**Оценка высоты тропопаузы и её вариаций по данным реанализа**

***Кузьмин А.М.***

*аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*физический факультет, Москва, Россия*

*E–mail: аleksey.kuz.min@yandex.ru*

В атмосферной физике существует ряд подходов к определению высоты тропопаузы Htr на основе радиационных, термических, химических и динамических различиях между тропосферой и стратосферой. Термическая тропопауза [1, 13], динамическая тропопаузы [4, 6, 10] и их совокупность – смешанная тропопауза [8, 12] являются основными методами детектирования Htr. Высота тропопаузы может быть использована в качестве одной из диагностических характеристик климатических моделей [2].

В данной работе предложено развитие метода вычисления термической тропопаузы [11] по данным реанализа для температуры атмосферы на разных уровнях и высоты геопотенциала с возможностью применения к данным высокого пространственного разрешения. Возникающие при этом сложности, связанные, в частности, с идентификацией ложной тропопаузы на уровне верхней границы глубокой конвекции в атмосфере, преодолены с использованием итерационной схемы с вычислением сначала высоты тропопаузы по среднезональным данным, а только потом по данным на трёхмерной сетке.

Предложенный алгоритм использован для анализа высоты тропопаузы по среднемесячным данным реанализа ERA5 [5] и NCEP/DOE II [7] для 1980–2023 гг. с вертикальным разрешением (в среднем) от 250 до 500 м. Средние многолетние значения высоты тропопаузы по этим данным изменяются от 16–17 км в тропиках до 8–9 км в полярных широтах с относительно малыми незональными особенностями. Это согласуется с результатами [3, 8, 12].

Межгодовые вариации высоты тропопаузы, характеризуемые стандартными отклонениями, сопоставимы с вертикальным разрешением использованных данных реанализа (несколько сот метров), достигая полутора–двух километров в областях субтропических струйных течений (особенно в зимнем полушарии), что согласуется с [12]. При этом в высоте тропопаузы проявляются вариации с периодом около 4 лет, которые можно связать с влиянием событий Эль-Ниньо на региональные особенности глубокой конвекции в атмосфере.

Отмечен статистически значимый линейный тренд высоты тропопаузы (несколько м/год) в субтропиках с коэффициентом в несколько м/год в согласии с [12]. Над сушей Северного полушария вне тропиков полученные в данной работе оценки линейного тренда согласуются с оценками [9] полученными по данным радиозондов со станций над сушей Северного полушария (вне тропиков) для интервала времени 1980–2020 гг., близкого к используемому в данной работе. Это указывает на то, что выбор типа данных — радиозондов или данных реанализа — не оказывает принципиального различия на результаты оценки Htr и характеристик изменений высоты тропопаузы. Подобный вывод был сделан в [14] для массива данных реанализа ECMWF (предшественника реанализа ERA5). При этом следует отметить, что оценки параметра чувствительности высоты тропопаузы к изменению приповерхностной температуры при использовании данных реанализа ERA5 и NCEP/DOE II существенно различаются ввиду различия данных о приповерхностной температуре между этими массивами реанализа.

**Литература**

1. Иванова А.Р. Тропопауза – многообразие определений и современные подходы к идентификации // Метеорология и гидрология. 2013. № 12. С. 23-36.

2. Мохов И.И. Диагностика особенностей годового хода температурного режима атмосферы в модели общей циркуляции // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. № 2. С. 143-150.

3. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. СПб.: Гидрометеоиздат. 1993. 270 с.

4. Шакина Н.П., Борисова В.В. Опыт использования потенциального вихря для расчета высоты тропопаузы // Метеорология и гидрология. 1992. № 9. С. 57.

5. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., et al. The ERA5 global reanalysis // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 2020. V. 146. № 730. P. 1999-2049.

6. Hoinka K.P. Statistics of the global tropopause pressure // Mon. Weather Rev. 1998. V. 126. № 12. P. 3303-3325.

7. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., et al. Ncep–doe amip–ii reanalysis (r–2) // Bull. Am. Meteorol Soc. 2002. V. 83. № 11. P. 1631-1644.

8. Mateus P., Mendes V.B., Pires C.A.L. Global empirical models for tropopause height determination //Remote Sensing. 2022. V. 14. № 17. P. 4303.

9. Meng L., Liu J., Tarasick D.W., et al. Continuous rise of the tropopause in the Northern Hemisphere over 1980–2020 // Science Advances. 2021. V. 7. № 45. P. eabi8065.

10. Reed R.J. A study of a characteristic tpye of upper-level frontogenesis // Journal of Atmospheric Sciences. 1955. V. 12. № 3. P. 226-237.

11. Reichler T., Dameris M., Sausen R. Determining the tropopause height from gridded data // Geophysical research letters. 2003. V. 30. № 20.

12. Wilcox L.J., Hoskins B.J., Shine K.P. A global blended tropopause based on ERA data. Part I: Climatology // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 2012. V. 138. № 664. P. 561-575.

13. WMO.World Meteorological Organization (WMO): Geneva, Switzerland. 1957. V. 6. P. 136.

14. Zängl G., Hoinka K.P. The tropopause in the polar regions // Journal of Climate. 2001. V. 14. № 14. P. 3117-3139.