

А.В. Михалев, М.А. Черниговская, А.Ю. Шалин

Нерегулярные вариации приземной ультрафиолетовой радиации

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 8.08.2001 г.

Представлены и анализируются данные ежедневных наблюдений приземной околополуденной ультрафиолетовой радиации (УФР) Солнца в диапазоне длин волн 295–345 нм в г. Иркутске (Восточная Сибирь, 52° с.ш., 104° в.д.) за 1998 – 2000 гг.

Отмечаются асимметричность сезонного хода приземной УФ-радиации относительно летнего солнцестояния, ее зависимость от длины волны в рассматриваемом спектральном диапазоне. Выделены характерные для региона нерегулярные вариации приземной УФ-радиации, зависящие от сезона и выделяемого спектрального диапазона. Отмеченные особенности нерегулярных вариаций интерпретируются существованием выраженного годового хода общего содержания озона, изменением в различные сезоны соотношения вклада в ослабление УФ-радиации рэлеевского и аэрозольного рассеяния, поглощения озоном, специфическим климатическим режимом погоды в Восточной Сибири.

Введение

Одной из важных задач в области изучения солнечно-земных связей является исследование возможной изменчивости приземной солнечной УФ-радиации (УФР). Эти вариации могут быть связаны с наблюдаемыми в последние десятилетия климатическими изменениями некоторых атмосферных параметров, в частности существованием отрицательных временных трендов и(или) многолетних вариаций атмосферного озона [1–4]. Изменения приземной ультрафиолетовой радиации, обусловленные изменениями общего содержания озона (ОСО), в ряде случаев оказываются сопоставимы или даже имеют меньшие значения по сравнению с вариациями УФР различных временных масштабов, связанными с другими гелиогеофизическими и метеорологическими факторами.

Наибольшие по амплитуде вариации УФР вызваны изменением угловой высоты Солнца (суточные и сезонные вариации), а также наличием облачного покрова. На средних широтах эти вариации УФР в зависимости от длины волны могут достигать десятков–сотен процентов и более. Сезонные вариации могут быть разделены на два типа. Во-первых, регулярные вариации, обусловленные сезонным изменением угловой высоты Солнца (зависят от широты места наблюдения). Во-вторых, иррегулярные вариации, связанные с особенностями климатического режима региона (т.е. зависят от его географического положения и физико-географических особенностей). Именно иррегулярные сезонные вариации представляют особый интерес как климатическая характеристика поля УФР исследуемого региона. Эти вариации также являются важным параметром, определяющим

дисперсии месячных и годовых сумм УФР, учет которых необходим при определении трендов УФР. Существование физико-географических особенностей обуславливает необходимость проведения одновременных наблюдений приземной УФР во многих регионах планеты [1, 5–10]. Среди них особый интерес представляет регион Антарктики, в котором наблюдаются наибольшие по амплитуде изменения ОСО.

В настоящей статье представлены результаты наблюдений приземной прямой УФР в г. Иркутске. Особенность пункта наблюдения связана с тем, что Сибирский регион является зоной устойчивого азиатского антициклона, в котором до последнего времени в отдельные периоды отмечались аномально низкие значения ОСО [2, 3, 10, 11].

Результаты наблюдений и обсуждение

В г. Иркутске (регион Восточной Сибири, 52° с.ш., 104° в.д.) с осени 1998 г. проводятся ежедневные измерения околополуденных значений УФР в диапазоне длин волн 295–345 нм. Измеренные значения соответствуют потоку прямой радиации с возможным дополнительным вкладом рассеянной радиации порядка 5–15%. Таким образом, анализируемые нами относительные вариации УФР, которые меньше этой величины, могут быть обусловлены взаимным перераспределением прямой и рассеянной составляющих в регистрируемом потоке.

На рис. 1 представлены результаты ежедневных наблюдений УФР с 24 сентября 1998 г. по 31 декабря 2000 г. для длины волны 309 нм. Вертикальной штриховой линией указан день летнего солнцестояния. Из рисунка видно, что годовой ход УФР четко

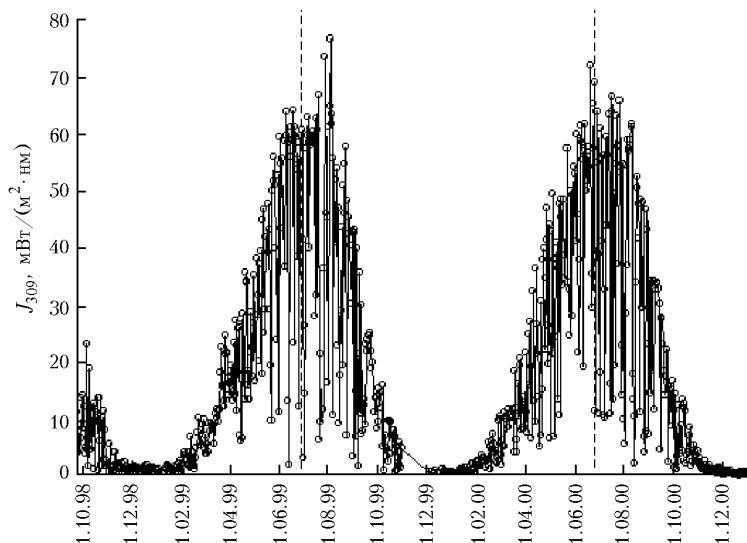


Рис. 1. Ежедневные околополуденные интенсивности наблюдаемой УФР на длине волны 309 нм

определяется угловой высотой Солнца. Следует отметить сильную межсуточную изменчивость УФР, на величину которой, в первую очередь, влияют вариации облачности, а также аэрозольное состояние атмосферы и вариации ОСО. Более тщательный анализ временных вариаций позволяет отметить несимметричность годового хода УФР на фазах весеннего роста (I полугодие) и осеннего спада (II полугодие), обусловленных изменениями высоты Солнца, т.е. наличие сезонных вариаций.

Для количественной оценки этого эффекта на рис. 2 представлены средние за два года изменения УФР по полугодиям (с 23 декабря по 22 июня и с 23 июня по 22 декабря) в зависимости от угловой высоты Солнца i для длин волн 309 и 344 нм.

Вариации за первые полугодия 1999–2000 гг. обозначены тонкими линиями, за вторые полугодия – жирными линиями. Значения $J(309 \text{ нм}, i)$ для второго полугодия в диапазоне угловых высот 30–60° (июнь–сентябрь) систематически превышают соответствующие значения $J(309 \text{ нм}, i)$ первого полугодия (март–июнь) (рис. 2, а). Превышения достигают значений 40–50%. Для приведенной интенсивности УФР $J(344 \text{ нм}, i)$ на рис. 2, б отмечается превышение значений первого полугодия 1999–2000 гг. относительно соответствующих значений второго полугодия в диапазоне углов ~15–40° (соответствуют периодам январь–март и сентябрь–декабрь). Существенное увеличение $J(344 \text{ нм}, i)$ в диапазоне углов 30–40° наблюдалось в весенний период 1999 г.

Отмеченные различия сезонных зависимостей $J(309 \text{ нм}, i)$ и $J(344 \text{ нм}, i)$ обусловлены особенностями спектральной зависимости основных факторов, влияющих на приходящую УФР. Известно, что в рассматриваемом спектральном диапазоне основное влияние на ослабление УФ-излучения оказывают рэлеевское и аэрозольное рассеяние и поглощение озоном. Причем в области длин волн ~345–350 нм основной вклад в ослабление потока радиации вносят рассеяние аэрозолями и рэлеевское рассеяние, а на

долю озона приходится ~0,1%. При смещении в коротковолновую область УФ-спектра вклад в ослабление озоном увеличивается и на длине волны 280 нм составляет ~85% [12].

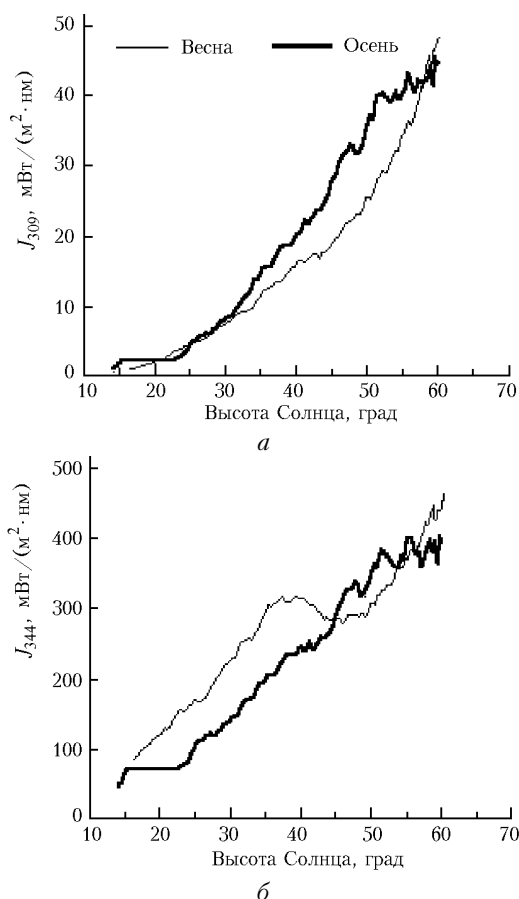


Рис. 2. Усредненные за два года сглаженные вариации УФР на длинах волн 309 нм (а) и 344 нм (б) для двух сезонов в зависимости от угловой высоты Солнца

Асимметричность сезонного хода УФР относительно летнего солнцестояния в коротковолновой об-

ласти спектра 309 нм может быть обусловлена выраженным годовым ходом ОСО над регионом [4] с максимумом в первой половине года. Поведение УФР на длине волны 344 нм, вероятно, в большей степени связано с отличием облачного и аэрозольного режимов атмосферы в различные сезоны.

Удаление годового хода УФР позволяет выделить нерегулярные вариации, обусловленные климатическими и метеорологическими особенностями региона, господствующими режимами циркуляции атмосферы в пункте наблюдения (рис. 3). Годовым

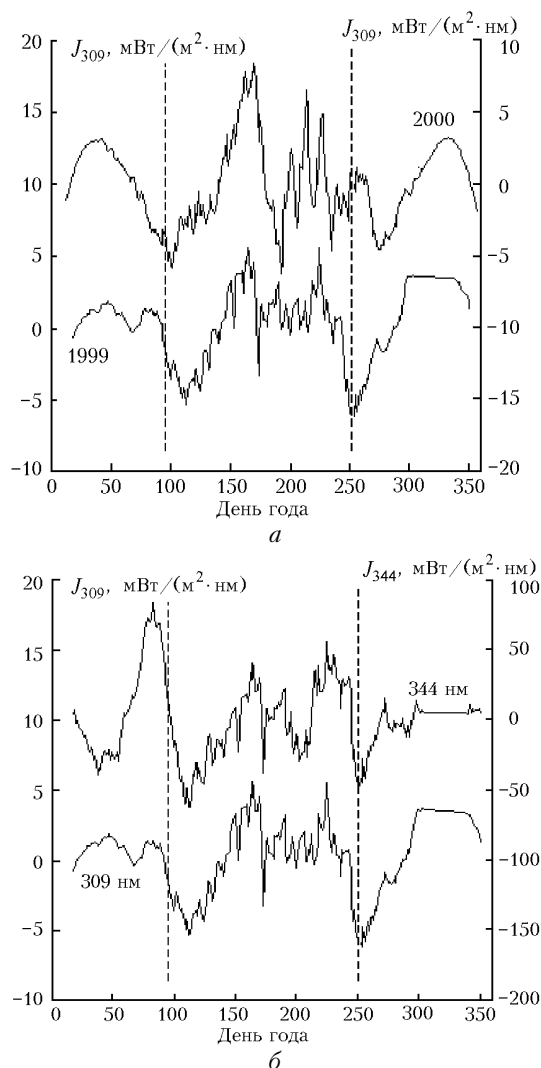


Рис. 3. Нерегулярные вариации УФР после удаления годового хода: *a* – на длине волны 309 нм в 1999 г. (левая шкала) и 2000 г. (правая шкала); *б* – на длинах волн 309 нм (левая шкала) и 344 нм (правая шкала) в 1999 г.

ходом УФР определяется низкочастотная составляющая временного ряда. Однако это не просто гармоника с периодом, равным одному году, поскольку в годовой ход включены крупномасштабные синоптические вариации на протяжении года. Поэтому годовой ход выражался как полином пятой степени от всего годового ряда, соответственно для разных годов и на разных длинах волн он различен.

Регион Восточной Сибири характеризуется наличием азиатского антициклона в первые зимние месяцы (на рис. 3 этому периоду будут соответствовать ~1–80-й дни года) с относительно большим количеством ясных дней [13]. Затем отмечается весеннее усиление циклонической деятельности с преобладанием трансформированных воздушных масс, поступающих из районов арктических морей (на рис. 3 соответственно ~80–120-й дни). Конец весны и первая половина лета характеризуются засушливой погодой с большим количеством ясных дней и высокими температурами (~120–180-й дни). Второй половине лета свойственны обильные осадки и, следовательно, облачная погода (~180–240-й дни), связанная с активизацией циклонической деятельности над Монголией и выходом южных циклонов на юг Прибайкалья. Осенний период характеризуется активизацией циклонической деятельности с запада с относительно коротким периодом устойчивой погоды.

На рис. 3, *a* показаны межгодовые изменения нерегулярных вариаций УФР на длине волны 309 нм для 1999 и 2000 гг. после удаления годового хода и усреднения по 21 дню. Как и следовало ожидать, отмечается повторяемость нерегулярных вариаций. Некоторые отличия амплитуд и временные сдвиги этих вариаций связаны, по-видимому, именно с конкретными проявлениями указанных выше метеорологических особенностей региона в разные годы.

На рис. 3, *б* приведены усредненные нерегулярные вариации для двух длин волн (309 и 344 нм) для 1999 г. Визуально отмечается различная степень коррелированности вариаций УФР для разных сезонов. Для дней года ~100–280-го (угловые высоты Солнца $i > 30-40^\circ$) отмечается высокое подобие форм кривых нерегулярных вариаций УФР для обеих длин волн (с наличием высокочастотной составляющей). В то же время для дней года ~1–100-го и ~280–365-го (соответственно, $i < 44^\circ$ и $i < 30^\circ$) уже отмечаются некоторые различия в динамике нерегулярных вариаций УФР вплоть до антикорреляции (см., например, временной интервал ~1–80-й день).

Эта особенность, вероятно, обусловлена различным вкладом в разные сезоны ослабления УФР за счет рэлеевского и аэрозольного рассеяния и поглощения озоном при различных высотах Солнца (оптических массах). При низких высотах Солнца (большие оптические массы) больший вклад в ослабление прямой радиации за счет большой величины оптической массы оказывают «рэлеевская» и «озонная» атмосферы, которые менее изменчивы, чем аэрозольная компонента. При больших высотах Солнца и, соответственно, малых величинах оптических масс становятся определяющими вариации аэрозольной компоненты (и облачности), которая обладает слабой спектральной зависимостью коэффициентов рассеяния, что приводит к высокой корреляции вариаций УФР на длинах волн 309 и 344 нм.

Наличие явно выраженного годового хода ОСО в рассматриваемом регионе [4], с максимумом в начале года и минимумом осенью, обуславливает отличие

в динамике нерегулярных вариаций УФР в озонозависимой части спектра (309 нм) по сравнению с длинноволновой частью спектра (344 нм), где влияние ОСО становится незначительным. Этим же обстоятельством можно объяснить тот факт, что переход на кривых нерегулярных вариаций от участка с высокой степенью корреляции к участку с более низкой степенью корреляции происходит при разных угловых высотах Солнца. В начале года, когда величина ОСО имеет наибольшее значение, эту границу можно определить вблизи угловой высоты Солнца $\sim 42\text{--}44^\circ$, в то время как осенью соответственно вблизи $\sim 30\text{--}32^\circ$ (на рис. 3 эти условные границы отмечены вертикальными штриховыми линиями).

Межсуточная изменчивость приземной околополюденной УФР также имеет сезонную зависимость. На рис. 4 приведены коэффициенты вариаций регистрируемой УФР для длин волн 309 и 344 нм.

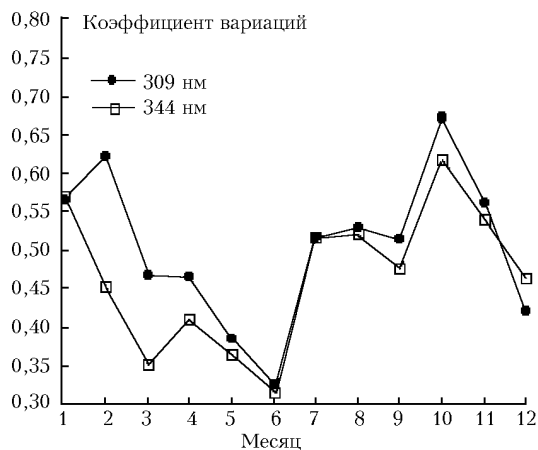


Рис. 4. Коэффициенты вариаций УФР за период наблюдений

Эти коэффициенты определяются как усредненное за одинаковые месяцы года отношение стандартного отклонения к среднемесячному значению УФР. Можно отметить, что максимальные значения коэффициентов вариаций наблюдаются в октябре, минимальные – в июне. При этом коэффициенты вариации для длины волны 309 нм в первые месяцы года (февраль–апрель), когда отмечаются наибольшие значения ОСО, превышают соответствующие значения коэффициентов вариаций для длины волны 344 нм. Это может быть объяснено тем, что наблюдаемые вариации УФР в озонозависимой части спектра определяются как вариациями аэрозольной и рэлеевской компонент, так и вариациями ОСО, в то время как в летние месяцы коэффициенты вариаций УФР на анализируемых длинах волн практически совпадают, что может быть обусловлено, как уже отмечалось выше, преобладанием вклада вариаций аэрозольной компоненты атмосферы.

Таким образом, нерегулярные вариации УФР в разные сезоны года могут быть обусловлены различными причинами (динамика ОСО, аэрозольной компоненты, облачности) и иметь различный характер для разных участков рассматриваемого спектрального

диапазона. Отмеченные выше особенности вариаций УФР должны иметь отличия в других регионах с отличающейся широтой места наблюдения, динамикой ОСО, климатическим и метеорологическим режимом.

Выводы

Для региона Восточной Сибири выделена асимметрия сезонного хода ультрафиолетовой радиации (295–345 нм) относительно летнего солнцестояния. Эта асимметрия обусловлена наличием выраженного сезонного хода общего содержания озона и метеорологическими особенностями региона.

Определены характерные для региона наблюдения нерегулярные вариации приземной УФР и их особенности, зависящие от сезона и выделяемого спектрального диапазона. В случае вариаций коротковолновой части спектра в разные годы отмечается в целом их повторяемость от года к году, а отличия связаны с кратковременными проявлениями метеорологических особенностей в разные годы. Для одновременных вариаций УФР из разных спектральных областей в течение одного года отмечаются их значительная схожесть при высоком и значительные различия при низком Солнце. Это явление связано с изменением вклада в спектральное ослабление УФР рэлеевским и аэрозольным рассеянием и поглощением озоном при различных высотах Солнца.

Работа выполнена при поддержке РФФИ – грант ведущих научных школ Российской Федерации № 00-15-98509.

1. Udelhofen P.M., Gies P., Roy C., Randel W.J. Surface UV radiation over Australia. 1979–1992: Effects of ozone and cloud cover changes on variations of UV radiation // J. Geophys. Res. D. 1999. V. 104. № 16. P. 19135.
2. Крученицкий Г.М., Звягинцев М.А., Иванова Н.С. Содержание озона над Россией и прилегающими территориями в III квартале 1999 г. // Метеорол. и гидрол. 1999. № 11. С. 118–122.
3. Крученицкий Г.М., Кадырова Т.В., Иванова Н.С., Звягинцев М.А. Общее содержание озона над Россией и прилегающими территориями в 1997 г. // Метеорол. и гидрол. 1998. № 2. С. 119–122.
4. Казимировский Э.С., Матафонов Г.К., Вергасова Г.В., Белинская А.Ю. Тренды и низкочастотные вариации в общем содержании озона над Восточной Сибирью // Исслед. по геомагн., аэрон. и физ. Солнца. 1999. Вып. 109. Ч. 2. С. 190–199.
5. Justus C.G., Murphey B.B. Temporal trends in surface irradiance at ultraviolet wavelengths // J. Geophys. Res. D. 1994. V. 99. № 1. P. 1389–1394.
6. McKenzie R.L., Kotkamp M., Seckmeyer G., Erb R., Roy C.R., Gies H.P. and Toomey S.J. First southern hemisphere intercomparison of measured solar UV spectra // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. № 20. P. 2223–2226.
7. Pu Bu Ci Ren, Gjessing Y., Sigernes F. Measurements of solar ultraviolet on the Tibetan Plateau and comparisons with discrete ordinate method simulations // J. Atmos. Terr. Phys. 1999. V. 61. № 6. P. 425–446.
8. Svenoe T., Olsen M., Henriksen K., Stamnes K. Measurements of lunar and solar ultraviolet spectra at high lati-

- tudes // Geomagn. and Aeron. 1994. V. 34. № 5. P. 189–193.
9. *Незваль Е.И.* Статистические характеристики прихода ультрафиолетовой радиации в Москве по данным за 1968–1992 гг. // Метеорол. и гидрол. 1996. № 8. С. 64–71.
10. *Михалев А.В., Черниговская М.А., Шалин А.Ю., Белецкий А.Б.* Спектральные измерения ультрафиолетовой радиации в Восточной Сибири в период аномалии общего содержания озона // Метеорол. и гидрол. 2000. № 3. С. 29–35.
11. *Internet:* <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>
12. *Банах Г.Ф., Ипполитов И.П., Лопасова Т.А.* Влияние атмосферы на коротковолновую границу солнечной УФ-радиации у поверхности Земли // Косм. исслед. 1986. Т. 24. Вып. 6. С. 890–895.
13. *Швер Ц.А., Форманчук Н.П.* Климат Иркутска. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 247 с.

A.V. Mikhalev, M.A. Chernigovskaya, and A.Yu. Shalin. **Irregular variations of the ground-level ultraviolet radiation.**

We present and analyze the data of daily observations of ground-level near-noon ultraviolet (UV) radiation of the Sun in the wavelength range 295–345 nm at Irkutsk (East Siberia, 52°N, 104°E) for 1998–2000.

The study revealed an asymmetry of the seasonal variation of UV radiation with respect to the summer solstice, and its dependence on the wavelength in the spectral range under consideration. Irregular variations of ground-level UV radiation, typical of the region, were identified, which depend on the season and the selected spectral range. The detected features of the irregular variations are interpreted in terms of the existence of a pronounced annual variation in total ozone contents, the variation (during different seasons) of the proportion of the contribution to the attenuation of UV radiation from the Rayleigh and aerosol scattering, the absorption by ozone, and the specific climatic weather regime in East Siberia.