

Физико-географические исследования

УДК 551.578.7: 551.515.4

А.Л. Ветров, А.Н. Шихов

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ И ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ В ПРИКАМЬЕ 18 ИЮЛЯ 2012 ГОДА

По данным дистанционного зондирования Земли, выявлены участки массовых ветровалов в лесных массивах на севере Пермского края, связанные с сильными шквалами 18 июля 2012 г. В условиях редкой наблюдательной сети данные о ветровалах использованы для определения районов, в которых скорость ветра при шквале была максимальной. Выполнены оценка процесса развития конвекции с помощью модели WRF-ARW и расчет шквала на основе данных модели и индекса гидротермодинамической неустойчивости.

Ключевые слова: шквал, ветровал, гидродинамическое моделирование.

В Прикамье, в период с мая по сентябрь ежегодно фиксируется несколько случаев опасных метеорологических явлений (ОЯ), связанных с развитием интенсивной конвекции (очень сильный дождь, сильный ливень, крупный град, шквал). В большинстве случаев конвективные ОЯ имеют локальный характер и отмечаются на одной, реже на двух метеостанциях одновременно или же вообще не фиксируются наблюдательной сетью. Значительно реже (один раз в несколько лет) наблюдаются сильные фронтальные шквалы, охватывающие в течение нескольких часов значительную территорию. Как правило, они связаны с прохождением контрастных холодных фронтов на фоне значительных барических градиентов и высокой скорости ветра (свыше 20 м/с) в средней тропосфере. Прохождение таких шквалов приводит к значительному материальному ущербу, разрушениям и даже человеческим жертвам. В Прикамье в последние годы наблюдались три подобных случая шквалов: 22 мая 2001 г., 19 июня 2009 г. и 18 июля 2012 г.

Материалы и методика исследований

18 июля 2012 г., в период с 8 до 15 ч Всемирного скоординированного времени (BCB) в Прикамье, на Среднем и Северном Урале наблюдался комплекс опасных и неблагоприятных явлений погоды – шквалы (20-28 м/с), сильные ливни и град. В результате шквала был нанесен значительный материальный ущерб: повреждено множество зданий, оборваны линии электропередачи, обесточено более 3300 трансформаторных подстанций, более 900 населенных пунктов временно остались без электроснабжения. На севере Пермского края в лесных массивах произошли ветровалы, на общей площади более 8 тыс. га.

В данной работе приведен анализ условий возникновения и развития сильных шквалов 18 июля в Пермском крае, выполненный на основе следующих исходных материалов:

- снимки с метеорологических спутников серии NOAA и EOS;
- результаты счета мезомасштабной численной модели прогноза погоды WRF-ARW;
- оперативные синоптические материалы и данные наблюдательной сети.

По космическим снимкам среднего и высокого разрешения с аппаратов LANDSAT 7, SPOT4 и UK-DMC2 выполнены оценка площади ветровалов на территории Пермского края и анализ их пространственного распределения.

Результаты исследований и их обсуждение

Синоптические условия развития опасных явлений погоды 18 июля 2012 г. В первой половине дня 18 июля погоду в Пермском крае формировал теплый сектор углубляющегося южного циклона (рис. 1). Центр циклона на 0 ч BCB 18.07.2012 располагался в районе Казани, атмосферное давление в центре составляло 998 гПа. В течение дня приземный центр циклона перемещался на северо-восток и к 18 ч BCB находился западнее г. Сыктывкара, атмосферное давление в центре упало до 987 гПа.

В средней тропосфере циклону соответствовала передняя часть высотной ложбины (ось которой была ориентирована с Балтики на Среднюю Волгу). В течение дня произошло значительное уг-

лубление высотной ложбины, связанное с развитием циклона по вертикали. В 12 ч ВСВ замкнутая циклоническая циркуляция прослеживалась до изобарической поверхности 500 гПа. Одновременно с углублением высотной ложбины над Европейской частью России наблюдалось усиление высотного антициклона над Западной Сибирью, которое происходило на фоне распространения тропического воздуха в эти районы. В течение дня 18 июля над Уралом значительно выросли барические градиенты в средней тропосфере, контраст значений геопотенциала на изобарической поверхности 500 гПа в пределах высотной фронтальной зоны увеличился до 30 дам. В средней тропосфере сформировалось струйное течение. По данным радиозондирования атмосферы, в 12 ч ВСВ на станции Пермь максимальная скорость ветра (32 м/с) наблюдалась на уровне 417 гПа.

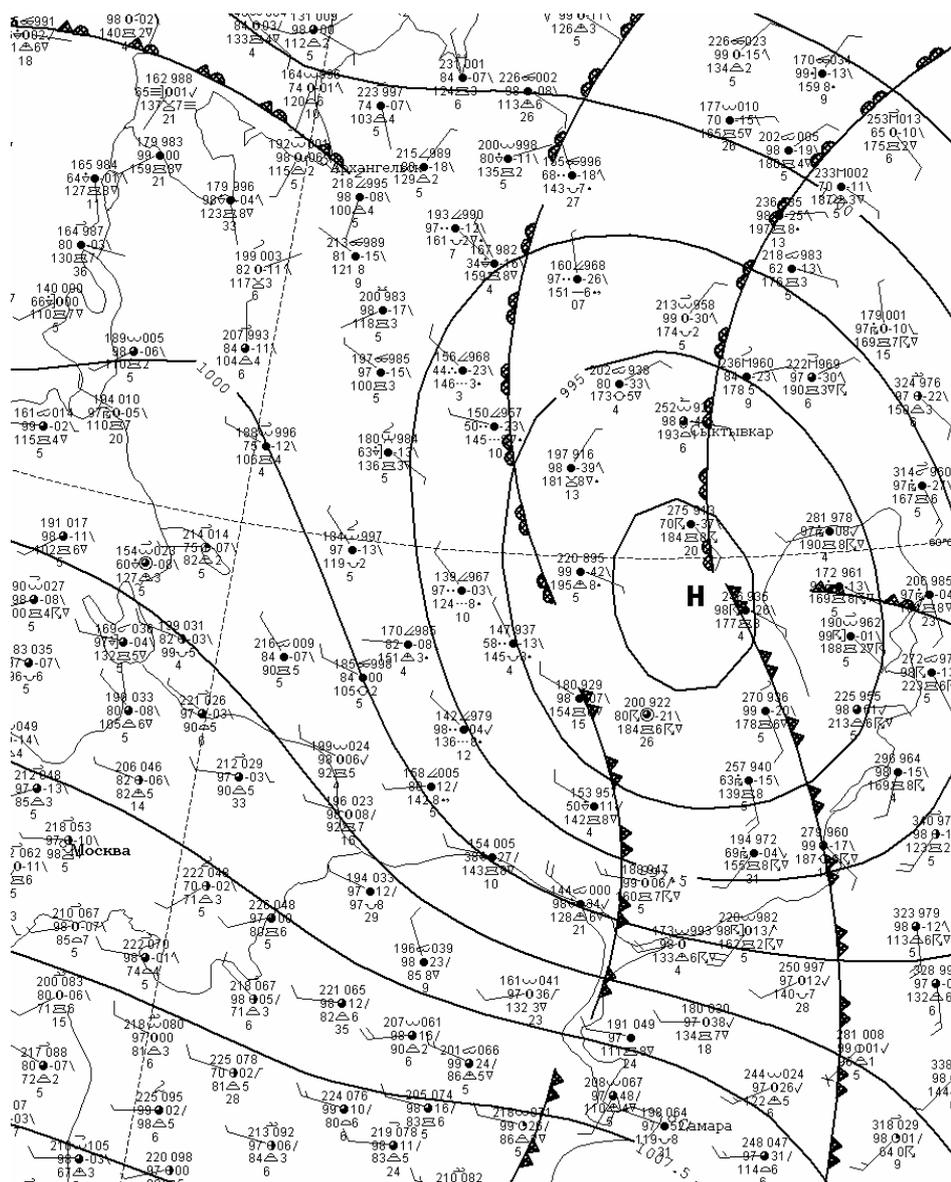


Рис. 1. Фрагмент синоптической карты за 12 ч ВСВ 18.07.2012 г.

В теплом секторе циклона, с южными потоками наблюдалась адвекция в Зауралье тропической воздушной массы из Казахстана, с температурой на изобарической поверхности 850 гПа до 25°C, максимальной температурой у земли до 40°C. Ближе к центру циклона эта воздушная масса имела высокое влагосодержание (приземная точка росы до 20°C), что способствовало развитию интенсивной конвекции. В тыловой части циклона усиливалась адвекция холода с Центра Европейской территории России на Поволжье и далее на Средний и Южный Урал. На фоне двусторонней адвекции наблюдался рост температурного градиента на холодном фронте. По данным дневного радиозондирования атмосферы, температура на изобарической поверхности 850 гПа в теплом секторе составляла 24,8°C, а в тылу ци-

клона 6,8°C. Таким образом, 18 июля в Пермском крае наблюдалось редкое сочетание синоптических условий, способствовавших развитию шквалов:

- прохождение в послеполуденные часы двух быстро движущихся холодных фронтов, общий контраст температуры на которых достигал 18 градусов. Вдоль полярного холодного фронта и перед ним в теплом секторе развивалась интенсивная вынужденная конвекция;

- значительные барические градиенты с максимальной скоростью ветра в средней тропосфере более 30 м/с. Скопления кучево-дождевых облаков на полярном фронте смещались со скоростью 80 км/ч. Шквалы при грозах усиливались за счет передачи части энергии воздушного потока из средней тропосферы в приземный слой;

- температура воздуха в дневные часы – до 36°C и дефицит влажности в приземном слое до 20°C в период максимального прогрева, что способствовало развитию сильных нисходящих порывов в зонах интенсивных осадков.

Данные условия были успешно спрогнозированы. Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды выдал штормовое предупреждение о развитии опасных явлений погоды (шквалы 20-25 м/с, сильные ливни, крупный град) во второй половине дня 18 июля.

Мезомасштабный анализ по данным с метеорологических ИСЗ и МРЛ. В настоящее время для диагноза и сверхкраткосрочного прогноза сильных шквалов обычно используют цифровые снимки с геостационарного спутника Meteosat-8, имеющего временное разрешение 15 мин, а также данные метеорологических радиолокаторов (МРЛ). Комплексный анализ данных искусственных спутников Земли, МРЛ, результатов счета численных прогностических моделей и оперативных синоптических карт позволяет в ряде случаев успешно прогнозировать сильные шквалы. Результаты исследований случаев сильных шквалов (> 27 м/с) в период 2007-2011 гг. изложены в работах М.В. Бухарова, Т.Г. Дмитриевой, Б.Е. Пескова [1-3].

В нашей работе мезомасштабный анализ выполнен на основе снимков с полярно-орбитальных спутников NOAA и EOS (в совокупности обеспечивающих временное разрешение порядка одного часа), а также данных метеорологического локатора МРЛ-5, установленного в аэропорту Большое Савино (радиус обзора 150 км, временное разрешение 30 мин). По данным теплового канала спектро-радиометра MODIS, вычислена температура верхней границы кучево-дождевых облаков (Cb) в период развития шквалов. Некоторые характеристики конвективных явлений 18 июля 2012 г. на территории Пермского края, полученные по данным МРЛ, спутникового мониторинга и наблюдательной сети, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика конвективных явлений 18.07.2012 г. по данным спутниковых наблюдений и наземной наблюдательной сети

Время, ч ВСВ	Температура верхней границы Cb, °C	Высота верхней границы Cb, (по данным МРЛ), км	Скорость ветра при шквале (по данным МРЛ) м/с	Явления погоды, по данным метеостанций
6 – 9	-45, с понижением до -55 (после 08.00)	11-13	19-20 (в районе Перми, Оханска, Верещагино)	Оса – шквал 28 м/с, Оханск – шквал 23 м/с; Верещагино – шквал 19 м/с, ливень 30 мм
9 – 12	До -60	11-13	21-26 (по всему радиусу обзора, к северу от Перми)	Глазов – шквал 28 м/с и град; Кудымкар – шквал 24 м/с; Кочевое – шквал 21 м/с, ливень 27 мм; Коса – шквал 20 м/с, град 22 мм; Губаха – шквал 17 м/с; Лысьва – шквал 18 м/с
12 – 17	До -60	11-13	18-22 (в районе Перми, Добрянки)	Чердынь – шквал 24 м/с, град 18 мм, ливень 36 мм/20 мин; Гайны – шквал 23 м/с; Березники, Ныроб – шквал 20 м/с; Добрянска – шквал 19 м/с

Развитие грозовой деятельности началось после полудня 18 июля. В 6 ч 35 мин ВСВ на снимке со спутника TERRA наблюдались локальные скопления кучево-дождевых облаков (Cb) перед холодным фронтом над северо-западом Башкортостана. Облачная полоса полярного холодного фронта располагалась вдоль западных границ Пермского края. Фронт проходил в параллельных южных потоках, и поэтому скорость его смещения на восток была ниже скорости перемещения скоплений Cb вдоль фронта с юга на север. К 8 ч ВСВ конвекция резко активизировалась под влиянием барической ложбины в теплом секторе циклона над южными районами края. В районе Перми в период с 8 ч 30 мин по 9 ч 30 мин ВСВ прошли локальные шквалы, нанесшие ущерб, но не зафиксированные метеостанциями. По данным МРЛ, наблюдались локальные скопления Cb с высотой верхней границы 11 км, грозы, шквалы 15-18 м/с.

Основное скопление Cb с севера Башкирии переместилось на юго-западные районы Пермского края, температура ВГО в его центре упала до -55°C (рис. 2). Прохождение его сопровождалось сильным шквалом (28 м/с) в г. Оса, в период с 8 ч 20 мин по 8 ч 35 мин ВСВ. Около 9 ч ВСВ, при прохождении мультитячейкового конвективного кластера, шквалы наблюдались в Осинском, Оханском, Очерском районах. По данным МРЛ, высота верхней границы радиоэха в данной конвективной системе к 15 ч ВСВ составила 13 км, отмечены градовые очаги, шквалы до 20 м/с.

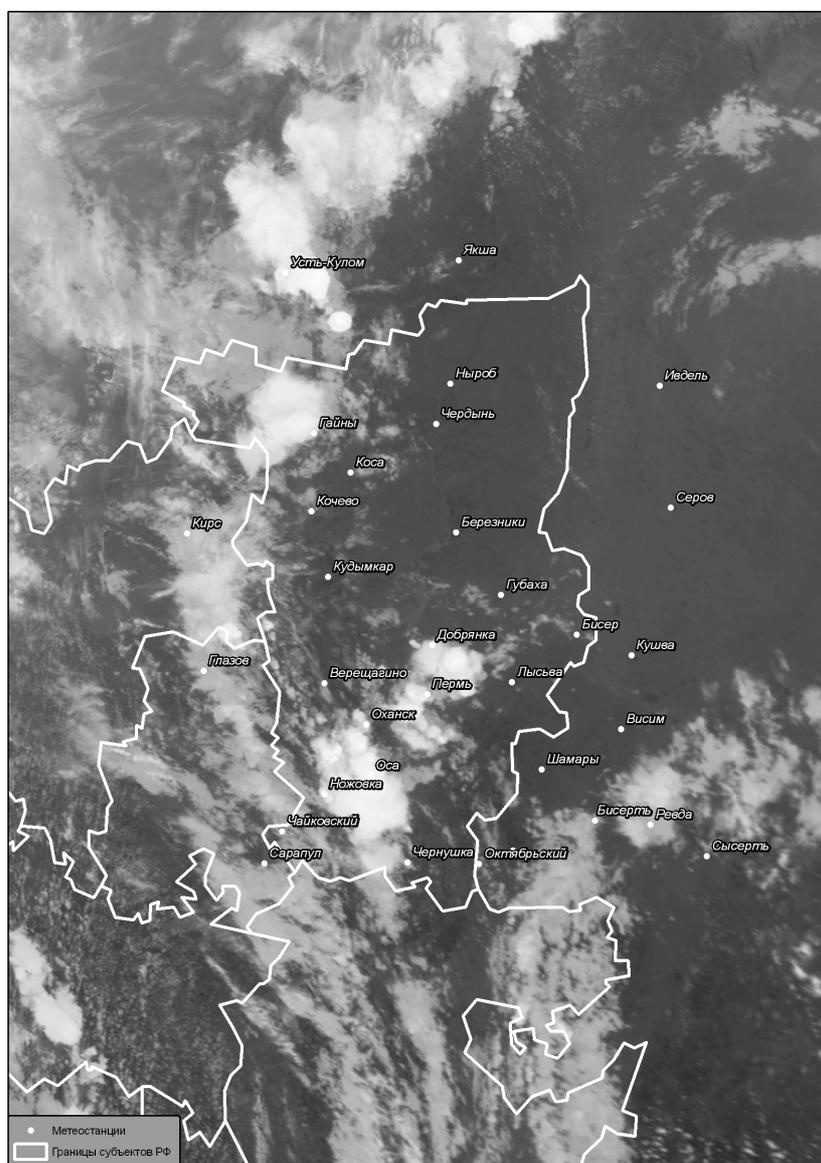


Рис. 2. Снимок Aqua MODIS (тепловой ИК канал), 18.07.2012, 8 ч 20 мин ВСВ

Наиболее сильные шквалы наблюдались после 10 ч ВСВ. Конвективная система, сместившаяся с юго-западных районов Пермского края на 200 км к северу, достигла стадии мезомасштабного конвективного комплекса (МКК) (рис. 3). Температура верхней границы в центре МКК упала ниже -60°C , что указывает на пробой тропопаузы восходящим потоком в облаке. Пробой тропопаузы также наблюдался на снимке NOAA за 15 ч 49 мин ВСВ по наличию характерного купола (Overshooting Top). По данным МРЛ, в период с 10 по 11 ч ВСВ в Кудымкарском, Кочевском, Косинском районах при прохождении МКК с высотой верхней границы радиозеха до 13 км зафиксированы шквалы 21-24 м/с, местами град.

Смещение полярного холодного фронта на восток сопровождалось развитием новой зоны активной конвекции к востоку от Перми. Здесь сформировалась линейная система кучево-дождевых облаков с температурой верхней границы Сб до -55°C . Прохождение линии шквалов сопровождалось локальными, но сильными шквалами, которые не были зафиксированы метеостанциями, но повлекли значительный ущерб. По данным МРЛ, в этом районе в период с 10 ч 30 мин по 12 ч ВСВ при прохождении линейной системы Сб высотой верхней границы до 13 км отмечены шквалы 21-26 м/с и град.

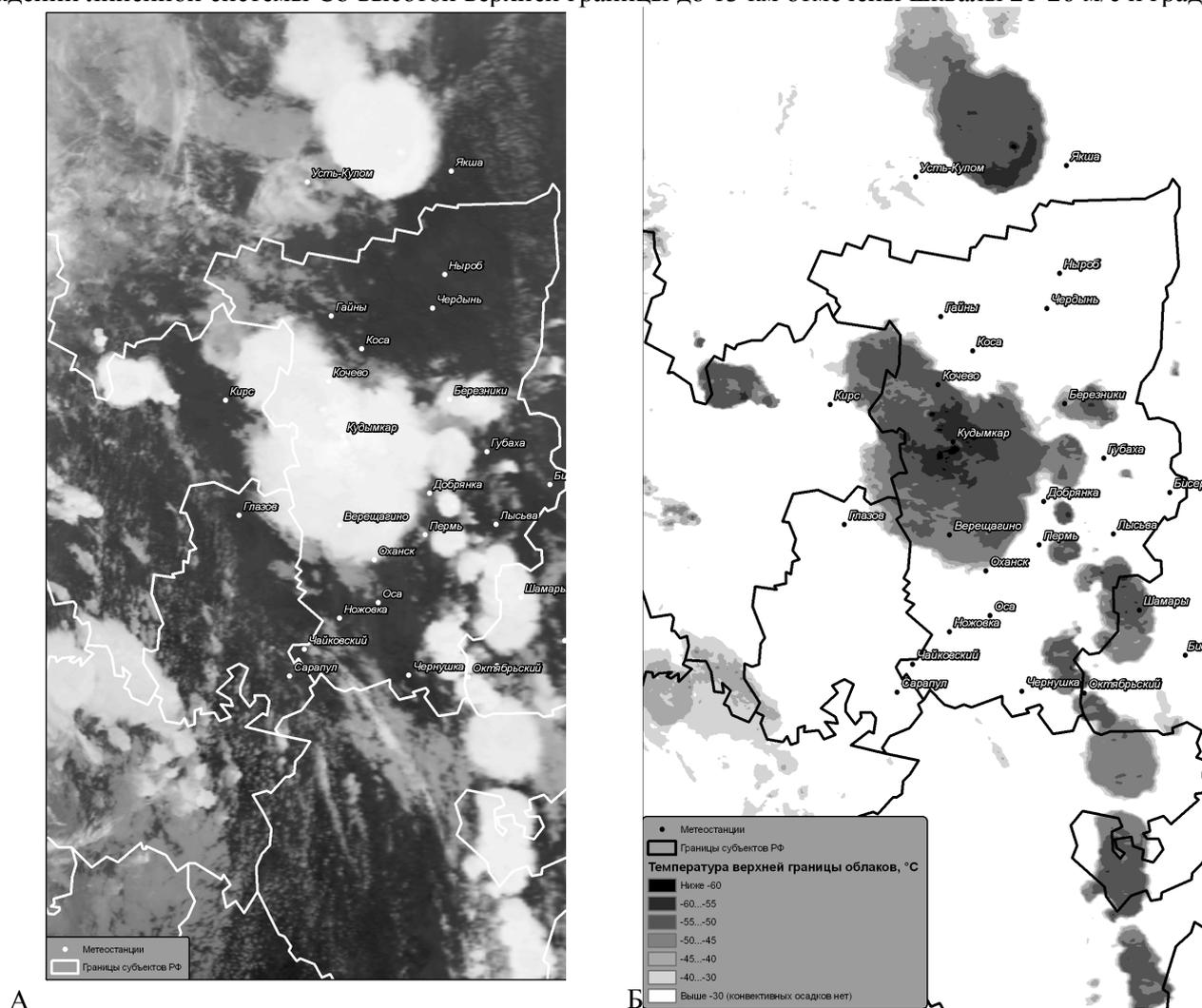


Рис. 3. Конвективная облачность над Западным Уралом, 18.07.2012 г., 09 ч 59 мин ВСВ: А – снимок AQUA MODIS (тепловой ИК канал); Б – температура верхней границы облаков Сб

В период с 12 по 15 ч ВСВ прошли сильные шквалы на севере Пермского края: в Гайнском, Чердынском и Красновишерском районах. После 15 ч ВСВ МКК сместился за пределы Пермского края. В целом при смещении скоплений облаков Сб от южных районов края на север наблюдалось их усиление, рост площади зон осадков, высоты верхней границы облачности и силы шквалов. Сформировавшийся МКК достиг стадии максимального развития над северными и северо-западными рай-

онами Пермского края. Здесь были зафиксированы сильные шквалы, значительные разрушения в населенных пунктах, а также массовые ветровалы.

Оценка площади ветровалов в лесных массивах Пермского края. В условиях редкой сети метеостанций в северной части Пермского края для выявления мест прохождения особо сильных шквалов можно использовать данные о ветровалах в лесных массивах. В случаях шквалов, наблюдавшихся в Европейской части России в 2010 г. (которые рассматриваются в работе [1]), одним из основных последствий также были массовые ветровалы. Для выявления ветровалов на больших территориях используются космические снимки среднего и высокого разрешения, полученные за периоды до и после шквала.

В результате шквалов 18 июля был нанесен значительный ущерб лесному фонду Пермского края. 2 августа 2012 г. на сайте Министерства лесного хозяйства были опубликованы предварительные итоги обследования лесного фонда края. К этому времени ветровалы были выявлены на территориях Гайнского (1125,0 га), Кочевского (817,9 га), Юрлинского (279,2 га), Очерского (191,0 га), Кисертского (124,7 га), Чердынского (79,4 га), Закамского (69,4 га), Красновишерского (30,0 га), Кудымкарского (26,3 га) лесничеств [4].

Нами выполнен предварительный анализ распространения ветровалов по космическим снимкам среднего и высокого разрешения. Приведенные ниже результаты имеют предварительный характер по следующим причинам:

- в ряде случаев требуется получение дополнительных данных для проверки и корректировки контуров ветровалов;
- не были проведены полевые обследования ветровалов;
- часть выявленных повреждений не удалось однозначно классифицировать как ветровалы.

В качестве исходных данных для проведения исследования использовались разновременные снимки LANDSAT 7 ETM+ и SPOT4 HRVIR за 2011-2012 гг, а также архивные снимки LANDSAT 5 TM за 2011 г. Визуальная проверка контуров выполнена по снимку UK-DMC2 за 04.09.2012 г.

Методы дешифрирования ветровалов по космическим снимкам рассматриваются в работах [5-7]. Наиболее полный анализ этой проблемы приведен в статье [5]. В нашем случае для выявления ветровалов использована пороговая методика на основе коротковолнового вегетационного индекса SWVI. Ее эффективность обусловлена тем, что при повреждении растительности, наряду со снижением фотосинтеза и уменьшением отражения в ближней ИК области спектра, происходит рост отражательной способности в среднем ИК канале.

Всего на территории Пермского края выявлено 4 участка массовых ветровалов, площадь каждого из которых превышает 500 га, в том числе три участка с площадью ветровалов более 1000 га (рис. 4). Общая площадь ветровалов составляет не менее 8,5 тыс. га. В наибольшей степени пострадали лесонасаждения в Кочевском, Гайнском и Красновишерском районах (табл. 2). Все массовые ветровалы, выявленные на территории Пермского края, представляют собой сложную мозаику сравнительно небольшого числа крупных (10-150 га) и большого числа мелких участков, общая площадь территории, на которой произошли массовые ветровалы, составляет несколько сотен квадратных километров.

Таблица 2

Распределение ветровалов по районам Пермского края

Муниципальный район	Число выявленных участков ветровала	Площадь выявленных ветровалов, га
Кочевский	796	3181
Гайнский	151	928
Косинский	20	45
Красновишерский	187	2223
Кудымкарский	6	19
Соликамский	66	691
Чердынский	76	893
Юрлинский	61	199

Ветровал в Кочевском районе представляет собой полосу из участков поврежденной лесной растительности, общая длина которой около 80 км и ширина от 2-3 км до 15-20 км. На территории Юрлинского района (где залесенность территории меньше) полоса ветровалов имеет ширину всего 2-5 км. В юго-восточной и центральной части Кочевского района ширина зоны ветровала увеличивается от 6-8 до 20 км в виде нескольких параллельных полос. Площадь наиболее крупного участка ветровала 130 га. Общая площадь ветровала оценивается в 3400 га.

Ветровал в Красновишерском районе (в Акчимском участковом лесничестве) был выявлен по снимкам LANDSAT 7 ETM+ с дефектами CLS-off или со значительной облачностью, поэтому его площадь определена с недостаточной точностью. Ветровал представляет собой полосу шириной 10-20 км и длиной около 40 км, в центральной части которой сосредоточены наиболее крупные участки площадью более 100 га, а по периферии – более мелкие участки. Общая площадь ветровала оценивается в 3-4 тыс. га. В результате ветровала пострадали в основном спелые и перестойные насаждения с преобладанием хвойных пород.

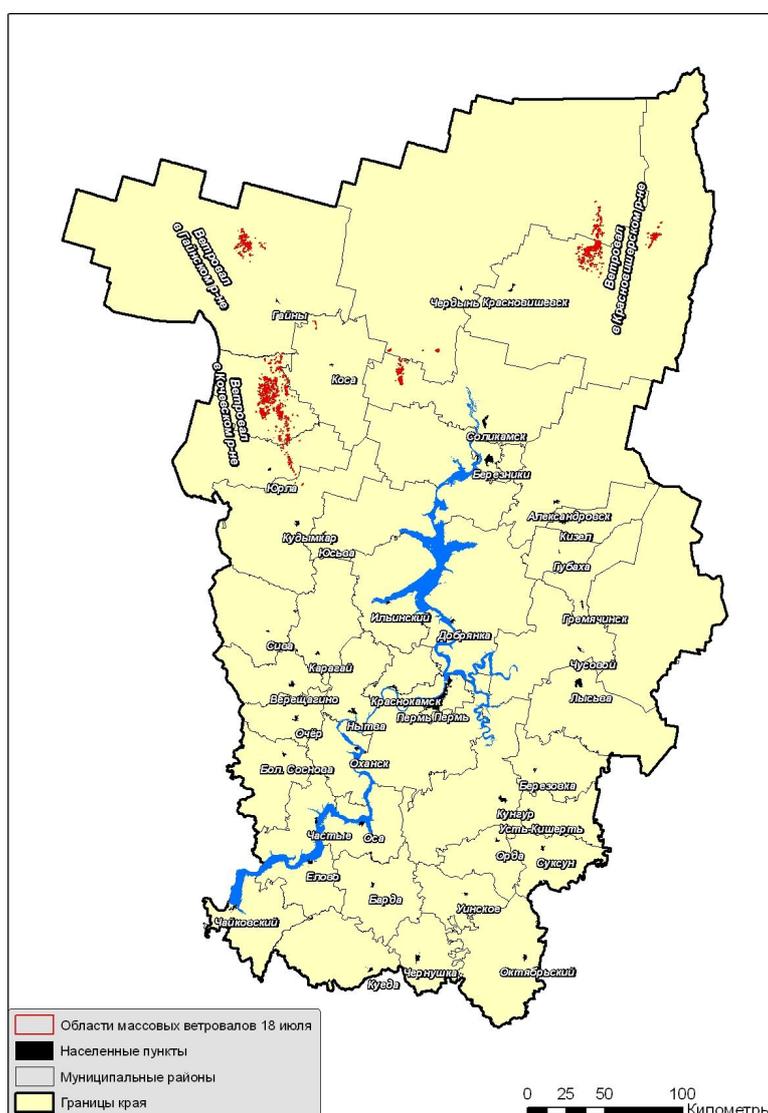


Рис. 4. Распределение массовых ветровалов по территории Пермского края

Ветровал в Гайнском районе также выявлен по снимку с дефектами CLS-off и с облачностью, поэтому его площадь будет уточнена позднее. Ветровал прошел полосой, ширина которой составляет 5-10 км, длина более 20 км. Общая площадь ветровала не менее 900 га, площадь наиболее крупных участков 30-50 га.

Принимая во внимание результаты работы [5], можно предположить, что для большого числа мелких фрагментов ветровала (менее 2,4 га) площадь была существенно завышена, что связано со смешиванием спектральных характеристик в пикселах изображения. Установлено, что ветровал площадью 0,5 га переоценивается на 49 %, ветровал площадью 1 га – на 29,9 %, 5 га – на 9,4 %. В связи с этим выполнена оценка характера распределения площадей ветровальных участков (табл. 3).

Таблица 3

**Число участков и суммарная площадь по градациям в зонах массовых ветровалов
на территории Пермского края**

Градации по площади участков ветровала, га	Районы		
	Кочевский	Красновишерский	Гайнский
Очень крупные (более 30)	8 (480)	16 (1064)	3 (121)
Крупные (10 – 29)	47 (767)	71 (1132)	24 (381)
Средние (5 - 9,9)	111 (755)	67 (479)	26 (177)
Мелкие (2,5 - 4,9)	186 (686)	48 (176)	35 (135)
Незначительные (менее 2,5)	518 (742)	43 (77,3)	62 (53,6)

С учетом использованного метода дешифрирования (для Кочевского участка – автоматизированного, для Акчимского и Гайнского – визуального) можно предположить, что площадь выявленных по снимкам ветровалов в Кочевском районе переоценена на величину около 500 га, а на Акчимском и Гайнском участках, наоборот, занижена вследствие влияния облачности и дефектов снимков.

Результаты численного моделирования развития конвекции. В качестве инструмента исследования использовалась мезомасштабная модель WRF. Прогнозы составлялись с использованием динамического ядра ARW. Параметризации конвекции не производилось, и она моделировалась непосредственно. Для параметризации пограничного слоя и турбулентности использовалась схема Меллора-Ямады-Янича, для параметризации процессов на поверхности суши и в почве — схема Noah. Потоки длинноволновой радиации рассчитывались по схеме RRTM, а коротковолновой радиации — по схеме RRTMG, параметризация микрофизики в облаках производилась по Томпсону.

Расчет производился на 24 часа, с 0 ч ВСВ до 24 ч ВСВ 18 июля. В качестве начальных и граничных условий использовался объективный анализ и прогноз GFS. Расчет производился для полигона 200 на 200 км с шагом интегрирования по пространству 4 км.

Модель адекватно воспроизводит время максимального развития мезомасштабной конвективной системы. На рис. 5 хорошо заметно усиление скорости ветра западнее Воткинского водохранилища к 12 ч ВСВ. Для этих же районов модель воспроизводит полосы осадков интенсивностью до 40 мм/3 ч (рис. 6). С другой стороны, результаты прямого моделирования не воспроизводят максимальные значения скорости ветра, зафиксированные метеорологическими станциями и косвенно определенные по результатам изучения ветровалов. Отчасти это объясняется тем, что модель воспроизводит только средние скорости ветра. Для оценки точности воспроизведения этого поля было проведено сравнение станционных данных с данными моделирования. В табл. 4 приведены результаты такого сравнения. Модель воспроизводит усиление средней скорости ветра практически по всем станциям в 12 ч ВСВ или, по крайней мере, в последующие часы (15 ч ВСВ). Наибольшие средние скорости отмечаются в Оханске (12 м/с) и Большой Соснове (11 м/с). В Глазове максимальные средние скорости приходятся на 9 ч ВСВ.

Для оценки максимальной скорости ветра при шквале применялась расчетная методика, предложенная в работе Б.Е. Пескова и др. [3]. В данной работе используется индекс гигротермодинамической неустойчивости. Из сравнения расчета силы шквала с фактическим усилением ветра (табл. 5) видно, что расчетные скорости ветра в большинстве случаев выше фактических. Однако это завышение может быть интерпретировано в пользу расчетных методов, так как обнаружение зон массовых ветровалов дает основание полагать, что шквалы в северных районах Пермского края были значительно сильнее, чем зафиксированные на метеостанциях.

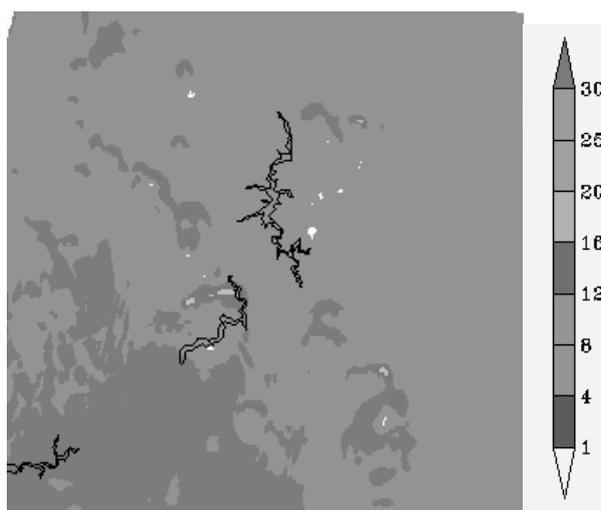


Рис. 5. Поле скорости ветра у земной поверхности (м/с) в 12 ч ВСВ 18 июля 2012 г.

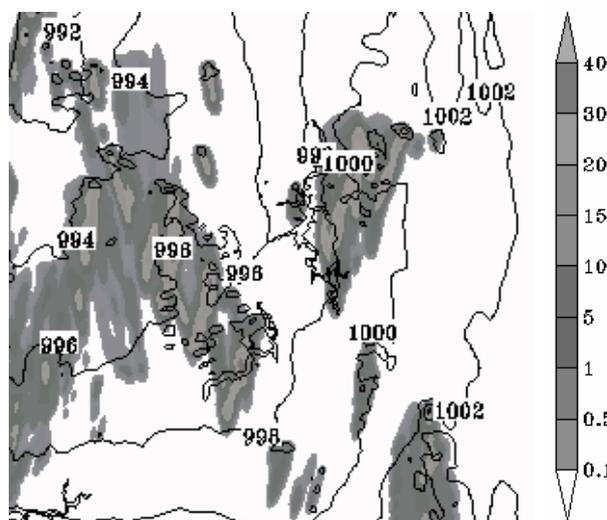


Рис. 6. Интенсивность осадков (мм/3 ч) в 12 ч ВСВ 18 июля 2012 г.

Таблица 4

Сопоставление фактической и модельной средней скорости ветра (м/с), за период с 9 до 21 ч ВСВ 18 июля 2012 года

Метеостанция	Срок, ч ВСВ									
	9		12		15		18		21	
	Модель	Факт	Модель	Факт	Модель	Факт	Модель	Факт	Модель	Факт
Пермь	5	3	6	3	1	3	6	5	6	5
Ныроб	6	3	5	2	7	5	6	7	6	5
Ваяя	5	2	5	6	1	6	7	8	4	2
Чердынь	5	3	5	3	5	4	6	2	6	2
Усть-Черная	7	0	5	0	3	3	5	3	7	5
Коса	6	3	6	4	5	3	5	2	6	6
Гайны	6	5	4	5	5	3	4	4	7	4
Березники	5	4	3	3	4	6	5	4	7	1
Кочевое	7	3	6	3	3	4	5	1	6	4
Губаха	5	2	3	1	7	4	7	9	6	4
Кудымкар	7	2	7	3	6	3	6	2	6	5
Добрянка	5	2	5	2	6	3	6	1	7	2
Чермоз	5	3	7	3	8	5	6	3	10	5

Окончание табл. 4

Верещагино	6	3	5	1	8	5	7	4	6	4
Бисер	4	2	7	3	3	6	6	6	5	3
Лысьва	5	3	6	3	8	7	6	7	5	3
Кын	5	1	6	3	8	3	6	5	5	2
Оханск	6	2	12	2	7	7	7	3	6	5
Б. Соснова	6	2	11	5	8	5	7	5	7	5
Кунгур	6	2	7	3	7	5	6	3	7	4
Оса	7	2	6	2	8	7	8	3	6	5
Ножовка	7	3	3	3	9	2	7	3	6	7
Чайковский	6	1	8	1	8	4	7	3	5	5
Чернушка	7	0	8	5	7	7	8	9	6	8
Октябрьский	6	2	5	5	5	5	5	6	5	2
Глазов	6	3	5	6	5	5	6	2	6	6

Таблица 5

Скорость шквала фактическая и модельная (м/с) за период в 12 ч ВСВ 18 июля 2012 года

Метеостанция	Факт	Модель	Абсолютная ошибка
Ныроб	20	26	-6
Вая	18	23	-5
Чердынь	24	26	-2
Коса	20	33	-13
Гайны	23	12	11
Кочево	21	33	-12
Кудымкар	24	39	-15
Верещагино	19	18	1
Лысьва	18	40	-22
Оханск	23	38	-15
Б. Соснова	17	20	-3
Оса	28	42	-14
Октябрьский	18	31	-13
Глазов	28	34	-6

Выводы

В работе изучено возникновение и развитие опасных явлений погоды, наблюдавшихся 18 июля 2012 г. в Прикамье. Выполнено численное моделирование развития конвекции, результаты моделирования сопоставлены с данными станционных, радиолокационных и спутниковых наблюдений. По данным дистанционного зондирования Земли выявлены участки массовых ветровалов в лесных массивах на севере Пермского края, которые соответствуют районам прохождения наиболее сильных шквалов. Установлено, что мезомасштабная модель воспроизводит сильные шквалы днем 18 июля на территории Пермского края. Однако зоны наиболее интенсивных конвективных явлений, рассчитанные по модели с трехчасовым шагом по времени, не во всех случаях совпадают с фактическими данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 1, № 7. С. 83-91.
2. Дмитриева Т.Г., Бухаров М.В., Песков Б.Е. Анализ условий возникновения сильных шквалов по спутниковой и прогностической информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 244-250.

3. Песков Б.Е., Дмитриева Т.Г., Бухаров М.В. Развитие методов диагноза и прогноза летних шквалов и ливней с учетом спутниковых и наземных измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2012. Т. 9, № 2. С. 234-242.
4. Министерство лесного хозяйства Пермского края. Новости. URL: <http://www.les.permkrai.ru>
5. Королева Н.В., Ершов Д.В. Оценка погрешности определения площадей ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения LANDSAT-TM // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 1 С. 80-86.
6. Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика. 2011. № 3. С. 53-58.
7. Петухов И.Н., Немчинова А.В. Пространственная структура массовых ветровалов на территории Костромской области // Вестн. КГУ им Н.А. Некрасова. 2011. № 1. С. 19-24.

Поступила в редакцию 04.03.13

A.L. Vetrov, A.N. Shikhov

Study of evolution conditions for severe gusts in the Kama region on July 18, 2012, and estimation of their effect

According to remote sensing data, mass windfalls in the forests in the north of the Perm region are revealed. The windfalls are the consequences of severe gusts, which occurred in the Kama basin region on July 18, 2012. Under conditions of a rare observational network, the windfall data are used to detect the areas, in which the wind speed was maximal. The estimation for the development of convection by means of the WRF-ARW model and the gust calculation based on the model data and the index of hydrodynamic instability, is carried out.

Keywords: Gust, forest damage, hydrodynamic model.

Ветров Андрей Леонидович,
кандидат географических наук, доцент
E-mail: vetrov@psu.ru

Шихов Андрей Николаевич, ассистент
E-mail: and3131@inbox.ru

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15

Vetrov A.L.,
candidate of geography, associate professor
E-mail: vetrov@psu.ru

Shikhov A.N., assistant
E-mail: and3131@inbox.ru

Perm State National Research University
614990, Russia, Perm, Bukireva st., 15