

А.В. Дикинис, Е.В. Заболотских, С.В. Мостаманди, Л.О. Неелова

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТОРМОВЫХ ЦИКЛОНОВ

A.V. Dikinis, E.V. Zabolotskih, S.V. Mostamandi, L.O. Neelova

ESTIMATION OF THE STORM CYCLONES QUANTITATIVE CHARACTERISTICS

Рассмотрены основные количественные характеристики «взрывного» циклогенеза [динамическая (бароклиническая) неустойчивость, спиралевидность атмосферных движений, адвекция воздушной массы] для некоторых циклонов последних лет, которые нанесли большой ущерб хозяйственной деятельности Европейской территории России.

Ключевые слова: оценивание, циклон, взрывной циклогенез, бароклиническая неустойчивость, спиралевидность атмосферных движений, адвекция воздушной массы.

In the presented research, basic quantitative characteristics of explosive cyclogenesis, such as dynamic (baroclinic) instability, vorticity of atmospheric motions, and air mass advection, are considered for some cyclones observed during the recent years, which caused significant damage to economics of the European Territory of the Russian Federation.

Key words: estimation, cyclone, explosive cyclogenesis, baroclinic instability, vorticity of atmospheric motions, air mass advection.

Как известно, атмосферная циркуляция обладает значительной изменчивостью во времени и в пространстве. Возникновение внетропических циклонов – вихрей большой пространственной протяженности – представляет собой процесс перехода относительно устойчивого состояния зонального потока в состояние неустойчивости. В связи с этим оценка роли циклонов в глобальной циркуляции атмосферы сводится к общей проблеме взаимодействия средних и вихревых движений. Циклоны, в свою очередь, могут сами модифицировать энергетику режима средних движений [Рудева, 2008; Rudeva, Sergeev, Gulev, 2007; Дымников, Филатов, 1990].

Мощные циклоны средних широт являются причиной особо опасных явлений погоды – штормовых ветров, наводнений, снежных заносов [Ветров, 2007; Калинин, 1999; Бенгтссон, Дж. Лайтхилл, 1985].

Хотя статистически значимых изменений числа циклонов в целом по всему земному шару не наблюдается [Голицын, 2005; Акперов, Бардин, Володин, Голицын, Мохов, 2007; Борисенко, Кравченко, 1979], тем не менее исследователи отмечают существенные изменения в характеристиках жизненного цикла циклонов (такие, как, например, продолжительность жизни, скорость углубления, скорость перемещения и др.). Особенно это касается так называемых штормовых или катастрофических циклонов, количество которых растет от года к году.

Штормовым циклоном называется циклон, скорость ветра в котором (вследствие высоких барических градиентов) при порывах достигает или даже превышает 15 м/с [Борисенко, Кравченко, 1979]. Если следовать классификации океанологов, то ветер, скорость которого составляет 12 м/с, уже считается штормовым [Тупикин, 1988, 1997]. Такие шторма позволяют учесть производственные запросы морских отраслей, так как именно при скорости ветра 12 м/с вводятся ограничения деятельности портов. При этом учитывается и продолжительность штормового ветра – 6 ч и более. Если скорость ветра достигает 15 м/с, то шторм фиксируется даже при его наблюдении в течение одного срока. Такие штормы считаются особо опасными [Тупикин, 1997]. Следует отметить, что потребители прогностической информации, в частности, руководители портовых служб, уже при усилении ветра до 8 м/с должны принимать определенные защитные меры, учитывая при этом местоположение порта и другие его особенности [Хандожко, 1954, 2009].

Циклоны, которые вызывают шторма, можно классифицировать следующим образом [Семка, 2007]:

1. Глубокие циклоны – циклоны, давление в центре которых ниже 980 гПа. На синоптической карте такой циклон окружен большим количеством изобар и напоминает «мишень». Около центра длительное время дуют сильные или штормовые ветры.

2. Циклоны, углубляющиеся над морем.

3. Циклоны с несколькими фронтами. Обычно во фронтальной зоне за счет разницы температур образуются сильные ветры, и вовлечение холодного воздуха в циклон может приводить к его углублению. Циклонические образования при жестоких штормах и отличаются большой интенсивностью циркуляции, а поля в целом – большими градиентами. Часто штормы обуславливаются выходом быстро движущихся циклонов (скорость более 50 км/ч). Во многих случаях при этом наблюдаются процессы блокирования хорошо выраженными малоподвижными антициклонами. Вследствие большой устойчивости блокирующих процессов обширная зона опасных ветров может существовать непрерывно от нескольких суток до нескольких недель [Семка, 2007; Матвеев, 1991].

При разработке методов прогнозирования штормовых циклонов необходимо обращать внимание на то, что за последние годы выявлены некоторые особенности перемещения циклонов по сравнению с предыдущими периодами. Увеличилось количество циклонов, смещающихся по сложным, порой «петлеобразным», траекториям (возвращающиеся циклоны), перемещение которых сложно прогнозировать [Матвеев, 1991].

Можно отметить факт увеличения количества так называемых циклонов «однодневки», или «мезоциклонов», которые развиваются стремительно, по типу взрывного циклогенеза. Такие циклоны, горизонтальные размеры которых не превышают 1000 км, зарождаются и продолжают существовать вне прямой связи с основными фронтальными системами синоптического масштаба. Большое количество мезовихрей (их еще называют полярными циклонами) образуется

в Арктике над свободными ото льда морскими поверхностями в течение зимы [Шакина, 1985]. Основные районы распространения полярных циклонов (ПЦ) в Северном полушарии – море Бофорта, Норвежское, Баренцево и Гренландское моря. Полярные циклоны сложно идентифицировать на синоптической карте, но в то же время они хорошо видны в поле облачности на спутниковых изображениях. Отличительной особенностью ПЦ является очень быстрое падение давления в центре, наличие «глаза» и теплого ядра. В этом проявляется их определенное сходство с тропическими циклонами [Шакина, 1985]. Быстро перемещающиеся и углубляющиеся мезоциклоны чаще всего могут вызывать сильные штормовые ветра [Хандожко, 1954].

Типовые траектории штормовых циклонов определяются географическим положением и активностью высотной фронтальной зоны (ВФЗ). Эволюционное развитие ВФЗ дает основание выделить пять типов движущихся и один тип стационарных циклонов, вызывающих штормовые ветра. Это:

- 1) ныряющие циклоны;
- 2) северо-западные циклоны;
- 3) западные циклоны;
- 4) юго-западные циклоны;
- 5) южные циклоны;
- 6) стационарные циклоны.

Обращает на себя внимание тот факт, что в подавляющем большинстве случаев возникновение опасных штормов в районе исследования связано с циклонами, в циркуляцию которых вовлечены и полярный, и арктический атмосферные фронты. При этом на относительно небольшом пространстве сближаются три воздушные массы [Гандин, Лайхтман, Матвеев, Юдин, 1955].

Следует отметить, что штормовые ветры при ныряющих циклонах практически в 100 % случаев наблюдаются при меридиональной форме циркуляции. Особенно опасными являются северо-норвежские ныряющие циклоны с внезапно возникающими штормовыми ветрами. Скорость этих циклонов в среднем составляет 70–80 км/ч, достигая иногда 100 км/ч именно на участке интенсивного углубления. При северо-западных циклонах штормовые ветра также в большинстве случаев отмечаются при меридиональной форме циркуляции. Западные, юго-западные и южные циклоны связаны в основном с западной и восточной формами циркуляции. Штормы при стационарных циклонах наблюдаются при всех трех формах циркуляции, но чаще при восточной форме. Если обратить внимание на то, что в настоящее время отмечается значительное увеличение количества циклонов, смещающихся по траекториям с преобладающей меридиональной составляющей, то это косвенно подтверждает и увеличение штормовых циклонов. Такое увеличение составляет от 7 до 21 % в зависимости от района и сезона года [Тупикин, 1988, 1997; Хандожко, 1954].

Штормовые циклоны можно еще типизировать и по следующим характеристикам их перемещения в первые сроки нахождения этих циклонов в исследуемом районе:

- а) координаты появления (выхода);
- б) направление и скорость перемещения;
- в) экстремальное давление в центре циклона;
- г) осредненный барический градиент.

Однако только по одному признаку (место появления или формирования) разделить циклоны на потенциально опасные (в плане генерации штормовых ветров) весьма сложно. Для более надежной типизации следует учитывать и другие характеристики. Штормовые циклоны имеют вполне определенную структуру термобарического поля [Тупикин, 1988]. Во всех перечисленных циклонах штормовые ветры отмечаются, как правило, при адвекции холода в нижнем 5-километровом слое.

Внетропический крупномасштабный циклогенез происходит на атмосферных фронтах. Начинается он с образования фронтальной волны под высотной фронтальной зоной (волной Россби). Фронтальные волны делятся на устойчивые, которые не превращаются в циклоны, и неустойчивые, которые дают начало образованию циклонов. Если циклон оформляется в течение $\Delta t < 12$ ч, то процесс его образования называют "взрывным" циклогенезом. Хотя результатом этого процесса является образование нормального циклона синоптического масштаба, сам процесс относят к разряду мезомасштабных из-за весьма короткого времени, в течение которого он протекает ($\Delta t = 10^{-4}$ с).

Основными условиями, влияющими на скорость циклогенеза, являются:

- а) динамическая (бароклинная) неустойчивость;
- б) спиралевидность атмосферных движений;
- в) адвекция воздушной массы.

Динамическая неустойчивость атмосферы является одним из необходимых условий возникновения возмущений синоптического масштаба. Иницилируя процесс крупномасштабного циклогенеза, динамическая неустойчивость тем самым косвенно влияет на формирование малых возмущений, так как возникающая циклоническая циркуляция способствует разрешению статической неустойчивости [Русин, Тараканов, 1996].

Циклогенез является процессом, охватывающим практически всю тропосферу. Поэтому желательно принять во внимание бароклинность наиболее активной части тропосферы, т. е. в слое от 850 до 300 гПа. Тогда безразмерный параметр динамической неустойчивости можно представить в виде:

$$D = \frac{DI_{850}^{500} + DS_{700}^{300}}{2 \cdot 10^{-10}}, \quad (1)$$

где DI_{850}^{500} – показатель неустойчивости в слое 500–850 гПа; DS_{700}^{300} – то же в слое 300–700 гПа [Колс, 1985; Неелова, Дикинис, Еремина, 2010].

Спиралевидность атмосферных движений – мера наклона оси вихря по отношению к вектору скорости течения воздуха – вычисляют в виде ее суммарного значения для слоев 700–850, 500–700 и 300–500 гПа:

$$S_p = S_{p_{850}}^{700} + S_{p_{700}}^{500} + S_{p_{500}}^{300} \quad (2)$$

и относят ее к среднему значению спиралевидности при циклогенезе, которое в средних и высоких широтах приблизительно равно 0,00113 м/с:

$$S = \frac{S_p}{\bar{S}_p}. \quad (3)$$

Заметим, что при циклогенезе спиралевидность движений не равна нулю. Но реальные значения могут быть как положительными, так и отрицательными. Интенсивный процесс циклогенеза идет при положительных значениях параметра спиралевидности.

Адвективные изменения температуры в выше названных слоях атмосферы рассчитывались по общеизвестным формулам [Погосян, Бурцев, 1957].

Анализ полученных результатов

Анализ результатов расчета количественных характеристик циклогенеза показал, что одним из наиболее характерных параметров является **динамическая неустойчивость** атмосферы, формирующаяся в генерации малых возмущений (рис. 1).

Вызывая процесс крупномасштабного циклогенеза, динамическая неустойчивость тем самым косвенно влияет на формирование мезомасштабных возмущений.

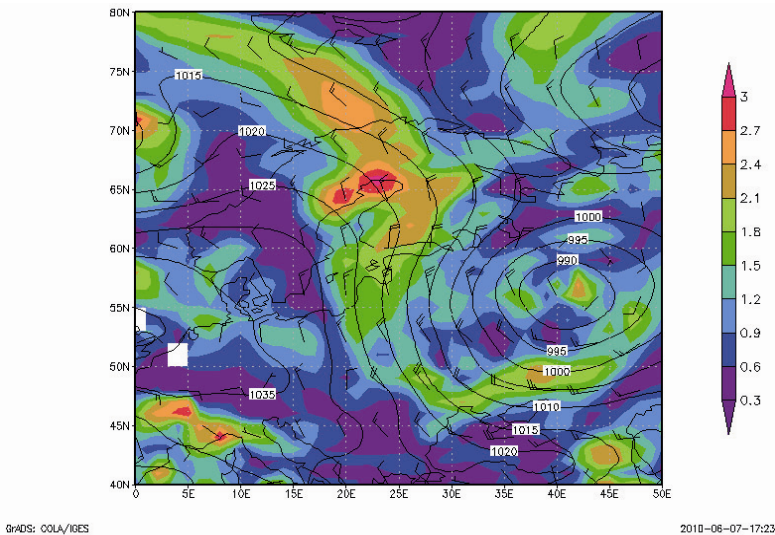


Рис. 1. Поле динамической неустойчивости

Также анализ полученных результатов показал, что важным физическим фактором, приводящим к крупномасштабным неустойчивостям, является **спиралевидность** (рис. 2).

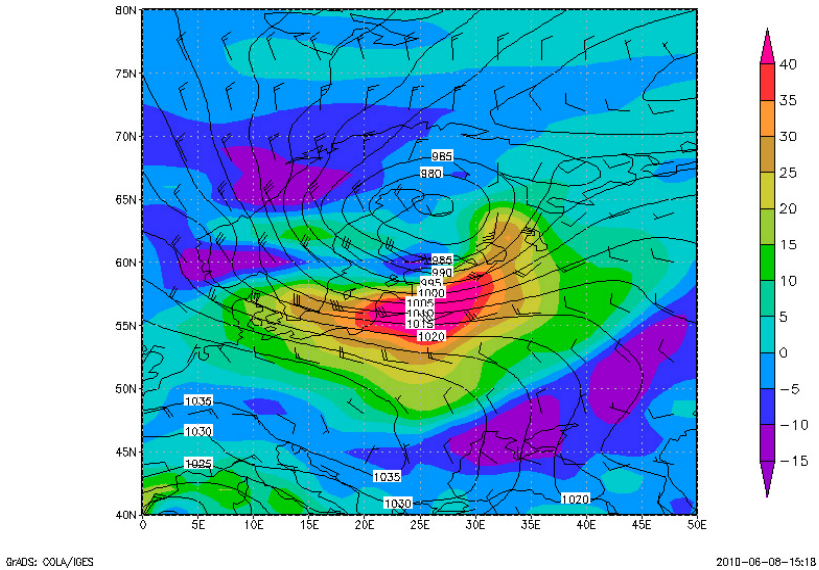


Рис. 2. Поле спиральности

Спиральность является необходимым условием возникновения мезоциклона. На следующем этапе вхождение мезоциклона в зону холодного фронта вызывает активный циклогенез.

Численно активность циклонической деятельности оценивалась по величине **адвективных факторов** (рис. 3).

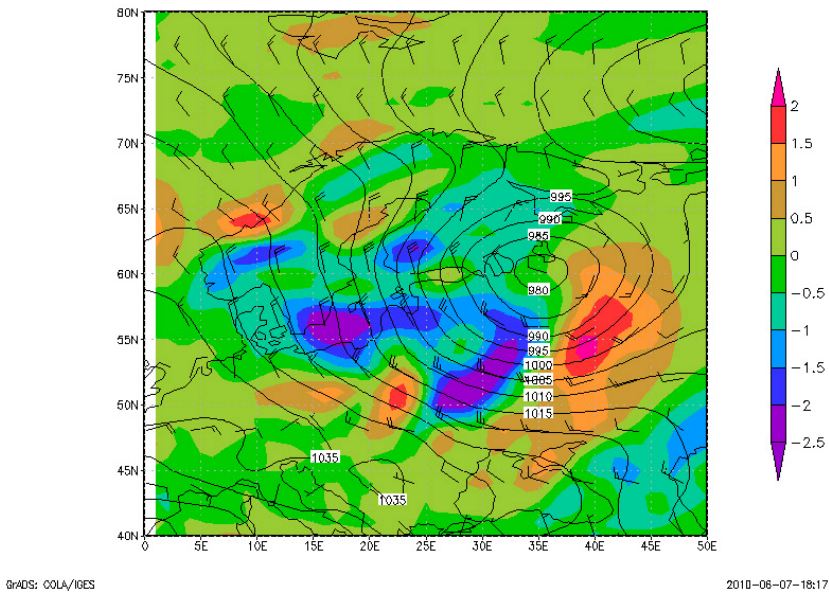


Рис. 3. Поле адвекции воздушной массы

Показано что, влияние адвекции тем больше, чем больше горизонтальный градиент температуры воздуха, чем больше скорость ветра и чем больше совпадают по направлению оба эти вектора.

Заключение

Разработан подход анализа макросиноптических параметров, определяющий экстремальную активность процессов циклогенеза. Реализация разработанной методики позволила выделить из сформированного синоптического архива (1960–2005 гг.) крупномасштабные атмосферные процессы, характеризующиеся формированием очагов сверхштормов со скоростью ветра более 15 м/с.

Были рассчитаны количественные параметры 5 случаев штормового циклона. В качестве примера рассмотрены синоптические ситуации развития штормового циклона в период 18–19.12.2001.

Показана возможность численного анализа синоптических условий возникновения в обширном поле циклонического образования, покрывающим значительную часть морской акватории, очагов «сверхштормов» со скоростью ветра более 20 м/с, которые наиболее важно и необходимо определять.

Следует отметить, что результаты выполненной работы могут быть рекомендованы для использования потребителями прогностической информации, в частности, руководителями портовых служб, а также подразделений оперативного предназначения морских судов при усилении ветра более 15 м/с, что позволит принять определенные защитные меры.

Литература

1. Акперов М.Г., Бардин М.Ю., Володин Е.М., Голицын Г.С., Мохов И.Н. Функции распределения вероятностей циклонов и антициклонов по данным реанализа NCEP/NCAR и модели ИВМ РАН // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2007, т. 43, № 6, с. 705–712.
2. Борисенко М.М., Кравченко И.Н. Некоторые результаты исследований режима сильных ветров на Балтике и на северо-западе ЕТ СССР // Тр. Зап.-Сиб. НИГМИ, 1979, № 145, с. 41–51.
3. Ветров А.Л. Трансформация доступной потенциальной энергии в циклонах вследствие фазовых переходов воды. – Пермь, 2007. – 100 с.
4. Гандин Л.С., Лайтман Д.Л., Матвеев Л.Т., Юдин М.И. Основы динамической метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. – 646 с.
5. Голицын Г.С. Размеры циклонов и статистические свойства их ансамбля // ДАН, 2005, т. 401, № 1, с. 72–74.
6. Голицын Г.С., Мохов И.И., Акперов М.Г., Бардин М.Ю., Володин Е.М. Оценки гидрометеорологических рисков и функций распределения интенсивности атмосферных вихрей по данным реанализа и модельным расчетам // Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям: Международная конференция по проблемам гидрометеорологической безопасности. – М., 2007, с. 53–64.
7. Дьямников В.П., Филатов А.Н. Устойчивость крупномасштабных атмосферных процессов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 236 с.
8. Интенсивные атмосферные вихри [Тр. симпоз., г. Реддинг (Англия) 14–17 июля 1981 г.] / Под ред. Л. Бенгтссона, Дж. Лайтхилла; Пер. с англ. Е.М. Добрышмана; Под ред. Г.С. Голицына. – М.: Мир, 1985.
9. Калинин Н.А. Энергетика циклонов умеренных широт. – Пермь: изд. ПГУ, 1999. – 192 с.
10. Колс. К.А. Под парусом в шторм. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 303 с.

11. *Матвеев Л.Т.* Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: Гидрометеониздат, 1991. – 295 с.
12. *Неелова Л.О., Дикинис А.В., Еремина Н.С.* «Взрывной» циклогенез // XVII междунар. конф. «Математика. Компьютер. Образование». – Дубна, 2010.
13. *Погосян Х.П., Бурцев А.И.* Особенности эволюции полей температуры, влажности и давления воздуха в развивающихся циклонах // Изв. Академии наук СССР. Сер. Геофизика, 1957, № 2, с. 244–254.
14. *Рудева И.А.* Жизненный цикл атмосферных внетропических циклонов Северного полушария и его связь с процессами взаимодействия океана и атмосферы: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 2008. – 31 с.
15. *Рудева И. А.* О взаимосвязи количества внетропических циклонов и их размеров // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2008, т. 44, № 3, с. 294–330.
16. *Русин И.Н., Тараканов Г.Г.* Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – СПб., 1996. – 116 с.
17. *Семка В.В.* Синоптико-статистический анализ и прогноз опасных явлений и неблагоприятных погодных условий в циклонах умеренных широт: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Воронеж, 2007. – 186 с.
18. *Тупикин С.Н.* Термобарические условия возникновения сильных ветров в южной части Балтийского моря. – В сб.: «Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в морях СССР». – Л.: Гидрометеониздат, 1988, с. 217–260.
19. *Тупикин С.Н.* Сильные ветра Балтийского моря (Анализ, статистика, типизация). – Калининград, 1997. – 96 с.
20. *Хандожко Л.А.* Типовые траектории штормовых циклонов для Северо-Запада ЕТС // Тр. ЛГМИ, 1954, вып. 22, с. 54–61.
21. *Хандожко Л.А.* Методика оценки экономического эффекта метеорологических прогнозов для морских портов России // Метеоспектр, 2009, № 2, с. 51–63.
22. *Шакина Н.П.* Динамика атмосферных фронтов и циклонов. – Л.: Гидрометеониздат, 1985. – 263 с.
23. *Rudeva I., Sergeev K., Gulev P.* / Climatology of the cyclone size characteristics and their changes during the cyclone life cycle. // Monthly Weather Review, 2007, vol.135, No.7, p.2568–2587.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2.2 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П1570 от 10 сентября 2009 г.) по направлению «Мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы».