

## ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ

<sup>1,2</sup>Н.В. Вазаева, <sup>1,3</sup>О.Г. Чхетиани, <sup>1</sup>Л.О. Максименков, <sup>1</sup>М.В. Курганский

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

ifanataly@gmail.com

## INTEGRAL CHARACTERISTICS OF POLAR LOWS

<sup>1,2</sup>N.V. Vazaeva, <sup>1,3</sup>O.G. Chkhetiani, <sup>1</sup>L.O. Maksimenkov, <sup>1</sup>M.V. Kurgansky

<sup>1</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>N.E. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

**Аннотация.** Проводится вычисление интегральных характеристик полярных мезоциклонов, в частности энергии и спиральности, с использованием данных ре-анализа (ECMWF), результатов численного моделирования в мезомасштабной атмосферной модели WRF (версия 3.6.1), сравнение с экспериментальными данными. Исследуется возможность использования спиральности как диагностического фактора и в качестве прогностической характеристики для полярных мезоциклонов, на примере интенсивного полярного мезоциклона над поверхностью Норвежского и Баренцева моря в период с 29 по 31 марта 2013 г.

**Ключевые слова:** полярные мезоциклоны, численное моделирование, данные ре-анализа, спиральность.

**Abstract.** The calculating of integral characteristics of Polar Lows such as energy and helicity according to re-analysis data (ECMWF), WRF numerical model findings (version 3.6.1), experimental data have been carried out. The helicity applicability as diagnostic factor and as the prognostic factor for Polar Lows has been investigated the case of intense Mesocyclonic formations, that can be observed over Norwegian Sea and Barents Sea surfaces in the period between 27 and 31 March, 2013.

**Keywords:** polar lows, numerical simulation, re-analysis data, helicity.

### Введение

Данные о полярных мезоциклонах (ПМЦ) появились во второй половине XX века [Harley D.G. 1960]. Более обширная информация об интенсивных мезоциклонах в полярных широтах стала доступной при использовании спутниковых изображений облачного покрова [Заболотских и др., 2015]. Начиная с 2000 гг. заметно возрастает количество публикаций по исследованию ПМЦ, в частности, статьи 2008, 2014 гг., иллюстрирующие аналогию между ПМЦ и тропическими ураганами [Голицын, 2008].

ПМЦ являются одними из наиболее опасных явлений в полярных широтах, в силу специфики циркуляции океана и атмосферы в северной Атлантике и прилегающим к ней морям Ледовитого океана. Интенсивные ПМЦ вызывают экстремальные погодные условия, штормовые волнение и ветер, обледенение судов и сооружений, снежные заряды. Учет экстремальных ситуаций, связанных с ПМЦ, важен при проектировании и строительстве промышленных объектов в высоких широтах и для обеспечения морских транспортных операций [Rasmussen, Turner, 2003; Луценко, Лагун, 2011].

### Краткая характеристика объекта исследования

Интегральные характеристики ПМЦ исследуются на примере интенсивного ПМЦ над поверхностью Норвежского и Баренцева моря в период с 29 по 31 марта 2013 г.

Причинами возникновения выбранного мезоциклона можно назвать бароклинный форсинг, ответственный за генерацию большинства вихрей; конвекцию, играющую важную роль в Северном полушарии, в котором разница турбулентных потоков явного и скрытого тепла в различных регионах и перепад температуры между приповерхностным воздухом и морской поверхностью довольно велики, как, например, в Баренцевом море. Орография влияет на мезоциклоны данной области незначительно. Типичная скорость перемещения циклонических мезовихрей достигает 50 км/час, при приближении к суше они быстро теряют интенсивность; изредка встречаются малоподвижные ПМЦ. Характерное время жизни ПМЦ составляет порядка суток [Луценко, Лагун, 2011].

Предположительно, указанный вихрь синоптического масштаба между норвежским побережьем и Шпицбергом образовался как система «мгновенной окклюзии». Схема предполагает образование мезоциклона при взаимодействии отрицательной аномалии давления и вторичной бароклинной зоны, стационарного фронта или фронта окклюзии. Эти циклоны по модели образования и морфологическим признакам системы облачности можно отнести к типу «облачная запятая» (западнее) и «облачная спираль» (восточнее) [Вереземская, 2016].

### Описание исследуемых характеристик и численной модели

Проводится вычисление интегральных характеристик ПМЦ, в частности геопотенциала, энергии

и спиральности, с использованием данных реанализа (ECMWF), результатов численного моделирования в мезомасштабной атмосферной модели WRF (версия 3.6.1), их сравнение с экспериментальными данными.

Спиральностью называется скалярное произведение поля скорости на завихренность:  $H = \text{vrot}(v)$ . Для экмановского течения спиральность в данном случае определяется только горизонтальными компонентами завихренности и имеет вид [Hide, 1989; Курганский, 1989]:  $H(z) = -U(z) \frac{\partial V}{\partial z} + V(z) \frac{\partial U}{\partial z}$ . Здесь  $z$  — вертикальная координата.

Интегральная спиральность равна одной второй квадрата скорости геострофического ветра [Курганский, 1989]:  $H_{\text{int}} = \int_0^{\infty} H(z) dz = \frac{1}{2} (U_G^2 + V_G^2)$ .

Для численного моделирования была выбрана открытая исследовательская негидростатическая мезомасштабная атмосферная модель WRF (версия 3.6.1) — Weather Research and Forecasting [Skamarock et al., 2008]. В настоящее время модель WRF является одной из наиболее универсальных и отработанных открытых систем моделирования атмосферы. Она успешно и широко используется для метеорологического прогнозирования и исследовательских целей в научных организациях и метеослужбах многих стран и продолжает развиваться.

Данные по выбору сетки и схем параметризации представлены в таблице

Параметры сетки и выбранные схемы параметризации в модели WRF-ARW

Run time	01.03.2013 00–31.03.2013 18 UTC
Number of domains	2
Simulation Domains (parent/nest)	50° N–90° N, 30° W–70° E / 60° N–90° N, 0° E–60° E
Map projection	Polar
Grid distance	10 000 м (10 км)/3333 м (3.333 км)
Full south-north dimension	327/109
Full east-west dimension	270/90
Full vertical dimension	50
Time step	60 sec
Longwave Radiation	CAM/CAM [Community atmosphere model, Collins et al., 2004]
Surface Layer	Monin-Obukhov (Zilitinkevitch)
Land Surface Model	Noah, [Chen et al., 2001]
Planetary Boundary Layer	Схема Меллора-Ямады и Янича [Janjic, 1994, MWR]

### Результаты

Изначально хорошая корреляция между интегральной спиральностью и полусуммой квадратов компонент геострофической скорости ветра была замечена для данных, полученных при содарных измерениях в Калмыкии и Цимлянске, на верхних уровнях зондирования [Вазаева и др., 2017]. Этот факт позволяет использовать данные по этим скоро-

стям для построения глобальных или региональных полей спиральности, существенно упрощая процесс построения. Вычисление существующих показателей интенсивности циклонов, таких как относительная спиральность (Storm-relative environmental helicity, storm-relative helicity), индекс спиральности, требует значительных временных затрат.

Используя вышесказанные выводы об аналогии спиральности и ее оценки через компоненты квадратов скоростей геострофического ветра, выберем критерий оценки спиральности как интегральной, площадной характеристики, относящейся к целостным вихревым образованиям, как осредненный по некоторой предварительно выбранной площади параметр:  $H_{\text{den}}(x_i, y_i) = \frac{1}{2HGT} (U_G^2 + V_G^2)$ .

Площадь охватывает всю последующую область действия ПМЦ. Анализируются данные ECMWF над поверхностью Норвежского и Баренцева моря, 01.03.13 – 31.03.13. Результаты для уровня 975 гПа представлены на рис. 1. Видно, что в период жизни (действия) циклонических (или иных вихревых) образований, локальные минимумы геопотенциала соответствуют локальным максимумам оценки спиральности. Падение значения оценки спиральности связывается с отсутствием циклонов. Перед формированием ПМЦ начинается рост оценки спиральности, где-то с 25.03.2013. Затем ПМЦ начинает окклюдировать, границы его расширяются, вращение замедляется, и значение оценки спиральности падает. Ближе к концу анализируемого периода ПМЦ концентрируется в рассматриваемой области, и оценка спиральности снова возрастает. Локальные изменения спиральности граничат с фронтом циклона.

Результаты моделирования при помощи WRF-ARW модели показаны на рис. 2. Относительное изменение геопотенциала и оценки спиральности по выбранному выше критерию имеют подобный вид по сравнению с графиком, полученным при использовании данных реанализа ECMWF. На рис. 3 заметна хорошая корреляция хода оценки спиральности для данных ECMWF и хода результатов моделирования на WRF.

Выбранный критерий оценки спиральности может иметь прогностический/ диагностический смысл как полезная дополнительная физическая/гидродинамическая характеристика атмосферных движений.

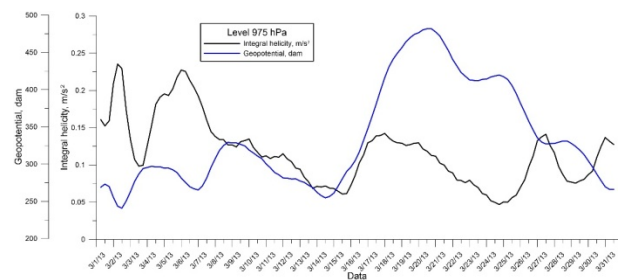


Рис. 1. Спиральность и геопотенциал по данным ECMWF на уровне 975 гПа

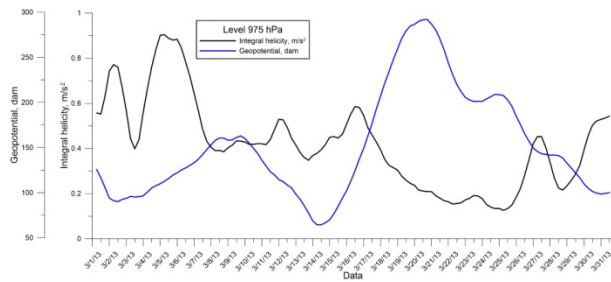


Рис. 2. Спиральность и геопотенциал по результатам WRF на уровне 975 гПа

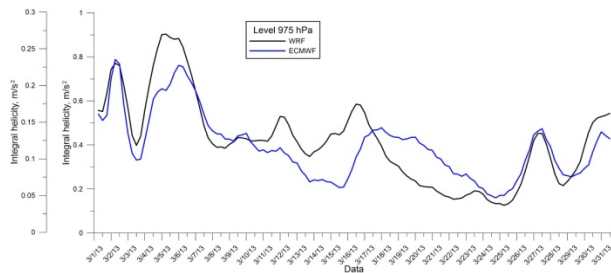


Рис. 3. Сравнение хода спиральности по данным ECMWF и по результатам WRF на уровне 975 гПа

Исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 14-17-00806).

### Список литературы

- Вазаева Н.В., Чхетиани О.Г., Кузнецов Р.Д. и др. Оценка спиральности в атмосферном пограничном слое // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53, № 2. С. 200–214.
- Вереземская П.С. Численное моделирование структуры и эволюции полярного мезоциклона в Карском море. Часть 1. Проверка модели и оценки механизмов неустойчивости // Метеорология и гидрология. 2016. № 6. С. 69–81.
- Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44, № 5. С. 579–590.
- Заболотских Е.В., Гурвич И.А., Шапрон Б. Новые районы распространения полярных циклонов в Арктике как результат сокращения площади ледового покрова // Исследование Земли из космоса. 2015. № 2. С. 64–77.
- Курганский М.В. О связи между спиральностью и потенциальным вихрем в сжимаемой вращающейся жидкости // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25, № 12. С. 1326–1329.
- Луценко Э.И., Лагун В.Е. Полярные мезомасштабные циклоны в атмосфере над Баренцевым и Карским морями // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. Т. 96, № 2. С. 76–89.
- Harley D.G. Frontal contour analysis of a “polar” low // Meteorol. Mag. 1960. V. 89. P. 146–147.
- Hide R. Superhelicity, helicity and potential vorticity // Geophys. Astrophys. Fluid Dyn. 1989. V. 48, № 1–3. P. 69–79.
- Rasmussen E.A., Turner J. Polar lows. Cambridge, Cambridge University Press, 2003, 612 p.
- Skamarock W.C. et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3. // NCAR Techn. Note–475 + STR. June 2008. 125 p.