца над горизонтом могут входить в городскую атмосферу с «разных сторон».

За рассматриваемый период измерений в Академгородке преобладал ветер с южной составляющей (рис. 3).

В то же время в теплый и холодный периоды при ясном небе чаще всего наблюдался северо-восточный ветер, что вполне объяснимо. Повторяемость циклонических образований составила 11% как в теплый, так и в холодный периоды. Восточный ветер наблюдался в северной части циклона, где обычно минимум

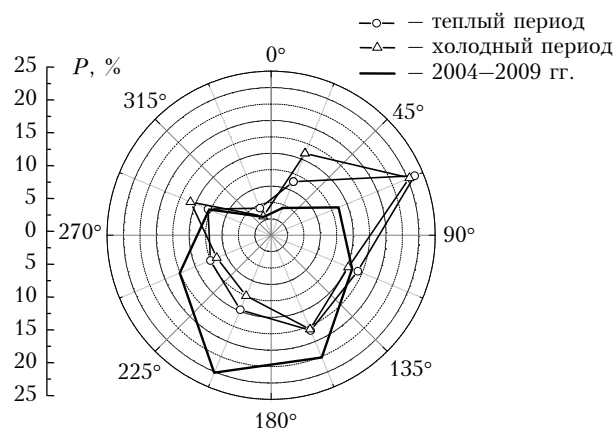


Рис. 3. Повторяемость направления ветра (P) в условиях ясного неба в Академгородке в 2004–2009 гг.

облачных образований. Повторяемость антициклонов в теплый и холодный периоды составила 11,4 и 16% соответственно.

2. Результаты измерения

На рис. 4 показана зависимость средней интенсивности УФ-радиации от зенитного угла в диапазоне длин волн $\lambda = 305 \div 324$ нм (с шагом 5 нм) при направлении ветра из фонового района ($45 \div 135^\circ$) и из города ($165 \div 15^\circ$) в теплый и холодный периоды.

К сожалению, в холодный период для зенитных углов $52 \div 62^\circ$ и направления ветра из фонового района данных нет или они слабо обеспечены. Видно, что как в теплый, так и холодный периоды при западном переносе (из города) интенсивность приходящей УФ-радиации меньше, чем из фонового района для всех длин волн. Степень ослабления интенсивности УФ-радиации городом зависит как от зенитного угла, так и от длины волны.

Для оценки ослабления интенсивности УФ-радиации городом использовалась относительная величина

$$\Delta I = (I_{\phi} - I_{\Gamma}) / I_{\phi} \cdot 100\%,$$

где I_{ϕ} — интенсивность УФ-радиации при направлении ветра $45 \div 135^\circ$, I_{Γ} — интенсивность УФ-радиации при направлении ветра $165 \div 15^\circ$.

Из рис. 4, б видно, что в теплый период при восточном ветре (из фонового района) зарегистрированная интенсивность УФ-радиации выше на 5–20% для всех зенитных углов и длин волн, чем при ветре с западной составляющей. В холодный период картина несколько иная. При ветре из города и зенитных углах больше 70° интенсивность УФ-радиации меньше на 10–50% в зависимости от длины волны (рис. 4, г) по сравнению с условиями, когда воздух поступал из фонового района. Для зенитных углов $z = 64 \div 70^\circ$ $\Delta I = 5 \div 10\%$, хотя на длине волны $\lambda = 305 \div 310$ нм при ветре из города величина сигнала больше по сравнению с фоновым. Скорее всего, это связано со статистической необеспеченностью подобных случаев.

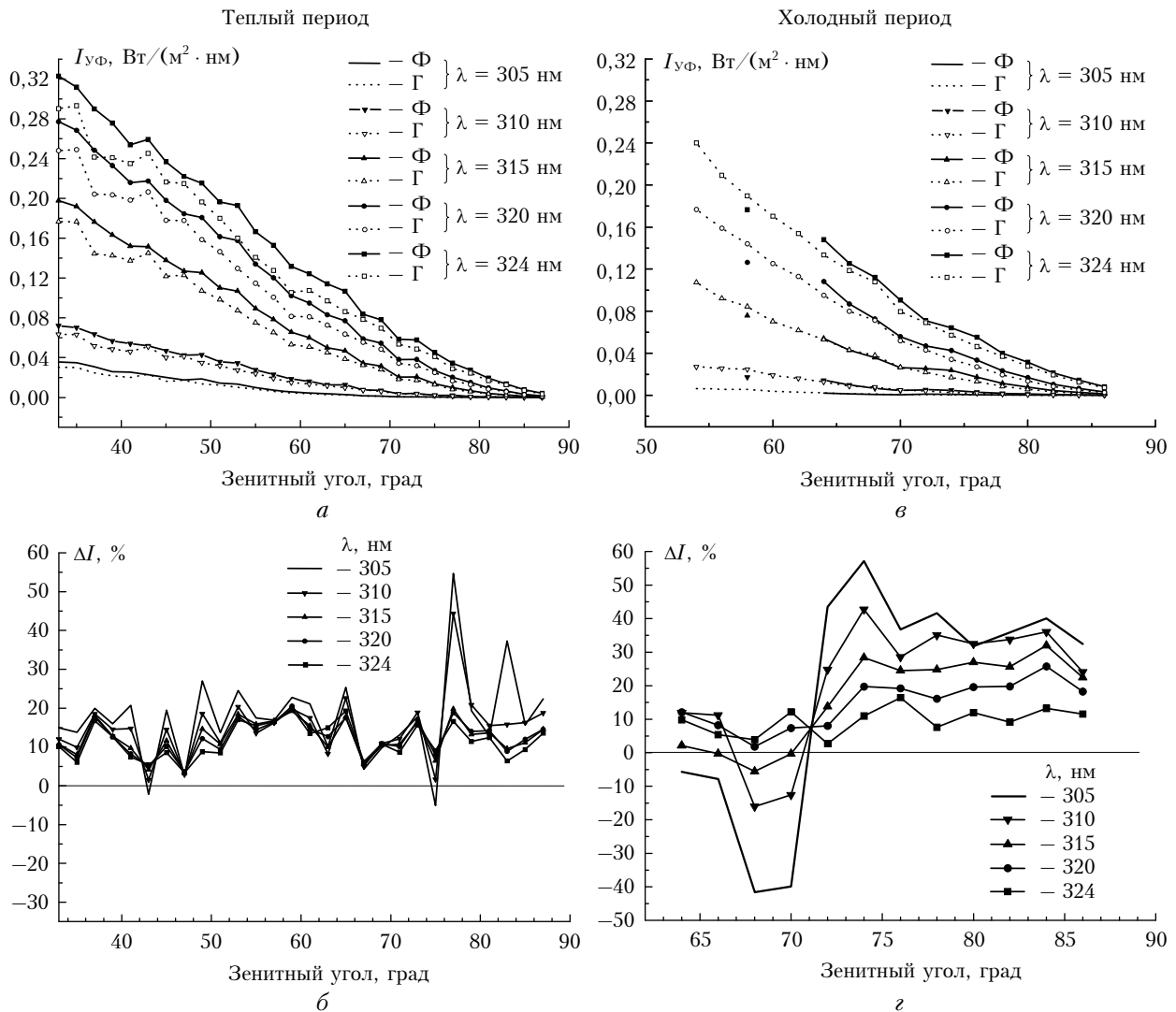


Рис. 4. Зависимость приходящей УФ-радиации от зенитного угла и направления ветра из города (Г) и фонового района (Ф) для $\lambda = 305, 310, 315, 320, 324$ нм (а, б); отношение интенсивностей УФ-радиации при направлении ветра $45 \div 135^\circ$ и $165 \div 15^\circ$ (в, г) в теплый и холодный периоды

Для того чтобы детализировать влияние разных частей города на приходящую радиацию, городской сектор был разбит на три части: Г1 — с направлением ветра $165 \div 225^\circ$, Г2 — $225 \div 315^\circ$ и Г3 — $315 \div 15^\circ$ (см. рис. 1). На рис. 5, а, б показано спектральное распределение интенсивности приходящей УФ-радиации при различных направлениях ветра для зенитных углов $z = 79 \div 81^\circ$ в теплый и холодный периоды.

Видно, что при направлении ветра из фонового района в холодный период величина приходящей радиации выше, чем в теплый период. Это обстоятельство можно объяснить разным альбедо подстилающей поверхности. Авторами работы [16, 17] показано, что в летний период альбедо пригородных районов составляет 15–18%, а с ноября по март — изменяется от 40 до 70%. Для фонового района отношение интенсивности приходящей радиации в холодный и теплый периоды ($I_{\text{хол}}/I_{\text{теп}}$) не постоянно по спектру: $I_{\text{хол}}/I_{\text{теп}} = 1,6 \div 1,8$ в диапазоне длин волн

$\lambda = 320 \div 325$ нм с последующим уменьшением по спектру до 1,35 (рис. 5, д).

В теплый период в спектральном диапазоне $300 \div 325$ нм ослабление интенсивности УФ-радиации городской шапкой составляет от 10 до 25% в зависимости от длины волны. В целом интегральная интенсивность приходящей радиации уменьшается на 13% при направлении ветра из города. Из рис. 5, б видно, что влияние разных частей города различно. Максимальное ослабление интегральной приходящей радиации наблюдается при ветре из сектора Г1 ($\Delta I = 24\%$), минимальное — из сектора Г3 ($\Delta I = 2\%$).

В холодный период спектральная зависимость более ярко выражена. В диапазоне $305 \div 310$ нм ослабление порядка 40%, а для $\lambda = 320 \div 325$ нм около 15%. В целом интегральная интенсивность приходящей радиации ослабляется на 19% при переносе со стороны города, при этом максимальное ослабление из сектора Г2 ($\Delta I = 27\%$), а минимальное — из Г3 ($\Delta I = 12,4\%$) (рис. 5, г).

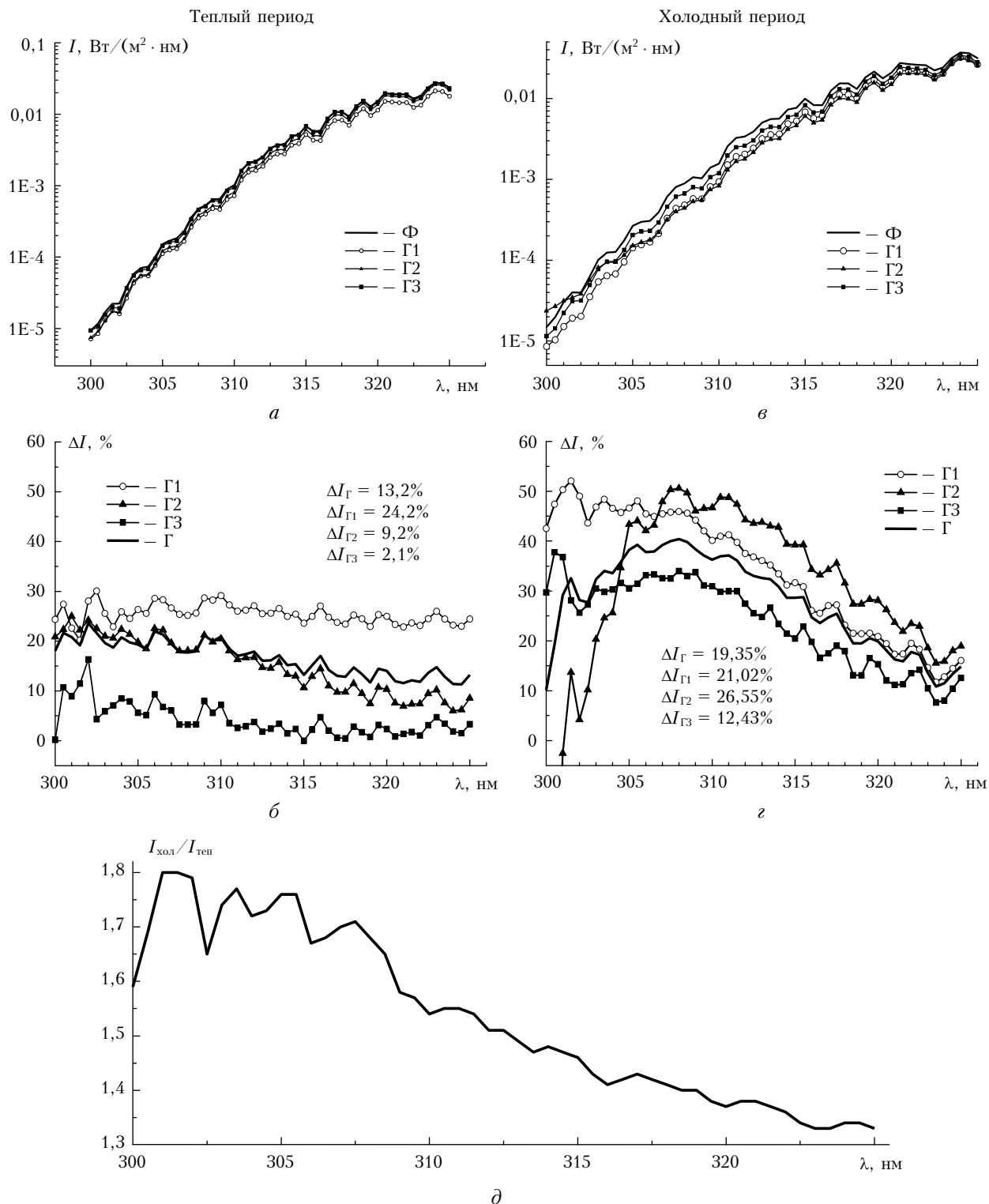


Рис. 5. Спектральное распределение интенсивности приходящей УФ-радиации и ослабления УФ-радиации «городской шапкой загрязнения» для зенитных углов $z = 79 \div 81^\circ$ в теплый и холодный периоды при различных направлениях ветра

Полученные результаты не противоречат выводам, сделанными авторами работы [18] о том, что наиболее высокие значения АОТ характерны для ветров из южного сектора, а минимальные значения — при северо-восточных направлениях ветра. При этом от-

мечается, что «для грубодисперсной компоненты общими особенностями для зимы и лета являются:

— минимальные значения τ^c при ветрах из северо-западного сектора — наиболее чистого от потенциальных источников аэрозоля;

– немного большие замутнения при переносах воздуха со стороны города (на 5% зимой и ≈ 13% летом)».

Проведено сравнение результатов измерений, сделанных в течение одного дня, когда утренние и вечерние измерения проводились при одинаковых зенитных углах, по формуле

$$\Delta = (I_{\text{ут}} - I_{\text{веч}}) / I_{\text{ут}} \cdot 100\%,$$

где $I_{\text{ут}}$ – интенсивность УФ-радиации утром и $I_{\text{веч}}$ – вечером того же дня при $z = 79 \div 81^\circ$.

Расчеты показали, что в теплый период интегральная интенсивность УФ-радиации в утренние часы выше, чем в вечерние, при одинаковом зенитном угле ($\Delta = 8,5\%$). В холодный период разница составляет всего 1,8%.

Заключение

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Ослабление интенсивности приходящей УФ-радиации «городской шапкой загрязнения» наблюдается как в теплый, так и холодный периоды. Степень ослабления УФ-радиации городом зависит от зенитного угла и имеет спектральную зависимость.

2. Влияние разных частей города на приходящую радиацию различно:

а) в теплый период максимальное ослабление интегральной приходящей УФ-радиации ($\Delta I = 24\%$) наблюдается при ветре из южного сектора ($165 \div 225^\circ$), минимальное ($\Delta I = 2\%$) – при северном ветре;

б) в холодный период максимальное ослабление УФ-радиации ($\Delta I = 27\%$) отмечено при западном переносе ($225 \div 315^\circ$), а минимальное ($\Delta = 12,4\%$) – при северном ветре.

3. С учетом городской розы ветров, характерной для теплого и холодного периодов, влияние «городской шапки загрязнения» на значения УФ-радиации в месте наблюдения является незначительным в связи с преобладанием северо-восточной составляющей ветра в рассматриваемые периоды. Однако в целом роза ветров, построенная по ежечасным наблюдениям в 2004–2009 гг., показывает преобладание юго-западной составляющей ветра над другими. Это позволяет предположить, что в оставшиеся сезоны имеется значительное ослабление приходящей УФ-радиации из-за влияния «городской шапки загрязнения».

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы Отделения наук о Земле РАН № 5, грантов РФФИ № 11-05-00470 и 11-05-00516, госконтрактов Минобрнауки № 02.740.11.0674 и 14.740.11.0204.

1. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Складнева Т.К. Вариации ультрафиолетовой В-радиации в Томске в 2003–2007 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21, № 7. С. 619–624.
2. Barnard W.F., Saxena V.K., Wenny B.N., Deluisi J.J. Daily surface UV exposure and its relationship to sur-

face pollutant measurements // J. Air Waste Manag. Assoc. 2003. V. 53, N 2. P. 237–245.

3. Palancar G.G., Toselli B.M. Erythral ultraviolet irradiance in Cordoba, Argentina // Atmos. Environ. 2002. V. 356, N 2. P. 287–292.
4. Ogunjobi K.O., Kim Y.J. Ultraviolet (0.280–0.400 nm) and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of their correlation with aerosol optical depth and clearness index // Atmos. Res. 2004. V. 71, N 3. P. 193–214.
5. Arola A., Lakkala K., Bais A., Kaurola J., Meleti C., Taalas P. Factors affecting short- and long-term changes of spectral UV irradiance at two European stations // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108, N 17. 4549. doi: 10.1029/2003JD003447.
6. Kambezidis H.D., Adamopoulos A.D., Zevgolis D. Spectral aerosol transmittance in the ultraviolet and visible spectra in Athens, Greece // Pure Appl. Geophys. 2005. V. 162, N 2. P. 625–647.
7. Jaroslowski J.P., Krzyscin J.W. Importance of aerosol variations for surface UV-B level: analysis of ground-based data taken at Belsk, Poland, 1992–2004 // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. D16201. doi: 10.1029/2005JD005951.
8. Badarinath K.V.S., Kumar Kharol S., Krishna Prasad V., Rani Sharma A., Reddi E.U.B., Kambezidis H.D., Kaskaoutis D.G. Influence of natural and anthropogenic activities on UV Index variations – a study over tropical urban region using ground based observations and satellite data // J. Atmos. Chem. 2008. V. 59. P. 219–236. doi: 10.1007/s10874-008-9103-4.
9. Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е. Оценка воздействия различных атмосферных параметров на биологически активную УФ-радиацию по данным расчетов и измерений // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 775–781.
10. McKenzie R.L., Weinreis C., Johnston P.V., Liley B., Shiona H., Kotkamp M., Smale D., Takegawa N., Kondo Y. Effects of urban pollution on UV spectral irradiances // Atmos. Phys. 2008. V. 8. P. 5683–5697.
11. Zerefos C.S., Eleftheratos K., Meleti C., Kazadzis S., Romanou A., Ichoku C., Tselioudis G., Bais A. Solar dimming and brightening over Thessaloniki, Greece, and Beijing, China // Tellus. 2009. V. 61B, N 4. P. 657–665.
12. Старченко А.В., Беликов Д.А. Численная модель для оперативного контроля уровня загрязнения городского воздуха // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16, № 7. С. 657–665.
13. Бретинайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер. с англ. / Под ред. А.Ф. Туболкина. Л.: Химия, 1989. 288 с.
14. Беликов Д.А., Старченко А.В. Исследование образования вторичных загрязнителей (озона) в атмосфере г. Томска // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 435–443.
15. Пененко В.В., Коротков М.Г. Моделирование мезоклиматов и загрязнения атмосферы промышленных районов (на примере г. Томска) // Оптика атмосфер. и океана. 1997. Т. 10, № 6. С. 590–597.
16. Белан Б.Д., Складнева Т.К., Ужегова Н.В. Различия альbedo подстилающей поверхности г. Новосибирска и его окрестностей // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 3. С. 238–241.
17. Белан Б.Д., Складнева Т.К. Альbedo некоторых типов подстилающей поверхности Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 727–730.

18. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С. Результаты двухточечных экспериментов по оценке антропогенного воз-

действия города на характеристики прозрачности атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 12. С. 1108–1113.

B.D. Belan, G.A. Ivlev, T.K. Sklyadneva. Influence of a city on the incoming UV radiation from results of many-year monitoring near Tomsk-city.

The influence of “a city cap of pollution” on coming UV-B radiation, measured with the help of Brewer spectrophotometer MKIV N 049 near Academgorodok of Tomsk is analyzed. Results of measurement are analyzed considering, the wind directions from the city and its suburbs. It is shown, that the intensity of the coming UV radiation observed as “a city cap of pollution”, attenuates both in warm and cold periods. The degree of the UV radiation attenuation by city depends on the zenith angle and has a spectral dependence. It is marked, that the influence of different parts of the city on the coming radiation is different.