

АНАЛИЗ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА В МЕЗОСФЕРЕ И НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЕ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ГОДА

О.С. Зоркальцева, Р.В. Васильев, В.И. Мордвинов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
olgak@iszf.irk.ru

ANALYZING WIND REGIME OF THE MESOSPHERE AND LOWER THERMOSPHERE IN BOREAL WINTER

O.S. Zorkaltseva, R.V. Vasilyev, V.I. Mordvinov

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
olgak@iszf.irk.ru

Аннотация. Мезосфера и нижняя термосфера являются наименее изученными областями земной атмосферы. Причиной этого является недостаточный мониторинг верхних слоев атмосферы. На базе ИСЗФ СО РАН есть прибор для измерения скорости ветра и направления ветра в верхних слоях атмосферы — интерферометр Фабри-Перо (ИФИ). В этой статье мы рассмотрим измерения ИФИ за два зимних периода — 2016/2017 и 2017/2018. Глобальную динамику стратосферы мы оценивали по данным архива ERA-interim. В 2017 и 2018 гг. данные интерферометра о скорости ветра на высоте 90 км показали отклик на внезапные стратосферные потепления (ВСП). Отметим, что ВСП отличались вертикальным развитием и пространственной структурой, а также происходили во время разных фаз квазидвухлетнего колебания.

Ключевые слова: мезосфера и нижняя термосфера, внезапное стратосферное потепление.

Abstract. The mesosphere and lower thermosphere are the least studied areas of the earth atmosphere. The reason for this is the lack of monitoring. We have an instrument for measuring wind speed and wind direction — the Fabry-Perot interferometer of the ISTP SB RAS. In this paper, we consider two winter periods — 2016/2017 and 2017/2018. Sudden stratospheric warming's (SSW) are investigated according to the ERA-Interim reanalysis archive. In 2017 and 2018, the interferometer data on wind speed at an altitude of 90 km showed a responses to the SSW, despite the fact that the SSW differed in vertical development and spatial environment, also occurred on the sections quasi-biennial oscillation phases.

Keywords: Mesosphere and lower thermosphere, sudden stratospheric warming.

ВВЕДЕНИЕ

Средняя атмосфера связывает тропосферные процессы и процессы в верхней атмосфере. Исследование динамических процессов в этой области представляет актуальную задачу решение которой позволит лучше понять закономерности переноса возмущений по вертикали, развитие по вертикали наиболее ярких событий в динамике верхней атмосферы — внезапных стратосферных потеплений. Известно, что осредненная вдоль широтных кругов зональная компонента скорости ветра, направленная в стратосфере с запада на восток в зимнем полушарии, и с востока на запад — в летнем полушарии, достигает максимальных значений 60–70 м/с на высоте около 70 км. Далее с высотой ее значения уменьшаются, и на высоте от 90 до 100 км зональная компонента скорости меняет знак [Andrews et al., 1987]. Помимо сильных струйных течений в стратосфере наблюдаются экваториальные квазидвухлетние колебания (КДК) зонального ветра и полугодовые колебания в мезосфере, обусловленные взаимодействием волн разных типов со средним течением [Vincent, 2015]. Связь этих возмущений с внезапными стратосферными потеплениями, процессами разрушения полярного вихря пока еще не совсем понятна и является объектом широких исследований. К сожалению, над некоторыми регионами, и, в частности, над Восточной Сибирью данных наблюдений для подобного рода исследований пока еще недостаточно.

Отдельной проблемой остается недостаточное понимание процессов взаимодействия между нижней, средней и верхней атмосферой. Существенное

влияние на циркуляцию стратосферы, мезосферы и нижней термосферы оказывают волны: приливные (регулярная составляющая), планетарные и гравитационные (нерегулярная составляющая). По крайней мере, частично, источники нерегулярных колебаний находятся в более низких слоях атмосферы. По мере распространения волн вверх их амплитуда растет, компенсируя уменьшение плотности с высотой [Limprasuvan et al., 2016]. Детали этих изменений, к сожалению, известны плохо, особенно в регионах с редкой сетью метеорологических наблюдений. Наименее изученной является область мезосферы нижней термосферы (60–110 км).

На сегодняшний день накоплен ряд эмпирических фактов о влиянии динамики нижней и средней атмосферы на ветровой режим МНТ. Наиболее четко прослеживается влияние нижних слоев в периоды внезапных стратосферных потеплений (ВСП). В работе [Jun-Feng et al., 2017] исследован ветровой режим мезосферы и нижней термосферы над Wuhan (30° N, 114° E) в зимний период 2000/2001 г. и над Langfang, (39.4° N, 116.6° E) в зимний период 2009/2010 гг. Оказалось, что направление ветра над этими пунктами менялось с восточного на западный в течение нескольких дней во время событий ВСП. Изменения направления ветра точно совпадали с максимумом температуры полярной стратосферы на уровне 10 гПа, однако приливы, гравитационные волны и 2-дневные планетарные волны в МНТ показали во время этих событий различное поведение. Во время начала ВСП 2000/2001 г. суточный прилив МНТ достиг своего максимума, во время максимума ВСП активность

2-дневных волн уменьшилась, в то время как амплитуда гравитационных волн увеличилась. Однако в зимний период 2009/2010 приливные волны и 2-дневная планетарная волна в МНТ над Langfang достигли пика примерно на два дня раньше, чем максимум ВСП на 10 гПа [JunFeng et al., 2017].

В работе [Bhattacharya et al., 2004] анализируются данные наблюдений ВСП в Resolute Bay, Канада (74.9° N , 94.9° W). По этим данным в феврале 2001 г. разворот восточных ветров произошел за несколько дней до максимума температуры в полярной стратосфере (Bhattacharya et al., 2004). Наблюдения за ветром в МНТ на трех других станциях, расположенных в Eaton (52° N), Collm (52° N) и Esrange (68° N) показали, что как зональные, так и меридиональные ветры в МНТ во время ВСП изменили направления ВСП [Jacobi et al., 2001]. Исследование [Dowdy et al., 2007] показало во время ВСП кратковременное изменение ветра в мезосфере, за которым последовал период сильных восточных ветров. В работе [Sathishkumar, Sriharan, 2009] изучена реакция ветров в МНТ на семь крупных ВСП в Антарктике и Арктике. Авторы обнаружили, что средний зональный ветер реагирует на ВСП на 4 дня раньше в МНТ, чем в стратосфере. В последние годы некоторые наблюдения проводились в тропической мезосфере – нижней термосфере. Наблюдения в Тирунелвели (8.7° N , 77.8° E) во время трех крупных событий ВСП показали, что разворот зональных ветров произошел за несколько дней до начала ВСП [Hoffmann et al., 2007]. Ранее (1976–1996) в Восточной Сибири проводились наблюдения за динамикой МНТ методом близко разнесенного радиоприема сигналов радиовещательных станций в длинноволновом диапазоне [Вергасова, Казимировский, 2009]. Для выборки из 61 ВСП было показано, что над ур. Бадары (51° N , 105° E) во время мощных стратосферных потеплений, как правило, зональный ветер на высотах МНТ ослабевает или меняет направление с западного на восточное. Наблюдались случаи усиления южного меридионального ветра, изменений амплитуд и фаз полусуточного прилива. По нашим оценкам над Восточной Сибирью ветер на высотах МНТ в спокойных условиях имеет преимущественно западного направления, во время ВСП он резко ослабевает и меняет направление на восточное. Эта особенность не укладывается в описанные выше закономерности реакции МНТ на ВСП в других пунктах.

Таким образом, к настоящему моменту нет четко представления о поведении ветра на высотах МНТ при различной циркуляции атмосферы на нижележащих уровнях, отсутствуют и представления о крупномасштабной циркуляции атмосферы на этих высотах. Результаты данной работы дополняют существующий набор наблюдательных данных.

ДАнные И МЕТОды

В данной работе мы используем данные интерферометра Фабри-Перо (ИФП) Института солнечно-земной физики СО РАН, расположенного в обсерватории с. Торы Республики Бурятия. Карта с расположением инструмента показана на рис. 1.

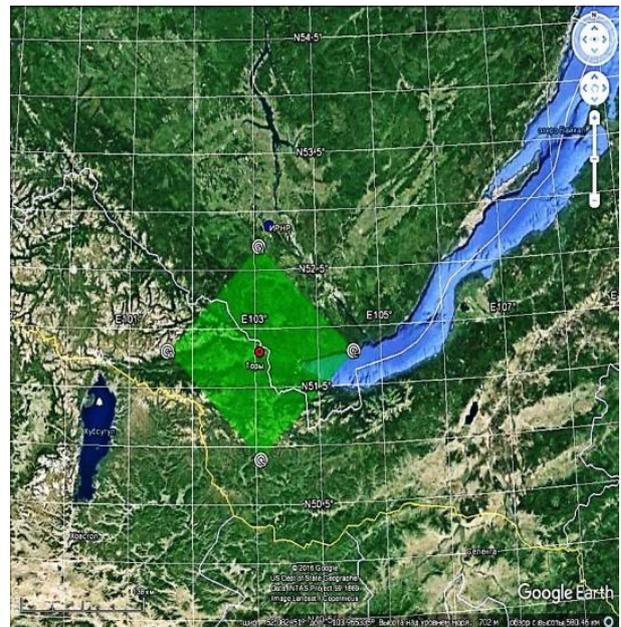


Рис. 1. Карта GoogleMaps, отмечена позиция интерферометра Фабри-Перо (центр зеленого ромба)

Интерферометр Фабри-Перо (ИФП) ведет регулярные спектрофотометрические наблюдения линий 557.7 нм, 630 нм и 843 нм, естественного свечения ночной атмосферы. Прецизионный спектральный анализ позволяет наблюдать доплеровское смещение отдельной линии, характеризующее скорость движения соответствующей излучающей компоненты атмосферы вдоль луча зрения устройства. Совокупность доплеровских сдвигов, полученных в различных направлениях внутри временного интервала стационарности среды, позволяет восстановить полный вектор горизонтальной скорости ветра. Стратификация линий свечения в верхней атмосфере по высоте позволяет определять вектор горизонтальной скорости на различных высотах. ИФП с временным разрешением около 10–15 мин наблюдает линии свечения атомарного кислорода 630.0 и 557.7 нм, характерные высоты свечения этих линий 250 и 100 км соответственно. Начиная с 2018 г, ИФП также выполняет наблюдения линии гидроксила 843 нм, характерная высота свечения этой линии 90 км. В работе мы используем данные о поведении зональной составляющей скорости ветра. В статье анализируются температурный режим и динамика стратосферного полярного вихря по данным архива ERA-interim. Мы анализируем взаимосвязь стратосферных потеплений и ветрового режима в мезосфере – нижней термосфере (МНТ).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа пространственной структуры внезапных стратосферных потеплений в зимний период 2017 и 20018 гг. мы рассмотрели распределения температуры воздуха на высоте 10 гПа (~30 км) и 1 гПа (~50км). На рис. 2 показаны карты температуры в день максимума температуры воздуха в полярной области на высоте 10 гПа (29.01.017 и 16.02.2018). Рисунок 2 показывает, что потепление 2017 г. было более интенсивным, чем в 2018 г., особенно на уровне

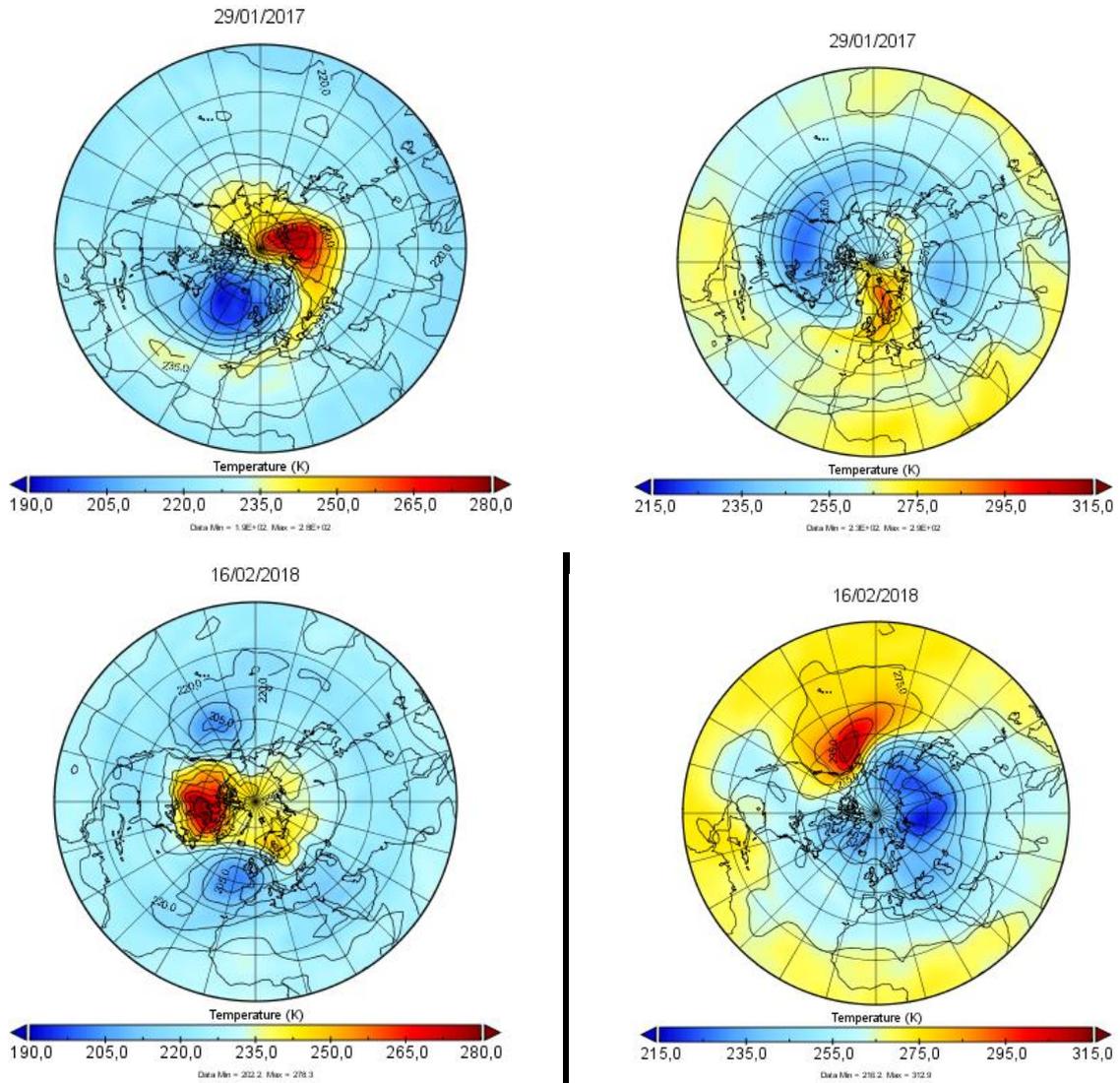


Рис. 2. Карты температуры воздуха на уровнях 10 гПа (слева) и 1 гПа (справа) во время максимума ВСП (29.01.2017 и 16.02.2018)

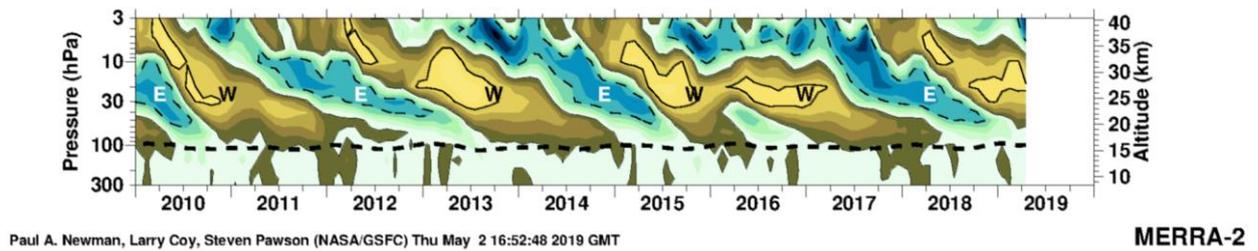


Рис. 3. Аномалии средней зональной составляющей ветра по данным MERRA-2 над экватором

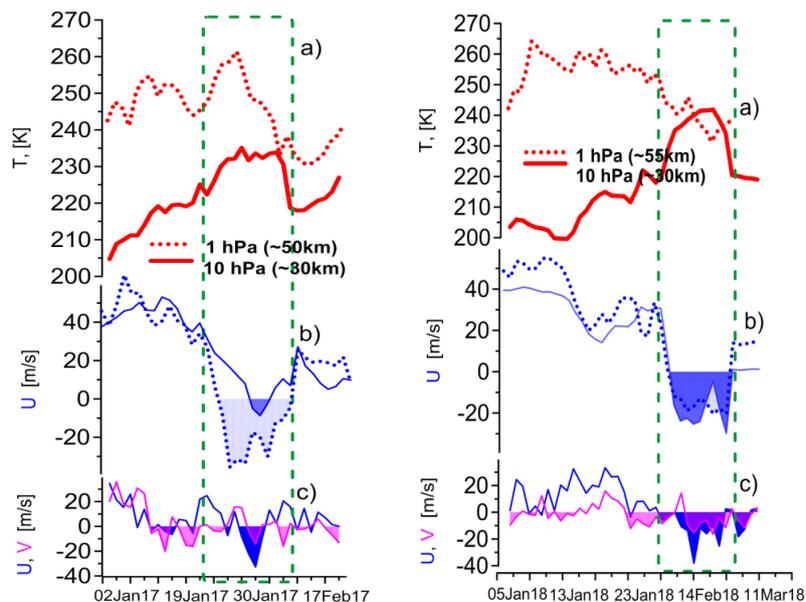


Рис. 4. Усредненные значения скорости ветра и температуры воздуха в полярной области (60N–90N) на высотах 10 гПа и 1 гПа и вариации ветра по данным ИФП на высоте 90 км

1 гПа. В 2017 г. полярный вихрь расщепился на два отдельных вихря на уровне 1 гПа, в 2018 г. — на 10 гПа. Можно сделать вывод, что потепление в январе 2017 г. было более интенсивным в верхней стратосфере. Потепление в феврале 2018 г. более интенсивно развивалось в нижней стратосфере. ВСП 2017 и 2018 гг. отличались пространственным положением очагов развития ВСП. В 2017 г. потепление развивалось над восточным полушарием, в районе базирования интерферометра, в 2018 г. прибор был в стороне от основных событий, которые развивались преимущественно в западном полушарии.

Одной из возможных причин различия ВСП 2017 и 2018 г. является квазидвухлетнее колебание (КДК). Рисунок 3 показывает, что в 2017 г. наблюдалась восточная фаза КДК экваториального ветра, а в 2018 — западная.

Мы сопоставили динамику вариаций ветра на высотах около 90 км с развитием ВСП. Для этого мы усреднили значения скорости ветра и температуры воздуха в полярной области (60N–90N) на высотах 10 гПа и 1 гПа и сравнили их временную динамику с вариациями ветра по данным ИФП (рис. 4).

Оказалось, что, несмотря на различные особенности развития потеплений в 2017 и 2018 гг., отклик циркуляции на высоте 90 км был одинаковым. Зимой ветер над обсерваторией был в основном западным, а во время ВСП изменил направление на восточное. В конце ВСП нормальный режим циркуляции на 90 км был восстановлен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы исследовали реакцию циркуляции в верхних слоях атмосферы на внезапные стратосферные потепления (ВСП). Были рассмотрены два зимних периода — 2017 г. (ВСП в конце января — начале февраля) и 2018 г. (ВСП в середине февраля). Мы изучали ВСП по данным ERA-interim reanalysis, а циркуляцию верхней атмосферы по данным интер-

ферометра Фабри-Перо Института солнечно-земной физики СО РАН, расположенного в обсерватории ГФО с. Торы Республики Бурятия. Анализ ВСП показал, что ВСП 2017 г. было более интенсивным в верхней стратосфере и охватывало область, в которой расположен интерферометр. ВСП в 2018 г. было более интенсивным в нижней стратосфере и развивалось в основном в западном полушарии. Потепления 2017 и 2018 гг. происходили при разных разностях квазидвухлетнего колебания экваториального ветра в стратосфере. Тем не менее, в 2017 и 2018 г. данные интерферометра о зональной составляющей скорости ветра на высоте 90 км показали одинаковую реакцию на ВСП.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-77-00009. Измерения были проведены на инструменте Центра общего пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вергасова Г.В., Казимировский Э.С. Внешнее воздействие на ветер в мезосфере/нижней термосфере // Солнечно-земная физика. 2009. Вып. 14. С. 119–124.
- Andrews D.G., Holton J.R., Leovy C.B. Middle Atmospheric Dynamics // Academic Press. 1987. 489 p.
- Bhattacharya Y., Shepherd G.G, Brown S. Variability of atmospheric winds and waves in the arctic polar mesosphere in the arctic polar mesosphere during a stratospheric sudden warming // Geophys. Res. Lett. 2004. 31: L23101.
- Dowdy A.J., Vincent R.A., Tsutsumi M., Igarashi K., Murayama Y., Singer W., Murphy D.J., Riggin D.M. Polar mesosphere and lower thermosphere dynamics. Response to sudden stratospheric warmings // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. D17105. DOI: [10.1029/2006JD008127](https://doi.org/10.1029/2006JD008127).
- Jacobi C., Kürschner D., Müller H.G., et al. Response of the mesopause region dynamics to the February 2001 stratospheric warming // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2003. V. 65. P. 843–855.
- JunFeng Y., CunYing X., Xiong H., QingChen X. Responses of zonal wind at ~40° N to stratospheric sudden warming events in the stratosphere, mesosphere and lower thermosphere // Science China Technological Sciences June. 2017. V. 60, N.6. P. 935–945. DOI: [10.1007/s11431-016-0310-8](https://doi.org/10.1007/s11431-016-0310-8).

Hoffmann P., Singer W., Keuer D., et al. Latitudinal and longitudinal variability of mesospheric winds and temperatures during stratospheric warming events // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2007. V. 69. P. 2355–2366.

Limpasuvan V., Orsolini Y.J., Chandran A., Garcia R R., Smith A.K. On the composite response of the MLT to major sudden stratospheric warming events with elevated strato-pause // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2016. V. 121. P. 4518–4537. DOI: [10.1002/2015JD024401](https://doi.org/10.1002/2015JD024401).

Sathishkumar S., Sridharan S. Planetary and gravity waves in the mesosphere and lower thermosphere region over Tirunelveli (8.7° N, 77.8° E) during stratospheric warming events // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. L07806.

Vincent R.A. The dynamics of the mesosphere and lower thermosphere: a brief review // *Progress in Earth and Planetary Science*. 2015. V. 2, N 4. P. 1–13. DOI: [10.1186/s40645-015-0035-8](https://doi.org/10.1186/s40645-015-0035-8).

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056>.