Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2024. С. 105–107.

УДК 551.510.528 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-105

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫСОТЫ АРКТИЧЕСКОЙ ТРОПОПАУЗЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

Б.А. Бикбулатов[1, 2], К.А. Диденко[1], Т.С. Ермакова[2]

[1]Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук, Троицк, Россия,
bogdan.bikbulatov1@gmail.com
[2]Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, Россия

VARIABILITY OF ARCTIC TROPOPAUSE HEIGHT AFFECTED BY SUDDEN STRATOSPHERIC WARMING

B.A. Bikbulatov[1, 2], K.A. Didenko[1], T.S. Ermakova[2]

[1]The Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation of the Russian Academy of Sciences, Troitsk, Russia,
bogdan.bikbulatov1@gmail.com
[2]Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Аннотация. На основе данных радиозондирования и реанализа MERRA-2 рассматривается изменчивость высоты тропопаузы в арктическом регионе под воздействием внезапных стратосферных потеплений (ВСП). В первую очередь проводится анализ реакции высоты тропопаузы на ВСП, произошедшее 23 января 2009 г., после чего исследуется её многолетнее изменение, основанное на усреднении по десятилетиям.

Ключевые слова: Арктика, тропопауза, внезапное стратосферное потепление, реанализ.

Abstract. Based on radiosounding and ERA-2 reanalysis data, the variability of tropopause height in the Arctic region affected by sudden stratospheric warming is considered. First of all, the analysis of the reaction of the tropopause height to the sudden stratospheric warming that occurred on January 23, 2009, is carried out; then its long-term change based on averaging over decades is investigated.

Keywords: Arctic, tropopause, sudden stratospheric warming, reanalysis.

В настоящей работе исследуется изменчивость высоты тропопаузы на четырех станциях арктического региона (Черский (68°45′06″ с.ш., 161°19′47″ в.д.), Диксон (73°30′30″ с.ш., 80°31′28″ в.д.), Иллоккортоормиут (70°29′07″ с.ш., 21°58′01″ з.д.) и Кеймбридж-Бей (69°07′02″ с.ш., 105°03′11″ з.д.)) (рис. 1) во время внезапного стратосферного потепления (ВСП) в январе 2009 г. Кроме этого, на тех же станциях, рассматривается внутригодовой ход давления на уровне тропопаузы в период с 2000 по 2019 гг. и его изменчивость под воздействием ВСП. Расположение станций было выбрано не случайно. Оно подобрано таким образом, чтобы все станции находились примерно на одной параллели 70° с.ш. Это требование было введено для того, чтобы изучить влияние ВСП на вариации высоты тропопаузы вдоль широтного круга без учета меридиональной составляющей.

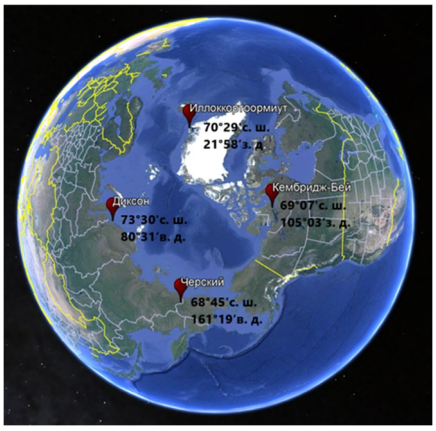

Рис. 1. Расположение станций (изображение заимствовано из Google Earth Pro)

Для того чтобы идентифицировать события ВСП были построены графики среднезонального ветра и среднезональной температуры, приведенные на рис. 2. Одновременное резкое повышение температуры и ослабление скорости зональной компоненты ветра (а также ее обращение — изменение направления с западного на восточное) в стратосфере свидетельствует о том, что в этот момент наблюдалось ВСП. Количество сильных и слабых ВСП различно в разные десятилетия в зимний период. Важно также учитывать, что внезапный стратосферный вихрь может вести себя поразному в момент ВСП, а последствия потепления, в том числе и в тропосфере, могут сказываться на протяжении месяца после того, как температура и зональная компонента вернулись к своим нормальным значениям [Baldwin et al., 2021; Butler et al., 2017].

В предшествующем исследовании было получено (рисунок не приводится), что осредненная по срокам (00 ч) за десятилетние периоды 2000–2009 гг. и 2010–2019 гг. тропопауза в январе и феврале на станциях Черский, Диксон и Иллоккортоормиут в первом десятилетии была ниже, чем во втором. Низкая тропопауза первого десятилетия обусловлена частыми и интенсивными внезапными стратосферными потеплениями в этом десятилетии, которые, безусловно, влияли на ее высоту. Однако, на станции Кеймбридж-Бей такого изменения не было выявлено, что может быть связано с тем, что данный пункт наблюдения не попал под интенсивное воздействие ВСП на тропопаузу.

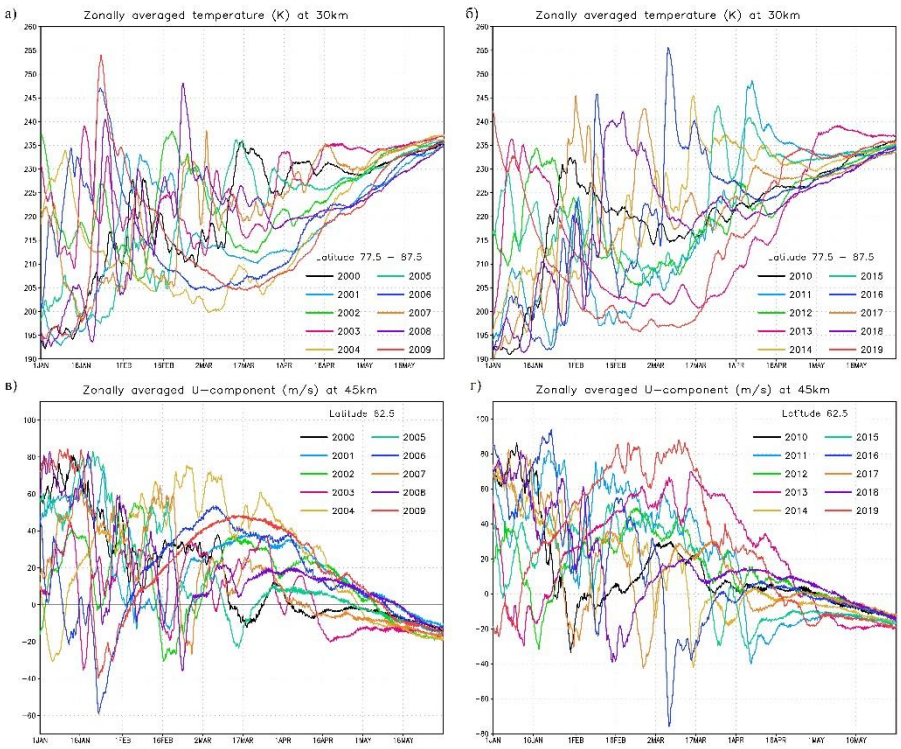

Рис.2. Среднезональная температура (а — 2000–2009 гг., б — 2010–2019 гг.) на 77,5–87,5°с.ш. на высоте 30 км, среднезональная зональная компонента ветра (в — 2000–2009 гг., г — 2010–2019 гг.) на 62,5°с.ш. на высоте 45 км

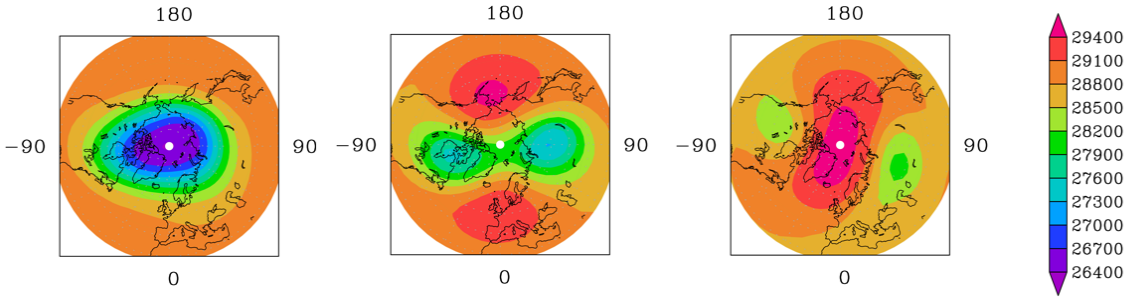

Рис. 3. Усредненные по декадам поля геопотенциальной высоты на уровне 30 гПа. Правая декада (правая панель), вторая декада (центральная панель), третья декада (левая панель)

Для наглядного рассмотрения процессов тропопаузы во время ВСП следует анализировать ее ход в каждом конкретном случае. Поэтому в данной работе также исследуется изменчивость давления на уровне тропопаузы во время ВСП в январе 2009 г. Из рис. 2 не трудно увидеть, что рост температуры в стратосфере начался 16 января, а максимум пришелся на 23 число того же месяца, после чего температура начала падать. Профиль ветра вел себя схожим образом. Чтобы судить о временном ходе давления на уровне тропопаузы, необходимо иметь представление о том, какие процессы и в каком направлении происходят в стратосфере. С этой целью были построены усредненные по декадам поля геопотенциальной высоты на уровне 30 гПа за 10 дней до максимума температуры, 10 во время максимума и 10 дней после максимума, представленные на рис. 3. Данные были взяты из реанализа MERRA-2. Из рис. 3 видно, что во время первой декады вихрь был спокоен, во время второй декады происходило его расщепление в сторону 90° восточной и западной долгот. Во время третьей декады вихрь распался на две отдельные слабые циклонические циркуляции, а всю полярную область заняла антициклоническая циркуляция.

На рис. 4 изображены графики временного хода давления на уровне тропопаузы, полученные по данным радиозондирования.

При детальном анализе можно увидеть, что на станции Иллоккортоормиут начиная с 23 января начинается увеличение давления на уровне тропопаузы, что означает ее опускание, которое достигает своих максимальных значений 1 февраля, после чего начинает расти. В Диксоне наблюдается несколько другая ситуация. 17 февраля начинается резкое падение давления, которое достигает своего пика 19 февраля и в течение недели практически не меняется, а начиная с 26 января резко начинает повышаться. В Черском постепенное повышение давления начинается с 26 января и находит свой максимум 3 февраля, после чего резко возрастает, а потом снова уменьшается. Если сопоставить данные

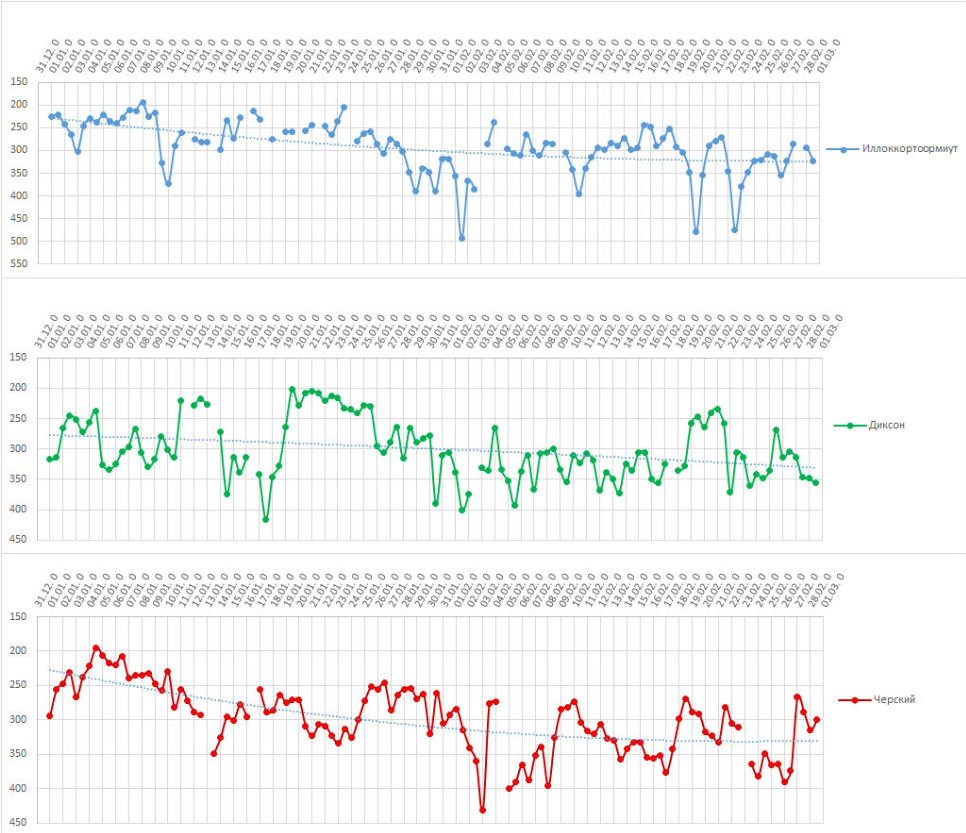

Рис. 4. Временной ход давления на уровне тропопаузы Иллоккортоормиут (верхняя панель), Диксон (средняя панель), Черский (нижняя панель)

из рис. 4 с рис. 3, то можно найти некоторую связь. Постепенное увеличение давления тропопаузы происходит на станциях (Иллоккортоормиут и Черский), над которыми в стратосфере во второй декаде наблюдается повышенные значения геопотенциальной высоты, причем максимумы давления приходятся на соседние даты. Стоит отметить, что имеется задержка между наступлением максимума температуры в стратосфере и наступлением максимальных значений давления в тропопаузе, которая равна приблизительно одной декаде. Над Диксоном же во время второй декады находилось ядро циклонического вихря, и при этом наблюдалось повышение тропопаузы, а начиная с 26 числа началось резкое понижение, которое привело тропопаузу к наименьшим значениям 1 февраля, которое уже может быть связано с процессами, образующими поле геопотенциала в третьей декаде.

Основываясь на полученных данных, можно предположить, что тропопауза понижается во время ВСП в областях с высокими значениями геопотенциальной высоты и повышается в областях с низкими. Причем присутствует задержка порядка 10 дней между максимумом температуры в стратосфере и максимумом давления тропопаузы.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда РНФ, грант №23-77-01035, https://rscf.ru/project/23-77-01035/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Baldwin M.P., Ayarzagüena B., Birner T. et al. Sudden stratospheric warmings // Rev. Geophys. 2021. V. 59, iss. 1. e2020RG000708. https://doi.org/10.1029/2020RG000708.

Butler A.H., Sjoberg J.P., Seidel D.J. et al. A sudden stratospheric warming compendium // Earth Syst. Sci. Data. 2017. V. 9, iss. 1. P. 63–76. https://doi.org/10.5194/essd-9-63-2017.