

*О.Н. Топтунова, О.Г. Анискина*

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИКЛОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕАНАЛИЗА

*O.N. Topunova, O.G. Aniskina*

## IDENTIFICATION OF CYCLONES ON THE RESULTS OF THE REANALYSIS

*В статье решается задача численной идентификации циклонов на основе модельных данных. Приводится краткий обзор существующих методов идентификации, описана их адаптация для применения к имеющимся данным. В результате исследования установлен положительный тренд количества циклонов, а также определена периодичность. Кроме того, в статье показано, что именно летние месяцы вносят наиболее существенный вклад в изменение общего количества циклонов. Дается оценка времени перестройки с летних циркуляционных процессов на зимние и обратно. Высокая точность методики идентификации циклонов делает возможным её дальнейшее применение и развитие.*

*Ключевые слова: идентификация циклонов, циркуляция атмосферы, повторяемость циклонов, циклоническая активность, трекинг циклонов.*

*This paper shows how to solve a problem of numerical identification of cyclones basing on data model. It includes a brief review of existing methods of cyclones identification describing their adaptation for appliance to existing data. The research establishes a positive trend of amount of cyclons and defines their periodicity. Moreover, the study shows that summer months are the most effective in changing overall amount of cyclons. It assesses time adjustment from summer to winter circulation and back again. High precision of the methods of identification of cyclons makes their further use and development possible.*

*Key words: identification of cyclones, atmospheric circulation, repeatability of cyclones, cyclonic activity, tracking cyclone.*

### **Введение**

Общей циркуляцией атмосферы определяется распределение всех метеорологических элементов на поверхности земного шара. Важнейшими звеньями общей циркуляции атмосферы являются внетропические циклоны. Изменение характеристик их движения, а также интенсивности приводят к перераспределению полей всех метеорологических величин.

Особенности циркуляции всегда привлекали многих исследователей [Махнорылова С.В., Угрюмов А.И., 2012], но, несмотря на большое количество работ, посвященных этому вопросу, ясности пока нет. Данная статья посвящена исследованию климатологии внетропических циклонов, а основное внимание уделяется анализу их повторяемости. Данный выбор основан на том, что в контексте изучения изменений климата задача исследования долгопериодной изменчивости циклонической активности является приоритетной. Очевидно, что, в первую очередь, судить об изменении циклонической активности можно только после анализа изменения количества циклонов.

Одним из наиболее объективных путей исследования циркуляции и ее изменения является численный метод.

### *Данные и методология идентификации циклонов*

Для исследования изменчивости количества циклонов сначала необходимо решить задачу их идентификации по полям, полученным в результате глобального реанализа. Здесь возможно применить два принципиально разных подхода: первый — идентификация циклона как точки локального минимума в поле давления и второй — как точки локального максимума поля завихренности. И у того и у другого метода есть свои преимущества и недостатки.

Так, например, поле завихренности не искажается зональным потоком в силу того, что имеет более мелкие горизонтальные масштабы. Это позволяет идентифицировать циклон раньше, нежели при идентификации его по полю давления. Кроме того, в поле завихренности можно идентифицировать относительно мелкие короткоживущие образования, которые не получают дальнейшего развития и не идентифицируются в поле давления. Однако в таком подходе существует и огромный минус: поля завихренности являются очень «шумными» и не каждая область положительного значения вихря скорости является циклоном [Рудева И.А., 2008]. Вот почему чаще циклон идентифицируют как локальный минимум в поле давления. К тому же с полями давления проще работать, нежели с полями завихренности, так как они более гладкие.

В качестве исходных данных для исследования циклонической активности чаще всего используют результаты реанализа одного из мировых центров. Результаты реанализа представляют собой динамически согласованные поля метеорологических величин, охватывающие временной период более 60 последних лет. В данной работе использовались поля давления из результатов реанализа NCEP/NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov/>). Анализировались глобальные поля с 1949 по 2013 г. на сетке с шагом 2,5° по широте и долготе за срок 00 ч GMT.

Первой задачей исследования был выбор способа идентификации циклонов.

Одним из самых простым является метод оценки локальных минимумов в поле давления. Суть метода заключается в том, что находятся минимумы в поле давления, имеющие значения ниже некоторого порогового. Такой метод идентификации применялся многими исследователями. Различались методы лишь выбором порогового значения. Например, в работах Шинке [Shinke, 1992, 1993] используется значение 990 гПа, в исследованиях Ламберта [Lambert, 1996] — 970 гПа, Дрония [Dronia, 1991] и Стейн и Хенса [Stein and Hense, 1994] — значение 950 гПа. Такой подход к идентификации циклонов прост и удобен, однако основной его недостаток заключается в предположении, что циклоны могут доходить до заданной глубины только один раз за весь свой жизненный цикл. Этот алгоритм не учитывает также, что один и тот же циклон может иметь несколько точек с давлением ниже заданной величины [Рудева И.А., 2008]. Кроме этого, не учитываются характеристики индивидуальных циклонов. Таким способом можно оценить только общее количество локальных минимумов в поле давления.

Наиболее оптимальным методом исследования циркуляции атмосферы является «трекинг». Эта процедура заключается в непосредственной идентификации циклонов.

При этом есть возможность оценить жизненный цикл барических образований, а также построить их траектории. Исторически «трекинг» существовал как ручная процедура выявления циклонов на основе визуального анализа синоптических карт специалистами-синоптиками. Позднее, по мере развития интереса к климатологии и к циклогенезу, стали развиваться автоматические методы идентификации [Sinclair, 1994; Murray and Simmonds, 1991; Serreze, 1998; Blender et al., 1997].

Распространенным методом идентификации циклонов и их траекторий является метод, разработанный в Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук [Gulev S.K., Zolina O., Grigoriev S., 2000]. Здесь рассматриваются циклоны, пороговое значение давления в центре которых составляет не более 1015 гПа. Время жизни циклона при этом должно быть не менее 24 ч. В этом отношении метод аналогичен методу выявлению локальных минимумов, описанному выше. Принципиальное отличие — в процедуре трекинга. Здесь два ближайших циклона в последовательные моменты времени с расстоянием между их центрами не более  $10^\circ$  при временной дискретности 6 ч идентифицируются как один и тот же циклон и прослеживается его траектория.

Еще один алгоритм определения циклонов по числовым полям разработан в Национальном управлении океанических и атмосферных исследований NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Циклон также идентифицируется как область пониженного давления, изобары при этом проводятся с шагом 1 гПа [Serreze M.C., 1995]. При временной дискретности в 6 ч два циклонических центра определяют траекторию одного циклона, если расстояние между ними не превышает 800 км, а изменение давления в центре циклона не больше 20 гПа [Serreze M.C. et al., 1997].

В Лаборатории Взаимодействия Океана и Атмосферы и Мониторинга Климатических Изменений Института Океанологии РАН (ЛВОАМКИ) в 1999–2000 гг. была разработана собственная схема идентификации циклона. Метод ЛВОАМКИ также основан на нахождении локальных минимумов в поле давления. В качестве порогового устанавливается значение 1015 гПа. Для более точного определения положения центра барической депрессии нахождение минимума проводится по 13 точкам. Отсекаются точки возле экватора, а остальные попарно сравниваются с целью выбора точки с более высоким приоритетом [Рудева И.А., 2008].

В данной работе для исследования характеристик циклонов за основу брался алгоритм ЛВОАМКИ. Однако для адаптации его к имеющимся данным в алгоритм были внесены некоторые изменения. Рассмотрим метод идентификации циклонов более подробно.

Пороговое значения давления считалось равным 1015 гПа. Сравнивая значения давления в 13 соседних точек, определяется узел с минимальным значением. Причем учитывается также и то, что в циклоне может быть несколько точек с одинаковым давлением. В процессе исследования отсекаются точки южнее  $10^\circ$  с.ш. и севернее  $80^\circ$  с.ш. (напомним, в алгоритме ЛВОАМКИ отсекаются точки южнее  $15^\circ$  с.ш.). Мы не рассматриваем приэкваториальные области, т.к. области низкого давления здесь связаны с депрессиями термического происхождения и не могут быть определены как циклоны. Они характеризуются достаточно коротким временем жизни и неустойчивостью характеристик жизненного цикла во времени. Реанализ их, как правило, не воспроизводит. Приполярные же области были исключены из рассмотрения в виду того, что севернее  $80^\circ$  с.ш. преобладает антициклональный тип циркуляции. Самое северное положение

полярных мезоциклонов было отмечено в районе Северо-Европейского бассейна около параллели 80° с.ш. Однако следует учитывать, что такие образования, располагающиеся в основном над льдом, не получают дальнейшего развития [Луценко Э.И., Лагун В.Е.]. Кроме этого, мезомасштабные полярные циклоны практически никогда не воспроизводятся в полях реанализа. Таким образом, в рассмотрение попадают только внутротропические макромасштабные барические депрессии, определяющие синоптическую обстановку на больших территориях и на больших промежутках времени. Перемещение таких циклонов и определяет перераспределение метеорологических элементов.

После предварительного отбора точек минимума в поле давления, все они рассматриваются попарно и выделяются точки с уверенными минимумами, которые и связываются с центрами циклонических образований. Для каждой точки минимума определяется «зона влияния», которая представляет собой квадрат с центром в выбранной точке. В зависимости от значения давления в центре зона может быть разной (это сделано по аналогии с тем, что чем глубже циклон, тем большую площадь он имеет). При минимальном давлении меньше 1005 гПа в зону влияния входят все точки, давление в которых отличается от минимального на 15 гПа, т.е. предельное значение давления в точке, которая может быть идентифицирована как «край» циклона, составляет 1020 гПа. Чем меньше давление в центре зоны влияния, тем меньше его разница с давлением на крае зоны влияния. Кроме этого, накладывается ограничение на площадь зоны влияния — сторона квадрата «зоны влияния» не должна превышать расстояния соответствующего 6 шагам сетки или 15°. Таким образом, в разных широтах «зона влияния» будет иметь разные линейные размеры, что связано со сходимостью меридианов. После определения зон влияния все точки вновь рассматриваются попарно и повторяется отбор узлов с уверенными минимумами.

Затем проводится еще один, третий круг попарного анализа. Из рассматриваемых двух соседних точек минимума выбрасывается та, давление в которой больше. Кроме того, рассматриваются находящиеся рядом (четыре шага сетки) точки минимумов и выбирается точка с меньшим давлением [Рудева И.А., 2008].

Поле приземного давления в период с 1949 по 2013 г. были подвергнуты обработке по описанной выше методике и были получены количество и местоположение циклонов за каждый день рассмотренного периода.

### ***Анализ количества циклонов***

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что изменение общего количества циклонов носит периодический характер. Примерно с начала 90-х гг. наметился положительный тренд в количестве циклонов, т.е. количество циклонов от года к году растет. Следует учитывать, что анализ проводился по общему количеству циклонов, без учета их стадий развития.

Период колебаний составляет приблизительно 36–40 лет. Исходя из этого, можно сделать вывод, что ближайшие несколько лет количество циклонов будет максимальным, затем будет проследиваться нисходящий тренд, который продлится приблизительно до 2030 г. Кроме того, на графике можно выделить колебания с периодом примерно четыре года.

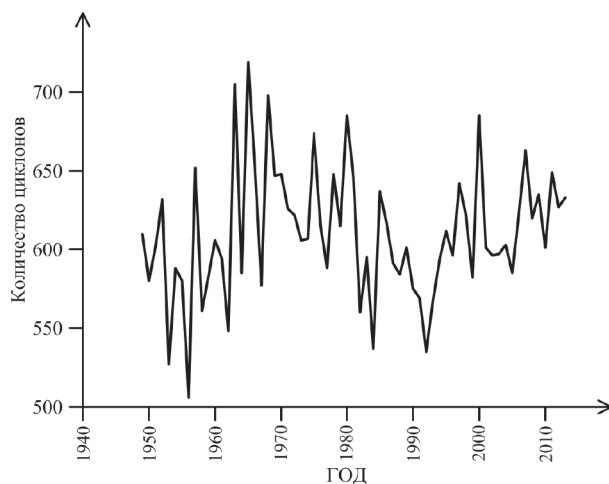


Рис. 1. Изменение суммарного количества циклонов

Также было рассмотрено количество циклонов в разные месяцы.

Ниже представлены некоторые из графиков, иллюстрирующих характерное изменение количества циклонов по сезонам. В качестве характерного зимнего месяца выбран январь (рис. 2).

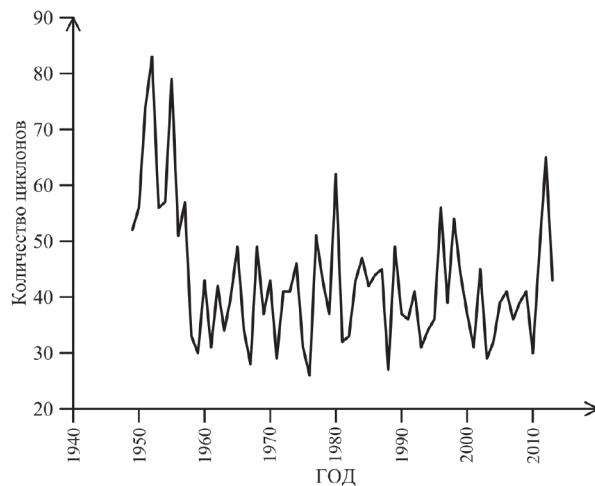


Рис. 2. Изменение количества циклонов в январе

Стоит отметить, что графики временного хода количества циклонов за декабрь и январь очень схожи между собой. Однако начало периода, с 1949 по 1955 г. вызывает сомнение в достоверности данных. В этот период на обоих графиках присутствует пик,

который при дальнейшем рассмотрении остальных данных считаем нерепрезентативным. Очевидно, что циклогенез в декабрь и январь не вносят существенного вклада в суммарное изменение количества циклонов в Северном Полушарии. Количество циклонов в эти месяцы колеблется у отметки в 30–40 циклонов в месяц, лишь в некоторые годы достигая значения 60 циклонов.

Временной ход количества циклонов в переходные месяцы также очень схожи собой и в них не прослеживается явных экстремумов.

Наиболее интересны процессы в летние месяцы. Очевидно, что именно они вносят в межгодовую изменчивость наибольший вклад. Рассмотрим, например, август (рис. 3). В целом, здесь повторяются все те же закономерности, что и в годовом ходе. Период, равный приблизительно 40 годам, также здесь прослеживается.

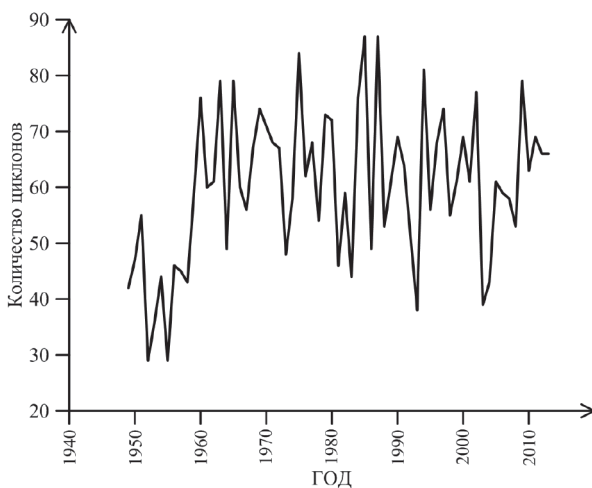


Рис. 3. Временной ход количества циклонов в августе

Кроме того, на основе построенных графиков можно сделать вывод, что перестройка процессов на летние процессы осуществляется уже в мае, обратный же переход наблюдается в сентябре (рис. 4 и 5).

Из графиков отчетливо видно их подобие с летними месяцами, то есть перестройка поля давления на летние процессы происходит уже в мае и длится по сентябрь включительно.

### *Заключение*

По результатам исследования можно сделать вывод, что изменение количества циклонов во времени имеет периодический характер. Можно выделить период равный 36–40 годам, также прослеживаются и гармоника с периодом колебаний в 4 года.

Идентификация циклонов, а соответственно и их временное распределение, было выполнено с высокой точностью, что делает возможным считать полученные

закономерности достаточно устойчивыми для их дальнейшего применения. Кроме того, полученные данные дают возможность наглядно представить цикличность атмосферных процессов.

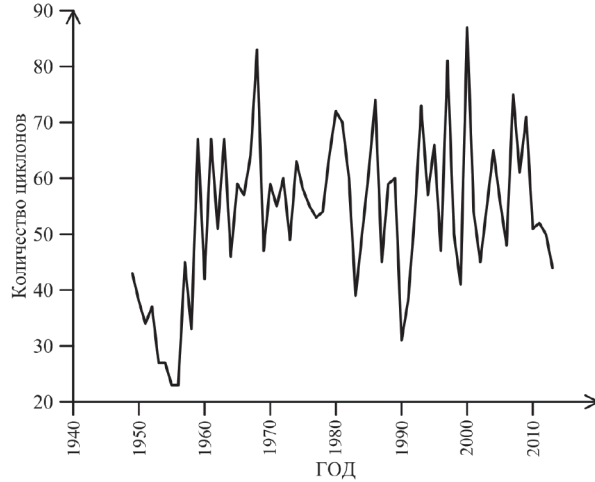


Рис. 4. Изменение количества циклонов в мае

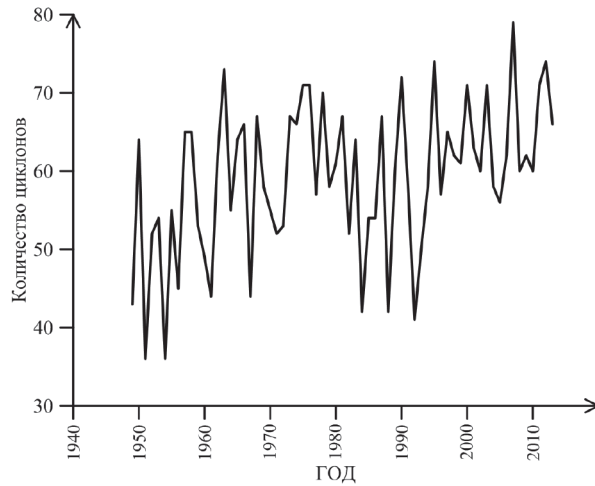


Рис. 5. Изменение количества циклонов в сентябре

**Литература**

1. *Акперов М.Г., Мохов И.И.* Сравнительный анализ методов идентификации циклонов. // Изв. Физика атмосферы и океана, 2010, т. 46, № 5, с. 620–637.  
*Akperov M.G., Mokhov I.I.* Sravnitel'nyy analiz metodov identifikatsii tsiklonov. // Izv. Fizika atmosfery i okeana, 2010, t. 46, № 5, s. 620–637.
2. *Золina О.Г.* Климатология циклонической активности в Северном полушарии и её связь с процессами взаимодействия океана и атмосферы: дис. к.ф.-м.н.: 25.00.28: защищена 2002. — М., 2002. — 270 с.  
*Zolina O.G.* Klimatologiya tsiklonicheskoy aktivnosti v Severnom polusharii i eye svyaz' s protsessami vzaimodeystviya okeana i atmosfery: dis. k.f.-m.n.: 25.00.28: zashchishchena 2002. — M., 2002. — 270 s.
3. *Луценко Э.И., Лагун В.Е.* Полярные мезомасштабные циклонические вихри в атмосфере Арктики. Справочное пособие. — СПб.: ААНИИ, 2010, с. 28–29.  
*Lutsenko E.I., Lagun V.E.* Polyarnye mezomasshtabnye tsiklonicheskie vikhri v atmosfere Arktiki. Spravochnoe posobie. — SPb.: AANII, 2010, s. 28–29.
4. *Махнорылова С.В., Угрюмов А.И.* Формирование длительных аномалий температурного режима весенне-летнего периода на Европейской территории России под влиянием особенностей стратосферной циркуляции циклонов. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 24, с. 38–53.  
*Makhnorylova S.V., Ugryumov A.I.* Formirovanie dlitel'nykh anomalii temperaturnogo rezhima vesenne-letnego perioda na Evropeyskoy territorii Rossii pod vliyaniem osobennostey stratosfernoy tsirkulyatsii tsiklonov. // Uchenye zapiski RGGMU, 2012, № 24, s. 38–53.
5. *Рудева И.А.* Жизненный цикл атмосферных внетропических циклонов Северного полушария и его связь с процессами взаимодействия океаны и атмосферы: дис. к.ф.-м.н.: 25.00.28, 25.00.30: защищена 2008. — М., 2008. — 214 с.  
*Rudeva I.A.* Zhiznennyy tsikl atmosferykh vnetropicheskikh tsiklonov Severnogo polushariya i ego svyaz' s protsessami vzaimodeystviya okeany i atmosfery: dis. k.f.-m.n.: 25.00.28, 25.00.30: zashchishchena 2008. — M., 2008. — 214 s.
6. *Blender R., Fraedrich K., Lunkeit F.* 1997. Identification of cyclone track regimes in the North Atlantic. // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1997, vol. 123, iss. 539, pp. 727–741, doi:10.1002/qj.49712353910.
7. *Dronia H.* On the accumulation of excessive low pressure systems over the North Atlantic during the winter season (November to march) 1988/89 to 1990/91. // Die Witterung im Ubersee, 1991, 39, 27.
8. *Grigoriev S., Gulev S.K., Zolina O.* Innovative software facilitates cyclone tracking and analysis. // Eos, Transactions American Geophysical Union, 2000, vol. 81, iss. 16, pp. 170, doi:10.1029/00EO00117.
9. *Lambert S.* Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1899–1991. // Journal of Geophysical Research, 1996, vol. 101, iss. D16, pp. 21319–21325, doi:10.1029/96JD01653.
10. *Murray R.J., Simmonds I.* A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme. // Aust. Met. Mag., 1991, vol. 39, pp. 155–166.
11. *Parrish D.F., Derber J.D.* The National Meteorological Center's spectral statistical interpolation analysis system. // Mon. Wea. Rev., 1992, vol. 120, iss. 8, pp. 1747–1763.
12. *Serreze M.C.* Climatological aspects of cyclone development and decay in the Arctic. // Atmos. Ocean., 1995, vol. 33, iss. 1, pp. 1–23.
13. *Serreze M.C., Carse F., Barry R.G. et al.* Icelandic Low cyclone activity: Climatological features, linkages with the NAO and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation. // Journal of Climate, 1997, vol. 10, iss. 3, pp. 453–464.
14. *Stein O., Hense A.* A reconstructed time series of the number of extreme low pressure events since 1880. // Meteorol. Zeitschrift., 1994, N.F., vol. 3, pp. 43–46.