

# ENVIRO MIS 22



## INTERNATIONAL CONFERENCE

and Early Career Scientists School  
on Environmental Observations,  
Modeling and Information Systems

September 12–17, 2022,  
Tomsk, Russia

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

и школа молодых ученых по измерениям,  
моделированию и информационным системам  
для изучения окружающей среды

12–17 сентября 2022 года,  
Томск, Россия

# SELECTED PAPERS

## **ENVIROMIS 2022** organizers

Institute of Monitoring of Climatic  
and Ecological Systems SB RAS

G.I. Marchuk Institute of Numerical  
Mathematics RA

Moscow Center of Fundamental  
and Applied Mathematics

MSU Research Computing Center

Scientific Council of the Russian Academy  
of Sciences on the problems of the Earth,  
Future Earth and NEFI programs

## Организаторы **ENVIROMIS 2022**

Институт мониторинга климатических и экологи-  
ческих систем СО РАН

Институт вычислительной математики  
им. Г.И. Марчука РАН

Научно-исследовательский вычислительный  
центр МГУ

Московский центр фундаментальной  
и прикладной математики

При содействии Научного совета РАН  
по проблемам климата Земли,  
координирующего соответствующие  
фундаментальные и поисковые научные  
исследования РАН,  
Сибирского отделения РАН,  
Российского национального комитета  
Международной программы «Будущее Земли»  
и программы NEFI.

© ИМКЭС СО РАН 2022

© SCERT, 2022

ISBN 978-5-89702-488-9

## СЕКЦИЯ 2

Мониторинг  
климатических  
изменений  
в Северной Евразии

## SESSION 2

Monitoring  
of Climate Changes  
over Northern  
Eurasia

## Тенденции климатических изменений на территории северной Евразии в XX–XXI веках

Переведенцев Ю.П.<sup>1</sup>, Шерстюков Б.Г.<sup>2</sup>,  
Мирсаева Н.А.<sup>1</sup>, Шанталинский К.М.<sup>1</sup>,  
Исмагилов Н.В.<sup>1</sup>, Николаев А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Казань, Россия

<sup>2</sup>ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Россия

E-mail: [ypereved@kpfu.ru](mailto:ypereved@kpfu.ru)

Доклад посвящен оценке изменений температуры воздуха на территории Евразии по данным реанализа ERA5 о температуре воздуха (ТВ) с разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$  на 51 изобарической поверхности (до высоты 80 км, 0,01 гПа) за 1950 – 2020 г. Кроме того, рассмотрены сезонные перестройки стратосферной циркуляции в период 1979 – 2020 гг. на изобарических поверхностях 30, 20 и 10 гПа в широтной зоне 30 – 90° с.ш. В своих более ранних работах авторы рассматривали затронутые проблемы, но для других периодов времени и исходных данных [2, 3].

Рассмотрим вначале пространственно-временные особенности поведения температуры воздуха в нижнем слое атмосферы, в большей степени находящемся под влиянием состояния подстилающей поверхности, атмосферной циркуляции и радиационного режима. Для этого по всей континентальной территории России, а также девяти квази-однородным климатическим регионам России (I – Север ЕЧР и Западной Сибири, II – Северная часть Восточной Сибири и Якутии, III – Чукотка и север Камчатки, IV – Центр ЕЧР, V – Центр и юг Западной Сибири, VI – Центр и юг Восточной Сибири, VII – Дальний Восток, VIII – Алтай и Саяны, IX – Юг ЕЧР) проведено осреднение средних месячных, средних годовых, летних и зимних температур воздуха. По указанным регионам и временным интервалам рассчитаны основные статистические характеристики (среднее многолетнее значение, СКО, КНЛТ, коэффициент детерминации линейного тренда и др.) и проведено сглаживание временных рядов с помощью НЧ фильтра с точкой отсечения 20 лет.

Анализ характеристик низкочастотных изменений зимней (XII–II) температуры воздуха у поверхности Земли показывает, что с 1950 по 2020 гг. в среднем по всей территории Российской Федерации эта температура росла в линейном приближении со скоростью около  $0,38^\circ\text{C}/10$  лет. При этом наибольшая скорость повышения зимней температуры ( $0,5^\circ\text{C}/10$  лет) наблюдалась в четвертом регионе, включающем в себя центр ЕЧР. В результате за исследуемый период температура

здесь выросла на  $3,5^{\circ}\text{C}$ , если определять это изменение по линейному тренду, и на  $2,6^{\circ}\text{C}$ , если оценивать его по низкочастотной компоненте с периодом более 20 лет. Наибольший вклад в общую дисперсию (22%) линейный рост температуры имеет в седьмом регионе (Дальний Восток), где наблюдается наименьшая изменчивость зимних температур ( $\text{СКО} = 1,46^{\circ}\text{C}$ ). Линейный тренд в изменении зимней температуры практически отсутствует в третьем (Чукотка и север Камчатки) и восьмом (Алтай и Саяны) регионах. Это связано с тем, что в 3 регионе активный рост зимних температур начался лишь в последние двадцать лет, а в восьмом повышение температур зимнего периода в конце 1990-х годов сменилось даже некоторым ее понижением.

Летом (VI–VIII) в среднем по территории Российской Федерации температуры у поверхности Земли росли существенно слабее. Коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) в этом случае составил  $0,20^{\circ}\text{C}/10$  лет. При этом наибольшая скорость повышения летних температур в линейном приближении имела место в третьем регионе ( $0,34^{\circ}\text{C}/10$  лет), где в зимний период линейный тренд незначим. Также достаточно велик КНЛТ летней температуры воздуха во втором и девятом районах, где он составил величину около  $0,26^{\circ}\text{C}/10$  лет. Наименее выражено летнее повышение температур в четвертом регионе, где зимнее ее повышение, наоборот, максимально. Это связано с тем, что в период до конца 70-х годов XX столетия летние температуры в этом регионе заметно понижались, затем до 2012 г. наблюдался их рост и в последние годы вновь происходит их понижение.

Таким образом, в большинстве регионов зимнее повышение температуры воздуха выше летнего. Исключением являются регион центра ЕЧР и регион Алтая и Саян, где по линейному тренду скорость повышения зимних и летних температур практически одинакова, а по кривой НЧК летнее повышение ТВ даже несколько выше. Те же статистические характеристики были рассчитаны в узлах сетки с шагом  $1^{\circ}$  по широте и долготы по территории континентальной России. По результатам представленным в картографическом виде выполнен анализ особенностей пространственного распределения и временной изменчивости ТВ.

Распределение ТВ, СКО, величин КНЛТ на 51-й изобарической поверхности, осредненных по территории России для года, зимы и лета, имеет следующие особенности: в тропосфере ТВ с высотой понижается (зимой до  $-60,6^{\circ}\text{C}$ , летом до  $-51,4^{\circ}\text{C}$ ), в стратосфере наблюдается ее инверсия (зимой под стратопазузой  $T=+1,01^{\circ}\text{C}$ ) и в мезосфере она вновь понижается (на уровне 80 км ( $0,01$  гПа) зимой  $T\approx -73^{\circ}\text{C}$ , летом  $T=-99,8^{\circ}\text{C}$ ), что соответствует известным физическим представлениям [1]. На всех уровнях отмечается годовая амплитуда колебаний ТВ и если в тропосфере происходит заметный рост температуры особенно в ее нижней части (зимой на уровне 1000 гПа КНЛТ= $0,43^{\circ}\text{C}/10$  лет, летом КНЛТ= $0,15^{\circ}\text{C}/10$ лет), то в стратосфере наблюдается похолодание (так, в нижней стратосфере и зимой и летом КНЛТ достигает значения  $-0,370^{\circ}\text{C}/10$  лет). Наибольшая межгодовая изменчивость, согласно распределению СКО, наблюдается в мезосфере (зимой на высоте 60 км СКО= $6,97^{\circ}\text{C}$ ), где летние температуры ниже зимних. Так, на уровне 0,01 гПа (80 км) летом ТВ= $-99,8^{\circ}\text{C}$ , а зимой  $-73^{\circ}\text{C}$ . Тенденция похолодания в летней стратосфере проявляется на более низких уровнях, чем зимой. Возможно, это объясняется тем, что зимой в стратосфере динамические процессы протекают более активно - в стратосфере возникают внезапные потепления, в условиях установившейся западной циркуляции на стратосферных уровнях планетарные волны проникают из тропосферы через тропопаузу вверх и др., что сдерживает понижение ТВ.

Анализ первых разностей ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) низкочастотной компоненты (НЧК) с периодом более 20 лет средней зимней и средней летней ТВ на территории северной Евразии до уровня 32 км выявил расположение и интенсивность очагов потепления и похолодания в 32-х километровой толще атмосферы. В частности, зимой в тропосфере в 1975–1990 и 2005–2020 гг. выделяются зоны интенсивного роста температуры, в то же время, в нижней стратосфере формируется область понижения температур, которая значительно усиливается в средней стратосфере. В летний период контрасты изменения температуры выражены заметно слабее. Выделяется обширный очаг потепления в тропосфере с 1985 по 2015 гг., в стратосфере же в слое 18–26 км в 1975–2000 гг. происходило значительное похолодание. Анализ рассчитанных коэффициентов корреляции ( $r$ ) между температурой различных изобарических уровней показывает, что связи наиболее тесные в тропосфере, они ослабевают и меняют знак с положительного на отрицательный при переходе через тропопаузу.

Одной из важнейших особенностей стратосферной циркуляции (СЦ) является наличие ее сезонных перестроек – весной западная циклоническая циркуляция переходит в летнюю антициклоническую, а осенью процесс идет в обратном направлении. При этом даты перестроек, особенно весенних испытывают значительный межгодовой разброс. Анализ дат весенних перестроек СЦ и их межгодовой изменчивости путем расчета величины среднего квадратического отклонения (СКО) на 3-х уровнях 10, 20 и 30 гПа выявил следующие закономерности в рассматриваемый период.

В слое 10-30 гПа весенняя перестройка циркуляции чаще всего происходит сверху вниз (в 29 случаях из 42), что находит свое отражение в средних многолетних датах перестроек: 18 апреля на уровне 10 гПа, 19 апреля на уровне 20 гПа и 23 апреля на уровне 30 гПа. Межгодовая изменчивость дат весенних перестроек увеличивается с высотой: на уровне 30 гПа СКО составляет 15 дней, на уровне 20 гПа

– 17 дней и на уровне 10 гПа – 18 дней. Сроки весенних перестроек на уровнях 10 и 20 гПа достаточно близки. В 33 случаях из 42 разница по модулю не превышает трех дней. Коэффициент линейной корреляции между датами перестроек на уровнях 10 и 20 гПа равен 0,97.

Сроки весенних перестроек на уровнях 10 и 30 гПа отличаются сильнее, в отдельные годы разница может достигать 22-25 (1986, 2003, 2014, 2017 гг.) и даже 40 дней (1992 год). В эти годы перестройка циркуляции на уровнях 10 и 20 гПа происходила в ранние сроки (2 декада марта – 1 декада апреля), а на уровне 30 гПа еще долго сохранялся зимний режим циркуляции. Поздние перестройки происходят более синхронно на рассматриваемых трех уровнях; разница в датах не превышает 10 дней. Коэффициент линейной корреляции между датами перестроек на уровнях 10 и 30 гПа составляет 0,84.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 22-27-20080).*

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и мезосферы. М., Физматлит, 2011, 452 с.
2. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Васильев А.А., Гурьянов В.В. Термический режим в тропосфере, стратосфере и нижней мезосфере Северного полушария в 1979-2016 гг. / Метеорология и гидрология. – 2019. – №8. – 5–20.
3. Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М.; Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века / Метеорология и гидрология. – 2021. – №10. – 14–26.

## Investigation of Rossby wave breaking features in the region of jet streams

Gochakov A.V.<sup>1</sup>, Antokhina O.Yu.<sup>2</sup>, Krupchatnikov V.N.<sup>1,3</sup>, Martynova Yu.V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Siberian Regional Hydrometeorological research institute, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia,

<sup>3</sup>ICMMG SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: [vkrupchatnikov@yandex.ru](mailto:vkrupchatnikov@yandex.ru)

The report discusses some results of the study of Rossby wave breaking processes in the region of a subtropical jet stream [1]. In [2], an overview of the key processes associated with the overturning (collapse) of Rossby waves was presented, as well as a method for their identification and clustering. In the present paper, the possibilities of applying this method to the analysis of climatology and long-term variability in the number of capsizing are discussed. The formation of large-scale weather-forming phenomena in the Troposphere is often associated with the breaking of long Rossby waves [3,4,5,6]. In [7, 8], the Rossby wave breaking (RWB) process was defined. Depending on the direction of inclination of the overturning PV contours, RWB is subdivided into the anticyclonic type of wave breaking (hereinafter referred to as AC-type) and the cyclonic type (C-type) [12]. Wave breaking processes are closely related to the regimes and characteristics of jet streams. The jet flow regime is largely determined by the ratio between the two types of jets observed in the lower atmosphere: subtropical and mid-latitude. In addition to different latitudinal positions, these two types of jet streams differ in their vertical structure, variability characteristics, and outward forcing. The subtropical jet is concentrated near the subtropical boundary of the Hadley cell, it is relatively stable and is largely due to the transfer of the absolute angular momentum by the mean meridional circulation. The report presents the results of a study of climatology and variability of anticyclonic (AC-type) and cyclonic (C-type) overturning processes in the region of the subtropical jet stream. For this, potential vorticity data at the level of 350K from two reanalysis archives ERA-Interim (EI) and ERA5 (E5) for 1979-2018 were used. with a resolution of 0.75°.

*This work was supported by the Russian Science Foundation (project code 19-17-00154).*

#### REFERENCES:

1. A V. Gochakov, O. Yu. Antokhina, V. N. Krupchatnikov, Yu. V. Martynova Long-term Variability of Rossby Wave Breaking in the Sub tropical Jet Stream Area // Russian Meteorology and Hydrology, 2022, Vol. 47, No. 2, pp. 79–88.
2. Gochakov A. V., Antokhina O. Yu., Krupchatnikov V. N., Martynova Yu. V. Method for identification and clustering of Rossby wave breaking events in the Northern Hemisphere based on the analysis of the contour of a potential vortex on an isentropic surface. - Meteorology and Hydrology, 2021, No. 1, p. 17-28.