

Метод прогноза шквалов с использованием термодинамических параметров атмосферы и потенциального вихря Эртеля

Ю. И. Юсупов*

Рассмотрен метод прогноза шквалов, основанный на определении зон активной конвекции и расчете в этих зонах по ветрам в тропосфере максимальных порывов ветра у земли. Для прогноза активной конвекции применяется расчет области пересечения потенциального вихря Эртеля с бароклинные фронтальными зонами в нижней тропосфере. В качестве данных для расчета использованы прогностические поля метеовеличин из гидродинамических моделей, поступающих в кодах GRIB и GRIB2. Представлены результаты статистической обработки данных. Приведен анализ конкретного случая шквала в центральном регионе европейской территории России.

Введение

Прогноз шквалов является одной из главных задач в метеорологии, поскольку они относятся к явлениям погоды, представляющим угрозу безопасности людей и способным нанести значительный ущерб отраслям экономики. Шквалы относятся к мезомасштабным явлениям, связанным с зонами активной конвекции.

В работах [6, 7] описаны рекомендованные к применению на территории России методы прогноза шквалов Пескова и Снитковского [7], Решетова [6], Фобуша – Миллера [7]. Успешность прогноза с помощью указанных методов в большой степени зависит от правильной оценки синоптического положения, а это в свою очередь, является довольно трудоемкой и субъективной задачей, что представляет основную сложность для создания надежного алгоритма по оперативному прогнозу шквалов.

Методы прогноза шквалов [1, 2, 4] были разработаны специально для проведения расчетов в автоматизированном режиме. Основными предикторами для этих методов является максимальная конвективная скорость и лапласиан приземного давления. Метод [1] был рекомендован Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета к внедрению в оперативную технологию, однако была отмечена не очень высокая надежность метода [8].

В ряде работ [12 - 14, 19, 21] для диагноза и прогноза зон активной конвекции предлагается воспользоваться расчетом потенциального вихря в тропосфере. Согласно [17], наличие положительной аномалии потенциального вихря (PV) в верхних и средних

* ООО "НПЦ "Мэп Мейкер"; e-mail: usupov@gismeteo.com.

слоях тропосферы приводит к уменьшению конвективной устойчивости в нижних слоях. Здесь и далее под аномалией потенциального вихря подразумевается согласно [17], положительный в Северном полушарии локальный максимум изэнтропического потенциального вихря. В работе [20] отмечается, что аномалия PV в верхней и средней тропосфере связана с развитием конвективных процессов, способствующих подъему воздушных частиц с нижних уровней. Согласно [13], изменения в значении PV происходят в основном в результате нагрева воздуха, вызванного выделением скрытой теплоты конденсации, поэтому образование аномалии PV в средней тропосфере чаще всего связано с развитием глубокой влажной конвекции. Согласно [21], аномалия потенциального вихря в средней и верхней тропосфере вызывает изменения в стратификации температуры таким образом, что уменьшается статическая устойчивость атмосферы, уменьшается энергия противодействия конвекции (CIN) и увеличивается доступная потенциальная энергия конвекции (CAPE). В работах [12, 14, 20] предлагается использовать расчет потенциального вихря для диагноза формирования и развития линии шквалов. Согласно [12], основное преимущество в использовании для этой цели потенциального вихря состоит в том, что PV чувствителен к изменению как количества движения, так и притока тепла.

В работе [11] был описан способ прогноза зон наиболее вероятного возникновения шквалов, основанный на расчете области пересечения аномалии потенциального вихря и бароклинических зон в нижней тропосфере. В настоящей статье излагается дальнейшее развитие этого метода.

Методика и алгоритм расчета

По современным представлениям шквалы происходят в результате глубокой влажной конвекции [16]. Необходимы три условия, при которых происходит влажная конвекция [16, 19]:

1. Достаточная влажность в приземном слое (не менее 60 %).
2. Неустойчивость или слабая устойчивость в нижней тропосфере.
3. Динамическое вынуждение, в результате которого происходит подъем воздушных частиц до уровня свободной конвекции.

Известно, что большинство шквалов (более 80%, в том числе самые сильные) происходят на холодных фронтах [5, 6]. Одним из условий существования активных фронтальных зон является достаточное количество влаги в приземном слое [9, 10, 18]. Согласно [9], в окрестностях фронтов, систематически формируются конвективно-неустойчивые или слабоустойчивые слои. Таким образом, в активной фронтальной зоне выполняются 1 и 2 условия из необходимых для развития глубокой влажной конвекции. Третье условие - динамическое вынуждение, в результате которого воздушные частицы поднимаются до уровня свободной конвекции. В работе [17] взрывное понижение давления на поверхности земли объясняется мощными восходящими движениями, которые возникают при взаимодействии положительной (в северном полушарии) аномалии потенциального вихря с бароклиническими зонами в нижней тропосфере. Согласно [17], в результате этого взаимодействия возникает система с положительной обратной связью, состоящая из аномалии потенциального вихря в верхних слоях тропосферы и положительной температурной аномалией в приземной бароклинической зоне. Таким образом, присутствие положительной аномалии PV в тропосфере с одной стороны является признаком существования зон активной конвекции [13, 21], с другой [17] взаимодействие аномалии PV с приземными бароклиническими зонами, создает условия для динамического вынуждения, способствующего образованию и усилению конвекции. Следовательно, определив аномалии потенциального вихря и приземные бароклинические зоны, при условии их пересечения, можно предположить с большой долей вероятности о существовании или формировании в этой области зоны активной конвекции. Согласно [2], скорость ветра при

шквале зависит от кинетической энергии нисходящего потока и от горизонтального ветра в нижних и средних слоях тропосферы. Поэтому далее, в найденной области необходимо исследовать распределение ветра на высотах, поскольку, согласно [2], шквалы образуются в результате опускания воздуха и переноса количества движения сверху вниз.

Потенциальный вихрь Эртеля математически представляет собой произведение абсолютного вихря на изэнтропической поверхности на выражение, определяющее устойчивость атмосферы [16]:

$$PV = (f + \zeta_{\theta}) \cdot (-g \partial \theta / \partial p), \quad (1)$$

где f – параметр Кориолиса; ζ_{θ} – относительный вихрь скорости на изэнтропической поверхности; g – ускорение силы тяжести; θ – потенциальная температура; p – давление.

Относительный вихрь скорости, определяется по формуле

$$\zeta_{\theta} = \partial v_{\theta} / \partial x - \partial u_{\theta} / \partial y,$$

где u_{θ} , v_{θ} – составляющие скорости вдоль осей X , Y на изэнтропической поверхности.

В работе [11] предлагалось рассчитывать значение потенциального вихря, приведенное к изобарической поверхности 500 гПа в качестве одного из предикторов.

Положение бароклинных зон рассчитывалось по модифицированной методике [18].

Значение функции, определяющей положение фронтальных линий, по этой методике находится следующим образом:

$$\psi = \nabla | \nabla ZTE | \cdot \mathbf{n}_{ZTE}, \quad (2)$$

где ZTE – эквивалентная "толщина слоя" от 1000 до 500 гПа [18], ∇ – оператор градиента, $\nabla = i \partial / \partial x + j \partial / \partial y$, \mathbf{n}_{ZTE} – единичный вектор, направленный в сторону уменьшения ∇ZTE .

В работе [19] предлагается рассчитывать фронтальный параметр ZTE следующим образом:

$$ZTE = - \sum_{1000}^{500} \frac{R}{g} \bar{T}_e \ln(p_u / p_l) \quad (3)$$

$T_e = (T_{e,u} - T_{e,l}) / \ln(T_{e,u} / T_{e,l})$ – средняя эквивалентная температура в слое;

$$T_e = T \exp(L q_m / C_p T), \quad (4)$$

где L – скрытая теплота конденсации, q_m – отношение смеси, C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении.

Активные фронты всегда сопровождаются мощными восходящими движениями и, следовательно, развитыми облачными системами и зонами осадков [10]. Поэтому, для устранения тех участков гребней ψ , которые не соответствуют активным фронтальным зонам, используется индекс влажности

$$NIX = (ZTE - ZT) / (ZTES - ZT), \quad (5)$$

где ZT – толщина слоя 1000–500 гПа, $ZTES$ – значение эквивалентной "толщины" в состоянии насыщения, определяемое по формуле (3), где вместо q_m используется отношение смеси в состоянии насыщения. В соответствии с [18], области с $NIX > 0.7$ очень близки к облачным фронтальным системам, наблюдаемым на спутниковых изображениях.

Согласно [18], значения $HIX > 0.7$ и $\Psi > 2.5$ считаются необходимым условием для существования активных фронтальных зон. Значения Ψ тем больше, чем больше бароклинность в слое 1000–500 гПа, и этот параметр содержит информацию не только о положении, но и об интенсивности фронта [10].

Как уже отмечалось выше, наиболее опасные шквалы возникают на холодных фронтах [5], кроме того только на холодном фронте [17] возможно образование положительной температурной аномалии в нижней тропосфере, возникающей вследствие циклонической циркуляции в бароклинной зоне. Поэтому, был предусмотрен алгоритм определения холодных и теплых участков фронта (по значению адвективного изменения ZTE) [15]:

$$A_g = -V \cdot \nabla ZTE, \quad (6)$$

где V – геострофический ветер.

При $A_g < 0$ – определяется холодный фронт, при $A_g \geq 0$ – теплый. Действительно, A_g – взятое со знаком минус скалярное произведение двух векторов, имеет отрицательное значение, когда угол между векторами менее 90° . Вектор градиента фронтального параметра направлен в сторону увеличения этого параметра, следовательно, при $A_g < 0$ будет происходить адвекция холодного воздуха, а при $A_g > 0$ – теплого.

Делая предположение о независимости предикторов, предлагается для прогноза зон активной конвекции рассчитывать функцию Fe , определяемую следующим образом:

$$Fe = \Psi \cdot PV \quad (7)$$

при $\Psi < k_\Psi$, $\Psi = 0$; при $PV_{500} < k_{PV}$, $PV = 0$; при $A_g > 0$, $Fe = 0$ (k_Ψ , k_{PV} – пороговые значения, найденные в результате статистической обработки).

При $Fe > 0$ в точке сетки, для которой производился расчет, следует прогнозировать глубокую влажную конвекцию. Как уже говорилось выше, для формирования шквала необходимо учесть распределение ветра в нижней и средней тропосфере, поскольку сильный шквал возможен только в результате переноса нисходящим потоком количества горизонтального движения нижней половины тропосферы [6]. Максимальную скорость ветра при шквале, в точках сетки, где $Fe > 0$, можно рассчитать, воспользовавшись методом [8]:

$$U_{\max} = -4 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 8.8 \cdot 10^{-4} \cdot V^3 - 0.0618 \cdot V^2 + 1.969 \cdot V, \quad (8)$$

где V – сумма скоростей ветра от Земли до изобарической поверхности 500 гПа.

Оценка эффективности прогноза шквалов

Для расчета диагностических характеристик (предикторов) и определения их связи со шквалами использовались данные о фактических максимальных порывах ветра на метеостанциях европейской территории России за период с мая по октябрь 2012 г., прогностические поля метеовеличин (давление, геопотенциал, температура, ветер, влажность) с заблаговременностью 12 ч по модели AVN Вашингтон на сетке $1 \times 1^\circ$, получаемых в коде GRIB.

Обработка результатов проводилась в соответствии с методическими указаниями [8]. Данные о порывах ветра на метеостанциях использовались без осреднения и интерполяции. Рассматриваемые в работе предикторы вычислялись непосредственно для каждой конкретной метеостанции (для сеточных функций применялась интерполяция). Для каждого анализируемого предиктора находилось пороговое значение, соответствующее сильным ветрам (> 18 м/с). Эффективность каждого предиктора оценивалось с помощью критерия надежности Н. А. Багрова Va (для редких явлений) и

критерия качества Пирси - Обухова [8] *PI*. Пороговые значения предикторов подбирались таким образом, чтобы получить максимальные значения *Va* и *PI* соответственно. Считалось, что сильный ветер возможен только в случае превышения порогового значения представленных предикторов. Полученные на диагностическом материале значения критериев *Va*, *PI* для каждого из предикторов PV, Ψ , Умакс приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка эффективности прогноза шквалов с помощью предикторов PV, ψ и Умакс по данным наблюдений и расчетам по модели Вашингтон AVN

Прогноз шквалов, предиктор		Наблюдения			Критерий		Пороговые значения
		$\geq 18\text{м/с}$	$< 18\text{м/с}$	всего	PI	Va	
PV, $10^{-6} (\text{K}^\circ \text{м}^2) / (\text{кг с})$	$\geq 18\text{м/с}$	602	32893	33495	0,01	0,02	0,6
	$< 18\text{м/с}$	182	10347	10529			
	всего	784	43240	44024			
$\psi, \text{K}^\circ/\text{м}^2$	$\geq 18\text{м/с}$	565	22356	22921	0,2	0,03	2,5
	$< 18\text{м/с}$	219	20884	21103			
	всего	784	43240	44024			
Умакс, м/с	$\geq 18\text{м/с}$	620	29788	30408	0,1	0,02	18
	$< 18\text{м/с}$	164	13452	13616			
	всего	784	43240	44024			

Таблица 2

Результаты испытания предлагаемого метода прогноза шквалов ($\geq 18 \text{ м/с}$)

Прогноз	Наблюдения		Всего
	$\geq 18 \text{ м/с}$	$< 18 \text{ м/с}$	
Шквал $\geq 18 \text{ м/с}$	482	696	1178
$< 18 \text{ м/с}$	203	42147	42354
Всего	689	42843	43532

Оценка успешности прогноза шквалов предлагаемого метода проводилась в соответствии с работой [9], в Гидрометцентре России. Для проверки была выбрана Европейская территория России между $43^\circ - 65^\circ$ северной широты и $27^\circ - 57^\circ$ восточной долготы (без части Украины и Казахстана). Оперативные испытания проводились в мае -

сентябре 2012 г. по данным модели Вашингтон AVN. Расчеты проводились по данным за 0 ч. ВCB, с заблаговременностью 12 ч. Оценка проводилась путем сравнения с данными наблюдений по территории в радиусе, составляющем половину шага сетки для $V_n \geq 18$ м/с. В качестве данных наблюдений брались данные о максимальных порывах ветра между сроками. Одновременно в лаборатории ИОМП ГМ РФ проводились испытания эффективности других методов прогноза шквала: Алексеевой [1], Васильева[2], Переходцевой [4] и мезомасштабной модели COSMO-RU [3].

В табл. 2 представлена матрица сопряженности для предлагаемого метода. Сравнение оценок успешности прогноза шквалов по результатам испытаний представлено в табл. 3. Из данных табл. 3 видно, что основное отличие предлагаемого метода от других, представленных в испытаниях, в резком уменьшении ложных тревог (на порядок, по сравнению с методами [1, 2, 4]). Также из Табл. 3 видно, что предлагаемый метод имеет лучшие показатели по всем критериям качества и надежности.

Таблица 3

Сравнение оценок успешности методов прогноза шквалов

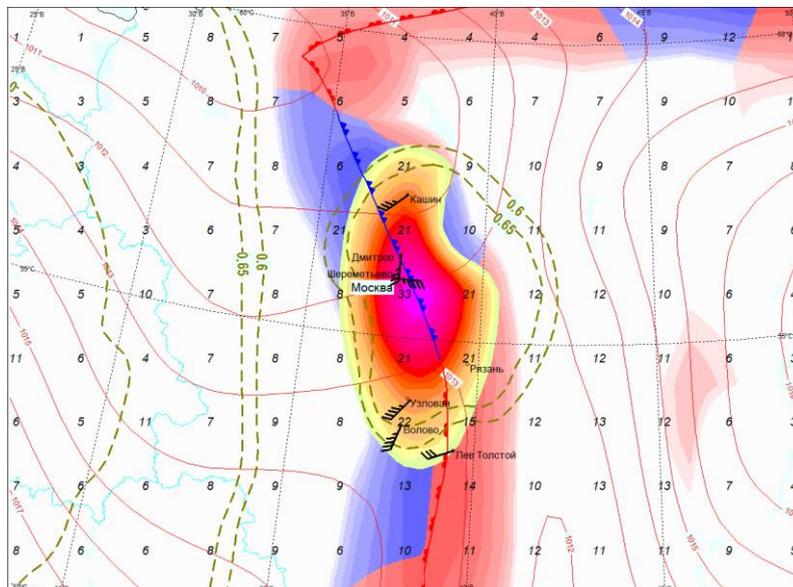
Метод прогноза	Общая оправдываемость	Оправдываемость		Предупрежденность		Коэффициент лишних тревог	Критерий качества Пирси - Обухова	Критерий надежности Багрова
		С явл. явл.	Без явл.	явления	отсутствия явления			
1 Алексеевой	80	5	99	58	81	11.9	0.39	0.06
2 Васильева	94	7	99	21	95	2.9	0.16	0.08
3 Переходцевой	67	3	99	60	67	20.2	0.27	0.03
4 COSMO-7	94	10	99	40	94	3.5	0.34	0.14
5 Предл. метод	98	41	99	70	98	1.0	0.68	0.51

Реализация методики и ее применение

В качестве исходных данных используются результаты расчетов гидродинамических моделей, распространяемые по глобальной сети телесвязи Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) в коде GRIB или GRIB2. Для расчета потенциального вихря необходимо наличие данных о температуре, скорости и направлении ветра на изобарических поверхностях от 1000 до 300 гПа, кроме того, для нахождения фронтальных зон – данные о влажности и геопотенциале в слое от 1000 до 500 гПа. На рисунке представлен пример определения зон сильных шквалов и расчет максимального ветра при шквале. Это известный случай ураганного ветра в Москве в ночь с 20 на 21 июня 1998 г. подробно описан в [11].

На рисунке представлена прогностическая карта на 0 ч. ВCB 21 июля 1998 г. На карте – изолинии давления на уровне моря (красные линии), рассчитанные фронтальные линии с бароклинными зонами (синие и красные зоны соответствуют холодным и теплым фронтальным зонам), изолинии потенциального вихря, на изобарической поверхности 500 гПа (пунктир) и, определенная по алгоритму, изложенному выше, зона сильных шквалов (закрашенная область), а также рассчитанные значения максимальных порывов ветра при шквале (цифры). Как было изложено выше, максимальные порывы ветра, рассчитанные по формуле (8) определялись только в тех узлах регулярной сетки, для которых значение функции Fe (7) было положительным. В остальных узлах сетки использовались прогностические данные о приземном ветре из соответствующей модели. В виде значков ветра представлены фактические значения максимальных порывов ветра между сроками 21 – 3 ч. ВCB. Над Московским регионом видна положительная аномалия потенциального вихря со значениями превышающими 0.6 PVU ($1 \text{ PVU} = 10^{-6} \text{ K}^\circ \text{ м}^2 / \text{кг с}$), которая перекрывает находящуюся под ней бароклинную зону. В результате штормового ветра в ночь на 21 июня 1998 г. погибли 11 человек, было повалено более 45 тысяч

деревьев [11]. По разным данным, максимальная скорость ветра при шквале в отдельных районах Москвы превышала 30 м/с, однако, по данным метеонаблюдений на станциях в Москве и в ближайшем Подмосковье не было зафиксировано ветра более 20 м/с, за исключением станции в Шереметьево - там были зафиксированы порывы ветра до 22 м/с. Расчетная скорость ветра в Москве составила 33 м/с. В качестве исходных данных использовалась выходная информация по модели УКМО (Эксетер).



Анализ случая сильных шквалов в ночь на 21 июня 1998 г. в Москве. Показаны данные о фактических порывах ветра на метеостанциях (значки ветра), изолинии давления на уровне моря (красные линии), рассчитанные фронтальные линии и фронтальные зоны (красные и синие - соответственно теплые и холодные), изолинии потенциального вихря на поверхности 500 гПа (пунктир), рассчитанные максимальные порывы ветра при шквале (цифры) и прогностическая зона сильных ветров, превышающих 20 м/с (выделена желтым цветом)

Заключение

Предложен метод прогноза шквалов с использованием расчета области пересечения аномалии потенциального вихря с бароклинными зонами в нижней тропосфере. Вычисленные по достаточно объемной выборке оценки успешности прогноза предлагаемого метода и их сравнение с оценками других современных методов прогноза шквалов, дает возможность сделать вывод о том, что метод имеет практическую значимость. Построенный алгоритм позволяет реализовать предлагаемый метод на выходной продукции любых гидродинамических моделей, если она представлена в форматах GRIB или GRIB2. Очевидно, что прогноз таких явлений, как шквалы, которые часто характеризуются небольшим масштабом (десятки км), требует использования возможно более высокого горизонтального разрешения прогностической информации. Особое значение имеет использование прогностических данных с временным разрешением 3 ч или даже 1 ч, для более детального слежения за условиями, способствующими возникновению шквалов. В дальнейшем описанный метод мог бы быть включен в оперативную прогностическую модель, что дало бы возможность осуществлять мониторинг условий возникновения и прогноза шквалов с большой детальностью по времени.

Поскольку изложенный в статье метод основан на определении зон активной конвекции, его можно применить к прогнозированию и других опасных и неблагоприятных явлений погоды, связанных с глубокой, влажной конвекцией - сильных ливневых осадков, града, грозы.

Созданная технология расчетов допускает ряд дальнейших обобщений и усовершенствований. К их числу относится модификация расчета бароклинных зон (например, использование в качестве фронтального параметра потенциальной температуры смоченного термометра) и др.

Работа выполнена в Научно-производственном центре "Мэп Мейкер" в технологии ГИС Метео.

Литература

1. Алексеева А. А. Методы прогноза максимального количества осадков в зонах активной конвекции и альтернативного прогноза сильных ливней и шквалов. Результаты испытаний новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – Информационный сборник №34, Под ред. Г. К. Веселовой. Нижний Новгород, Вектор-Гис, 2007. с. 49 – 69.
2. Васильев Е. В., Алексеева А. А., Песков Б. Е. Условия возникновения и краткосрочный прогноз сильных шквалов. – Метеорология и гидрология, 2009, №1, с. 5 – 15.
3. Вильфанд Р. М., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития. – Метеорология и гидрология, 2010, № 8, с. 5 - 20.
4. Переходцева Э. В. Прогноз сильных шквалов и смерчей в летний период 2009 года на основе статистических моделей. – Труды ГМЦ РФ, 2010, Вып. 344, с. 241 – 253.
5. Песков Б. Е., Снитковский А. И. К прогнозу сильных шквалов. – Метеорология и гидрология, 1968, № 7, с. 52 - 57.
6. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1986, с. 527 – 536.
7. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 152 – 161.
8. Руководящий документ. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л., Гидрометеиздат, 1991. с. 31 – 40.
9. Шакина Н. П. Динамика атмосферных фронтов и циклонов. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 263 с.
10. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Иванова А. Р. Объективный анализ атмосферных фронтов и оценка его эффективности – Метеорология и гидрология, 2000, № 7. с. 5 – 16.
11. Юсупов Ю. И. К вопросу об оперативном прогнозе шквалов. – Труды ГМЦ РФ, 2008, Вып. 342, с.55 – 78.
12. Braun S. A. and Houze R. A, Jr. The heat and potential vorticity budgets of a midlatitude squall line. – Sixth Conference on Mesoscale Processes, 1994, Portland, AMS, pp. 335 – 338.
13. Doswell C. A., Bosart L. F. Extratropical Synoptic-Scale Processes and Severe Convection. – A Meteorological Monograph. The American Meteorological Society, 2000, p. 104.
14. Hertenstein R. F. A. and Schubert W. H. Potential Vorticity Anomalies Associated with Squall Lines. – Month. Wea. Rev., 1991, vol. 119, pp. 1663 – 1672.
15. Hewson T. Objective fronts. – Meteorol. Appl., 1998, vol.5, № 1, pp. 37 – 65.
16. Holton J. R. An introduction to dynamic meteorology. Fourth edition. – Elsevier Academic Press, 2004, pp. 290 - 304.
17. Hoskins B. J., McIntyre M. E & Robertson A. W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. – Quart. J. R. Meteorol. Soc., 1985, № 111, pp. 877 – 946.
18. Huber-Pock F., Kress Ch. An operational model of objective frontal analysis based on ECMWF products. – Meteorol. Atmos. Phys., 1989, vol. 40, № 2, pp. 170 – 180.
19. Johns R. H., Doswell C. A. Severe Local Storm Forecasting. – Weather and Forecasting, 1992, vol. 7, pp. 588 - 612.
20. Raymond D. J. and Jiang H. A theory for long-lived mesoscale convective systems. – Journal of atmospheric sciences., 1990, vol.47, № 24, pp. 3067 - 3077.
21. Russell A., Vaughan G. and Norton E. G. Large-scale potential vorticity anomalies and deep convection. – Quart. J. R. Meteorol. Soc., 2012, vol. 138, pp. 1627 - 1639.

SQUALL FORECAST METHOD USING THERMODYNAMIC ATMOSPHERIC PARAMETERS AND ERTEL'S POTENTIAL VORTICITY

Yu. I. Yusupov

Considered is a squall forecast method based on the determination of active convection zones and computation of maximum surface wind gusts in these zones using tropospheric winds. The computation of the interaction between the Ertel's potential vorticity and low-level baroclinic zones is used for forecasting the active convection. The data for computation are taken from the NWP models in GRIB and GRIB2 codes/ Presented are the results of the statistical analysis of the data. Given is a case study of the squall registered in the center of the European part of Russia.