ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЦИКЛОНОВ ИЗ МАССИВОВ РЕАНАЛИЗА ГЛОБАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В.Ю. Журавский, Е.Н. Воскресенская

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: vectorj@mail.ru

В работе рассмотрен метод выделения циклонов, основанный на принципе отслеживания центров низкого давления. Проведен сравнительный анализ результатов выделения циклонов по разным массивам данных реанализа – *NCEP/NCAR* и *20CR (20th Century Reanalysis)*.

Ключевые слова: циклоны, изменения шторм – треков, центры низкого давления.

Введение. Циклоническая активность оказывает заметное воздействие на состояние окружающей природной среды, что опосредованно проявляется в особенностях экономического развития регионов. В этой связи исследование параметров циклонов, их изменчивость и прогноз в условиях наблюдаемых изменений климата является чрезвычайно актуальной проблемой. К настоящему времени существует большое количество методов определения траекторий циклонов (шторм – треков). Среди них к наиболее популярным можно отнести выделение циклонов с использованием функции распределения вероятностей циклонов и антициклонов [1] и метод, основанный на поиске минимального давления барического образования по данным геопотенциала или давления. В частности, в работе [2] шторм – треки определяются с привлечением данных на высоте изобарической поверхности 500 и 1000 мбар. Для этого авторы использовали 12-часовые данные высоты геопотенциала из реанализа *NCEP/NCAR*. При этом, в поле геопотенциала последовательно отыскивались центры низкого давления и сравнивалось расстояние между ними. Если центры низкого давления в следующий 12-часовой промежуток времени попадали в окрестность определенного радиуса, то они соединялись сегментом. Однако в указанной работе использовались данные только в период с 1961 по 1998 гг. К тому же, использование 12-часовых данных не всегда точно отображает траекторию

движения циклона. Поэтому предпочтительней использовать шестичасовые глобальные массивы данных соответствующих реанализов.

В то же время, существуют проблемы определения траекторий циклонов, связанные с отслеживанием минимумов низких давлений. При этом траектория движения циклона зависит от используемой в реанализе сетки (привязан к ней), и значит для того, чтобы отобразить более точное местоположение циклона в одной точке, нужно использовать сетку с более мелким масштабом. Существует и другая проблема: если скорость движения циклона будет слишком большой, то применяемым алгоритмом этот циклон будет принят за другой возникший. Кроме этого, из-за неоднородностей по пространству и по времени, которые имеются в усваиваемых в реанализе данных, появляется проблема с определением так называемых “сложных” циклонов. И, наконец, главная проблема состоит в неоднородности и качестве исходных данных, усваиваемых в реанализе. Только с появлением в 70-х годах прошлого столетия спутниковых данных позволило в значительной степени сократить «белые» (неисследованные) пятна, особенно на акватории океанов. В работе [3] проведено сопоставление 15 различных методов по отслеживанию траекторий циклонов, однако все эти методы показали различие результатов. Т.о., универсального алгоритма, позволяющего абсолютно точно выделять траектории движения циклонов, пока не существует.

Цель работы – показать методику выделения циклонов, позволяющую использовать разные типы данных, независимо от их пространственных и временных особенностей.

Используемые данные и методика. Для определения траекторий циклона привлекались данные реанализов *NCEP/NCAR* [4] и *20CR* [5] в период с 1949 по 2014 гг. с шестичасовой дискретностью. Каждый файл реанализа представляет собой четырехмерный вектор значений геопотенциала в формате *NetCDF* за определенный год.

Для пересчета поля геопотенциала в давление в мбар использовалась формула:

$$SLP = 1000e^{Z_{1000}/(1,5422885(Z_{500}-Z_{1000}))}, (1)$$

где *SLP* – полученное давление в мбар; *Z*₁₀₀₀ – значение геопотенциала на уровне 1000 мбар (0 уровень); *Z*₅₀₀ – значение геопотенциала на уровне 500 мбар.

Она и принималась в качестве исходной основы для разработки алгоритма. Подобный подход использовался в методике, описанной в [2], однако, в том случае методика была применима только для массива *NCEP/NCAR*. Предлагаемый алгоритм позволяет использовать четырехмерные данные на пространственной сетке любого разрешения и временного интервала.

Описание алгоритма. Алгоритм определения траектории движения циклона состоит из следующих этапов:

- определение локального центра низкого давления в измерении *n*;
- определение локального центра низкого давления в измерении *n+1*;
- если центр низкого давления обнаружен в заданном пользователем радиусе, то эти два центра соединяются сегментом.

Для обоих реанализов поиск циклонов осуществляется в радиусе трех узлов сетки. Т.к. размер сетки в *20CR* равен 2x2, а в *NCEP/NCAR* – 2,5x2,5 градуса, то радиус поиска циклонов отличается: в массиве *20CR* он будет равен 666 км., а в *NCEP/NCAR* – 832 км (на широте экватора). Этот радиус представляет собой максимальное расстояние, которое может пройти центр циклона за 6 часов. При работе с массивом *20CR* алгоритм распознает циклоны со скоростью менее 111 км/час, а для *NCEP/NCAR* – менее 139 км/час. Если же алгоритм обнаруживает новый центр низкого давления за пределами радиуса поиска, то он считает его новым циклоном. В ходе анализа центров низкого давления из последующих шестичасовых измерений был добавлен еще один критерий, а именно: циклон должен существовать не менее 24 часов, т.е. состоять из четырех выделенных центров низкого давления или больше.

Для примера рассмотрим шесть последовательных шестичасовых измерений. Найденные центры низких давлений занесем в табл. 1.

Таблица 1. Географические координаты центров низкого давления найденных после 01.01.1970

Дата и время	Географические координаты	Дата и время	Географические координаты
01.01.1970; 00:00	60° ю.ш., 82° в.д. 62° ю.ш., 126° в.д. 62° ю.ш., 62° з.д. 72° ю.ш., 58° з.д.	01.01.1970; 18:00	62° ю.ш., 88° в.д. 62° ю.ш., 146° в.д. 64° ю.ш., 46° з.д.
01.01.1970; 06:00	60° ю.ш., 84° в.д. 62° ю.ш., 136° в.д. 62° ю.ш., 52° з.д. 68° ю.ш., 6° з.д.	01.02.1970; 00:00	64° ю.ш., 36° в.д. 62° ю.ш., 88° в.д. 70° ю.ш., 44° з.д. 66° ю.ш., 40° з.д.
01.01.1970; 12:00	62° ю.ш., 88° в.д. 62° ю.ш., 140° в.д. 64° ю.ш., 52° з.д.	01.02.1970; 06:00	66° ю.ш., 2° в.д. 52° ю.ш., 4° в.д. 60° с.ш., 16° в.д. 64° ю.ш., 36° в.д. 62° ю.ш., 90° в.д. 66° ю.ш., 38° з.д. 38° с.ш., 20° з.д.

Если проследить траекторию перемещения одного из циклонов, то можно увидеть, что циклон с центром в координатах 60° ю.ш., 82° в.д. 01.01.1970, 00:00 переместился спустя 6 часов в точку с координатами 60° ю.ш., 84° в.д., затем спустя еще 6 часов сместился в следующую точку с координатами 62° ю.ш., 88° в.д., и т.д. Таким образом, был определен циклон, траектория которого описывается следующими координатами:

62° ю.ш., 88° в.д., val: 960.075

60° ю.ш., 84° в.д., val: 957.111

62° ю.ш., 88° в.д., val: 955.221

62° ю.ш., 88° в.д., val: 957.354

62° ю.ш., 88° в.д., val: 961.095

62° ю.ш., 90° в.д., val: 965.945

где val – значение давления в мбар, пересчитанное по формуле (1).

Реализация предложенного алгоритма проводилась на языке программирования *PASCAL*. Для считывания данных из формата *NetCDF* 4.0 для *PASCAL* был разработан специальный программный модуль.

Параметрами для запуска программы являлись следующие:

– выбор временного интервала;

– выбранный реанализ;

– пороговое значение,

представляющее собой максимальную величину атмосферного давления в окрестности центра циклона, начиная с которого циклон более не идентифицируется;

– количество сегментов (минимальное количество обнаруженных центров низкого давления, при которых программа идентифицирует циклон).

Затем на основе проведенных расчетов программа находит и объединяет найденные центры низкого давления в циклон, но только в том случае, если расстояние между найденными центрами соответствует критерию, описанном выше. Пример построенных траекторий перемещения глубоких циклонов (980 мбар) для весеннего и осеннего периода 1970 г. приведен на рис. 1, 2.

Рис. 1. Карта перемещения глубоких циклонов за весенний период 1970 г.

Рис. 2. Карта перемещения глубоких циклонов за осенний период 1970 г.

Результаты. Приведенная методика использована в настоящей работе для выделения циклонов и построения карт их траекторий. Для анализа количества циклонов и траекторий перемещения привлекались только глубокие внетропические циклоны, выделенные по данным двух типов реанализа: *20CR* и *NCEP/NCAR* (рис. 3). Как по одному, так и по второму массиву данных можно наблюдать межгодовые и более низкочастотные колебания. При этом по всему Земному шару до примерно середины 1970-х годов по данным обоих реанализов виден синхронный рост количества выделенных глубоких циклонов. При этом следует отметить, что с появлением спутниковых наблюдений объем данных существенно вырос и охватил равномерно всю поверхность Земли, включая океаны и труднодоступные участки планеты. В то же время, из рис. 3 видно, что интенсивность роста количества циклонов, выделенных из массива *NCEP/NCAR*, в котором усваиваются и спутниковые данные, после 1970 г. замедляется и характер изменения даже приобретает определенную стабильность. По второму же массиву числа глубоких циклонов продолжает увеличиваться до конца 1990-х годов. После этого изменение суммарного

количества внетропических циклонов по реанализу *20CR* стабилизируется и характеризуется лишь межгодовыми колебаниями.

Анализ пространственного положения траекторий глубоких циклонов подтвердил, что их максимальные пути наблюдаются в высоких широтах. При этом в Южном океане в сравнении с другими океанами отмечается повышенная частота зарождения циклонов, что обусловлено большей площадью океана и местоположением самого интенсивного Циркумполярного течения. На рис. 1, 2 приведены траектории прохождения глубоких циклонов в весенний и осенний периоды, в качестве примера выбран 1970 г. Отметим, что в весенний период в северных широтах в районе Берингова моря наблюдалось больше глубоких циклонов, чем в осенний период. Это связано с соответствующими крупномасштабными условиями в системе океан – атмосфера Северной Атлантики. Глубокие циклоны, зарождавшиеся в районе Антарктиды в осенний период того же года, достигали более низких широт, чем весной. Общее же число циклонов, идентифицируемых программой примерно одинаково.

Рис. 3. Суммарное количество глубоких внетропических циклонов по Земному шару, выделенных по данным реанализа 20 CR и NCEP/NCAR в период с 1949 по 2014 гг.

Выводы. Методика выделения циклонов на основе алгоритма и компьютерной программы идентификации центров низкого давления барических образований позволяет использовать разные типы данных реанализа, независимо от их особенностей.

Анализ траекторий внетропических циклонов, построенных по данным реанализа 20CR и NCEP/NCAR показал, что с началом эры спутниковых наблюдений наиболее достоверную картину перемещения циклонов можно получить с использованием массива NCEP/NCAR, в котором наряду с данными наблюдений усваивается и спутниковая информация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Функции* распределения вероятностей циклонов и антициклонов по данным реанализа и модели климата ИВМ РАН / М.Г. Акперов, М.Ю.

Бардин, Е.М. Володин [и др.] // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 6. С. 764–772.

2. Data.GISS: Atlas of Extratropical Storm Tracks. – URL: <http://data.giss.nasa.gov/stormtracks/> (дата обращения: 15.09.2017).

3. A Community Effort to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms / U. Neu, M.G. Akperov, N. Bellenbaum [et al.] // B. Am. Meteorol. Soc., 94 (4). P. 529–547. doi: 10.1175.

4. NCEP Reanalysis. – URL: https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=192&tid=59904&vid=14 (дата обращения: 15.09.2017).

5. NOAA-CIRES 20th Century Reanalysis version 2c. URL: https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=164&tid=50675&vid=3702 (дата обращения: 15.09.2017).

TECHNOLOGY OF CYCLONS SEPARATION FROM GLOBAL REANALYSES DATA SETS ON METEOROLOGICAL FIELDS

V.Y. Zhuravsky, E.N. Voskresenskaya

Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

A method for cyclones identification based on the principle of low-pressure centres tracking is considered in the paper. A comparative analysis of the results of cyclone isolation from different reanalyses data sets both NCEP / NCAR and 20CR (20th Century Reanalysis) was done.

Keywords: cyclones, storm-tracks change, low-pressure centres.