

Анализ условий возникновения сильных шквалов по спутниковой и прогностической информации

Т. Г. Дмитриева¹, М. В. Бухаров², Б. Е. Песков¹

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации,
123242 Москва, Большой Предтеченский пер., 11/13.

E-mail: tdsin@rambler.ru;

² ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»,
123242, Москва, Б.Предтеченский пер., 7.

E-mail: bmv@planet.iitp.ru

На примере двух дней самых сильных шквалов 2010 г. выявляются добавочные критерии к действующему автоматизированному методу их обнаружения. Наиболее важными оказываются днем резкое усиление адвекции холода на поверхности 850 гПа в 10-100 км за вершиной теплого сектора, вечером и ночью – крупные водные объекты при меньшей высоте верхней границы грозового облачного фронта.

Ключевые слова: шквал, скорость ветра, кучево-дождевые облака, спутниковая информация, распознавание шквала, гроз, атмосферный фронт, фронтальная волна.

Введение

Одной из проблем, возникающей при оперативном метеорологическом обеспечении населения, является сложность даже сверхкраткосрочного надежного предупреждения о границах районов, в пределах которых в ближайшие часы следует ожидать возникновение сильных шквалов ($> 28 \text{ м/с}$) большой разрушительной силы.

Для решения этой проблемы, в последние годы развивается новое направление, которое основано на автоматизированной дешифровке комплекса синхронной спутниковой и прогностической информации [1, 2]. В работе [3] показано, что в большинстве случаев оно обеспечивает удовлетворительное соответствие между результатами автоматизированной оценки максимальной скорости ветра у земли и наземными измерениями [3].

Однако шквалы по методике [2] распознаются не во всех случаях. Поэтому, для дальнейшего совершенствования методов спутникового распознавания шквалов, важно всестороннее изучение условий их возникновения. Среди работ по этой тематике, появившихся в последние годы, следует отметить изучение эволюции и движения кучево-дождевых облаков, в которых наблюдались шквалы [4], а также анализ причин усиления шквалистого ветра до ураганной силы в Керченском проливе [5]. В то же время результатов проведенных исследований еще не достаточно для создания более совершенной методики распознавания шквалов и точной оценки их максимальной скорости ветра.

В предлагаемой работе всесторонне анализируются метеорологические условия возникновения шквалов 13 июня и 29 июля 2010 г., которые не были диагностированы по методике [2]. При проведении анализа использованы карты радиационной температуры, метеорологических явлений, максимальной скорости и направления приземного ветра, а также специально разработанные карты максимальной скорости ветра в тропосфере и фронтальных контрастов в поле ветра и температуры воздуха на поверхности 750 гПа, описанные в [5].

Анализ условий возникновения сильных шквалов

13 июня и 29 июля 2010 г. зарегистрированы сильные шквалы в Московском регионе и близлежащих областях с максимальной скоростью ветра от ~ 24 м/с до ≥ 30 м/с. Шквалы и их отсутствие днем в основном правильно (как и шквалы днем в 2009 г.) определены автоматизированно с использованием спутниковой информации. Сильные же шквалы вечером 13 июня и ночью 29 июля 2010 г. этим способом не были диагностированы. Но их силу и место можно определить тем же методом по более «мягким» критериям с учетом детальных мезосиноптических и географических факторов. По ним же можно устранить «ложные тревоги». Главными из этих факторов являются: приземная линия холодного фронта при вторжении холода непосредственно за вершиной волны; позднее время, к которому очень сухой тропосферный воздух несколько увлажняется испарившимися днем кучево-дождовыми облаками; водные объекты и локальные очаги резко повышенного притока тепла.

13.06.10 до ~ 16 ч мск шквалы ≥ 28 м/с не диагностировались по методу и их не было от Москвы до Иванова, несмотря на фронтальные сильные грозы, высоту кучево-дождевых облаков (Cb) до 14-15 км, максимальную скорость ветра в слое 925-100 гПа до 25-30 м/с (90-110 км/ч). Причина была в слишком сухом воздухе в средней тропосфере. Не было даже предполагавшихся на ~ 16 ч мск по методу порывов ветра до 27 м/с западнее Иванова, 30-32 м/с северо-восточнее Иванова и 32-40 м/с юго-западнее Калуги. Эти предполагавшиеся сильные порывы ветра должны были по методу образоваться, как обычно, под фронтальными грозовыми Cb высотой $\geq 13,5$ км, перемещавшимися с экстремально большой скоростью ≥ 80 км/ч (≥ 22 м/с). Но из-за той же крайней сухости воздуха в средней тропосфере эти грозовые Cb образовались не на линии приземного фронта, а примерно в 100 км от нее в сторону холода и влаги и не на холодном фронте, а на вершине гребня («языка») тепла и перед ним на поверхности (п.) 850 гПа. Мощные Cb образовывались на теплом фронте (рис.1) северо-восточнее Иванова (по стрелке видно перемещение здесь изотермы T850 16-17° в сторону более холодных изотерм 14-15°). Западнее Иванова эти Cb находились на нейтральной части фронта (стрелки параллельны изотермам). Юго-западнее Калуги (К) холодный фронт с Cb находился вдалеком тылу московско-ивановского гребня тепла (в ложбине относительно холода, где шквалы ≥ 28 м/с днем не бывают из-за относительно меньших конвективных скоростей). Линия приземного холодного фронта находилась (стрелка из холода в тепло) в ~ 100 км от этих гроз и линии фронта на п. 850 гПа с резким нарастанием густоты изотерм.

На холодном фронте вблизи гребня тепла находились такие же грозы на востоке Москвы и восточнее, в Павлово-Посаде, поэтому здесь шквалы были, но из-за сухости воздуха в 15-16 ч, всего ~ 24 м/с. Будучи < 27 м/с, эти шквалы по методу не диагностированы, тем более, их образованию способствовали очаг резко повышенного притока тепла от обширного городского агломерата, Теплостанская возвышенность, реки Москва и Клязьма.

К 17-17 ч 30 мин мск воздух в средней тропосфере на фронтальной волне, идущий из региона Москвы, стал несколько менее сухим за счет испарения кучево-дождевых облаков (Cb), не давших поэтому шквалы ≥ 28 м/с ранее. В этом воздухе после 17 ч образовались такие особо сильные шквалы (≥ 28 м/с) с большим ущербом в регионе Иванова-Шуи-Палеха-Коврова. Они же с порывами до 30-35 м/с диагностированы действующим автоматизированным методом (рис. 1-3). К тому же они удовлетворяют и дополнительным условиям, найденным для дня в данной работе: грозы на приземной линии холодного фронта

в 10-90 км от вершины волны; близкий гребень тепла на п. 850 гПа; высота Сб \geq 14,5 км; максимальная скорость ветра в слое 925-1000 гПа 25-30 м/с (90-110 км/ч).

Южнее, далеко за гребнем тепла на п. 850 гПа, в ложбине относительного холода (рис. 1) и в \sim 100 км за приземной линией фронта шквалы 25-27 м/с диагностировались лишь местами. Но их не было здесь совсем из-за недостаточно увлажненного, слишком сухого воздуха в средней тропосфере, несмотря на остальные такие же параметры, как и выше показанные, способствующие шквалам. Шквалы же здесь были силой всего 14-20 м/с. Следовательно, днем до 18 ч местного времени там, где действующий метод не дает сильные шквалы \geq 28 м/с, их действительно нет (есть более слабые). Там, где этот метод дает эти шквалы, требуются дополнительные условия, указанные выше, иначе развиваются шквалы 14-20 м/с. Главным в этих условиях является холодный фронт сразу (10-100 км) у гребня тепла на поверхности 850 гПа (стрелки от параллельных изотерм становятся имеющими составляющую (\sim 15-30°) от более «холодной» изотермы к более «теплой»).

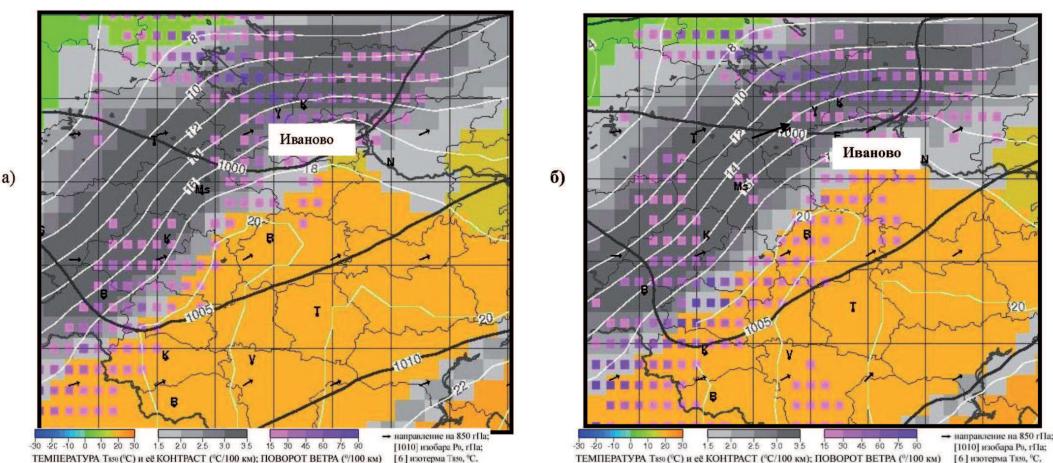


Рис. 1. Фронтальные контрасты, рассчитанные по выходным данным региональной гидродинамической модели: а) на 16 ч мск; б) на 17 ч мск

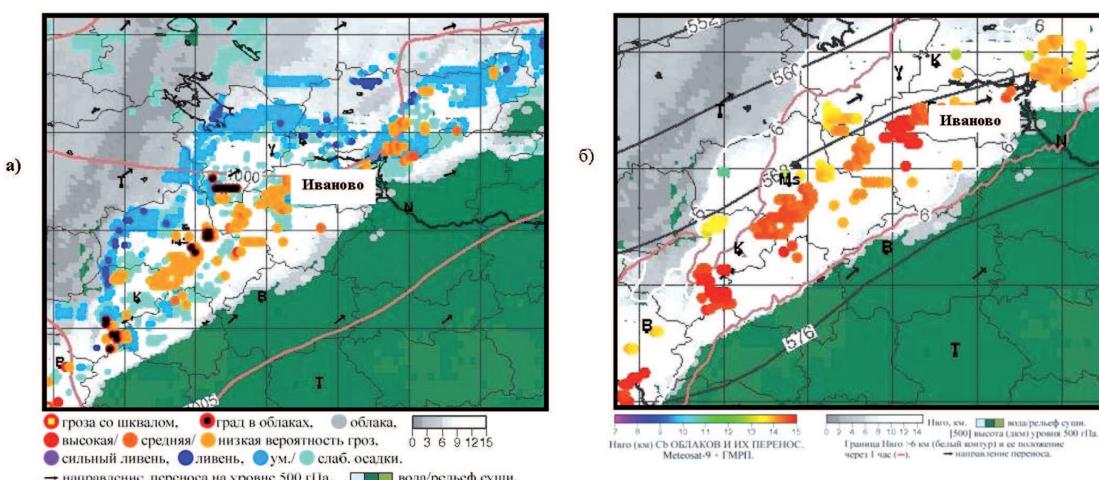


Рис. 2. а) Метеорологические явления в полосе основного фронта, диагностированные по комплексу синхронных спутниковых и прогнозических данных в 17 ч мск; б) Высота верхней границы кучево-дождевых облаков в 17 ч мск, рассчитанная по комплексу синхронных спутниковых и прогнозических данных

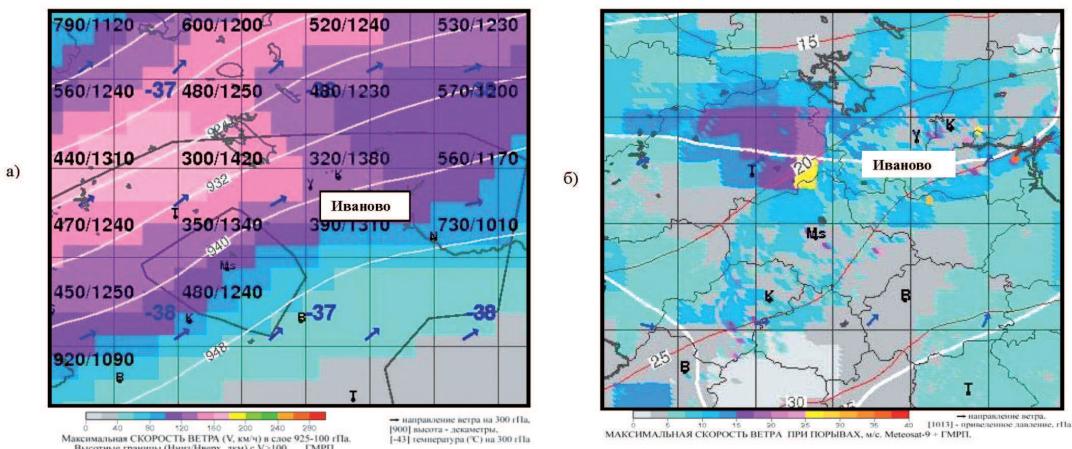


Рис. 3. а) Максимальная скорость ветра в слое 925-100 гПа в 17 мск; б) Максимальная скорость ветра при порывах у земли в 17 ч мск, рассчитанная по комплексу синхронных спутниковых и прогнозистических данных

Еще позже, к 18 ч 30 мин – 19 ч мск и позднее процесс увлажнения воздуха в средней тропосфере, указанный в п. 2, продолжался, из-за чего стал возможным шквал до 26 м/с в 18 ч 30 мин у северной границы Рязанской области. Здесь действующим методом правильно диагностировался локальный порыв ветра < 27 м/с (18-20 м/с) во фронтальной грозе с высотой Сб 12,5–13 км при максимальной скорости ветра в слое 925-100 гПа ~ 25 м/с (90 км/ч). Недостаточная на 2 км высота Сб и сухость воздуха сделала силу шквала < 27 м/с. Его локальному усилению до 26 м/с при шквалах рядом 14-20 м/с, безусловно, способствовало прохождение Сб через и рядом с такими водными объектами, как река Ока и озеро Великое, граничащие с локальным источником резко повышенного притока тепла над обширными осушеными торфяниками и безлесными полями.

Шквалы от 28 до ≥ 30 м/с с большим ущербом прошли ~ в 19-20 ч мск в городе Н. Новгород. Здесь не диагностировались порывы ветра ≥ 28 м/с (давались 15-18 м/с), несмотря на фронтальные грозы, высоту Сб до 15 км, максимальную скорость ветра в слое 925-100 гПа ~ 25 м/с (90 км/ч). Учитывая такой обширный комплекс факторов, способствующих шквалам, действующий метод следует дополнить возможностью сильного шквала до 28-30 м/с позже 18 ч 30 мин – 19 ч местного времени в локальных географических условиях, заметно способствующих шквалам, в частности, у крупных водных объектов в соседстве с очагом резко повышенного притока тепла. Здесь это реки Ока, Волга, близлежащие водохранилища и р. Клязьма с крупным городом и полями посередине.

Тот факт, что на вечер диагностировались порывы ветра намного слабее 27 м/с при многих способствующих факторах соответствует недоучету во всех прогнозистических моделях сохранения мощного конвективного вихря вечером, несмотря на заметное понижение температуры у земли.

29.07.10 днем до 17 ч мск шквалов ≥ 28 м/с не было и они правильно не диагностировались автоматизированным методом, поскольку высота Сб на квазистационарном фронте была лишь ниже 11 км (при необходимой днем $\geq 14,5$ км). Причиной этого был очень сухой воздух в средней тропосфере даже над приземной линией этого хорошо выраженного по контрасту температуры и повороту ветра фронта с волнами. Недостаточно было даже способствующего влияния Средне-Русской возвышенности и сильных ветров в тропосфере до 22-25 м/с (80-90 км/ч). В этих условиях развивались ливни и сильные грозы; в 16 ч – 16 ч 30 мин мск возникли шквалы 14-20 м/с, только у Волоколамска над Московско-Смоленской возвышенностью локально до ≥ 23 м/с.

Воздух в средней тропосфере после 17 ч мск продолжал увлажняться испарявшимися кучево-дождовыми облаками. В результате на фронтальной волне у реки Волги высота Сб стала около 14 км и больше, шквалы усилились, но были слабее 27 м/с и прошли в 19-20 ч мск узкой полосой на север по границе юга Валдайской возвышенности и болотистой местности. Они и здесь не диагностировались автоматизированным методом, так как влажность в средней тропосфере оставалась все же недостаточной для нелокальных шквалов ≥ 28 м/с и в методе пока не учтено влияние заметно способствующих географических факторов. В 20 ч мск (рис. 4) при продвижении фронтальной волны с тропосферными потоками через север Валдайской возвышенности у реки Мста (северо-западнее Твери) появился и быстро усиливается круговой очаг облаков (мезомасштабный конвективный комплекс – МКК). В 20 ч 30 мин мск он виден и по радиолокационным данным со шквалом ~ 20 м/с и высотой Сб ≥ 13 - 14 км. Шквалы ≥ 28 м/с и здесь не отмечены и не диагностировались из-за все же недостаточно влажного для такой силы шквала воздуха в средней тропосфере и недоучета способствующих географических условий.

Через 3 часа (начиная с 23 ч мск) этот очаг (рис. 4) вместе с фронтальной волной вышел на относительно теплую ночь болотистую и озерную местность, расширился, оставаясь круговым с резкой тыловой границей, где возникли особо сильные шквалы до ≥ 30 м/с и большим ущербом и жертвами от поваленных деревьев. Эти шквалы на обширной территории 3-х районов Ленинградской области вокруг Ладожского озера не были диагностированы автоматизированным методом. Причина этого заключалась (рис. 5) в недостаточной (до 12,5-13 км) по дневным критериям высоте Сб. Очевидно, ночью над ровной болотисто-озерной местностью турбулентность и диссипация конвективной энергии в обширном МКК меньше и особо сильные шквалы возникают при высоте Сб, начиная уже с 12,5 км, что и следует добавлять в метод их распознавания наряду с другими, ниже перечисленными факторами.

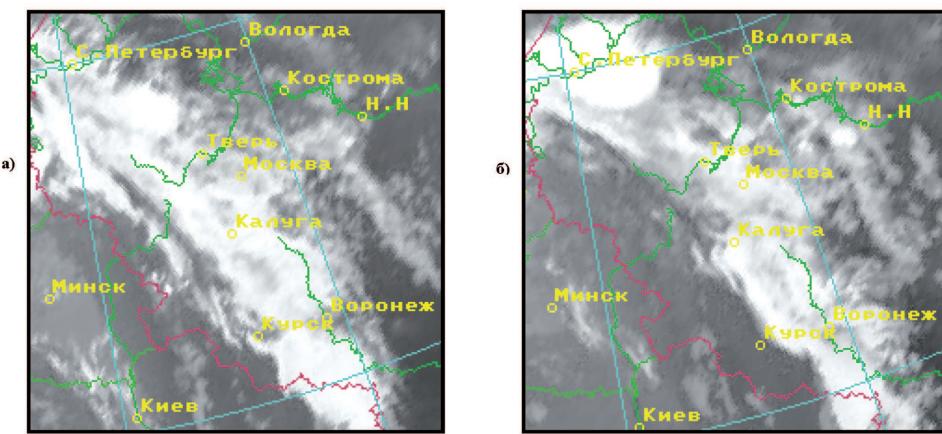


Рис. 4. Снимки облачности основного фронта с ИСЗ Meteosat-9 в ИК-диапазоне: а) в 20 ч; б) в 23 ч мск

Обширные скопления гроз в 23 ч (рис. 5) диагностировались. (Малая их расчетная вероятность будет также повышена, если смягчить несколько ночью и их критерий). Максимальная скорость ветра в слое 925-1000 гПа (рис. 6) прогнозировалась здесь до 80-90 км/ч (22-25 м/с), что достаточно для шквалов ≥ 28 м/с. Шквалы ≥ 30 м/с образовались под грозовыми Сб в зоне фронта (рис. 6) с контрастом температуры на поверхности 850 гПа (T_{850}) $2,5$ - $3^{\circ}\text{C}/100$ км вблизи приземной линии фронта с поворотом ветра у земли $\geq 15^{\circ}/100$ км при T_{850} от 20 до 22° . В отличие от дня здесь (ночью) не гребень тепла по поверхности 850 гПа, а ложбина относительного холода, что и следует учесть в дополнение к автоматизированному методу.

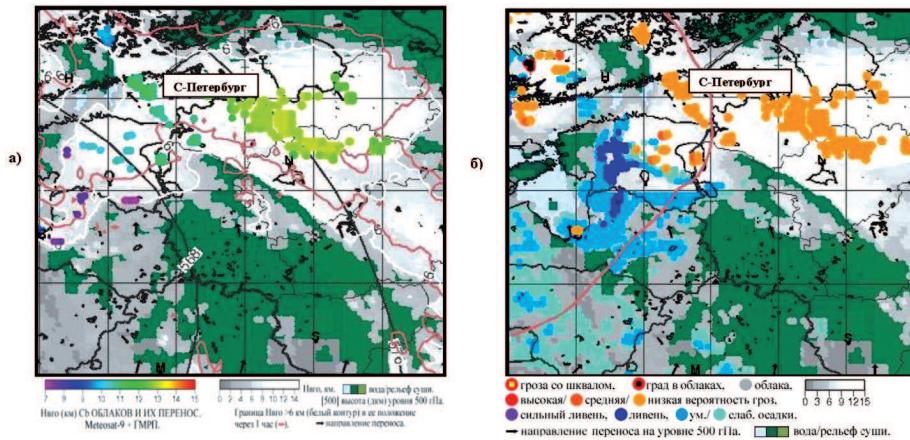


Рис. 5. а) Высота верхней границы кучево-дождевых облаков в 23 ч мск; б) Метеорологические явления в 23 ч мск в полосе основного фронта, диагностированные по комплексу синхронных спутниковых и прогнозических данных

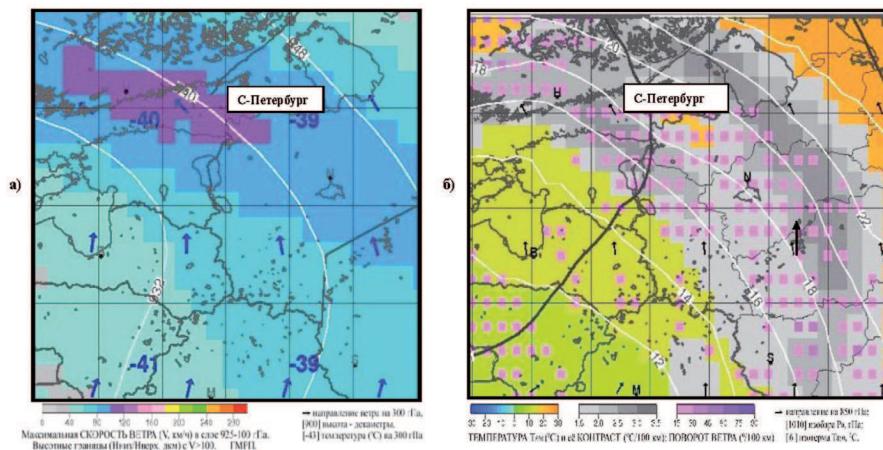


Рис. 6. а) Максимальная скорость ветра в слое 925-100 гПа в 23 ч мск; б) Фронтальные контрасты в 23 ч мск, рассчитанные по выходным данным региональной гидродинамической модели

Заключение

Действующим автоматизированным методом распознавания сильных шквалов правильно определяется отсутствие днем особо опасных шквалов ≥ 28 м/с с большим ущербом в любых условиях, включая контрастные ($\geq 2^{\circ}\text{C}/100$ км на п.850 гПа) быстро движущиеся фронты с максимальной скоростью ветра в слое 925-100 гПа 22-30 м/с (80-100 км/ч) с полосой гроз и Св высотой $\geq 14,5$ км. В этих же условиях правильно определяется днем наличие таких шквалов ≥ 28 м/с при небольшом, легко автоматизируемом добавочном условии: при ветре на п.850 гПа с составляющей из холода в тепло в 10-100 км от ветра без такой составляющей, параллельного изотермам (на холодном фронте у гребня тепла). Ночью (с 23 ч) достаточно для таких шквалов ветра из холода в тепло (на холодном фронте $\geq 2,5^{\circ}\text{C}/100$ км с массивом гроз и Св высотой $\geq 12,5$ км при ветре в слое 925-100 гПа до 22-25 м/с (80-90 км/ч) над водно-болотистой местностью ≥ 10000 км 2 . Вечером (с 18 ч 30 мин) достаточно всех дневных (выше перечисленных) условий; или при диагнозе порывов 15-20 м/с в этих же условиях порывы $\geq 28-30$ м/с возможны на площадях до 500 км 2 у значительных водных объектов на пути гроз, соседствующих с очагами резко повы-

шенного притока тепла (городов, возвышенностей, полей, осущенных торфяников, рек, озер – все в сумме ≥ 2000 км²).

Отмеченные выше способствующие географические факторы действуют и во второй половине дня (с 15 ч), но повышают силу шквала по сравнению с определенной автоматизированным методом лишь на 10-12 м/с (дают шквал до 24 м/с) с учетом добавленных условий (перечисленных выше). В остальных случаях (без добавленных условий) развиваются шквалы 14-20 м/с.

Вне перечисленных выше способствующих географических условий (в низинной местности, днем над местностью неосущенных болот) сила шквала понижается на ~ 15 м/с.

Авторы выражают благодарность В.М. Лосеву и В.М. Бухарову за подготовку и представление выходных данных гидродинамической модели регионального прогноза, которые были использованы при анализе метеорологических условий.

Литература

1. Алексеева А.А., Бухаров М.В., Лосев В.М., Соловьев В.И. Диагноз осадков и гроз по измерениям уходящего теплового излучения облачности с геостационарных спутников // Метеорология и гидрология, 2006. № 8. С. 33-42.
2. Бухаров М.В., Лосев В.М., Песков Б.Е. Автоматизированная оценка максимальной скорости порывов ветра у земли с учетом информации геостационарного спутника // Метеорология и гидрология, 2008. № 12. С. 5-14.
3. Бухаров М.В., Головлев К.Н., Миронова Н.С., Сизенова Е.А. Анализ соответствия между результатами автоматизированной оценки максимальной скорости ветра у земли и наземными измерениями // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, 2009, т. 6, № 2, с. 89-94.
4. Дмитриева Т.Г. Эволюция и движение очагов кучево-дождевой облачности по спутниковым данным в случаях сильных шквалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7, № 1. С. 83-91.
5. Бухаров М.В., Головлев К.Н., Миронова Н.С., Сизенова Е.А. Анализ причин усиления шквалистого ветра до ураганной силы в Керченском проливе 11 ноября 2007 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, 2010. Т.7. № 3. С. 9-15.

Analysis of arising of strong squalls using satellite and forecast data

T.G. Dmitrieva¹, M.V. Bukharov², B. E. Peskov¹

¹ State Research Center on Hydrometeorology
123242 Moscow, 9/13, Bolshoy Predtechensky Per.
E-mail: tdsin@rambler.ru

² State Research Center on Space Hydrometeorology PLANETA,
123242 Moscow, 7, Bolshoy Predtechensky Per.
E-mail: bmv@planet.iitp.ru

Additional criteria to the acting automated method of revealing the most severe 2010 year squalls have been exposed. The most important ones are for day sharp strengthening of 850 hpa surface cold advection beyond 10-100 km a warm sector, for evening and night – large water objects for night under less 2 km thunderstorm cloud front night.

Keywords: squall, wind speed, cumulonimbus clouds, satellite information, recognizing of squall, thunderstorm, atmospheric front, frontal wave.