

# **Эволюция и движение очагов кучево-дождевой облачности по спутниковым данным в случаях сильных шквалов**

**Т.Г. Дмитриева**

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации  
(Гидрометцентр России)  
123242 Москва, Большой Предтеченский переулок, 11/13  
E-mail: tdsin@rambler.ru*

Эволюция очагов кучево-дождевой облачности (Сb) и их конкретных мезомасштабных конвективных систем (МКС) на фоне общей синоптической обстановки рассмотрена на двух случаях, связанных с особо сильными шквалами в Башкирии 01.06.2007 г. и в Поволжье 01.07.2007 г. Движение большого числа крупных очагов Сb, обычно связанных [3] с сильным шквалом, изучено на обширных данных 03.06, 13.06, 14.07, 20.07, 26.07 2009 г. и прилегающего периода, когда фактически был отмечен хотя бы один сильный шквал в каждый из этих дней на европейской территории России.

**Ключевые слова:** очаг, кучево-дождевая облачность, мезомасштабные конвективные системы, сильные шквалы, анализ снимков, данные ИСЗ, волны, холодный фронт.

## **1. Ураганные шквалы и смерч в Башкирии 1.06.07 г.**

1.06.07 с 16 ч 30 мин до 19 ч 50 мин местного времени в северной трети Башкирии шириной около 100 км отмечались ураганные шквалы со скоростью ветра в порывах 25-34 м/с, и смерч, в виде черного пылевого «хобота» при видимости 10 м и характерном гуле. Повсеместно нанесен значительный ущерб: повреждены тысячи строений, гектаров леса и посевов, метров газопровода, сотни километров ЛЭП, опор и линий связи, сорван мост через р. Белую, на несколько часов прерывалось движение транспорта, погиб человек.

Шквалы были связаны с одной из волн исключительно контрастного (до 33°) холодного фронта (рис.1). Волны смещались вдоль узкой барической ложбины, протянувшейся от центра основного циклона над Средним Уралом до Верхнего Поволжья. Прогноз движения, рассчитанный гидродинамическими моделями, осложнялся (по сравнению с обычным вдоль высотных потоков) волнами, мощной конвекцией и рельефом.

Уточнение движения было возможным по синоптическим картам каждые 3 часа, в частности, по прямой от максимального роста давления (РДмах) за фронтом (до 8,8 гПа/3 часа) к максимальному падению (ПДмах до 2,0-5,5 гПа/3 часа) на Южном Урале и восточнее его. Дальнейшее уточнение по фактическому движению центров крупных очагов Сb каждые 15 минут давало использование «Meteosat-8» (рис.2).

Фронт, по данным ИСЗ, был четко виден еще в первую половину дня (рис.2 а,б) по длинной полосе слоистообразной облачности и многочисленным мелким грядам за нею. Перед этой полосой располагались намного более яркие с резкими краями очаги Сb разного размера, так называемые [2,3] мезомасштабные конвективные комплексы

(МКК), развивающиеся на фронтальных волнах. Можно было точно проследить за движением их центров, изменением от часа к часу и спрогнозировать на 1-2 часа достижение ими тех или иных пунктов, следовательно, выпускать конкретные штормпредупреждения о сильных ливнях и грозах, которые были видны с меньшей точностью и по синоптическим картам.

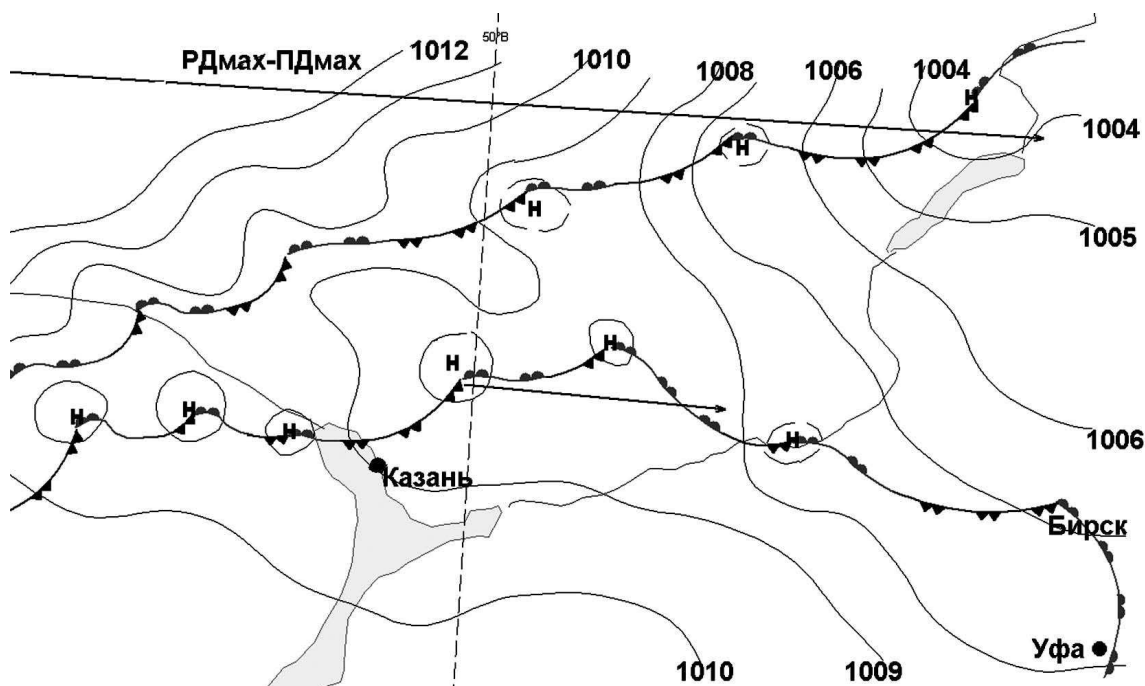






Рис.1. Синоптическая обстановка у Земли 01.06.07 г. в 06 ч ВСВ

-  1006 – изолинии равного атмосферного давления;
-  – теплый фронт;
-  – холодный фронт;
- H** – центры пониженного давления;
-  – движение волны; РДмах → ПДмах

Анализ снимков по данным ИСЗ дал возможность проследить эволюцию и движение всей фронтальной, зафронтальной и предфронтальной облачности, с которой были связаны сильные шквалы и смерч. Самые важные предфронтальные МКК имели, как обычно, размеры до 200-300 км, форму неровных квазиокружностей, медленно изменявшиеся размеры, в целом ко второй половине дня увеличивавшиеся. Между МКК возникали новые небольшие, но быстро растущие, очаги Сб (рис.2б,в), так что к 16-17 часам местного времени они слились в единую полосу с расширениями на главных МКК.

В первой половине и к середине дня на фронте между двумя крупными МКК (рис. 2а) проявился расплывчатый очаг разнообразной облачности в регионе долины реки Волги с ее водохранилищами и бризами между Нижним Новгородом, Чебоксарами и Ка-

занью. Здесь же, по детальному анализу синоптических карт в погранслое (до 1,5 км) намечалась фронтальная волна. Все это вместе привело к появлению здесь небольшого очага Сб (рис.2б), быстро растущего и двигавшегося чуть севернее Казани, затем вдоль Нижнекамского водохранилища на точку около 80 км севернее Уфы, где наряду со шквалами возник разрушительный смерч.

Внимание именно к этому последнему, сначала не самому заметному очагу Сб, должно было быть приковано еще и потому, что расчет и экстраполяция его фактического движения давал прохождение его по полосе, где ожидалось максимально сильные ураганные шквалы по оперативно действующей модели ГМЦ [1]. Рассматривая этот очаг Сб в деталях в первой (начальной) его стадии (рис.2б) можно увидеть, что, как и обычно, у правой передней его стороны сформировалась линия облачности, так называемая линия шквалов (как и у более западного крупного МКК, где также были шквалы). Рассчитывая точно движение южной оконечности этой линии по движению центра МКК каждые 15 минут по данным ИСЗ и по направлению прямой между максимальным ростом и падением давления каждые 3 часа, можно было сделать важный вывод, что шквалы пройдут несколько севернее Уфы.

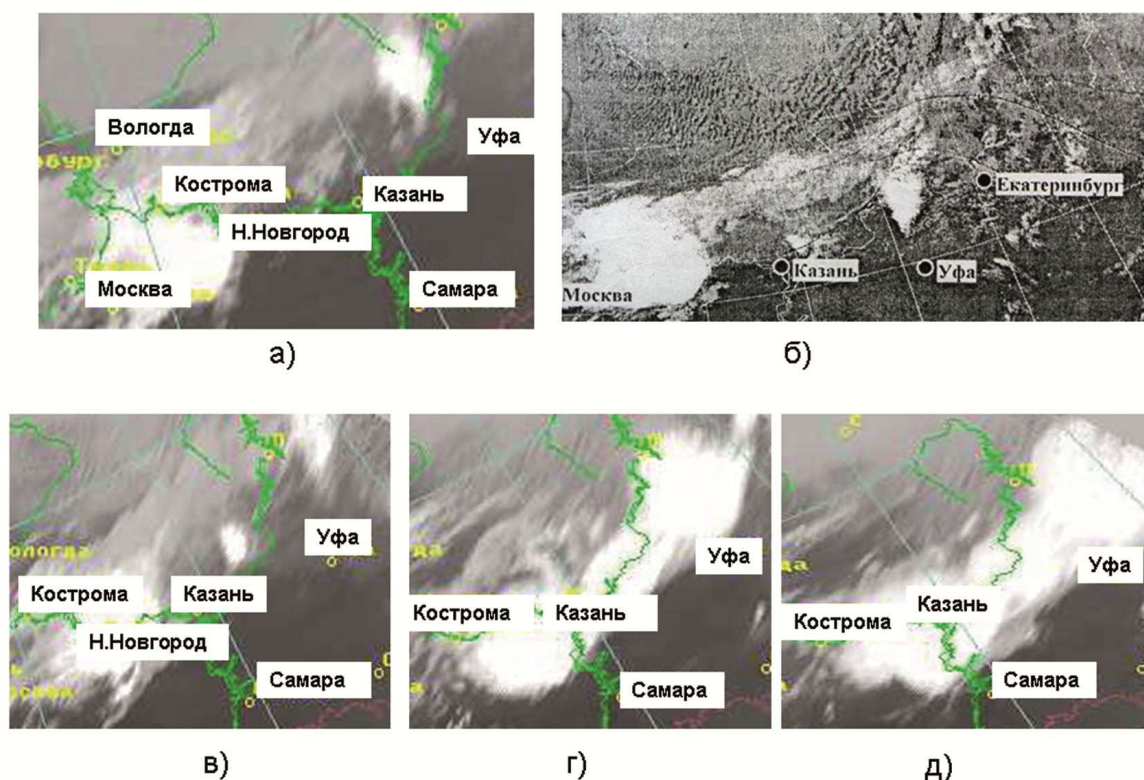


Рис.2. Облачность по данным ИСЗ 01.06.07 г. (ВСВ) в:

- а) 05 ч 15 мин – до шквала в Башкирии
- б) 07 ч 20 мин – до шквала
- в) 08 ч 15 мин – до шквала
- г) 11 ч 15 мин – во время шквала и смерча
- д) 12 ч 15 мин – после смерча.

Упомянутая выше модель прогноза сильных шквалов [1] давала их ошибочно и в Уфе и южнее ее. Только детальные данные ИСЗ подправляли модель и подсказывали, что эти шквалы были лишь в зоне от прогностической модельной линии максимума силы шквалов до линии движения центра очага Сб (МКК). Это же подсказывало движение линии шквалов, видимой только в первой (начальной) стадии развития МКК до закрытия ее сверху расширяющимся очагом Сб – наковальней.

Движение холодного фронта во всей Башкирии южнее Уфы не дало сильных шквалов, так как здесь, несмотря на полосу яркой кучево-дождевой облачности, располагалась зона между рассмотренными выше основными МКК, в тылу модельного максимума силы шквалов, где из-за позднего времени новые очаги шкваловых Сб сформироваться не успели.

## 2. Сильные шквалы в Среднем Поволжье 01.07.07 г.

Сильные шквалы до 28 м/с прошли во второй половине дня в Среднем Поволжье. Они были связаны (рис.3) с волновым циклоническим возмущением на фронте с контрастом температур около 15°. Возмущение шло с Нижнего Поволжья, где оно проявилось еще утром, и к вечеру дошло через Приволжскую возвышенность до Йошкар-Олы вместе с обширными облачными скоплениями (рис.4), ливнями и грозами.

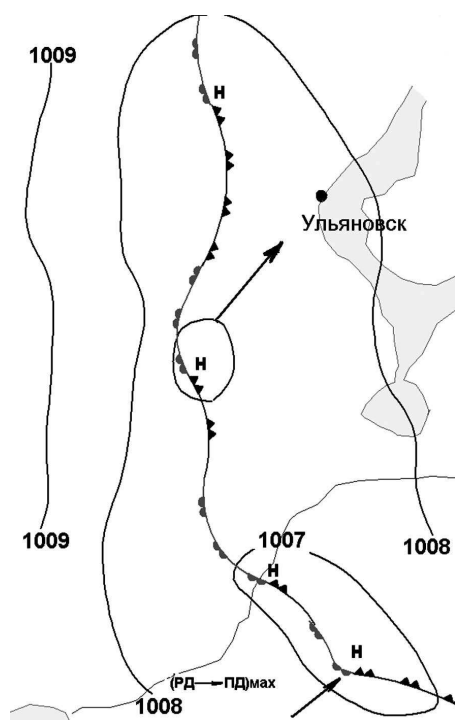


Рис.3. Синоптическая обстановка у Земли 01.07.07 г. в 12 ч ВСВ.

Условные обозначения на рис.1

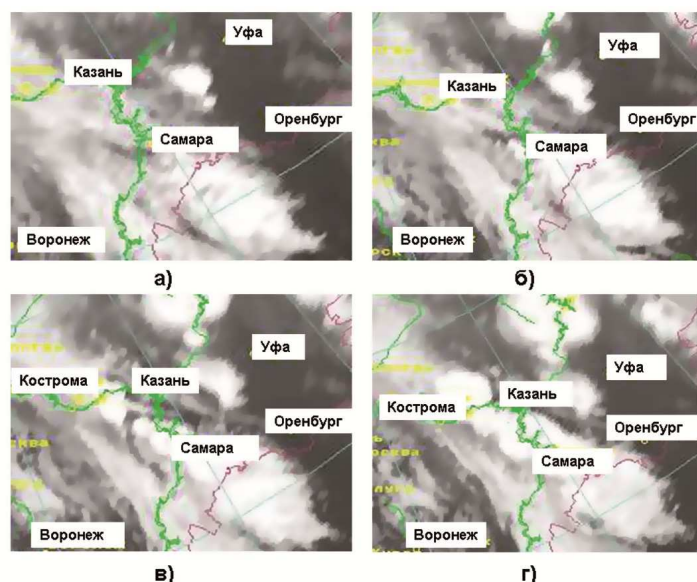


Рис.4. Облачность по данным ИСЗ 01.07.07 г. (BCB) в:  
 а) 11 ч 00 мин – до шквала  
 б) 12 ч 00 мин – до шквала  
 в) 13 ч 00 мин – до шквала  
 г) 14 ч 00 мин – во время шквала

Эллипсоидные облачные скопления промежуточного характера между слоистообразным и кучево-дождевым располагались в 3-4 раза более широкой, чем в предыдущем случае, фронтальной зоне. Промежутки между скоплениями были в 10-20 раз меньше их самих, в связи с чем дневной прогрев задерживался, особенно перед центром эллипсоидного циклонического возмущения, где фронт слабо перемещался как теплый в отличие от его тыла с медленно двигавшимся холодным фронтом с волнами.

Первая волна вслед за центром возмущения с более ярким и относительно небольшим очагом Сб пересекла реку Волгу и вышла юго-западнее Самары на Приволжскую возвышенность около 17 ч местного времени (рис.4б). Все эти факторы вместе активизировали развитие очага Сб, который затем двигался вдоль возвышенного берега водохранилища (рис.4в). Это направление примерно на 20-40° отличалось от направления высотных потоков, по которым обычно движутся очаги Сб, в связи, безусловно, с сильным влиянием усиленных здесь бризов. Только спутниковые данные через 15 минут выявляли такое движение и развитие МКК.

Центр волны был несколько западнее и двигался по потокам к Ульяновску, как и центр МКК. При их слиянии в районе города и возник сильный шквал 28 м/с. Дальнейшее движение МКК со шквалами к Йошкар-Оле обуславливалось также сложным влиянием волны, возвышенности, реки.

Модельный прогноз [1] также указывал на сильные шквалы у Ульяновска и севернее, но их зона прогнозировалась слишком широкой, а шквалов ураганной силы южнее Ульяновска не наблюдалось. В Самаре шквал 24 м/с отмечен позже на следующей фронтальной вол-

не. Вновь, как и 01.06.07, проявился факт ослабления шквалов в тылу главной волны. В целом, 01.07.07 многочисленные усиливающие шквал факторы сопрягались с ослабляющими. И только данные ИСЗ более четко подсказывали это, в частности, по расплывчатости, из-за чего энергия не столь концентрировалась в одном главном МКК, как 01.06.07.

### 3. Движение очагов Сб и суточный ход их количества

Использованы данные «Meteosat-9» за несколько дней 2009 г., когда хотя бы в одной точке европейской территории России был отмечен сильный шквал  $\geq 25$  м/с. Выбраны очаги Сб с размерами более  $50 \times 150$  км<sup>2</sup>, в основном более  $150 \times 200$  км<sup>2</sup>, иногда  $>200 \times 250$  км<sup>2</sup> и  $250 \times 350$  км<sup>2</sup>. Прослежены те из них, которые существовали непрерывно  $\geq 6$  часов. Как известно [2,3], со многими из аналогичных очагов обычно связаны опасные конвективные явления (сильные шквалы, ливни, грозы, град). Поэтому сверхкраткосрочный (на 1-3 часа) прогноз их движения представляет особую ценность. Обобщение около 1000 15-ти минутных элементов движения, сделанное здесь, поможет этому.

Слежение производилось по центрам очагов; отмечались средние направления движения за каждый час, 2 и 3 часа и изменения направления между этими периодами. Поворот по мере движения влево (против часовой стрелки) отмечался отрицательным углом в градусах, вправо – положительным.

Обычно очаги Сб группировались в полосы с разными расстояниями между ними (в основном от 0 до 500 км). Полосы в течение порядка 10 часов двигались в определенном направлении, но отдельные очаги в них могли появляться и исчезать; движение их более сложное, чем полосы в целом, в частности, за счет формирования нового очага на краю старого, а также за счет поворота воздушных потоков.

Учет влияния направления воздушных потоков возможен по прогностическим численным моделям. Сложное же взаимодействие со всем комплексом факторов изучается частично в этой работе с целью выработки правил учета при прогнозе по подробным 15-ти минутным данным ИСЗ фактического движения и его изменений.

В таблице 1. приводится число случаев и % сохранения направления движения очагов Сб с точностью до  $10^\circ$  за 1, 2 и 3 часа.

Таблица 1

|               | За 1 час | За 2 часа | За 3 часа |
|---------------|----------|-----------|-----------|
| Число случаев | 324      | 162       | 162       |
| %             | 93       | 76        | 73        |

Таким образом, прогноз сохранения движения в пределах часа вполне возможен, но более нужный на 2-3 часа имеет около 25% ошибок более 10°. Для уменьшения их в таблице 2 приводится % сохранения направления очага Сб с точностью до 10° в последующие 3 часа по предыдущим 3-м часам по 2-м разным группам случаев, как и % сохранения знака изменения направления на >10°.

Таблица 2

| Число случаев | Сохранение направления на 3 часа |    | Сохранение знака отклонения на 3 часа |    | Сохранение направления на 2 часа | Сохранение знака отклонения на 2 часа |
|---------------|----------------------------------|----|---------------------------------------|----|----------------------------------|---------------------------------------|
|               | 123                              | 56 | 39                                    | 19 | 141                              | 21                                    |
| %             | 80                               | 86 | 59                                    | 68 | 95                               | 76                                    |

Таким образом, учет предшествующего направления повышает качество 3-х часового прогноза сохранения направления на 7-13%, 2-х часового – на 19%.

Известно [5], конвективные явления ослабевают ночью, усиливаются во 2-ой половине дня. Просмотр данных ИСЗ показывает аналогичный суточный ход числа крупных очагов Сб, в том числе и внутри их полос. Имея детальные 15-ти минутные данные об обширных продолжительно живущих очагах, выяснен суточный ход этого особо важного класса интенсивной и опасной конвекции, безусловно, связанной не только с солнечным прогревом, но и с синоптическими процессами, в том числе с фронтами. Воспользовавшись изменением направления движения за 2 и 3 часа (в среднем за 2,5 часа), рассчитанными для каждого часа суток, произведен анализ их по различным интервалам времени и выявлен оптимальный, приведенный в таблице 3 по времени ВСВ.

Таблица 3

| Период суток | Число очагов Сб | % с неизменным направлением движения | % отклонения влево на $\geq 20^\circ$ и (максимальные отклонения) | % отклонения вправо на $\geq 20^\circ$ и (максимальные отклонения) |
|--------------|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| 23-04        | 46              | 26                                   | 2(-30)  | 13(+35)  |
| 02-07        | 61              | 38                                   | 5(-120)   | 12(+40)  |
| 05-10        | 38              | 40                                   | 3(-105)   | 10(+40)  |
| 08-13        | 78              | 46                                   | 4(-40)  | 22(+90)  |
| 11-16        | 125             | 30                                   | 6(-70)  | 21(+130)   |
| 14-19        | 91              | 40                                   | 10(-70)   | 13(+80)  |
| 17-22        | 34              | 50                                   | 9(-40)  | 3(+20)   |
| 20-01        | 13              | 23                                   | 23(-40)   | 0(+10)   |
| В целом      | 486             | 36                                   | 6(-120)   | 15(+130)   |

Видно, что максимум долгоживущих крупных очагов Сб наблюдается в 08-19 ч ВСВ (~12-23 ч местного времени, абсолютный максимум в ~15-20 ч). Последнее точно

совпадает с максимумом сильных конвективных явлений, что говорит о привязанности их к центру этих очагов Сб. В этот же период отмечается и максимум отклонения движения очагов вправо. Это преобладание на 9% имеет место и в целом.

Преобладание отклонения движения крупных очагов Сб вправо объясняется образованием новых дочерних очагов на правом, теплом краю старых, куда притекает воздух из теплого сектора фронтальной зоны. Чем сильнее конвекция днем, тем чаще и быстрее образуются новые Сб, тем больше видимые отклонения очагов Сб вправо. Отклонение очагов влево бывает также во все периоды суток, но это отклонение реже, кроме 17-01 ч ВСВ (21-04 ч местного), когда конвекция наиболее слабая. Из этого следует, что отклонение влево связано, очевидно, с поворотом воздушных потоков, которые в 36% случаев прямолинейны на расстояниях около 300 км и промежутках времени около 6 часов. Неотклонение центров очагов Сб ни вправо, ни влево в этих случаях объясняется, очевидно, компенсацией конвективным отклонением вправо небольшого отклонения влево воздушными потоками.

Минимум очагов Сб, как и минимум отклонения их движения вправо в связи с ослаблением конвекции приходится на период 17-01 ч ВСВ (21-04 ч местного), когда воздух внизу охлаждается и растет устойчивость стратификации [4].

Вторичный минимум в 05-10 ч ВСВ (09-14 ч местного) и вторичный максимум в 23-07 ч ВСВ (03-11 ч местного) связаны, очевидно, с суточным ходом синоптических процессов, не связанных напрямую с суточным ходом локального притока солнечного тепла.

В заключение отметим важный вывод о возможности с 93%-ой надежностью прогнозировать движение крупных очагов Сб на ближайшие 0,5-1 час по движению за 0,5-1 час, и с 95%-ой надежностью на каждые 2 часа по предыдущим 2-м часам, а также максимум числа (21-22%) отклонения на  $\geq 20^\circ$  движения этих очагов в период 08-16 ч ВСВ (~12-20 ч местного). Последние можно спрогнозировать по движению «отпочковавшегося» справа нового очага. Отклонение очага влево на  $\geq 40^\circ$  следует ожидать при резком соответствующем повороте воздушных потоков, видимом по прогнозу на каждый час численных моделей.

## **Выводы**

Детальные данные через каждые 15 минут существенно уточняют представление об эволюции и движении очагов Сб, связанных с сильными шквалами, помогая разработке штормпредупреждений о них. Выявляются макро- и мезосиноптические особенности развития процесса, в том числе и под влиянием географических особенностей региона. Компактность очагов Сб – МКК, их немногочисленность, влияние на концентрацию энергии, усиливают шквалы в очаге и ослабляют их между ними, особенно в тылу главного.



Движение очагов Сб лишь в пределах одного часа сохраняет с 93% вероятностью свое направление в пределах до 10°. Отклонения за 2-3 часа на  $\geq 20^\circ$  связано с изменением высотных потоков, что следует учитывать при штормпредупреждениях по ежечасным численным их прогнозам.

Отклонение вправо на  $\geq 20^\circ$  учащается во второй половине дня в связи с усилением в этот период очагов Сб и формированием новых у правой границы старых, куда подтекает у Земли наиболее теплый воздух справа от фронта. Следя за «отпочковавшимся» новым очагом, можно удлинить срок правильного штормпредупреждения до 2-3-х часов.

Автор благодарит Б. Е. Пескова за большую помощь в работе над данной статьей, особенно в последней ее части.

### Литература

1. *Алексеева А.А.* Методы прогноза максимального количества осадков в зонах активной конвекции и альтернативного прогноза сильных ливней и шквалов. – Информационный сборник № 34 "Результаты испытания новых и усовершенствованных моделей и методов гидрометеорологических прогнозов", Н.Новгород, 2007, с.49-69.
2. *Вельтищев Н. Ф., Степаненко В. М.* Мезометеорологические процессы. Учебное пособие - Географический факультет МГУ, 2007, с. 45-48, 53-56.
3. *Вельтищев Н. Ф.* Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование.– Женева, ВМО - № 701, 1988, с.23-51.
4. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды: Часть I – Л., Гидрометеиздат, 1986 г., 702 с.
5. Справочник по климату СССР. Облачность и атмосферные явления. Вып.7, 8, 12 – Л., Гидрометеиздат, 1968.

### **Evolution and movement of cumulonimbus clouds hearths with satellites date in occurrences of severe squalls**

**T. G. Dmitrieva**

*Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation (Hydrometcentre of Russia)  
123242 Moscow, 11/13 Bolshoy Predtechensky per.  
E-mail: tdsin@rambler.ru*

Evolution of cumulonimbus clouds hearth (Cb) and its real mesoscale convective systems (MCS) on general synoptic situation background is examined with two cases, connected with severe squalls in the Bashkiria 01.06.2007 y. and in the Volga region 01.07.2007 y. Movement of great quantity of extensive Cb hearth, usually connected with severe squalls is studied with numerous date of 03.06, 13.06, 14.07, 20.07, 26.07 2007 y. and the adjoining period, when even one severe squalls was noted at every these days on the European territory of Russia

**Keywords:** hearth, cumulonimbus clouds, mesoscale convective systems, severe squalls, photo analysis , satellites date, waves, cold front.