

УДК 551.509.313

UDC 551.509.313

01.00.00 Физико-математические науки

Physics and mathematical sciences

ИЗМЕНЕНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

CYCLONE REGIME MODIFICATIONS IN NORTHERN AND SOUTHERN HEMISPHERE IN CONDITIONS OF CHANGING CLIMATE

Топтунова Ольга Николаевна
аспирант
olgakolp@yandex.ru

Toptunova Olga Nikolaevna
postgraduate student
olgakolp@yandex.ru

Анискина Ольга Георгиевна
к.ф.-м.н.
olga.aniskina@mail.ru
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

Aniskina Olga Georgievna
Cand.Phys.-Math.Sci.
olga.aniskina@mail.ru
Russian state Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia

В статье на основе данных реанализа решается задача численной идентификации циклонов. Результаты показывают, что количество циклонов растет. В северном полушарии барических депрессий больше чем в южном, кроме того, здесь они имеют большую глубину и с каждым годом давление здесь еще немного понижается. В северном полушарии циклоническая активность больше обуславливается количеством циклонов нежели их глубиной, в южном наоборот. В северном полушарии характеристики циклонов претерпевают более значительные изменения

The main objective of this article is to solve a problem of a numerical identification of cyclones based on the reanalysis data. The results show that the amount of cyclones is increasing during last 66 years, the number and depth of cyclones are larger in Northern Hemisphere than in Southern, and Northern Hemisphere cyclones become deeper and deeper with time. Cyclonic activity in the Northern Hemisphere mainly is caused by large number of cyclones, in the Southern Hemisphere – by their depth. In the Northern Hemisphere cyclone characteristics change significantly

Ключевые слова: ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИКЛОНОВ, АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ, ЦИКЛОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, РЕЖИМЫ ЦИКЛОНОВ, ЦИКЛОНИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Keywords: CYCLONE IDENTIFICATION, ATMOSPHERIC CIRCULATION, CYCLONIC ACTIVITY, REGIME OF CYCLONES, CYCLONE REGIME

Вопросу изменения климата посвящено много исследований, однако большинство из них опирается на анализ климатических полей. Однако в современных реалиях более перспективным представляется анализировать синоптические поля. Циклоны транспортируют тепло влагу и количество движения, с ними во многом связан междуширотный обмен. Кроме того, с прохождением барических депрессий связано резкое изменение погодных условий, нередко циклоны сопровождаются и опасными явлениями, такими как сильный ветер, сильные осадки, наводнения и т.п. В виду всего сказанного выше изучение изменений характеристик циклонов актуально.

Наиболее объективным методом анализа характеристик циклонов и их изменений является численный метод.

Данные и методология идентификации циклонов

В данной работе в качестве исходных данных для исследования циклонической активности были использованы результаты реанализа NCEP/NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov/>)[6]. Анализировались ежедневные глобальные поля приземного давления с 1948 года по 2013 год на сетке с шагом 2.5° по широте и долготе и с дискретностью по времени 6 часов. Этот реанализ сделан на основе спектральной модели NCEP, описывающей большинство атмосферных процессов. На сегодняшний день NCEP является одной из наиболее успешных моделей общей циркуляции атмосферы. Результаты реанализа представляют собой динамически согласованные поля метеорологических величин, охватывающие временной период более 60 последних лет. В рамках данного исследования расчет производился по всему земному шару.

В ходе работы было рассмотрено несколько схем идентификации, обзор которых производился ранее [4,1]. В виду сочетания физической обоснованной и относительной вычислительной простоты предпочтение было отдано методу, разработанному в Лаборатории Взаимодействия Океана и Атмосферы и Мониторинга Климатических Изменений Института Океанологии РАН (ЛВОАМКИ, («Циклон», №2006612244)) [8].

В ходе исследования рассматривалась область между 82.5° с.ш. и 82.5° ю.ш. Локальные минимумы находились следующим образом: определялся узел, значение давления в котором не превышало 1015 гПа, и это давление сравнивалось со значениями в 12 соседних узлах сетки.

После непосредственной идентификации центра определялась граница циклона, которая рассчитывалась «по последней замкнутой изобаре», т.е. граничной считалась точка, где градиент давления был равен нулю или

менял знак [2,3]. После определения границ циклона вычислялись его основные характеристики: площадь (S) и объем переносимого воздуха (V).

Площадь циклона рассчитывалась как сумма площадей четырех треугольников с вершинами в центре и на границах циклона. Безусловно, такое приближение весьма грубое, однако так как в рамках исследования рассматривалась режимность циклонов, такой грубостью можно пренебречь. Объем переносимого циклоном приземного воздуха вычислялся как объем конуса

$$V = \frac{1}{3}Sh, \quad (2)$$

где

S – площадь циклона,

h – высота, которая вычислялось по формуле:

$$h = \frac{dz}{dP}(Pg - Pc), \quad (3)$$

где

Pg – минимальное давление на границе циклона,

Pc – давление в центре циклона

Полученная разность умножается на 8 м/гПа в виду того, что в соответствии с барической ступенью давление уменьшается на 1 гПа при подъеме приблизительно на 8 м.

Также был рассчитан индекс циклонической активности (Cyclone activity index - CAI) [7]. Для каждой точки, которая была идентифицирована как центр циклона, CAI определялся как разница между давлением в центре циклона и климатологическим среднемесячным значением давления в этой точке. Эти значения суммируются. Климатологическое значение давления в каждом узле рассчитывалось как среднее значение давления в этой точке за 66 лет по результатам реанализа.

$$CAI = \overline{P_c - P_{climate}^{cyclon}}^{month}, \quad (4)$$

Для того чтобы проанализировать временные изменения глубины циклонов был рассчитан, так называемый, «средний» циклон для каждого полушария. Для этого в течение года значения давления во всех точках-центрах идентифицированного циклона складывались и делились на общее количество циклонов.

Анализ результатов

В ходе исследования было рассчитано суммарное количество циклонов за каждый месяц года всего исследуемого периода и общегодовое количество циклонов в обоих полушариях.

В результате можно говорить о том, что как в Северном, так и в Южном полушариях наблюдается увеличение количества циклонов, при этом коэффициент линейного тренда в Северном полушарии составляет 2,78, а в Южном – 3,93. Таким образом, количество циклонов в Южном полушарии увеличивается быстрее. Однако общее количество циклонов в Северном полушарии больше чем в Южном, что можно объяснить большей поверхностью суши, а значит более часто встречающимся температурным контрастом суша-море. Принято считать, что первое потепление происходило с конца XIX века до 1940 г, далее глобальная температура уменьшалась, приблизительно до 75 года и с 85 года глобальная температура снова увеличивалась [5]. Однако более всего количество циклонов увеличилось во второй половине 50-х гг. прошлого века, когда потепления не наблюдалось. В 80-х же годах существенных изменений в количестве циклонов не происходило. Понижением общего количества барических депрессий ознаменовалось начало 90-х годов как в Северном, так и в Южном полушариях.

Чтобы оценить динамику изменения количества циклонов более подробно отдельно были рассмотрены периоды с 1948 года по 1980 г и с 1980 г по 2013 г.

В первом периоде изменение количества циклонов в южном полушарии более гладкое, нежели в северном. Максимальная амплитуда колебаний в южном полушарии составляла 319 циклонов, тогда как в северном 455, коэффициент линейного тренда в северном полушарии составлял 10.2, в южном – 7.3. Значит в северном полушарии число циклонов увеличивалось до 1980 г быстрее, максимальные колебания в количестве циклонов наблюдались тогда же. Практически всегда локальному максимуму количества циклонов в северном полушарии соответствовал их локальный минимум в южном.

С 1980 г линия тренда стала более пологой в обоих полушариях. Изменения количества циклонов более сильные и резкие в обоих полушариях. Особенно четко это прослеживается в северном полушарии, в котором отдельных «выбросов» стало гораздо больше. При этом амплитуда колебаний в южном полушарии увеличилась и составила 386 циклонов, в северном же полушарии она даже уменьшилась и составила 277 циклонов. Интересно, что в южном полушарии общее количество циклонов стало увеличиваться намного быстрее, чем в северном. Так, коэффициент линейного тренда в северном полушарии составлял 1.4, а в южном 4.3.

Исследовалось изменение количества циклонов в каждый месяц года в каждом полушарии. Более всего количество циклонов увеличивается в переходные месяцы. Однако в целом после 1980 года в обоих полушариях отметилось либо понижение темпов роста, либо даже снижение их общего количества. Коэффициенты линейного тренда для каждого месяца каждого периода представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент линейного тренда количества циклонов.

Месяц	Полушарие	Коэффициент линейного тренда		
		1948-1980	1980-2013	Весь период
Январь	Северное	0.44	-0.21	0.14
	Южное	0.96	-0.08	0.11
Февраль	Северное	0.18	0.30	0.10
	Южное	0.17	0.26	0.19
Март	Северное	1.53	-0.09	0.31
	Южное	0.78	0.89	0.31
Апрель	Северное	1.34	0.10	0.51
	Южное	0.63	0.45	0.46
Май	Северное	1.30	0.22	0.42
	Южное	0.44	0.23	0.41
Июнь	Северное	0.50	0.55	0.21
	Южное	0.70	0.36	0.34
Июль	Северное	1.10	0.09	0.39
	Южное	0.68	0.37	0.46
Август	Северное	-0.11	0.17	0.15
	Южное	0.30	0.75	0.42
Сентябрь	Северное	0.66	0.07	0.03
	Южное	0.93	0.39	0.40
Октябрь	Северное	0.68	0.09	0.12
	Южное	0.58	0.00	0.17
Ноябрь	Северное	0.71	0.00	-0.01
	Южное	1.01	0.37	0.25
Декабрь	Северное	0.71	0.66	0.34
	Южное	0.70	0.32	0.40

Говоря о циклонической активности сложно выделить какой-либо годовой ход. Наиболее глубокие относительно климатической нормы циклоны наблюдаются в обоих полушариях в июле. Наименее глубокие циклоны (т.е. с максимальным индексом CAI) относительно климатической нормы в южном полушарии чаще наблюдаются в декабре, а в северном почти с одинаковой частотой в январе и декабре. Таким

образом, относительно климатической нормы в северном полушарии наиболее глубокие циклоны наблюдаются в летние месяцы, а наименее глубокие – в зимние. В южном же полушарии картина противоположная, здесь относительно климатической нормы наиболее глубокие циклоны чаще встречаются зимой, а наименее глубокие летом.

В среднем величина минимального нормированного значения САІ убывает в обоих полушариях. Это говорит о том, что по всему Земному шару в среднем циклоны стали глубже относительно климатической нормы.

Изменение величины максимального нормированного индекса САІ выражает изменение давление в наименее глубоких относительно климатической нормы циклонах. В южном полушарии величина максимальной нормированной активности понижается, что означает что наименее глубокие циклоны здесь все равно становятся чуть глубже относительно климатической нормы. В северном же полушарии картина противоположная: здесь даже в наименее глубоких относительно климатической нормы циклонах давление повышается.

Таким образом, для южного полушария относительно климатической нормы есть тенденция к углублению всех циклонов, в северном же от года к году все более растет разброс давления между наиболее и наименее глубокими циклонами. Однако не стоит забывать, что величина циклонической активности – довольно сложный параметр, зависящий как от давления в центрах циклона, так и от их количества (то есть максимальной величины это значение будет достигать при наибольшем количестве барических депрессий и наибольшем давлении в них). В виду сложности понимания этого параметра было проанализировано, от чего больше зависит эта величина в каждом из полушарий. В результате было получено, что в северном полушарии циклоническая активность

обуславливается больше количеством циклонов нежели их глубиной, в южном же наоборот.

Если говорить непосредственно о давлении в центре циклона, то в обоих полушариях циклоны становятся глубже, причем в северном полушарии они углубляются на большую величину.

Согласно исследованию, наибольший объем воздуха циклоны северного полушария переносят в июле. В южном полушарии до 80-х гг. максимальный объем переносимого воздуха соответствовал маю, однако за последние 30 лет уверенный максимум наблюдается в марте. Наименьший объем воздуха в обоих полушариях переносится в феврале.

Циклоны с наибольшей площадью в южном полушарии чаще наблюдаются в июле, однако за последние 30 лет максимум все чаще стал приходиться на апрель, наименьшая площадь циклонов приходится на февраль. В северном полушарии картина не такая однородная. Циклоны минимальной площади здесь чаще встречаются зимой (февраль), однако барические образования с максимальной почти одинаково часто выпадают на март и на май.

Что касается глубины циклонов, то до 1980 года чаще всего самые глубокие циклоны наблюдались в июле, в период с 1980 по 2013 года чаще они наблюдаются в октябре и ноябре. В южном полушарии наиболее глубокие циклоны чаще наблюдаются летом (в январе и декабре)

Выводы

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что количество циклонов растет. В северном полушарии циклонов больше, однако, темпы роста их количества выше в южном. С 1980 года темпы роста количества циклонов снизились в обоих полушариях, что говорит об отсутствии однозначной связи между их количеством и потеплением климата. Более всего количество циклонов увеличивается в переходные месяцы.

В северном полушарии циклоническая активность обуславливается больше количеством циклонов нежели их глубиной, в южном же наоборот. В северном полушарии характеристики циклонов претерпевают большие изменения, чем в южном. По абсолютной величине циклоны в северном полушарии углубляются на большую величину, чем в южном. Кроме того, если в южном полушарии и наименее и наиболее глубокие циклоны продолжают углубляться относительно климатической нормы, то в северном полушарии растет разница относительно климатической нормы между давлением в центре между наименее и наиболее глубокими циклонами.

Максимальной площади и глубины циклоны также чаще достигают в теплое время года. Кроме того, на теплый период года в обоих полушариях приходится максимум переноса приземного воздуха в циклонах. В виду того, что в это время года контраст экватор-полюс не так велик, то нельзя сделать однозначный вывод об интенсификации обмена воздуха между широтами из-за циклонов.

Литература

1. Иванов Б.Н. Геометрический подход к решению задачи построения траекторий циклонов и антициклонов// Вычислительные методы и программирование. 2014. № 12. С. 370-382.
2. Рудева И., 2008. О взаимосвязи количества внетропических циклонов и их размеров. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 44, № 3, с.294–300.
3. Рудева И.А., 2008. Жизненный цикл атмосферных внетропических циклонов Северного полушария и его связь с процессами взаимодействия океана и атмосферы. Диссертация на соискание ученой степени к. ф.-м.н., на правах рукописи, 214 с.
4. Топтунова О.Н., Анискина О.Г. Идентификация циклонов по результатам реанализа// Ученые записки РГГМУ. 2014. № 37. С. 59-66.
5. Climate/[Электронный ресурс].-G.,2010.-Режим доступа: <http://www.Ipcc.ch>
6. Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., Dool H. Vanden, Jenne R., Fiorino M., 2001. TheNCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. Bull. Am.Meteorol. Soc, 82,247-267.
7. Zhang X., Walsh J. E. et al Climatology and Interannual Variability of Arctic Cyclone Activity: 1948–2002 // Journal of climate - 2004,v.17 - p.2300-2317.
8. Zolina, O., and S.K. Gulev, 2002. Improving accuracy of mapping cyclone numbers and frequencies. Mon. Wea. Rev., 130, 748-759.

References

1. Ivanov B.N. Geometricheskij podhod k resheniyu zadachi postroeniya traektorij ciklonov i anticiklonov// Vychislitel'nye metody i programmirovaniye. 2014. № 12. S. 370-382.
2. Rudeva I., 2008. O vzaimosvyazi kolichestva vnetropicheskikh ciklonov i ih razmerov. Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana, t. 44, № 3, s.294–300.
3. Rudeva I.A., 2008. ZHiznennyj cikl atmosferykh vnetropicheskikh ciklonov Severnogo polushariya i ego svyaz' s processami vzaimodejstviya okeana i atmosfery. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni k. f.-m.n., na pravah rukopisi, 214 s.
4. Toptunova O.N., Aniskina O. G. Identifikaciya ciklonov po rezultatam reanaliza//Uchenye zapiski RGGMU 2014 № 37. S. 59-66.
5. Climate//[Elektronnyj resurs].-G.,2010.-Rezhim dostupa: <http://www.Ipcc.ch>
6. Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., Dool H. Vanden, Jenne R., Fiorino M., 2001. TheNCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. Bull. Am.Meteorol. Soc, 82,247-267.
7. Zhang X., Walsh J. E. et al Climatology and Interannual Variability of Arctic Cyclone Activity: 1948–2002 // Journal of climate - 2004,v.17 - p.2300-2317.
8. Zolina, O., and S.K. Gulev, 2002. Improving accuracy of mapping cyclone numbers and frequencies. Mon. Wea. Rev., 130, 748-759.