

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.521.17

Многолетний мониторинг суммарной и ультрафиолетовой (В) радиации в районе г. 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 5.10.2011 г.

Представлены результаты мониторинга суммарной (0,3–2,4 мкм) и ультрафиолетовой (0,28–0,32 мкм) радиации в г. Томске в 2003–2010 гг. В этот период наблюдался устойчивый радиационный режим с аномально высоким поступлением суммарной солнечной радиации в 2003 г. Отмечена тенденция спада приходящей УФ–В-радиации, при этом не выявлено существенного влияния общего содержания озона на изменения УФ–В-радиации в теплый период.

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

Введение

Приходящая солнечная радиация играет важную роль во многих фотохимических и химико-биологических процессах, происходящих в атмосфере Земли и на ее поверхности, участвует в формировании климата, влияет на биосферу планеты. Авторы работы [1] отмечают, что за последние 30 лет (1979–2008) наблюдается рост ультрафиолетовой радиации на Земле. При этом в Южном полушарии зональный и среднегодовой рост УФ-радиации происходит значительно быстрее, чем в Северном полушарии. Для безоблачных условий на широте 50° ю.ш. среднезональные изменения радиации на длине волны 0,305 мкм составили 23%, а для 50° с.ш. – 9%.

Уровень и вариации суммарной и приземной ультрафиолетовой радиации могут быть различны в зависимости от физико-географических и климатических особенностей региона. По этой причине в различных точках планеты постоянно ведется мониторинг солнечной радиации и проводится анализ не только многолетних [2–9], но и краткосрочных региональных изменений приходящей радиации [10–14 и др.].

Установлено, что существенное влияние на приходящую солнечную радиацию оказывают: изменение общего содержания озона (ОСО), наличие облачности, альbedo подстилающей поверхности, аэрозольная оптическая толщина, примеси воздуха. Это влияние в разных участках спектра различно. Так, вариации среднемесячных значений УФ-радиации на длине волны 0,305 мкм за счет изменения ОСО могут достигать 50%, облачности – 35%, а за

счет изменения альbedo подстилающей поверхности – в среднем от 3 до 13% в зависимости от сезона [6]. Проведенные авторами [15] исследования показали, что для высоких широт (Тромсо (69,65° с.ш., 18,95° в.д.), Норвегия) наличие снежного покрова увеличивает месячную эритемную дозу радиации более чем на 20%, а наличие облачности – уменьшает на 20–40%.

В Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН на базе созданного в 1992 г. автоматического поста (ТОР-станция) [16] с апреля 1995 г. ведутся систематические измерения суммарной солнечной радиации Q , а с октября 2002 г. интегральной интенсивности УФ–В-радиации. На основе накопленных данных в настоящей статье анализируются изменения радиационного режима в Томске в период с 1995 по 2010 г.

Приборная часть радиационного комплекса ТОР-станции

Измерения суммарной солнечной радиации проводятся стандартным пиранометром Ю.Д. Янишевского М-115М (диапазон измерения 0,3–2,4 мкм). В ходе эксплуатации пиранометра в мониторинговом режиме выяснилось, что герметичность его системы нарушалась (возможно от постоянного перепада атмосферного давления и температуры воздуха внутри пиранометра и снаружи), что приводило к выравниванию парциального давления водяного пара, а впоследствии к отпотеванию внутренней поверхности стеклянной полусферы в теплое время года либо затягиванию инеем в холодное время года. С ноября 2009 г. пиранометр М-115М используется с модернизированной системой осушения в виде вынесенного за пределы опоры крепления пиранометра влагопоглотителя – прозрачного

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

патрона, заполненного силикагелем объемом 150 мл, с одной стороны соединенным герметичным воздушным трактом с внутренним объемом пиранометра, а с другой стороны – с наружной атмосферой. Наблюдения за пиранометром с момента изменения системы осушения показали, что полностью исчезло встречавшееся ранее отпотевание внутренней поверхности стеклянной полусферы. Значительно упростился контроль за состоянием силикагеля и процедура его замены. Также удалось уйти от второго недостатка штатной конструкции, т.е. сделать систему открытой и избежать разности давлений между внутренним объемом пиранометра и окружающей средой.

Калибровка пиранометра М-115М осуществляется по «образцовому» пиранометру М-115М № 313, который проходил калибровку в Бюро поверки ЗапСиб УГМС.

В июле 2010 г. была проведена интеркалибровка пиранометра М-115М с зарубежным пиранометром SMP-6 фирмы Kipp&Zonen. В качестве средства регистрации использовался многофункциональный контрольно-измерительный комплекс на базе PXI, произведенный компанией National instruments. Измерения проводились с посекундным интервалом сериями по 10 мин, после чего полученные данные усреднялись и сравнивались. Были получены удовлетворительные результаты ($R^2 = 0,9999$) в виде формулы

$$y = 0,9909x + 0,9561,$$

где x – значения пиранометра SMP-6, y – пиранометра М-115М.

Измерения интегральной интенсивности УФ–В-радиации проводятся ультрафиолетовым пиранометром UVB-1 (Yankee Environmental Systems, Inc., США), измеряющим интегральную по сфере интенсивность УФ–В-радиации в диапазоне длин волн 0,28–0,32 мкм.

Измерения обоими пиранометрами проводятся на ТОР-станции один раз в 1 ч с осреднением за 10 мин. Пиранометры согласуются с ЭВМ посредством специальных преобразователей. Итоговый результат, фиксируемый ЭВМ, получается осреднением 600 разовых значений и расчетом среднеквадратического отклонения по ним для каждой из измеряемых величин.

Результаты измерений

Накопленные за 15-летний период измерения данные позволяют провести анализ поступления суммарной солнечной радиации Q и ее межгодовой изменчивости в Томске, а также сделать первые оценки поступления УФ–В-радиации в данном районе.

Суммарная солнечная радиация

По полученным данным, среднегодовой приход солнечной радиации за 15-летний период составил $(3845,36 \pm 221,4)$ МДж/м². Коэффициент вариации V годовых сумм суммарной радиации равнялся 5,9%, что согласуется с данными [17, 18] для Западной Сибири до 1999 г. ($V = 4\div 6\%$).

На рис. 1 приведен график многолетнего поступления (1996–2010 гг.) суммарной солнечной радиации в Томске.

Видно, что за рассматриваемый период наблюдался рост Q (относительная величина тренда составила 5,9%). Согласно выводам авторов работы [2], сделанным по результатам обработки данных наземных наблюдений суммарной радиации, в период 1960–1990 гг. наблюдался отрицательный тренд суммарной радиации на поверхности суши в пределах 6–9 Вт/м² (это эквивалентно 4–6% спада суммарной радиации за 30 лет), а позднее 1990 г. возник противоположный тренд.

В рассматриваемый период можно отметить аномально высокие значения суммарной солнечной радиации в 2003 г. Особенность 2003 г. в том, что наблюдался минимум осадков при ежегодном за последние годы их избытке на территории Западной Сибири (<http://climate.mecom.ru>). Особенность 2003 г. также в том, что циклоны в районе Томска проходили только в ноябре, при этом наблюдались южная и юго-западная части циклонов. Из этого следует, что имел место выход южных циклонов с центром западнее Томска. В 2010 г. зарегистрировано минимальное годовое поступление суммарной солнечной радиации за период наблюдения (1995–2010). Нисходящая линия тренда Q с 2003 по 2010 г. определяется положением данного пика относительно шкалы времени.

Подробнее остановимся на межгодовой изменчивости Q , так как месячный приход суммарной

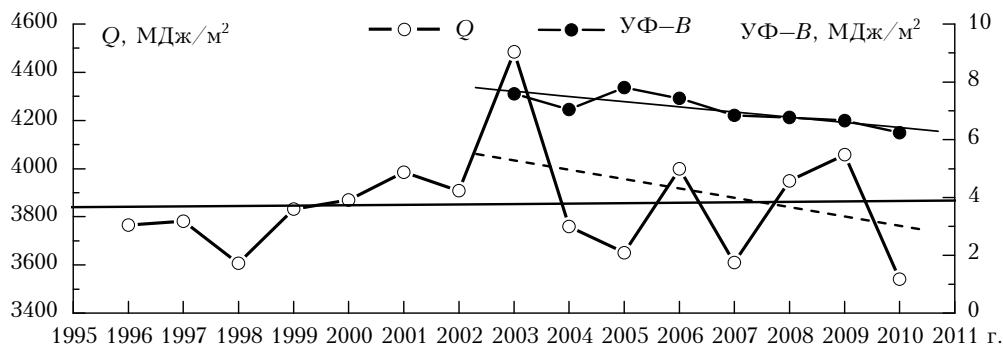


Рис. 1. Годовое поступление суммарной и ультрафиолетовой (В) радиации в Томске в 1995–2010 г.

радиации более изменчив от года к году, чем годовой. Из рис. 2, а видно, что величина и диапазон колебаний месячных сумм радиации зависят от сезона. В весенне-летний период коэффициент вариации месячных сумм Q менялся от 8 до 12%, а в осенний период составил 15–17%. Неустойчивость циркуляционных процессов в зимний период нашла свое проявление в увеличении коэффициента вариации месячных сумм суммарной радиации до 20%. В весенне-летний период выделяются неустойчивостью месячного поступления солнечной радиации апрель и июнь ($V = 12\%$) и достаточной стабильностью июль ($V = 8\%$).

В целом в течение 1995–2010 гг. наблюдались слабый положительный тренд Q в осенне-зимний период и более значительное возрастание летом (за счет 2003 г.). В весенний период отмечено наличие отрицательного тренда суммарной радиации. Внутри сезонов картина несколько иная. Межгодовая изменчивость месячных сумм Q для каждого месяца имеет положительный тренд кроме 2 мес (март и май). Увеличение общей N_o и особенно нижней N_n облачности в марте и мае привело к уменьшению месячных сумм суммарной радиации и отрицательному тренду. Коэффициент корреляции r между месячными суммами суммарной радиации и средним баллом общей и нижней облачности составил: в марте $r(Q, N_o) = -0,70$ и $r(Q, N_n) = -0,61$, в мае $-0,70$ и $-0,81$ с доверительной вероятностью $q = 0,975$.

Ультрафиолетовая (В) радиация

За период измерения УФ–В-радиации (2003–2010) была отмечена тенденция спада ультрафиолетовой радиации в нашем регионе (см. рис. 1). При этом среднегодовое поступление УФ–В-радиации составило $(704,72 \pm 44,29) \cdot 10^4$ Дж/м². Надо отметить, что при достаточно устойчивом уровне УФ–В-радиации в осенне-зимний период весной и осенью наблюдалась тенденция уменьшения уровня приземной УФ–В-радиации. Из рис. 2, б видно, что наибольшее падение УФ–В-радиации отмечено в июне 2007–2010 гг., а в июне и июле 2010 г. зарегистрировано одинаковое поступление УФ–В-радиации ($118,3 \cdot 10^4$ Дж/м²).

Относительное изменение УФР в i -м году и j -м месяце (V_{ij}) можно представить как сумму относительных вариаций УФР за счет различных факторов [3]:

$$V_{ij}(\tau_a, X, N_{ef}, A) =$$

$$= V1_{ij}(X) + V2_{ij}(\tau_a, A) + V3_{ij}(N_{ef}, A) + V4_{ij}(\tau_c, A),$$

где $V1(X)$ – изменчивость УФР за счет общего содержания озона (X), $V2(\tau_a, A)$ – за счет аэрозольной оптической толщи (τ_a), $V3(N_{ef}, A)$ и $V4(\tau_c, A)$ – за счет вариации облачных параметров: эффективного балла облачности N_{ef} и оптической толщи облаков τ_c , которые выражаются через величину пропускания облака C_o .

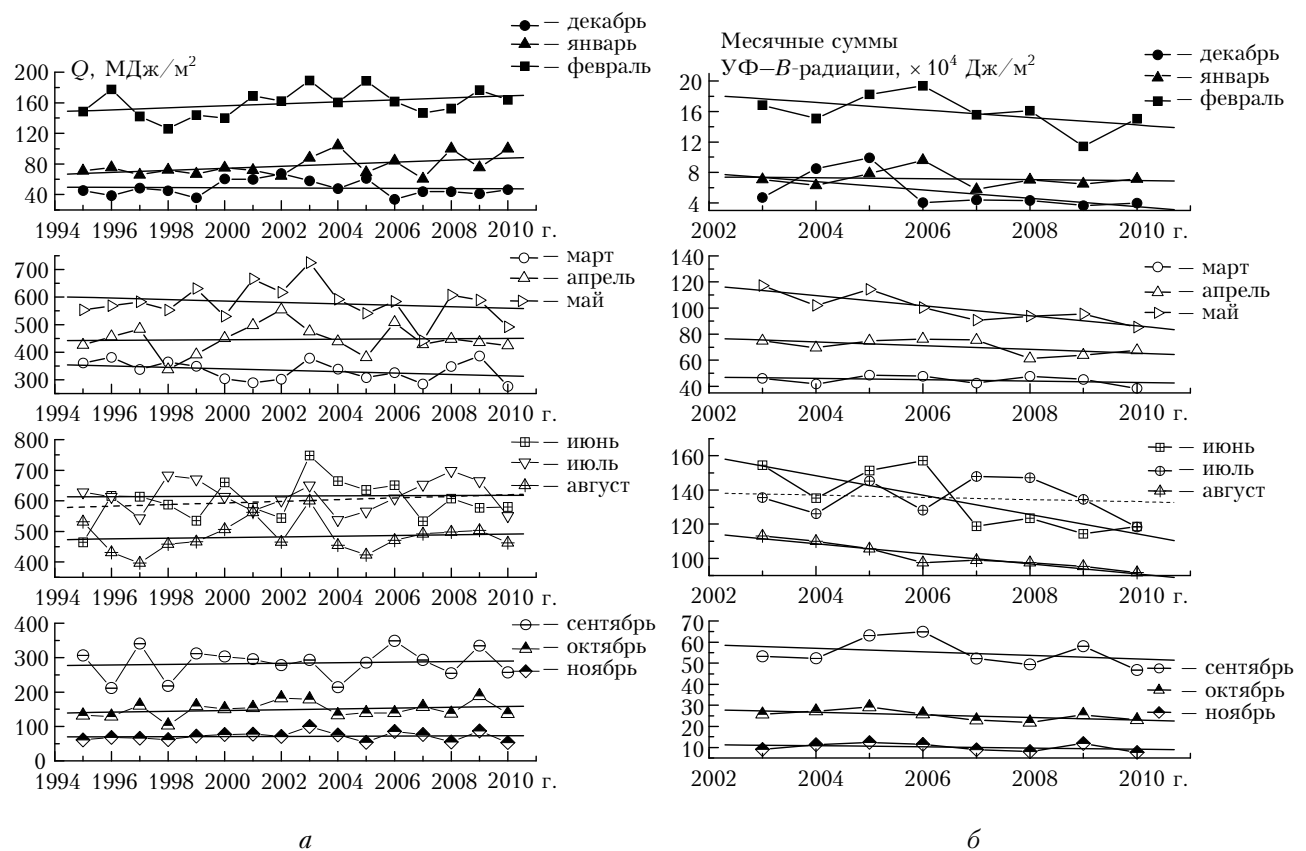


Рис. 2. Межгодовая изменчивость месячных сумм суммарной (а) и УФ-В (б) радиации в Томске

Наиболее важными из указанных факторов являются количество общей облачности и ОСО. Из рис. 3 видно, что с 1995 по 2010 г. в районе Томска наблюдался незначительный рост среднего балла нижней и общей облачности в светлое время суток, а разброс среднегодовых значений общего содержания озона не превышает 40 е.Д.

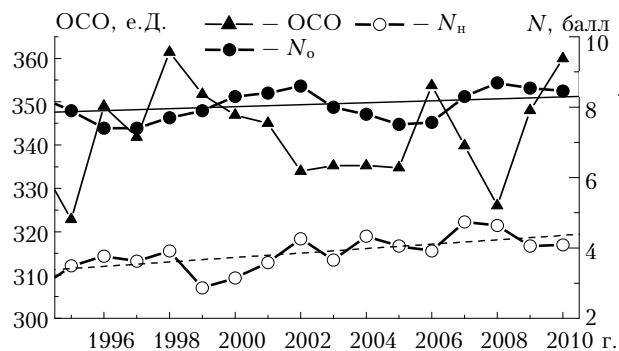


Рис. 3. Межгодовая изменчивость общего содержания озона, количества общей N_o и нижней N_n облачности в 1995–2009 гг. в Томске

В нашем регионе наибольшее количество общей облачности наблюдается в осенне-зимний период, при этом повторяемость пасмурной погоды составляет больше 75%, а среднее количество облачности – 8 баллов. Как показано в [19, 20], сплошной покров облаков (особенно нижнего яруса) в среднем уменьшает потоки суммарной УФ-радиации на 70–85%, поэтому в осенне-зимний период изменение количества облачности является основным фактором, влияющим на приход УФ-В-радиации.

Для теплого периода (май–сентябрь), характеризующегося однородными условиями подстилающей поверхности, сделана оценка влияния ОСО на межгодовую изменчивость УФ-В-радиации.

Для оценки изменений УФР за счет озона использовался радиационный фактор усиления R_x :

$$V_{1ij}(X) = (X_{ij}R_x) / X_jR_x.$$

В теплый период (за весь период измерений) отмечена слабая взаимосвязь изменения УФ-В-радиации с ОСО, коэффициент корреляции равен $-0,38$ с уровнем значимости $0,995$ (рис. 4).

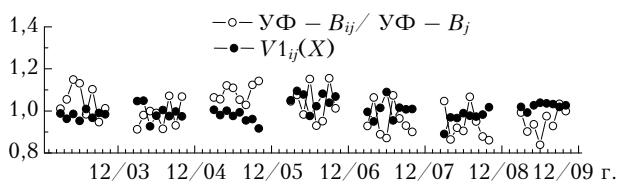


Рис. 4. Взаимосвязь изменения ультрафиолетовой радиации и общего содержания озона

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

За рассматриваемый период в Томске наблюдался устойчивый радиационный режим с аномально высоким поступлением суммарной солнечной радиации в 2003 г. Зарегистрированы слабый по-

ложительный тренд Q в осенне-зимний период и более значительное возрастание суммарной солнечной радиации в летний период (за счет 2003 г.).

В период 2003–2010 гг. отмечена тенденция спада приходящей ультрафиолетовой (В) радиации. Выявлена слабая взаимосвязь изменения УФ-В-радиации и ОСО в теплый период ($r = -0,38$).

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, 14.740.11.0204 и 11.519.11.5009.

1. Herman J.R. Global increase UV irradiance during the past 30 year (1979–2008) estimated from satellite data // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. D04203, doi:10.1029/2009JD012219.
2. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Радиационный баланс Земли как индикатор глобального экологического равновесия // Исслед. Земли из космоса. 2006. № 1. С. 3–9.
3. Chubarova N.Y., Nezval I.Y. Thirty year variability of UV irradiance in Moscow // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 10. P. 12529–12539.
4. Chubarova N.Y. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8, N 12. P. 3025–3031.
5. Lam K.S., Aijun Ding, Chan L.Y., Wang T., Wang T.J. Ground-based measurements of total ozone and UV radiation by the Brewer spectrophotometer #115 in Hong Kong // Atmos. Environ. 2002. V. 36, N 12. P. 2003–2012.
6. Simic S., Weihs P., Vacek A., Kromp-Kolb H., Fitzka M. Spectral UV measurements in Austria from 1994–2006: investigations of short- and long-term changes // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8, N 23. P. 7033–7043.
7. 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.
8. Hicke J.A., Slusser J., Lantz K., Pascual F.G. Trends and interannual variability in surface UVB radiation over 8 to 11 years observed across the United States // J. Geophys. Res. V. 113. D21312, doi:10.1029/2008JD009826.
9. Semenov V.K., Ignatova N.I., Arefev V.N., Kashin F.V. Measurements of solar UV radiation and total ozone in mountain region of Northern Tien Shan // Proc. Quadrennial Ozone Symposium, 1–8 June 2004. Kos, Greece. P. 1148–1149.
10. Bernhard G., Booth C.R., Ehrmanjian J.C. Comparison of UV irradiance measurements at Summit, Greenland; Barrow, Alaska; and South Pole, Antarctica // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8, N 16. P. 4799–4810.
11. Palancar G.G., Toselli B.M. Effects of meteorology on the annual and interannual cycle of the UV-B and total radiation in Cordoba City, Argentina // Atmos. Environ. 2004. V. 38, N 7. P. 1073–1082.
12. Gutierrez-Marco E., Hernandez E., Camacho J.L., Labajo A. Analysis of UVB values in the centre of the Iberian Peninsula // Atmos. Res. 2007. V. 84, N 4. P. 345–352.
13. Bo Hu, Yuesi Wang, Gueangren Liu. Ultraviolet radiation spatio-temporal characteristics derived from the ground-based measurements taken in China // Atmos. Environ. 2007. V. 41, N 27. P. 5707–5718.

14. Акулинин А.А., Смыков В.П. Изменчивость уровня проходящей солнечной ультрафиолетовой радиации в Кишиневе, Молдова // Междунар. симпоз. «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2011): Сб. тезисов. 21–24 июня 2011. СПб. С. 168.
15. Kylling A., Dahlback A., Mayer B. The effect of clouds and surface albedo on UV irradiances at a high latitude site // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27, N 9. P. 1411–1414.
16. Аришинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 53–61.
17. Пивоварова З.И., Стадник В.В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 292 с.
18. Белан Б.Д., Наливайко А.А., Сакерин С.М., Скляднева Т.К. Особенности многолетней изменчивости характеристик солнечной радиации в Западно-Сибирском регионе // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12, № 3. С. 275–282.
19. Чубарова Н.Е. Пропускание суммарной УФ-радиации облаками разных типов // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1993. Т. 29, № 5. С. 639–645.
20. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Изакова О.М., Незваль Е.И., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А. О зависимости пропускания суммарной радиации в различных областях спектра от балла общей облачности // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1998. Т. 34, № 1. С. 141–144.

B.D. Belan, G.A. Ivlev, T.K. Sklyadneva. Many-year monitoring of total and UV (B) radiation in Tomsk city.

Results of monitoring total (0,3–2,4 microns) and ultra-violet (0,28–0,32 μm) radiation in Tomsk in 2003–2010 are submitted. For the considered period in Tomsk the steady radiation mode was observed, with abnormal high receipt of total solar radiation in 2003. The tendency to recession of coming UV–IN-radiation is marked, essential influence of OCO on changes of UV–B in the warm period is not revealed.