

УДК 550.388

DOI: 10.26907/rwp29.2025.151-154

ЭФФЕКТЫ ЗИМНИХ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ НА ВЫСОТАХ ВЕРХНЕЙ МЕЗОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ (МНТ) И В ОБЛАСТИ D ИОНОСФЕРЫ

И.В. Медведева, К.Г. Ратовский

Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а,

E-mail: ivmed@iszf.irk.ru, ratovsky@iszf.irk.ru

Аннотация. Представлены результаты комплексного анализа эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений (ВСП) в январе-феврале 2008 и январе 2013 гг на высотах верхней мезосферы и нижней термосферы (МНТ) (80-100 км) и в области D ионосферы (50-90 км). Исследование проведено на основе данных радиофизических и спектрометрических измерений на комплексе инструментов Института солнечно-земной физики СО РАН и спутниковых данных Aura MLS. Выявлено, что вариации наименьшей частоты отражений на ионограмме f_{min} во время анализируемых ВСП показывают высокую степень корреляции с температурой атмосферы на высотах МНТ. Обнаружено усиление возмущений f_{min} и температуры области мезопаузы, что может быть вызвано интенсификацией активности планетарных волн в верхней атмосфере во время ВСП. Полученные результаты важны для оценки возрастания поглощения коротких радиоволн во время зимних внезапных стратосферных потеплений.

Ключевые слова: внезапное стратосферное потепление; ионосфера; атмосфера; атмосферно-ионосферное взаимодействие

EFFECTS OF WINTER SUDDEN STRATOSPHERIC WARMINGS AT ALTITUDES OF THE UPPER MESOSPHERE AND LOWER THERMOSPHERE (MLT) AND IN THE IONOSPHERIC D-REGION

I.V. Medvedeva, K.G. Ratovsky

Abstract. We present the results of a comprehensive analysis of the effects of winter sudden stratospheric warmings (SSW) in January–February 2008 and January 2013 at the altitudes of the upper mesosphere and lower thermosphere (MLT) (80–100 km) and in the ionospheric D-region (50–90 km). The study is based on the data of radiophysical and spectrometric measurements with using the instrument complex of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS and Aura MLS satellite data. It is revealed, that variations in the minimum frequency of ionogram echoes (f_{min}) during the analyzed SSWs show high correlation with the atmospheric temperature in the MLT. We revealed an increase in the disturbances of f_{min} and of the mesopause temperature, which can be caused by the intensification of planetary wave activity in the upper atmosphere during SSWs. The obtained results are important for assessing the increase in the absorption of short radio waves during winter sudden stratospheric warmings.

Keywords: sudden stratospheric warming; ionosphere; atmosphere; atmosphere-ionosphere coupling

Введение

Динамические возмущения в нижних слоях атмосферы могут иметь существенное влияние на верхнюю нейтральную атмосферу и ионосферу. Одним из наиболее ярких процессов, во время которого проявляется взаимодействие различных слоев атмосферы, является зимнее внезапное стратосферное потепление (ВСП), когда происходит значительное и внезапное повышение температуры в зимней полярной стратосфере. Эффекты, связанные с ВСП, могут наблюдаться в большом диапазоне широт, от полюса до тропиков, и возмущениями охватывается большой высотный диапазон – от тропосферы до термосферы. В наших предыдущих исследованиях были проанализированы эффекты ВСП на высотах области мезопаузы и в F2-области ионосферы [1, 2]. В работе [3] высказана гипотеза, о том, что хорошо коррелированные колебания в ионизированных и нейтральных компонентах D-области, мезосферы и стратосферы, вероятно, обусловлены крупномасштабными распространяющимися вверх планетарными возмущениями, генерируемыми в нижележащей атмосфере. Целью настоящей работы являлся комплексный анализ эффектов ВСП в январе-феврале 2008 и январе 2013 гг на высотах верхней мезосферы и нижней термосферы (МНТ) (80-100 км) и в области D

ионосферы (50–90 км), который имеет практическое значение для оценки возрастания поглощения коротких радиоволн во время зимних внезапных стратосферных потеплений.

Используемые данные и методика анализа

Исследование проведено с использованием экспериментальных данных, полученных на комплексе инструментов Института солнечно-земной физики СО РАН. Для анализа ионосферных эффектов ВСП использованы данные о наименьшей частоты отражений на ионограмме (f_{min}), полученные при помощи вертикального зондирования на иркутском (52.3° N, 104.3° E) ионозонде DPS-4. Величина наименьшей частоты отражений на ионограмме f_{min} показывает степень поглощения радиоволн при вертикальном зондировании ионосферы и пропорциональна электронной концентрации и частоте соударений в D-области, последняя в свою очередь пропорциональна температуре D-области. Анализировались средние дневные значения f_{min} , а также возмущения Δf_{min} , представляющие собой относительную разницу между наблюдаемыми значениями и значениями скользящей 27-дневной медианы.

Для анализа проявления эффектов ВСП на высотах МНТ использованы данные о вращательной температуре молекулы гидроксила (полоса OH(6-2), 834.0 нм, ~87 км), получаемой из спектрометрических измерений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.8° N, 103.1° E, Торы), и спутниковые данные измерений вертикальных профилей температуры атмосферы Aura MLS (<http://disc.gsfc.nasa.gov/Aura>). Вращательная температура молекулы гидроксила отображает температуру атмосферы на высотах мезопаузы. Анализировались остаточные вариации температуры OH после удаления сезонного тренда, рассчитанного по методу наименьших квадратов. К анализу были привлечены также данные реанализа MERRA-2 о температуре и динамике средней атмосферы северного полушария (<http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/>).

Результаты и обсуждение

Для анализа были выбраны события зимних внезапных стратосферных потеплений в январе-феврале 2008 и январе 2013 гг., относящихся к различному типу.

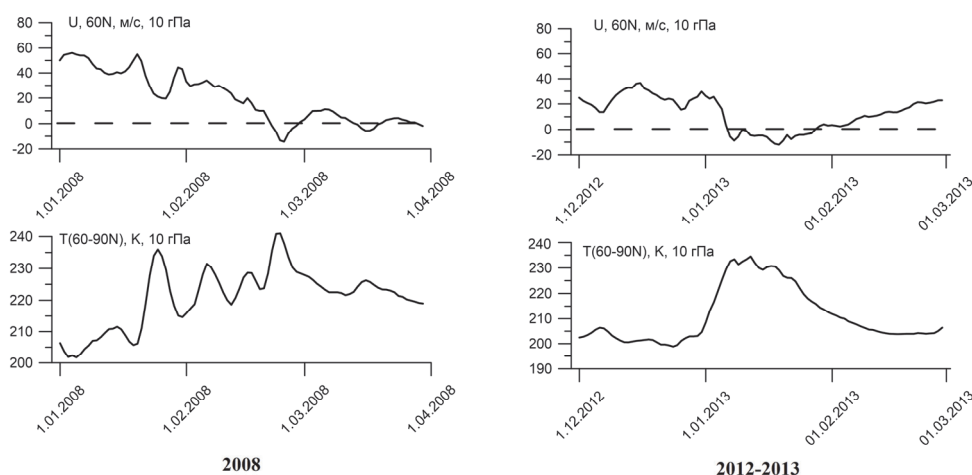


Рис. 1. Зональные характеристики стратосферы на высотном уровне 10 гПа (~32 км) по данным реанализа MERRA-2: среднезональная (60–90° с.ш.) температура (верхняя панель); среднезональный (60° с.ш.) зональный ветер (нижняя панель).

Графики на левой панели соответствуют временному интервалу 1.01–1.04.2008 г, на правой панели – 1.12.2012–1.03.2013 гг.

Анализ зональных характеристик средней атмосферы над северным полушарием по данным реанализа MERRA-2 показал, что январе-феврале 2008 г. в северном полушарии произошло четыре события ВСП, из которых последнее сопровождалось произошедшим 22 февраля изменением направления среднего зонального ветра на 60° с.ш. и высотном уровне

10 гПа с западного на восточное, и может быть классифицированы как значительное (major) ВСП (рис.1, левая панель). Во время значительного ВСП в январе 2013 г реверс среднего зонального ветра произошел 6 января (рис. 1, правая панель).

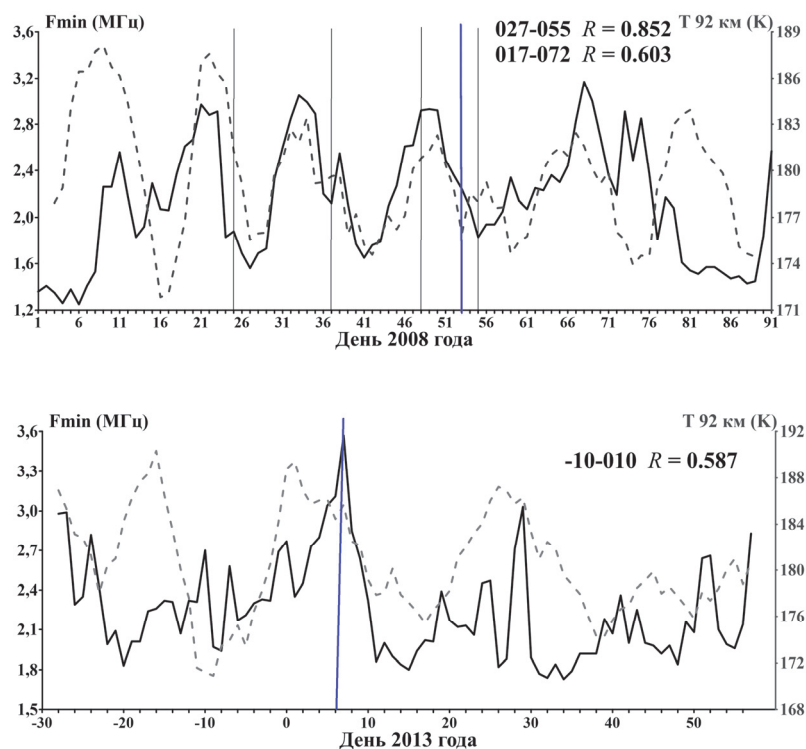


Рис. 2. Вариации средних значений f_{min} для дневных условий (сплошные линии) и температуры атмосферы T на высоте ~ 92 км, (пунктир). Верхняя панель – для событий ВСП 2008 г., нижняя панель – для ВСП 2013 г. Серые тонкие вертикальные линии отмечают максимумы средней зональной температуры на высотном уровне 10 гПа (~ 32 км) для ВСП 2008 г.: 25.01, 06.02, 17.02 и 24.02). Синие жирные вертикальные линии отмечают даты начала реверса среднего зонального ветра для значительных ВСП (22.02.2008 г. и 06.01.2013 г.). R-коэффициенты корреляции f_{min} и $T(92 \text{ км})$ для указанных интервалов дней года

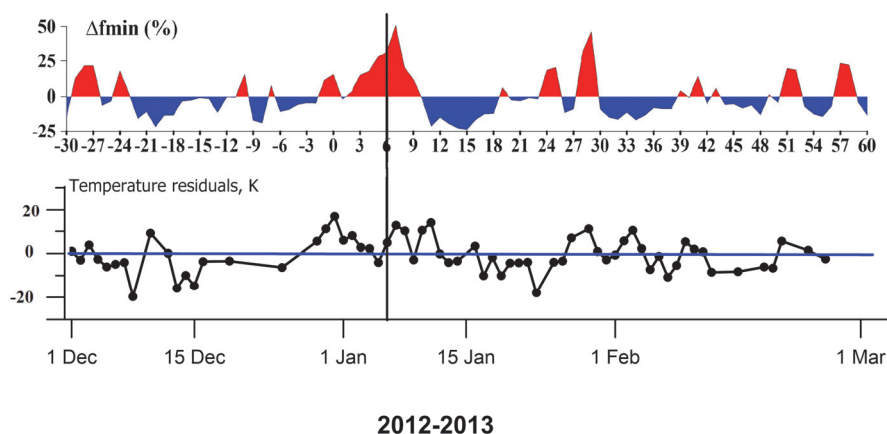


Рис. 3. Вариации возмущений Δf_{min} (верхняя панель) и остаточные отклонения температуры мезопаузы ΔT (нижняя панель) после исключения сезонных вариаций, анализируемый временной интервал 1.12.2012–1.03.2013. Вертикальная линия отмечает дату смены направления зонального (60°с.ш. , 10 гПа) ветра

Корреляционный анализ представленных на рис. 2 вариаций f_{min} и температуры атмосферы на высоте 92 км выявил достаточно высокую степень их корреляции. Так, в январе-феврале 2008 г. во время событий ВСП коэффициент корреляции R составил 0.852. Для ВСП в январе 2013 г. наилучшая корреляция ($R=0.587$) наблюдалась в период реверса среднего зонального ветра.

На рис. 3 представлены вариации возмущений Δf_{min} (верхняя панель) и остаточные вариации температуры области мезопаузы, полученные по данным измерений эмиссии ОН, для временного интервала 1.12.2012–1.03.2013. Межсуточные вариации температуры обусловлены в основном влиянием планетарных волн. Обнаружено, что в период наиболее значительных возмущений температуры и динамики средней атмосферы и реверса среднего зонального ветра (рис. 1), наблюдается усиление изменчивости Δf_{min} и ΔT (рис. 3), и их вариации согласуются достаточно хорошо, что может быть вызвано интенсификацией активности планетарных волн в верхней атмосфере во время ВСП.

Заключение

Проведено исследование эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений в январе-феврале 2008 и январе 2013 гг. на высотах верхней мезосферы и нижней термосферы (МНТ) (80–100 км) и в области D ионосферы (50–90 км). Для анализа ионосферных эффектов ВСП использованы данные о наименьшей частоты отражений на ионограмме (f_{min}), полученные при помощи вертикального зондирования на иркутском (52.3° N, 104.3° E) ионозонде DPS-4. Для анализа проявления эффектов ВСП на высотах МНТ использованы данные о вращательной температуре молекулы гидроксила (полоса ОН(6-2), 834.0 нм, ~87 км), получаемой из спектрометрических измерений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.8° N, 103.1° E, Тору), и спутниковые данные измерений вертикальных профилей температуры атмосферы Aura MLS.

Выявлено, что вариации f_{min} во время анализируемых ВСП показывают высокую степень корреляции с температурой атмосферы на высотах МНТ. Для ВСП в январе 2013 г. был проведен анализ возмущений Δf_{min} и ΔT . Обнаружено, что в период наиболее значительных возмущений температуры и динамики средней атмосферы и реверса среднего зонального ветра, наблюдается усиление возмущений Δf_{min} и ΔT , и их вариации согласуются достаточно хорошо, что может быть вызвано интенсификацией активности планетарных волн в верхней атмосфере во время ВСП.

Полученные результаты важны для оценки возрастания поглощения коротких радиоволн во время зимних внезапных стратосферных потеплений.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00187, <https://rscf.ru/project/25-17-00187>.

Список литературы

1. Medvedeva I., Ratovsky K. Effects of the 2016 February minor sudden stratospheric warming on the MLT and ionosphere over Eastern Siberia // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – Vol. 180. – 2018. – P. 116–125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2017.09.007>.
2. Medvedeva I., Ratovsky K. Manifestation of wave activity in the upper atmosphere during winter sudden stratospheric warmings // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2020. – Vol. 17. – No. 6. – P. 159–166. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-6-159-166.
3. Kazimirovsky E., Herraiz M., De La Morena B.A. Effects on the ionosphere due to phenomena occurring below it // Surveys in Geophysics. – 2003. – Vol. 24. – P. 139–184. DOI: 10.1023/A:1023206426746.