

# АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНОГО ШКВАЛА В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ 3 АПРЕЛЯ 2017 ГОДА

*Б.Е. Песков, А.Д. Голубев, А.А. Алексеева, Т.Г. Дмитриева*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации  
tdsin777@mail.ru*

## **Введение**

Шквалы на Европейской территории России (ЕТР) в летний период – явление не редкое. Но в ранний весенний период шквалы в градации опасных явлений (25 м/с и более) отмечаются редко. Условия для их возникновения в таких случаях часто не укладываются в признанные в научном мире «стандарты». Поэтому и прогнозировать их еще более сложно, чем в летний период. К такой группе шквалов можно отнести и шквал в Курской области, отмеченный метеостанцией Фатеж 3 апреля 2017 года.

## **Синоптическая ситуация**

В середине дня район метеостанции Фатеж и соседнего г. Курска находился в зоне холодного фронта с волнами, которые перемещались практически в широтном направлении, с запада на восток, вдоль высотных потоков. В приземном анализе Гидрометцентра России фронт был проведен в соответствии с зоной максимального контраста температуры воздуха у земли, максимального изменения направления и скорости приземного ветра, наибольших в этом районе величин температуры воздуха и температуры точки росы у земли. На синоптической карте в 18 ч МСК отражены фронтальная волна, ливень и гроза в районе метеостанции Фатеж (рис. 1а).

Холодный фронт был выражен в обычных для него изменениях приземных характеристик: понижении температуры воздуха от 21–22 до 11–15 °С, изменении направления ветра до 90°, падении давления до 1,2 гПа/3ч на волне, переходящем в тылу на рост до 1,6 гПа/3ч. Давление в центре основного циклона составляло 1012 гПа, на периферии – 1015 гПа. По всей зоне замкнутых изобар наблюдались ливни и грозы,



### Аэрологические условия

При температуре воздуха (Т) у земли 22 °С и температуре точки росы (Td), равной 6 °С, отмечалась необычно высокая нижняя граница кучево-дождевого облака (Ннго = 2,3 км). Однако выше, из-за падения температуры значительно больше стандартного, отмечалась стандартная положительная энергия неустойчивости с отклонением кривой состояния (Т'') от кривой стратификации (Т') до 3–4 °С, прослеживающаяся до высоты 8,3 км (уровень конвекции), где Т' = Т'' = -45 °С. В зоне кучево-дождевого облака наблюдался ветер, близкий к стандартному и на 5 м/с больше по скорости (15–20 м/с). В данном случае за "стандарт" берется значение метеорологических параметров, полученное в результате многолетних исследований шквалов на Европейской территории России.

Значительно ниже стандартного значения была влажность: температура точки росы (Td) и дефицит влажности (Т – Td). Можно предположить, что ливни, грозы, шквалы образовывались только из-за приземной циклоничности фронтальных волн и подъема приземного воздуха по западным склонам Среднерусской возвышенности.

В слое 850–700 гПа одновременно наблюдались экстремальная неустойчивость воздуха, что способствовало возникновению шквалов, и его сухость, что препятствовало их возникновению (таблица).

**Таблица.** Значения метеорологических параметров при шквале 3 апреля 2017 г. в районе мс Фатеж в сравнении с принятыми для шквалов критериями

Значение метеорологических параметров	Критериальные значения метеорологических параметров для возникновения шквалов
$T_{850} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
$T_{700} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
$T_{500} = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
$T_{850} - T_{700} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{850} - T_{700} = 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$T_{700} - T_{500} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
$T_{850} - T_{500} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{850} - T_{500} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$(T - Td)_{850} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(T - Td)_{850} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$(T - Td)_{700} = 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(T - Td)_{700} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$(T - Td)_{500} = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
$(T - Td)_{850} + (T - Td)_{700} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(T - Td)_{850} + (T - Td)_{700} = 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$\Sigma (T - Td) \text{ в слое } 850\text{-}500 \text{ гПа} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
$(T_{850} - T_{500}) - \Sigma (T - Td)_{850}^{700} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(T_{850} - T_{500}) - \Sigma (T - Td)_{850}^{700} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Из таблицы видно, что повышенная на 6 °С неустойчивость в слое 850–500 гПа точно компенсировала повышенную на 6 °С сухость воздуха ( $\Sigma(T - T_d)$ ), поэтому в целом физические условия для шквалов средней величины 15–20 м/с практически соответствовали обычным. В слоях 850–700 и 700–500 гПа, соответственно, наблюдался ветер: 15 и 17 м/с, т. е. практически несколько больше обычного по скорости.

Из данного анализа факторов следует, что термодинамические условия в комплексе были близки к обычным для образования шквалов со скоростью 17–20 м/с, но не достаточны для шквалов 25 м/с. Поэтому шквал такой силы не мог быть спрогнозирован известными методами, принятыми к использованию на практике.

### Мезосиноптические и географические условия

Холодный фронт, определенно выраженный в циклоне, двигался по высотным потокам, вызывая местами грозы и кратковременные ливневые дожди. Он был хорошо выражен в тыловой приземной ложбине, в соответствующем сдвиге ветра, в значениях температуры воздуха и точки росы у земли, изменявшихся соответственно от 21–22°С до 11–15°С и от 2–6°С до 5–8°С, в изменении приземного давления от –1,2 до 1,6 гПа/3ч. Наблюдавшиеся на фронте шквалы достигали скорости 15–18 м/с.

В тылу циклона на холодном фронте сформировалась волна, отмеченная локальным максимумом падения давления до 1,2 гПа/3ч. Эта волна перемещалась от левых притоков Днепра с подъемом приземного воздуха на 50–100 м по юго-западной части Среднерусской возвышенности, где вокруг метеостанции Фатеж отмечены наибольшие высоты местности (рис. 2).



Рис. 2. Фрагмент географической карты Курской области с приведенными высотами местности над уровнем моря и приземным ветром в 18 ч МСК.

Безусловно, совокупность всех этих факторов и способствовала усилению шквала по скорости на 5–7 м/с, т. е. до 25 м/с.

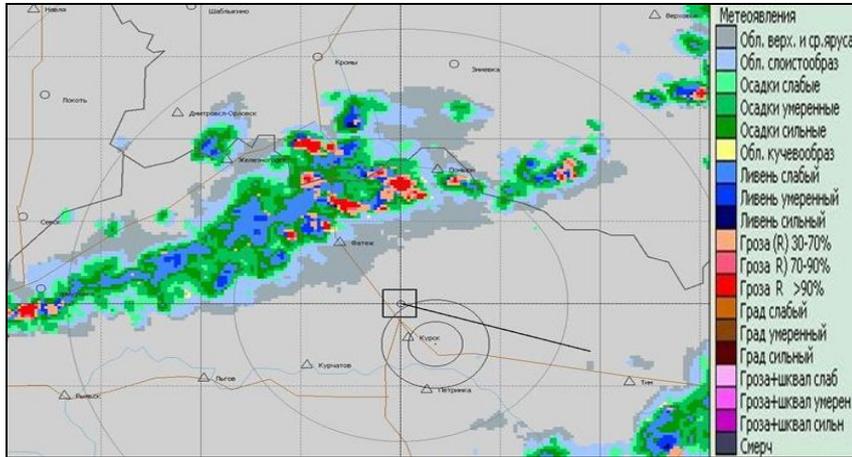
Таким образом, необычное для начала апреля возникновение сильного грозового шквала не укладывается в стандартные летние условия по абсолютной и относительной влажности, а именно: температура точки росы у земли составляла 4–6 °С вместо стандартной в середине лета  $\geq 14$  °С; дефицит влажности на поверхности 850 гПа составлял 10 °С при летнем 4–6 °С; дефицит влажности на поверхности 700 гПа – 7 °С при летнем 4–5 °С. По всей вероятности, одновременно другой фактор усиливал шквал, а именно – вертикальная неустойчивость в нижней половине тропосферы, которая была намного сильнее, чем летняя стандартная.

### Радиолокационная информация ДМРЛ-С

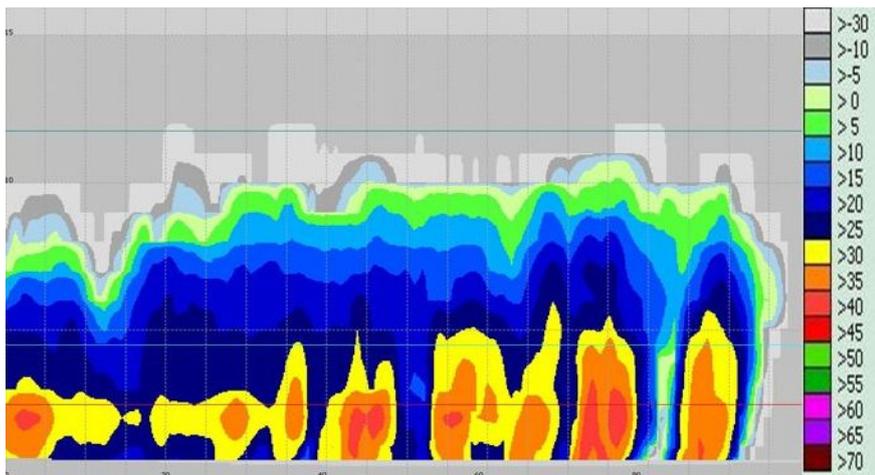
На карте метеоявлений ДМРЛ-С г. Курска прослеживались две линии неустойчивости, связанные с прохождением холодного фронта. Первая из них, выраженная в ливнях и грозах, прошла район метеостанции Фатеж значительно раньше возникновения сильного шквала (около 15 ч МСК), вызвав по району шквалы скоростью 15–17 м/с, вторая – около 18.20 ч МСК (рис. 3). На ней наблюдались грозы и ливни различной интенсивности от слабой до сильной, а в 18.30 ч МСК в 40–50 км восточнее метеостанции Железнодорожск отмечен умеренный град. Вторую линию можно считать самым холодным фронтом, вызвавшим шквал 25 м/с в районе метеостанции Фатеж и появившемся на локаторе в 15.20 ч МСК, а позже оформившемся в мезомасштабную конвективную систему (МКС) длиной около 60 км с ливнями, грозами, местами шквалами и локально градом. Этот фронт к 18.20 ч МСК достиг в длину 150 км и вызвал в районе метеостанции Фатеж шквал 25 м/с.

На значительную мощность МКС указывали фактические значения радиолокационных параметров (рис. 4): средняя отражаемость до 50 dBZ (dBZ – единица измерения радиолокационной отражаемости, связанная с размером, количеством капель и водностью облака). Причем достаточно значительные величины отражаемости сохранялись до больших высот (33 dBZ на высоте 8 км), что говорит о наличии мощного ядра отражаемости почти во всей толще кучево-дождевого облака, характерного для сильных конвективных процессов летнего периода.

Максимальная отражаемость ( $Z_{\max} = 56$  dBZ) и максимальная интегральная водность ( $V_{\text{il}} = 16$  кг/м<sup>2</sup>) наблюдались в месте идентификации явления "умеренный град" метеостанции Железнодорожск (рис. 3) [3, 6, 8]. Как известно [7], грозо-градовые кучево-дождевые облака имеют максимальную отражаемость, которую дают именно частицы крупного града.



**Рис. 3.** Карта метеоявлений ДМРЛ-С г. Курска в 18.20 ч МСК 3 апреля 2017 г.



**Рис. 4.** Вертикальный разрез поля радиолокационной отражаемости ДМРЛ-С г. Курска 3.04.17 в 18.20 ч МСК в области МКС в районе мс Фатеж. На горизонтальной оси показано расстояние от лоатора до конечной точки разреза в км; на вертикальной оси – высота облачности в км.

На картах радиального ветра доплеровского лоатора в районе метеостанции Фатеж был виден устойчивый ветер западной четверти (от северо-западного до юго-западного) на высотах от 2 до 5 км со скоростью 10–15 м/с, что говорило о сходимости ветрового потока, характерной для циклонической циркуляции [4]. На высотах 3–5 км в кучево-дождевом облаке наблюдались небольшие завихренности потока, что указывало на усиление ветра, переносимого выпадающими осадками к земной поверхности (рис. 5) [7].



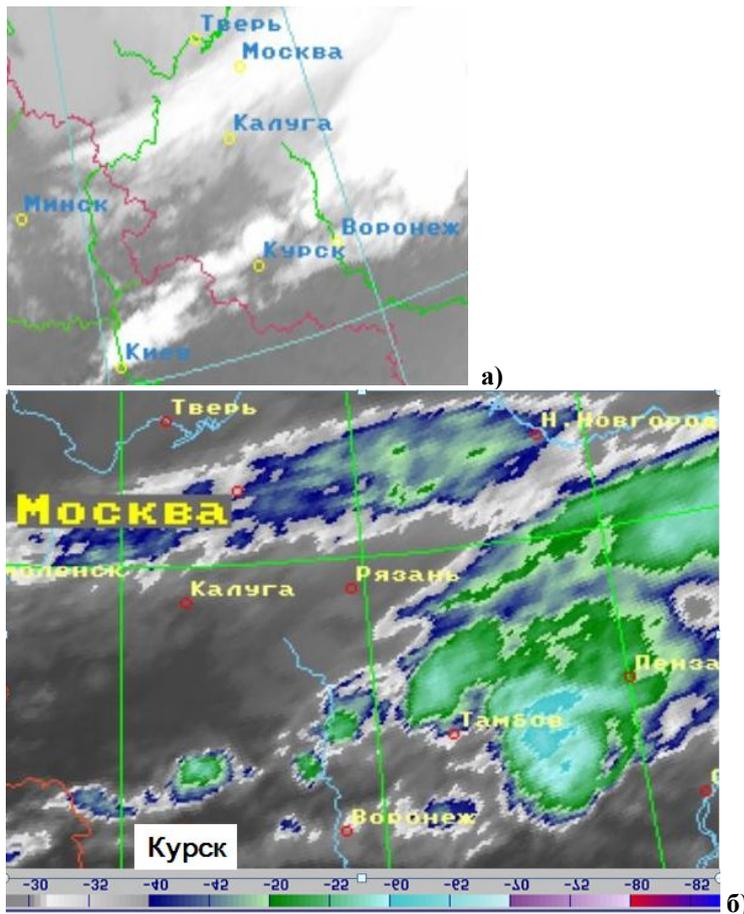
**Рис. 5.** Карта радиального ветра на высоте 3 км, выраженного в цвете согласно шкале, стрелками с оперением в м/с (длинное перо – 5 м/с, короткое – 2,5 м/с), ДМРЛ-С г. Курска в 18.20 ч МСК 3 апреля 2017 г. с завихренностью воздушного потока в районе мс Фатеж.

По данным ДМРЛ-С г. Курска явление "шквал" не было идентифицировано, так как, согласно применяемой методике его выявления, одним из главных условий является превышение вершиной кучево-дождевого облака нижней границы тропопаузы [3, 5, 6]. В данном случае этого не наблюдалось, так как высота кучево-дождевого облака достигла лишь 10 км, а высота тропопаузы составляла 11,8 км.

#### **Анализ условий по спутниковым данным**

По данным геостационарных метеорологических спутников Земли (МСЗ) Meteosat-10 в инфракрасном диапазоне измерения, с 15 до 19 ч МСК через район г. Курска перемещались две полосы облачности

с характерными для кучево-дождевых облаков округлыми уплотнениями белого цвета с очерченными границами, особенно ярко выраженными на полосе, расположенной севернее (рис. 6а). На карте радиационной температуры на верхней границе облачности (рис. 6б) севернее г. Курска определялась мезомасштабная конвективная система (МКС), не достигшая стадии мезомасштабного конвективного комплекса (МКК), так как ее горизонтальные размеры не превышали 200 км [2, 9].

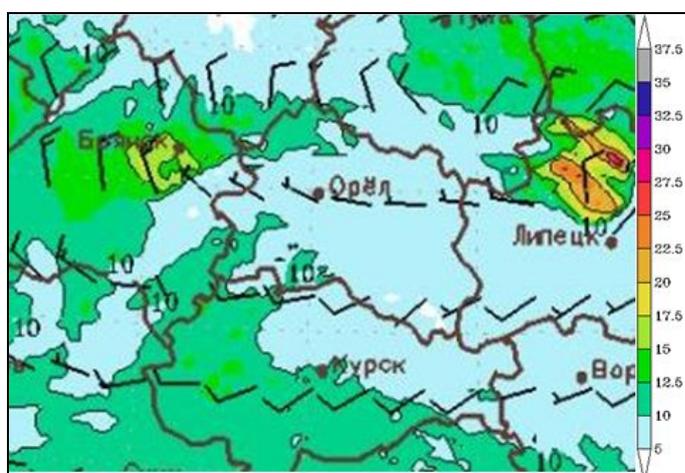


**Рис. 6.** Снимки МСЗ Meteosat-10 в 18.20 ч МСК 3 апреля 2017 г. для территории центрально-черноземной области России: в ИК-диапазоне измерения (а); с радиационной температурой на верхней границей облачности (б).

Значения радиационной температуры на верхней границе кучево-дождевой облачности МКС были ниже  $-55^{\circ}\text{C}$ , т. е. высота кучево-дождевых облаков достигала 10 км, что не характерно для апреля месяца. Все эти особенности спутниковых данных указывали на возможность развития опасных конвективных явлений.

### Прогноз порывов ветра численными моделями

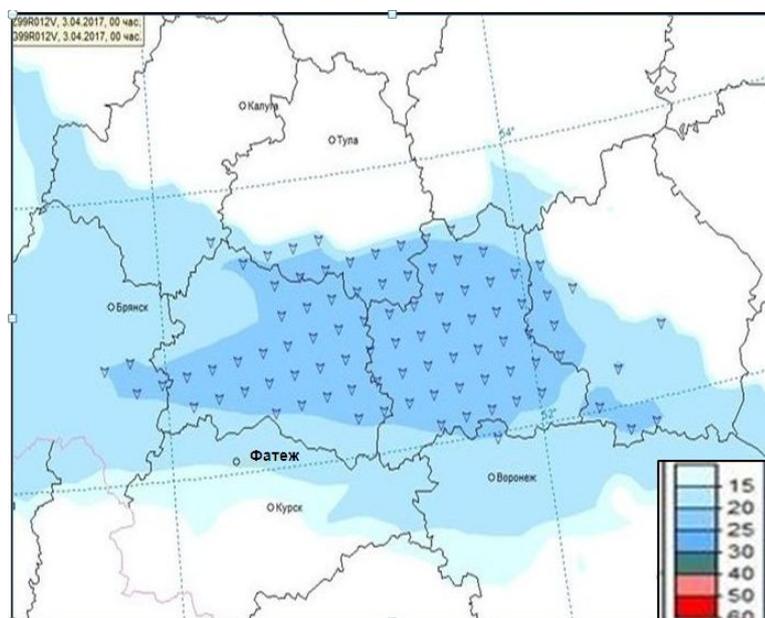
По прогностическим картам мезомасштабной модели COSMO-Ru с разрешением 2,2 и 7 км в районе г. Курска прогнозировалась зона порывов ветра до 12,5 м/с (рис. 7).



**Рис. 7.** Прогноз порывов ветра на высоте 10 м по модели COSMO-Ru с разрешением 2,2 км на 18 ч МСК 3 апреля 2017 г. от 03 ч МСК текущих суток.

По модели WRF-ARW с разрешением 3 км зоны сильных порывов ветра в регионе вокруг г. Курска не прогнозировались; прогнозируемая зона была смещена значительно севернее и северо-восточнее (в регионе вокруг г. Воронеж).

На рис. 8 представлены прогнозы на основе данных региональной модели Гидрометцентра России с шагом сетки 25 км методом альтернативного прогноза шквалов в трех градациях скорости ветра [10], внедренного в практику решением ЦМКП от 2.03.2011 г., и методом [1]. По методу [10] зона шквалов 20–25 м/с прогнозировалась севернее метеостанции Фатеж, а по методу [1] – в большей области, включающей мс Фатеж.



**Рис. 8.** Прогноз скорости ветра при шквалах на 18 ч МСК 3 апреля 2017 г. от 03 ч МСК текущих суток по методу [10] (значки соответствуют шквалам скоростью 20–25 м/с) и по методу [1] (скорости шквалов соответствуют цветовой шкале).

Прогнозы в оперативном режиме рассчитываются и записываются в базу данных RGKU Xeop 32A или Xeop 32B и доступны в программном комплексе оперативной обработки, визуализации и представления гидрометеорологической информации для оперативно-прогностических организаций (комплекс "Прометей", Гидрометцентр России), внедренном в практику решением ЦМКП от 01.12.2009 года [10].

### **Выводы**

Из анализа условий возникновения сильного шквала в районе метеостанции Фатеж Курской области 3 апреля 2017 г. можно сделать вывод, что при прохождении достаточно контрастного холодного фронта с волнами в весенний период, когда приземные и высотные термодинамические параметры приближаются к стандартным для лета значениям, возникает вероятность образования шквалов умеренной интенсивности

(15–20 м/с). При этом для более сильных шквалов (25 м/с) необходим дополнительный фактор – подъем приземного воздуха, вызванный в данном случае рельефом местности.

#### Список использованной литературы

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Васильев Е.В., Никифорова А.Е.* Прогноз развития зон активной конвекции с особо опасными явлениями на основе региональной модели Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада ЛТД, 2010. С. 147-159.
2. *Вельтищев Н.Ф.* Теория мезомасштабных конвективных систем в атмосфере, наблюдаемых с искусственных спутников Земли: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: Гидрометцентр СССР, 1979.
3. *Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике;* <http://map.meteorad.ru/maps>.
4. *Инструкция для оперативно-прогностических и авиаметподразделений Росгидромета по использованию информации ДМРЛ в синоптической практике;* <http://map.meteorad.ru/maps>.
5. *Методические указания по использованию радиолокационных данных в синоптическом анализе и краткосрочном прогнозе погоды / Под ред. Г.К. Веселовой, Ю.К. Федорова. Утверждены ЦМКП Госкомгидромета решением от 21.09.1979 г. 23 с.*
6. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С ("ГИМЕТ-2010"). М, 2011. 108 с.
7. *Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть I. Л.: Гидрометеопиздат, 1986. 702 с.*
8. *Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. СПб: Гидрометеопиздат, 1993. 356 с.*
9. *Русин И.Н., Тараканов Г.Г.* Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. СПб, 1996. С. 39- 44.
10. <http://method.meteorf.ru/>

*Поступила в редакцию 18.05.2017 г.*