

**МЕТЕОРОЛОГИЯ**

УДК 551.556.1

**Л.Г. Ананова****СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ОБЛАЧНОСТИ ПРИ ШКВАЛАХ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Западно-Сибирский филиал ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»,  
634011, г. Томск, Аэропорт-11, Авиаметеорологическая станция Томск,  
e-mail: larisa\_ananova@mail.ru

Рассмотрено изменение радиолокационных характеристик конвективной облачности при шквалах в течение тёплого сезона года. Определены средние статистические значения данных характеристик для юго-востока Западной Сибири. Полученные результаты позволят уточнить существующие методы прогноза шквалов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** шквал; метеорологический радиолокатор; комплексный критерий грозоопасности; радиолокационная отражаемость.

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата [13; 14] могут увеличивать вероятность экстремальных гидрометеорологических явлений и вызвать негативные последствия для населения, хозяйственной деятельности и природного комплекса [5]. Для комплексной оценки наблюдаемых и прогнозируемых изменений климата необходимо дальнейшее развитие научных исследований в области изменений климата, в том числе и на региональном уровне.

Анализ прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений показывает, что большинство непредусмотренных опасных явлений (ОЯ) – это явления, связанные с активной конвекцией локального характера (шквал, сильный дождь, град, смерч).

Для повышения оправдываемости прогноза опасных метеорологических явлений привлекаются данные спутников и информация метеорологических радиолокаторов (МРЛ). Радиолокационные характеристики облачности при грозах, в отличие от шквалов, изучены достаточно хорошо [2; 4; 6; 10; 17] и успешно используются в практике. В последние годы возрос интерес к изучению особенностей радиолокационных характеристик конвективных образований, порождающих шквалы [6; 7], но для территории Западной Сибири подобные исследования до настоящего времени не проводились.

Для прогноза шквалов на АМСГ Томск с 1987 г. используется синоптико-радиолокационный метод [9; 16], включающий использование данных некогерентного метеорологического радиолокатора МРЛ-5, метеорологический потенциал которого равен 55 дБ. Метод используется для диагноза шквалов при высоте кучево-дождевых облаков не менее 10 км. Следует отметить, что данный метод рассчитан по данным Европейской территории России (ЕТР), поэтому существует необходимость уточнения метода прогноза шквала для условий Западной Сибири.

Целью работы является исследование сезонного распределения радиолокационных характеристик кучево-дождевой облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири. Данная работа является продолжением исследований, изложенных ранее в работе [1].

За случай со шквалом принималось внезапное резкое усиление ветра на 8 м/с и более за короткий промежуток времени, не более 2 минут. Скорость ветра при шквале больше 10 м/с, продолжительность шквала от одной минуты и более. Наблюдается при кучево-дождевых облаках (Сб), грозах, ливнях [11]. Шквал считается опасным явлением погоды, если скорость ветра при шквале (включая порывы) не менее 25 м/с [12].

В качестве исходного материала настоящих исследований были использованы радиолокационные характеристики облачности, полученные на основе данных оперативных радиолокационных наблюдений на станции МРЛ, расположенной в районе аэропорта г. Томска. Период исследования составил 14 лет с 1991 по 2004 г. За случай принималось каждое радиоэхо, расположенное в ближней зоне (30×30 км<sup>2</sup>), подтверждающее наличие явления (шквала), при этом рассматривалась мгновенная максимальная скорость ветра во время шквала. Во всех случаях сроки радиолокационных

наблюдений и визуальных наблюдений совпадали или отличались на  $\pm 20$  минут. Всего за 14-летний период исследовалось 58 случаев со шквалами, для которых были получены радиолокационные характеристики.

В работе исследованы: максимальная высота или верхняя граница радиоэха ( $H_{\text{макс}}$ ); высота нулевой изотермы ( $H_0$ ); высота изотермы  $-22^\circ\text{C}$  ( $H_{-22}$ ); высота третьего уровня ( $H_{\text{lg}Z_3}$ ); значения логарифма отражаемости радиоэха, измеренные на уровне, соответствующем выпадению осадков ( $\text{lg}Z_1$ ), на уровне, соответствующем началу кристаллизации ( $\text{lg}Z_2$ ) и на уровне массовой кристаллизации ( $\text{lg}Z_3$ ); максимальная радиолокационная отражаемость ( $\text{lg}Z_{\text{макс}}$ ); критерий грозоопасности ( $Y_{\text{кр}}$ ), определяемый как произведение минимального значения  $\text{lg}Z_3$  в грозах и  $H_{-22}$ . Все вышеперечисленные радиолокационные характеристики конвективной облачности связаны с условиями возникновения шквалов и легко определяются в оперативной работе.

Сезонный ход основных радиолокационных характеристик конвективной облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири представлен на рис. 1.

Косвенным показателем интенсивности конвективных процессов в атмосфере и важной радиолокационной характеристикой облачности является высота верхней границы кучево-дождевого облака ( $H_{\text{макс}}$ , км). В летние месяцы большая часть шквалов возникает при  $H_{\text{макс}} \geq 10$  км, в сентябре шквалы наблюдаются при высоте кучево-дождевых облаков не более 9 км, причём большая их часть наблюдается при высоте 6 км и менее. Для грозных облаков на юге Западной Сибири [17] характерны максимальные высоты порядка 8–11 км (около 70 %), а для кучево-дождевых облаков в стадии ливня 6–9 км (70 %). Верхняя граница конвективной облачности при шквалах постепенно увеличивается к июлю – августу (рис. 1), колебания верхней границы радиоэха с мая по август небольшие, в пределах 1 км. В сентябре  $H_{\text{макс}}$  резко уменьшается на 3–4 км.

Высота нулевой изотермы ( $H_0$ , км) – это показатель высоты начала кристаллизации и косвенный показатель стадии развития кучево-дождевого облака. В летние месяцы года высота нулевой изотермы при шквалах обычно более 3,0 км, а в переходные сезоны года  $H_0$  при шквалах, как правило, не превышает 2,0 км.

Важнейшим моментом развития конвективного облака является начало оледенения его вершины, поэтому первым необходимым условием локализации грозы и шквалов по радиолокационным данным является превышение радиоэхом конвективных облаков высоты изотермы  $-22^\circ\text{C}$  ( $H_{-22}$ ). Высота изотермы  $-22^\circ\text{C}$  ( $H_{-22}$ ) при шквалах (рис. 1) в течение летнего сезона постепенно повышается к июлю и быстро понижается к сентябрю.

Комплексный критерий грозоопасности ( $Y$ ) отражает особенности вертикальной структуры кучево-дождевых облаков, обусловленные взаимодействием составляющих его компонентов:  $H_{\text{макс}}$  и  $\text{lg}Z_{\text{макс}}$  [2; 8].  $Y$  рассчитывается по формуле

$$Y = H_{\text{макс}} * \text{lg} Z_{\text{макс}}, \quad (1)$$

где  $H_{\text{макс}}$  – максимальная высота или верхняя граница радиоэха;  $\text{lg}Z_{\text{макс}}$  – максимальная радиолокационная отражаемость.

Значения  $Y$  при шквалах в сезонном ходе имеют хорошо выраженный максимум в июне и июле, наиболее низкие значения  $Y$  отмечаются в сентябре. При этом в июле значения  $Y$  во время шквалов в 1,25 раз больше, чем при наличии гроз без шквалов.

В качестве критерия для опознавания типа очагов радиоэха используется величина радиолокационной отражаемости ( $\text{lg}Z_1$ ), которая зависит от водности облака, его температурных характеристик, определяющих фазовую структуру облака, и геометрических размеров облачных частиц (капель и кристаллов).

Сезонный ход радиолокационной отражаемости на трёх уровнях (рис. 2) имеет выраженный максимум в июне и июле, что говорит об активизации конвективных процессов в данный период. Средние значения  $\text{lg}Z_1$  в течение летнего сезона выше, чем  $\text{lg}Z_3$ . В переходные сезоны года это превышение больше, чем в летние месяцы. Превышение значений  $\text{lg}Z_1$  над значениями  $\text{lg}Z_3$  можно рассматривать как критерий перехода «грозового» облака в «шкваловое». При прогнозе шквала необходимо учитывать значение радиолокационной отражаемости на нижних уровнях, если отражаемость на третьем уровне отсутствует.

В результате исследований радиолокационной отражаемости обнаружено, что во время шквалов, при переходе от нижнего уровня к верхнему, наблюдается уменьшение значений отражаемости, связанное с уменьшением размеров частиц и водности облака и наличием ливневых осадков, сопутствующих шквалам. Подобный вывод получен ранее в работах [3; 6; 7], где он объясняется тем,

что к моменту образования шквала происходит выпадение накопленной в облаке влаги. Для гроз устойчивая разность между отражаемостью второго  $\lg Z_2$  и третьего  $\lg Z_3$  уровней не обнаружена [2].

По данным В.Ф. Лапчевой [8], больше половины шквалов над ЕТР отмечаются при самом высоком значении радиолокационной отражаемости –  $\lg Z_{\max} \geq 4$ . Средние значения  $\lg Z$  при шквалах различной силы на Северном Кавказе [15] изменяются от 3,3 до 4,4, что намного выше, чем полученные нами значения  $\lg Z_i$ .

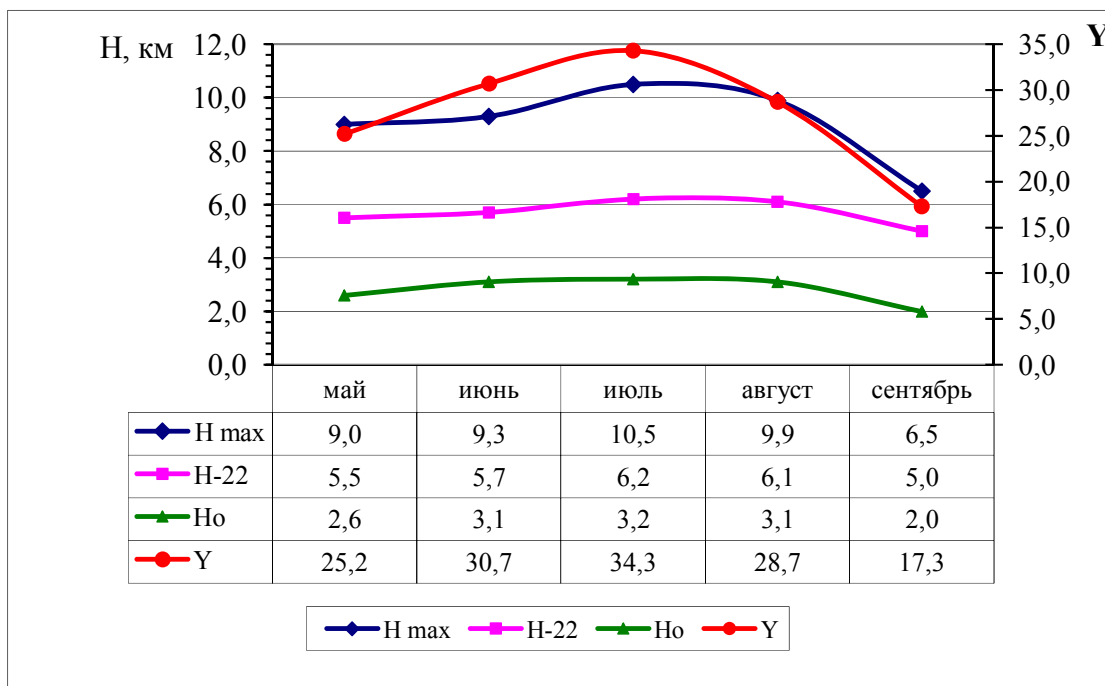


Рис. 1. Сезонный ход средних значений максимальной высоты радиоэха ( $H_{\max}$ ), высоты изотермы  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $H_{-22}$ ), высоты нулевой изотермы ( $H_0$ ) и комплексного критерия грозоопасности  $Y$

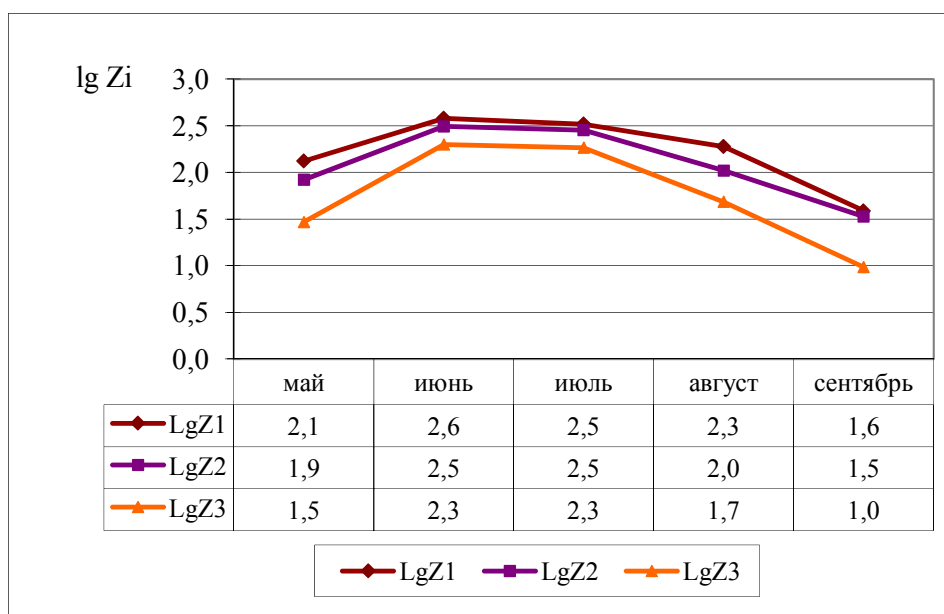


Рис. 2. Сезонный ход средних значений радиолокационной отражаемости на трёх уровнях при шквалах

Высота нулевой изотермы, высота изотермы  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  и радиолокационная отражаемость на всех уровнях имеют более сглаженный сезонный ход по сравнению с максимальной высотой конвективных облаков и комплексным критерием грозоопасности.

В результате исследования радиолокационных характеристик кучево-дождевой облачности при шквалах получены средние статистические значения данных характеристик для юго-востока Западной Сибири (табл.).

В течение грозового сезона, с мая по сентябрь, на юго-востоке Западной Сибири максимальные значения всех радиолокационных характеристик кучево-дождевой облачности при шквалах отмечаются в июле, минимальные – в сентябре. Значения радиолокационной отражаемости и комплексный критерий грозоопасности в июне выше, чем в августе. При этом средние скорости ветра при шквалах в сентябре выше, чем в июле и августе.

**Средние сезонные значения радиолокационных характеристик конвективной облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири**

Месяц	Значение	Радиолокационные характеристики облачности								
		$H_{\text{макс}}$ , км	$LgZ_1$	$LgZ_2$	$LgZ_3$	$H_0$ , км	$H_{(-22)}$ , км	$H_{(lgz3)}$ , км	$Y_{\text{кр}}$	$Y$
Май	Среднее	9,0	2,1	1,9	1,5	2,6	5,5	4,9	8,7	25,2
	Максимум	13,0	3,4	3,3	3,2	3,6	6,5	6,0	9,8	42,9
	Минимум	5,0	0,7	0,9	0,2	1,5	4,0	4,0	6,0	12,0
Июнь	Среднее	9,3	2,6	2,5	2,3	3,1	5,7	5,3	8,0	30,7
	Максимум	14,0	3,9	3,9	3,9	4,0	6,2	6,0	8,5	50,4
	Минимум	5,0	1,5	1,5	0,5	2,0	3,5	4,0	7,8	16,5
Июль	Среднее	10,5	2,5	2,5	2,3	3,2	6,2	5,5	7,5	34,3
	Максимум	13,0	4,2	4,2	3,6	3,5	6,8	6,0	8,2	52,0
	Минимум	6,0	1,3	0,8	0,3	2,0	5,5	4,0	7,2	10,8
Август	Среднее	9,9	2,3	2,0	1,7	3,1	6,1	5,3	7,5	28,7
	Максимум	12,0	3,3	3,3	3,0	4,0	7,0	6,0	8,4	39,6
	Минимум	8,0	1,2	0,6	-0,3	2,5	5,5	5,0	7,2	18,0
Сентябрь	Среднее	6,5	1,6	1,5	1,0	2,0	5,0	4,0	9,3	17,3
	Максимум	9,0	2,1	2,2	1,8	2,0	5,5	4,0	10,0	26,1
	Минимум	5,0	1,1	0,5	0,0	1,8	4,0	4,0	8,5	6,0
Всего	Среднее	9,5	2,3	2,2	1,9	2,9	5,8	5,1	8,0	29,0
	Максимум	14,0	4,2	4,2	3,9	4,0	7,0	6,0	10,0	52,0
	Минимум	5,0	0,7	0,5	-0,3	1,5	3,5	4,0	6,0	6,0
	$\sigma$	2,1	0,8	0,8	1,0	0,6	0,7	0,7	0,8	11,3

Примечание:  $\sigma$  – стандартное отклонение

В начале и в конце грозового периода значительное влияние на скорость ветра при шквалах оказывает динамический фактор, а именно скорость ветра на высотах в средней тропосфере.

Средние значения максимальной высоты радиоэха  $H_{\text{макс}}=9,5$  км, высоты нулевой изотермы  $H_0=2,9$  км и высоты изотермы  $-22^\circ\text{C}$   $H_{-22}=5,8$  км при шквалах на юго-востоке Западной Сибири ниже, чем над ЕТР [6; 8]. Из этого следует, что радиолокационные характеристики облачности в различных регионах зависят в некоторой степени от местных физико-географических условий.

Обращает на себя внимание тот факт, что рассчитанный нами комплексный критерий грозоопасности  $Y$  при шквалах значительно (более чем в 2 раза) превышает значения  $Y_{\text{кр}}$  – минимального значения, определённого для интерпретации анализируемого явления грозы в районе г. Томска.

На основании анализа радиолокационных характеристик радиоэха конвективных облаков при шквалах на юго-востоке Западной Сибири можно сделать следующие выводы:

- максимальные значения всех радиолокационных характеристик кучево-дождевой облачности при шквалах отмечаются в июле, минимальные – в сентябре;
  - при шквалах радиолокационная отражаемость на первом уровне больше, чем на втором и третьем; превышение значений  $\lg Z_1$  над значениями  $\lg Z_3$  можно рассматривать как критерий перехода «грозового» облака в «шкваловое»;
  - при прогнозе шквала необходимо учитывать значение радиолокационной отражаемости на нижнем уровне, если отражаемость на третьем уровне отсутствует;
  - шквалы на юго-востоке Западной Сибири образуются при меньших вертикальных мощностях облаков и меньших значениях радиолокационной отражаемости, чем над ЕТР.
- Полученные климатические значения радиолокационных характеристик облачности при шквалах будет полезно учитывать при разработке методических рекомендаций к прогнозу шквалов на юго-востоке Западной Сибири и при прогнозировании шквалов в данном регионе.

#### Библиографический список

1. Ананова Л.Г., Горбатенко В.П., Луковская И.А. Особенности радиолокационных характеристик конвективной облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2007. № 7. С. 51-56.
2. Богданова Л.М. и др. О радиолокационных характеристиках грозовых облаков в Предкарпатье. Вопросы анализа и прогноза погоды // Тр. УкрНИИ. Л.: Гидрометеиздат, 1986. Вып. 219. С. 84-92.
3. Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Ватиашвили М.Р. Диагноз шквалов по данным МРЛ. Радиолокационная метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 64-67.
4. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминова Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 231 с.
5. Калинин Н.А., Ермакова Л.Н., Аликина И.Я. особенности формирования высокой температуры воздуха в сентябре – октябре 2003 г. на Среднем и Северном Урале // Метеорология и гидрология. 2005. №1. С.84-95.
6. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью // Метеорология и гидрология. 2005. № 1. С. 84-95.
7. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Определение водности и водозаписа кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 30-43.
8. Лапчева В.Ф. Условия развития зон активной конвекции со смерчами и сильными шквалами / В.Ф.Лапчева // Краткосрочный прогноз метеорологических элементов и опасных явлений погоды // Тр./ ГМЦ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Вып. 299. С. 32-50.
9. Бочарников Н.В. и др. Методические указания по определению шквалов с использованием данных МРЛ. Л.: ГГО, 1988. 23 с.
10. Минакова Н.Е. Радиолокационные характеристики облаков по данным МРЛ-2 и их связь с параметрами конвекции. Прогноз опасных явлений погоды // Тр. ГМЦ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Вып. 116. С. 99-106.
11. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам // Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеиздат, 1985. Ч.1. Вып. 3. 300 с.
12. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 42 с.
13. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М., 2008. 28 с.
14. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестник ВГУ, серия География, Геоэкология. 2007. № 2. С. 5-12.
15. Песков Б.Е., Ватьян М.Р., Вербицкая С.Н. К прогнозу шквалов с использованием радиолокационных данных // Тр. ГМЦ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. Вып. 185. С. 82-85.
16. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. С-Пб.: Гидрометеиздат, 1993. 358 с.
17. Степаненко В.Д., Гальперин С.М. Радиотехнические методы исследования гроз. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 204 с.

18. Язудин Р.А. О связи радиолокационных характеристик облачных систем с термогигрометрическими параметрами атмосферы // Синоптическая метеорология // Тр./ЗСРНИГМИ. М.: Гидрометеиздат, 1975. Вып. 15. С. 88-101.

**L.G. Ananova**

### **THE SEASONAL DISTRIBUTION THE RADAR CHARACTERISTICS OF SQUALLS IN A SOUTHEAST OF WESTERN SIBERIA**

Changes the radar characteristics of convective cloud of squalls during warm seasons of year are discussed. Middle statistical values of radar characteristics for southeast of Western Siberia are presented. The results will allow methods of the forecast of squalls to improve.

**Key words:** squall; the meteorological radar; the complex criterion of the thunderstorm; the radar reflectivity.

УДК 551.551.1:551.511.3

**Н.А. Калинин, А.Л. Ветров, О.В. Бушуева**

### **ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДОСТУПНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ЦИКЛОНАХ УРАЛА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: kalinin@psu.ru

Проведено исследование особенностей распределения доступной потенциальной энергии в циклонах умеренных широт Урала и Западной Сибири и тестирование модели WRF-ARW. В качестве базовых значений полей для расчета доступной потенциальной энергии использовались результаты счета модели на первые 24 ч. Последующие 24 ч. использовались для оценки точности восстановления значений доступной потенциальной энергии по полигону на различных изобарических поверхностях. Полученные результаты свидетельствуют о довольно различающихся, хотя и принципиально похожих значениях доступной потенциальной энергии в исходных и прогностических полях.

**Ключевые слова:** циклоны; энергия; модель; погрешность.

#### **Введение**

В атмосфере наблюдается большое разнообразие волновых и вихревых движений. С практической точки зрения особый интерес представляют волны синоптического масштаба и связанные с ними синоптические вихри [5, 13]. Синоптические вихри в атмосфере – циклоны и антициклоны – играют первостепенную роль в формировании погодных условий на больших территориях [9, 10]. Циклоны умеренных широт, и в частности Урала и Западной Сибири, играют главную роль в формировании погодных условий на больших территориях благодаря тому, что в циклонах преобладает облачная погода и выпадают осадки [6–8, 11]. В связи с этим исследование процессов зарождения и развития циклонов является одной из важнейших задач теории общей циркуляции атмосферы. Эти исследования ведутся в различных направлениях, среди которых одно из приоритетных – изучение энергетики циклонов.

Проблема энергетики атмосферных процессов является одной из важнейших в современной гидрометеорологии. Обоснованность любой гипотезы, относящейся к атмосфере, определяется в первую очередь тем, насколько удовлетворительно она объясняет важнейшие энергетические функции циркуляционного механизма. Из всех видов энергии в циклоническом вихре особое место