

Анализ условий развития и оценка последствий сильных шквалов в Пермском крае 18 июля 2012 года

Введение

На территории Пермского края, в период с мая по сентябрь ежегодно фиксируется несколько случаев опасных метеорологических явлений, связанных с развитием глубокой конвекции. Как правило, конвективные опасные явления имеют локальный характер и отмечаются на одной, реже на двух метеостанциях одновременно, или же вообще не фиксируются наблюдательной сетью. В большинстве случаев, такие явления не наносят существенного материального ущерба. Существенно реже отмечаются сильные фронтальные шквалы, охватывающие в течение нескольких часов значительную часть территории региона. Как правило, они наблюдаются в первой половине летнего сезона, и бывают 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 Пермском крае в последние годы наблюдались три подобных случая: 22 мая 2001 г., 7 июня 2009 г. и 18 июля 2012 г. Шквалы 18 июля 2012 г. в Пермском крае стали самыми сильными и разрушительными за последние 10 лет.

18 июля 2012 г. в период с 14.00 по 21.00 местного времени на большей части территории Пермского края, а также по восточным районам Удмуртии наблюдался комплекс опасных и неблагоприятных метеорологических явлений: шквалистые усиления южного ветра до 28 м/с, сильные ливни (до 37 мм/12ч), в отдельных районах град диаметром до 22 мм. Метеостанции Пермского края зафиксировали следующие опасные и неблагоприятные явления погоды:

- Ныроб - шквал 20 м/с
- Чердынь - сильный ливень (37 мм осадков)
- Кочево - шквал 21 м/с, ливень 27 мм/12ч, град диаметром 22 мм
- Березники - шквал 20 м/с
- Коса - шквал 20 м/с
- Бисер - шквал 18 м/с
- Добрянка - шквал 19 м/с
- Чернушка - шквал 20 м/с
- Оса - шквал 28 м/с
- Ножовка - шквал 17 м/с

В результате прохождения сильных шквалов 18 июля 2012 г. в ряде районов Пермского края был нанесен значительный материальный ущерб: повреждено большое количество зданий (точное число не установлено), оборваны ЛЭП, более 900 населенных пунктов временно остались без энергоснабжения. Значительный ущерб был нанесен лесным ресурсам на севере территории края, в ряде районов края произошли массовые ветровалы.

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 численной модели атмосферы GFS/NCEP, за 00 UT 18.07.2012 г.
- Оперативные синоптические материалы и данные наблюдательной сети

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

Анализ условий развития опасных явлений погоды 18.07.2012 г.

В первой половине дня 18 июля погоду в Пермском крае формировал теплый сектор углубляющегося южного циклона. Центр циклона на 00 UT 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 18.00 UT находился западнее Сыктывкара, атмосферное давление в центре упало до 987 гПа (рис 1).

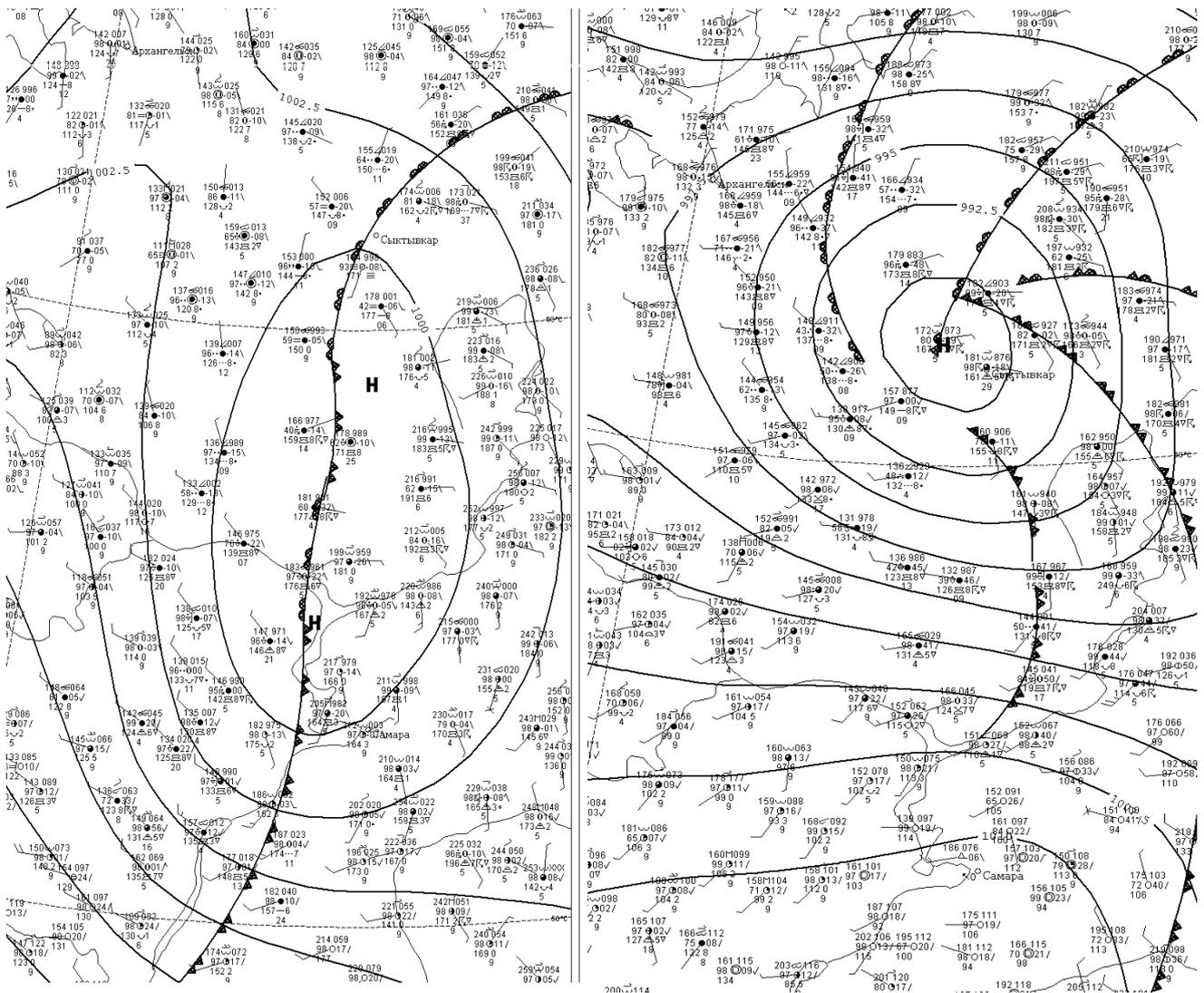


Рис 1. Фрагменты кольцевых карт погоды за 00 UT и 18 UT 18.07.2012

В средней тропосфере циклону соответствовала передняя часть высотной ложбины (ось которой была ориентирована с Балтики на Среднюю Волгу). В течение дня произошло углубление высотной ложбины, связанное с развитием циклона по вертикали. В 12.00 UT замкнутая циклоническая циркуляция прослеживалась до изобарической поверхности АТ-500. Одновременно с углублением высотной ложбины над Европейской Россией 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 АТ-500 в пределах ВФЗ увеличился до 30 дам. В средней тропосфере сформировалось струйное течение, скорость ветра на уровне АТ-500 достигала 29 м/с (по данным радиозондирования на станции Пермь), в Уфе на уровне 646 гПа скорость ветра составляла 30 м/с.

В теплом секторе южного циклона на Зауралье распространялась тропическая воздушная масса из Казахстана, с температурой на АТ850 +21...+25°, и максимальной температурой у земли +35...+40°. Ближе к центру циклона, над Пермским краем и Свердловской областью, эта воздушная масса была также достаточно влажной (точка росы +18...+20°), что способствовало развитию интенсивной конвекции. В то же время в тыловой части циклона усиливалась адвекция холода с Центра ЕТР на Поволжье, и далее на Средний и Южный Урал. На фоне двусторонней адвекции наблюдался рост температурных контрастов на атмосферных фронтах циклона: так, по данным дневного радиозондирования атмосферы, температура воздуха на АТ850 в Екатеринбурге составляла +24,8°, а в Самаре +6,8°. В послеполуденные часы произошло обострение холодных фронтов при их прохождении через территорию Пермского края и восточные районы Удмуртии, что сопровождалось развитием опасных явлений погоды.

Таким образом, 18 июля в Пермском крае наблюдалось редкое сочетание синоптических условий, способствовавших развитию шквалов.

- Динамический фактор – прохождение в послеполуденные часы двух быстро движущихся холодных фронтов, общий контраст температуры на которых достигал 16-18 градусов. Вдоль фронтальной зоны и перед ней в теплом секторе развивалась интенсивная вынужденная конвекция.
- Значительные барические градиенты и высокая скорость ветра (20-30 м/с) в средней тропосфере, на высотах 3-6 км. Скопления кучево-дождевых облаков, сформировавшиеся на полярном холодном фронте, и перед ним в теплом секторе циклона, перемещались со скоростью 70-90 км/ч. Шквалы при грозах усиливались за счет передачи части энергии воздушного потока из средней тропосферы в приземный слой.
- Очень высокая температура воздуха в дневные часы (до +36°) и значительный дефицит влажности в приземном слое, достигавший 15-20° в период максимального прогрева, что способствовало формированию сильных нисходящих порывов (downburst) в зонах осадков. При прохождении шквалов метеостанции фиксировали резкое снижение температуры воздуха на 15-16°, что также указывает на возможность нисходящих порывов.

Данные условия были успешно спрогнозированы, Пермским ЦГМС было выдано 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

По данным теплового канала спектрорадиометра MODIS построены карты температуры верхней границы кучево-дождевых облаков в период развития шквалов, по которым косвенными методами можно оценить высоту верхней границы облаков. Также для анализа использованы снимки со спутников серии NOAA, представленные в синтезе каналов красный – ближний ИК – тепловой ИК (1-2-4).

Развитие активной конвекции и грозовой деятельности над территорией Пермского края началось с 13.00 местного времени 18 июля. В 12.35 местного времени в теплом секторе перед полярным холодным фронтом над северными районами Башкирии сформировались локальные скопления кучево-дождевых облаков (Cb) с грозами, температура верхней границы в которых составляла $-40...-45^{\circ}$ (рис. 2). Сопоставляя эти данные с данными радиозондирования, можно оценить высоту верхней границы облаков в 9 – 10 км. Грозовые очаги перемещались по ведущему потоку с юга на север.

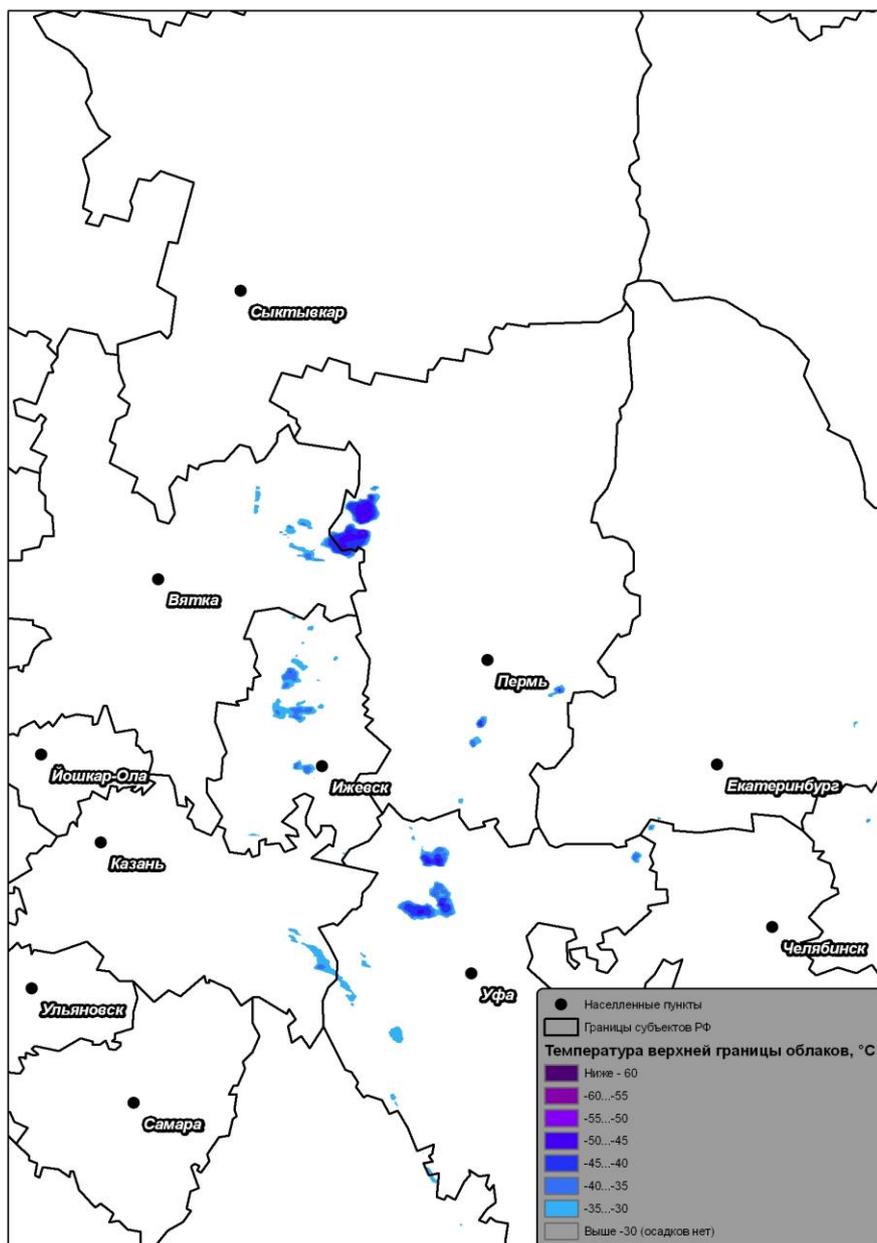


Рис. 2. Температура верхней границы облаков по данным TERRA MODIS, 12.35 местного времени

Через 20 минут, в 12.57 местного времени, скопление облаков Cb над севером Башкортостана увеличилось в размерах и приблизилось к южным границам Пермского края. На снимке NOAA-16 за 12.57 местного времени видна облачная полоса полярного холодного фронта вдоль западных границ Пермского края. Фронт располагался в параллельных южных потоках, и поэтому скорость его смещения на восток ниже, чем скорость перемещения кучево-дождевых облаков вдоль фронта с юга

на север. Активной конвекции вдоль фронта не наблюдалось, но перед фронтом в барической ложбине в теплом секторе начали формироваться облака Сb, которые со скоростью более 60 км/ч перемещались на север (рис. 3).

Снимок NOAA-16, 12.57 местного времени 18.07.2012

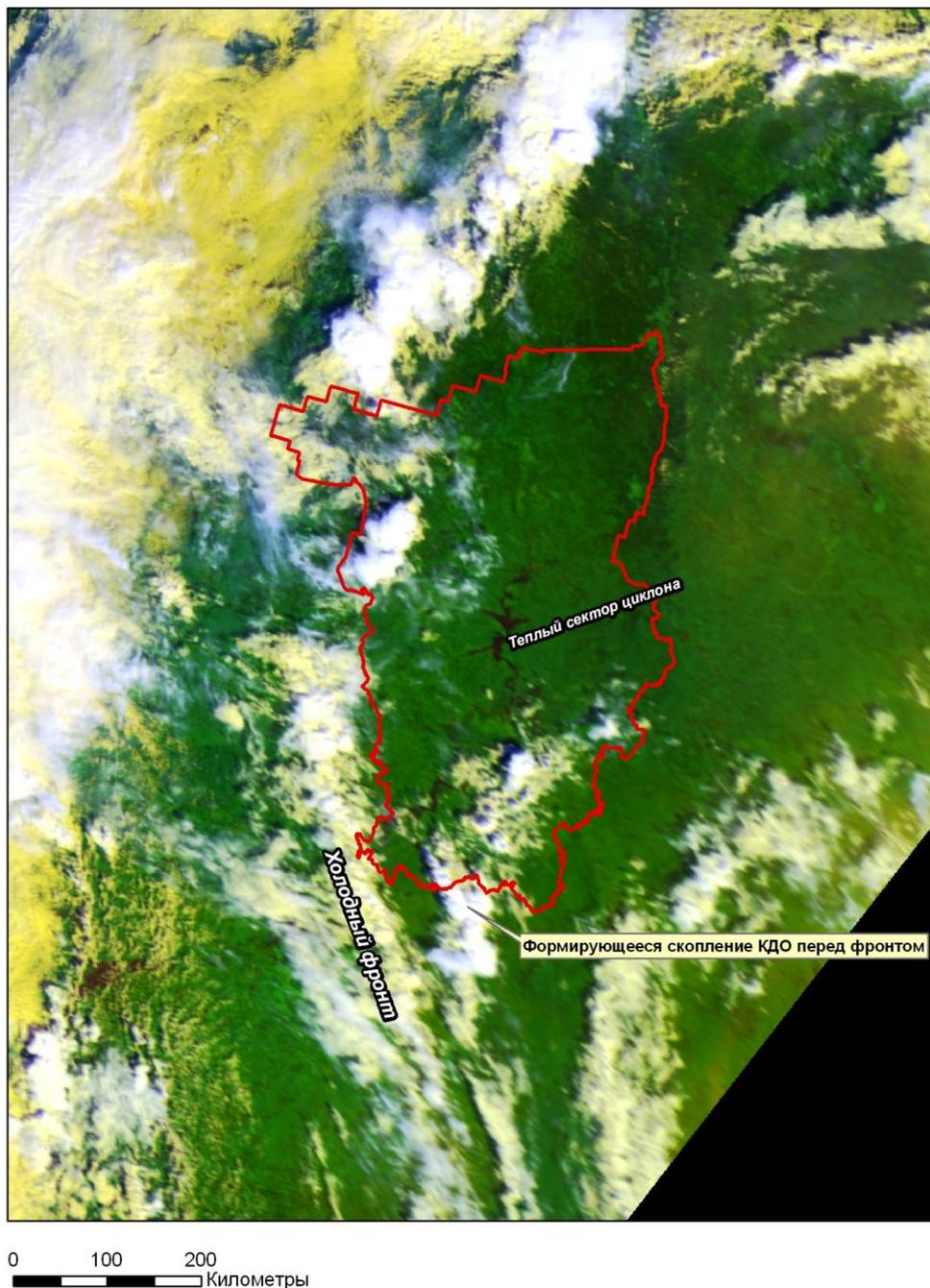


Рис. 3. Снимок NOAA-16, 12.57 местного времени

Через час конвекция над территорией Пермского края резко активизировалась, чему способствовало смещение барической ложбины в теплом секторе циклона на южные районы края. Скопление кучево-дождевых облаков с севера Башкирии переместилось на юго-западные районы Пермского края и увеличилось в размерах, температура ВГО в его центре упала до $-50...-55^{\circ}$, что указывает на ВВГО более 11000 м. Прохождение его сопровождалось сильными шквалами до 28 м/с в районе г. Оса.

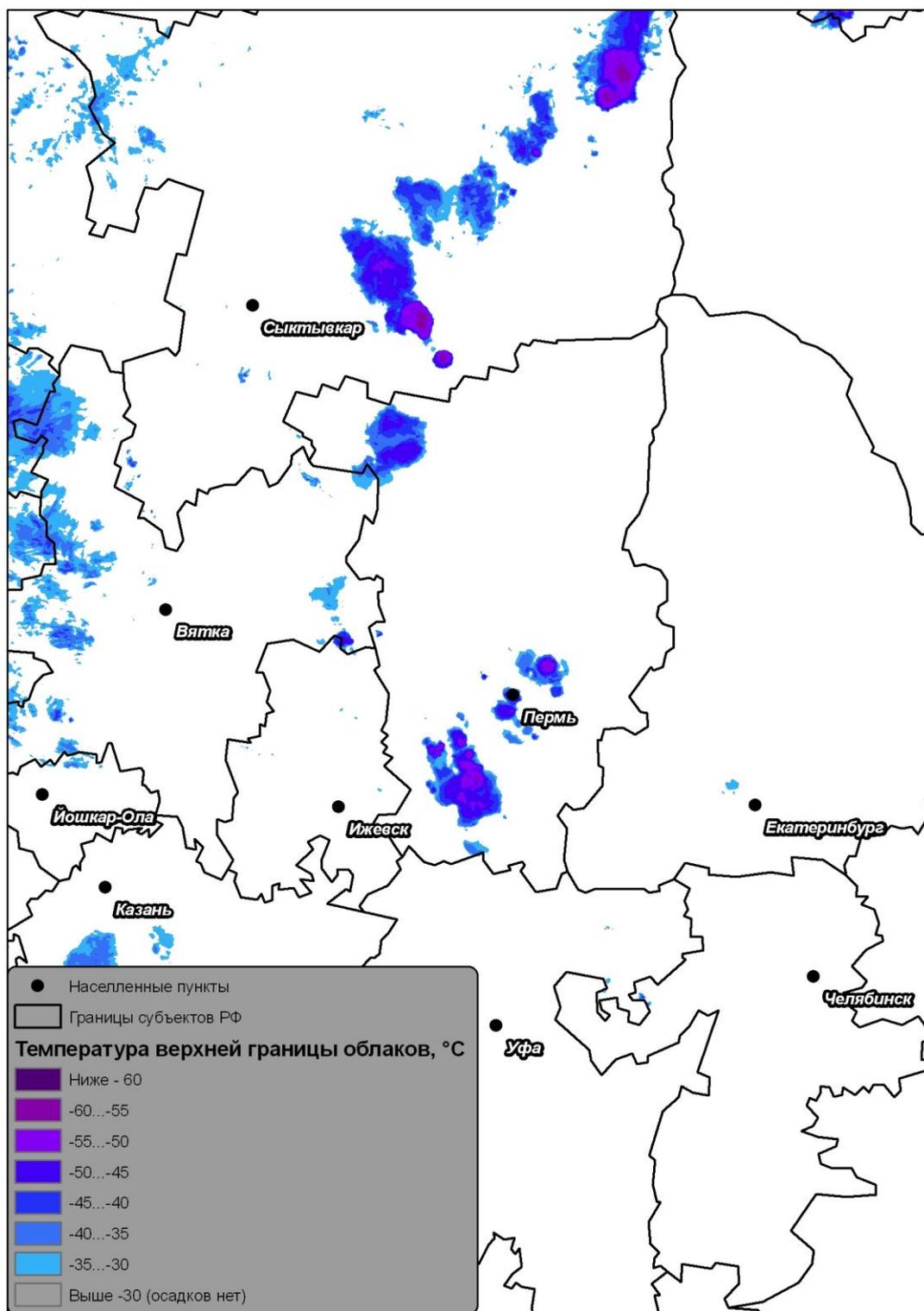


Рис. 4. Температура верхней границы облаков по данным TERRA MODIS, 14.08 местного времени

К 14.20 мультитячейковый конвективный кластер перед холодным фронтом над юго-западными районами края увеличился по площади, температура верхней границы облаков упала ниже -55° , что указывает на ВВГО до 12 км и высокую вероятность града (рис. 5, 6). Шквалы в это время наблюдались в Осинском, Оханском, Очерском районах. Прохождение локальных гроз в теплом секторе циклона в районе Перми также сопровождалось сильными шквалами в отдельных районах города.

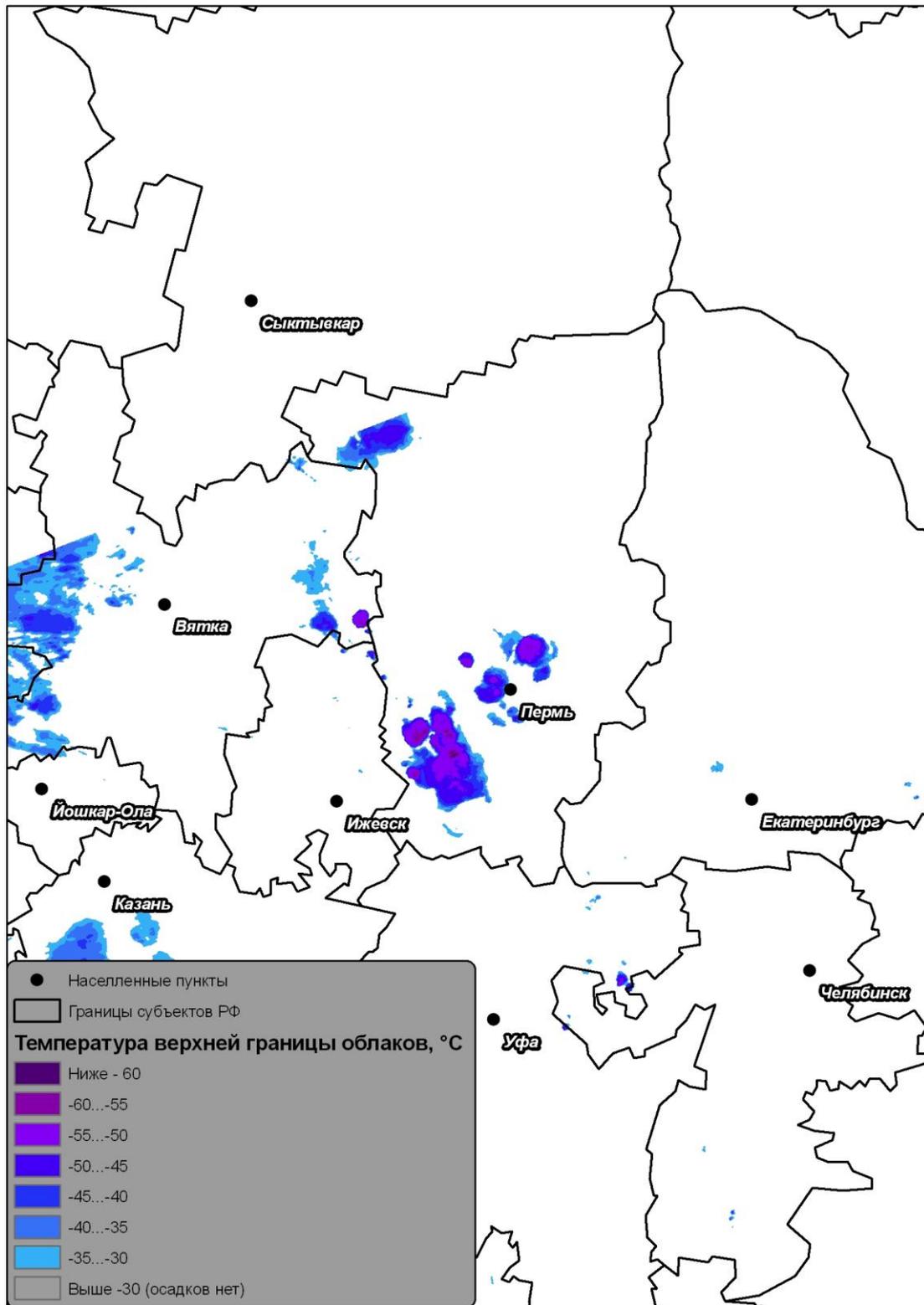


Рис. 5. Температура верхней границы облаков по данным AQUA MODIS, 14.20 местного времени

Наиболее интенсивные грозы и шквалы наблюдались после 16.00 местного времени. К этому времени конвективная система, сместившаяся с юго-западных районов Пермского края на 150 км к северу, достигла стадии МКК (мезомасштабный конвективный комплекс) с разрушительными шквалами, сильными ливнями и крупным градом. Температура верхней границы облаков в центре МКК упала ниже -60° , что указывает на пробой тропопаузы восходящим потоком в облаке, который

также можно наблюдать визуально на снимке со спутников NOAA за 15.49 местного времени, по наличию характерного купола (Overshooting Top) (рис. 6, 7). Это сравнительно небольшое возвышение вершины над наковальной Сб, образующееся в результате мощнейшего (часто вращающегося вокруг вертикальной оси) восходящего потока внутри Сб. Данный признак часто говорит о большой мощности, а значит и потенциальной возможности развития опасных конвективных явлений, предположительно генерируемых таким облаком [Спрыгин, 2012]. Явление пробивания тропопаузы указывает на высокую вероятность крупного града.

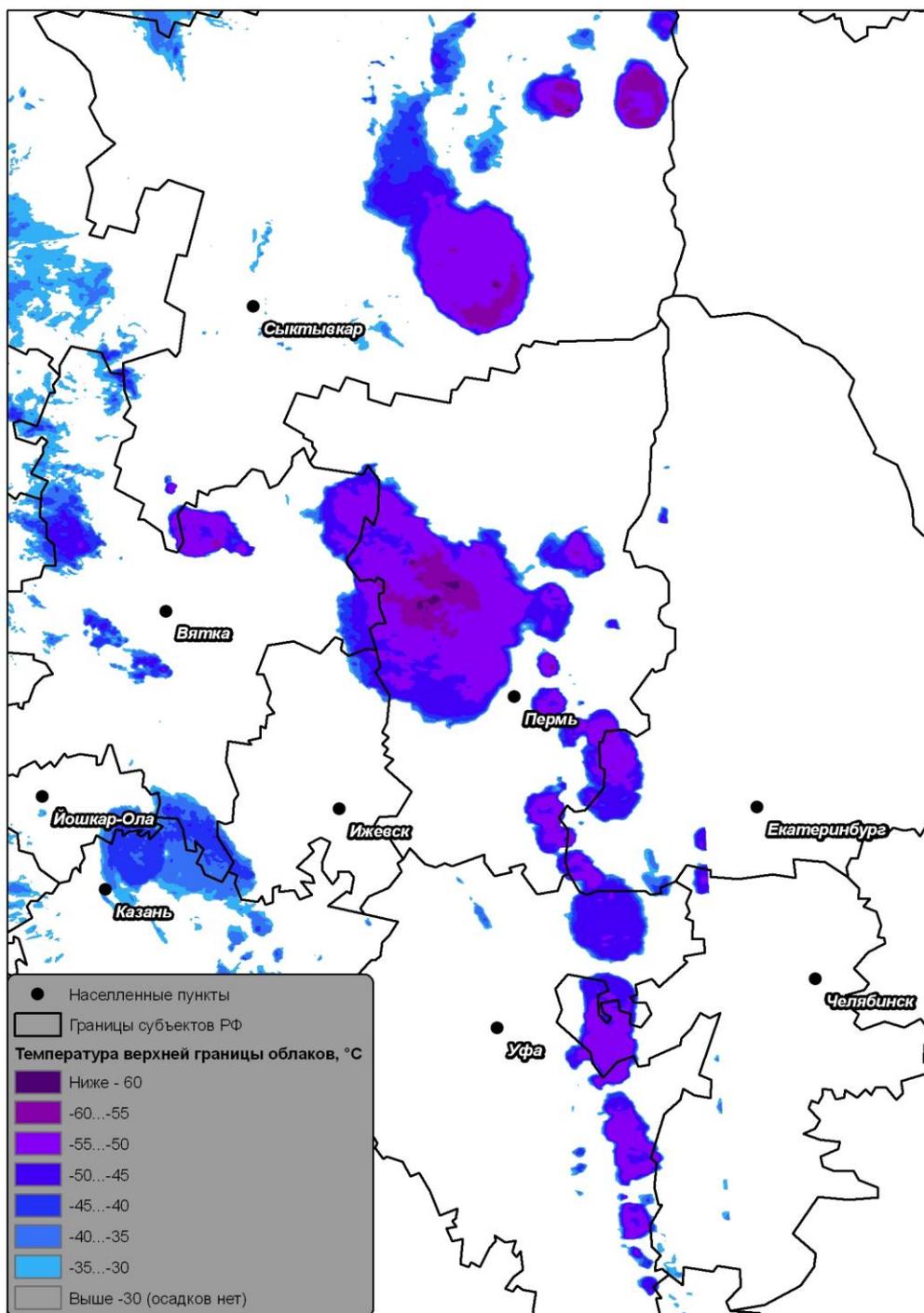


Рис. 6 Температура верхней границы облаков по данным AQUA MODIS, 15.59 местного времени

Снимок NOAA-18, 15.49 местного времени 18.07.2012

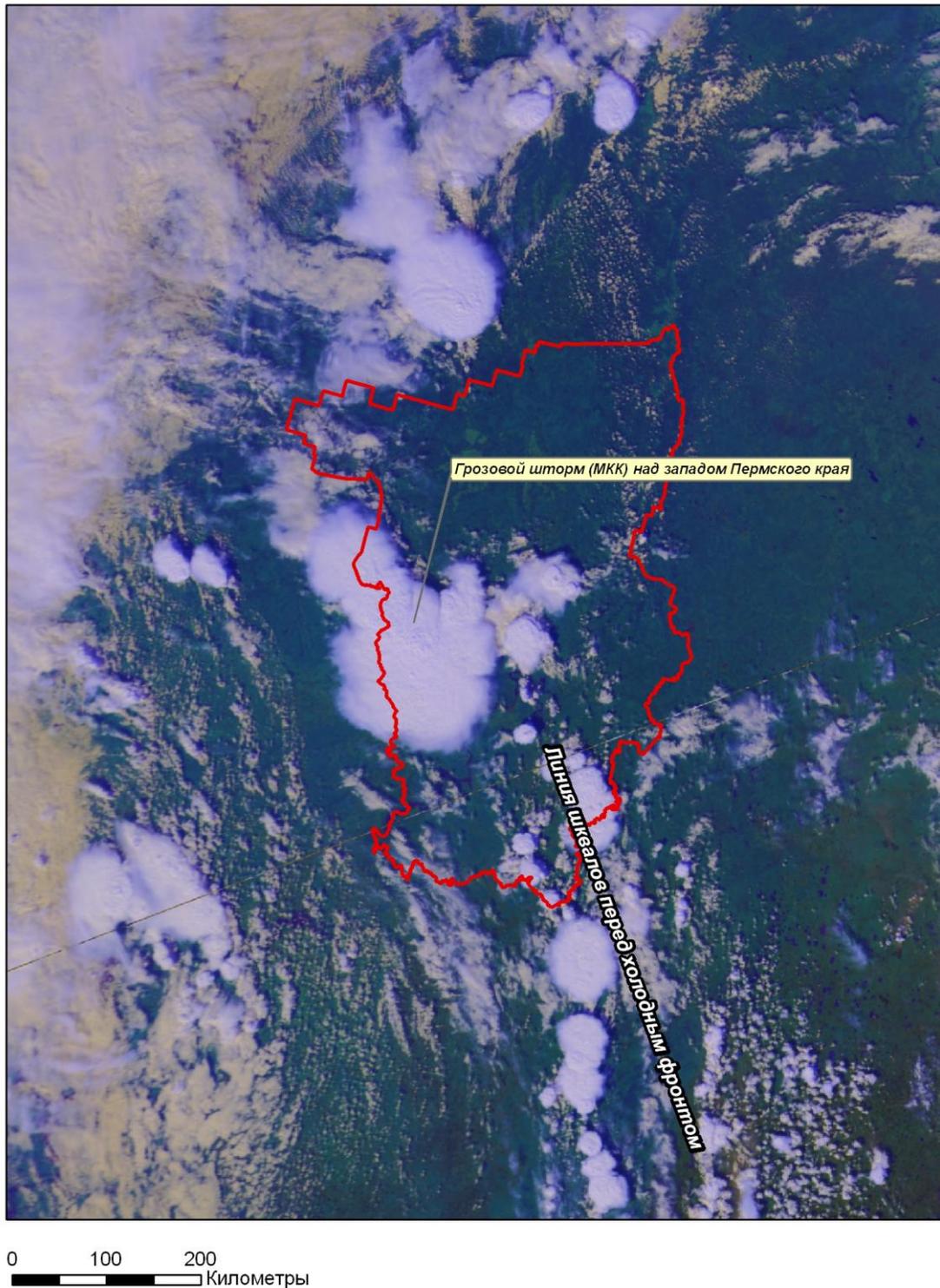


Рис. 7. Снимок NOAA-18, 15.49 местного времени 18.07.2012.

Смещение полярного фронта на восток сопровождалось формированием новой зоны активной конвекции над юго-восточными районами Пермского края и северо-востоком Башкортостана. Здесь сформировалась линейная система кучево-дождевых облаков с температурой ВГО до -55° (рис. 6, 7). Прохождение линии шквалов сопровождалось локальными, но сильными шквалами в Суксунском,

Березовском, Лысьвенском и Чусовском районах Пермского края, которые не были зафиксированы метеостанциями, но нанесли значительный ущерб.

К 21.10 основной грозовой шторм (мезомасштабный конвективный комплекс) сместился за пределы Пермского края (рис. 8). После 16.00 отмечались сильные шквалы, ливни и град по северу Коми-Пермяцкого округа, в Чердынском и Красновишерском районах. Наиболее мощные шквалы в вечерние часы наблюдались на северо-востоке Пермского края, на представленном ниже снимке видны пробои тропопаузы (Overshooting Top) над северо-западом Свердловской области.

Снимок NOAA-16, 21.10 местного времени 18.07.2012

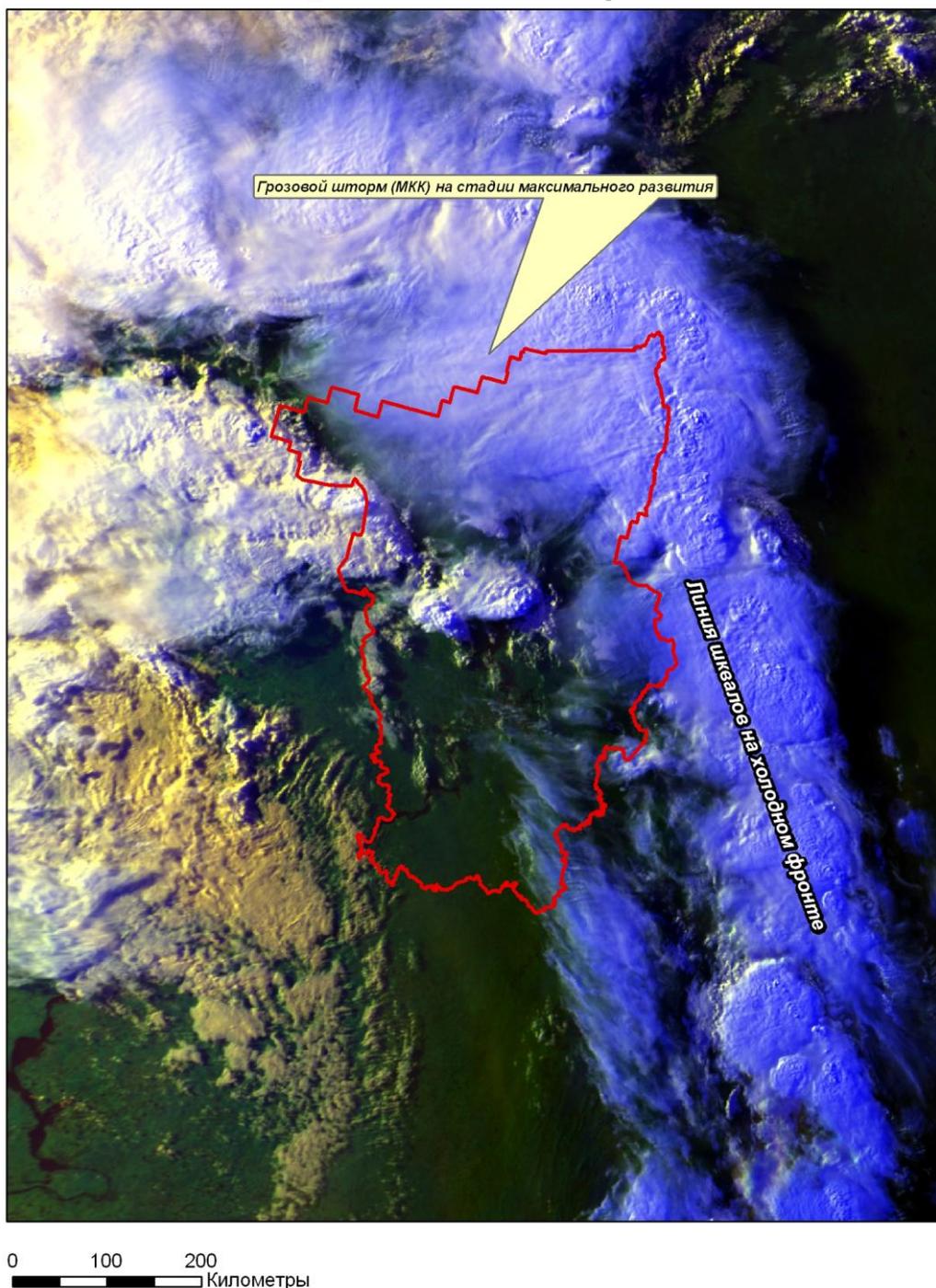
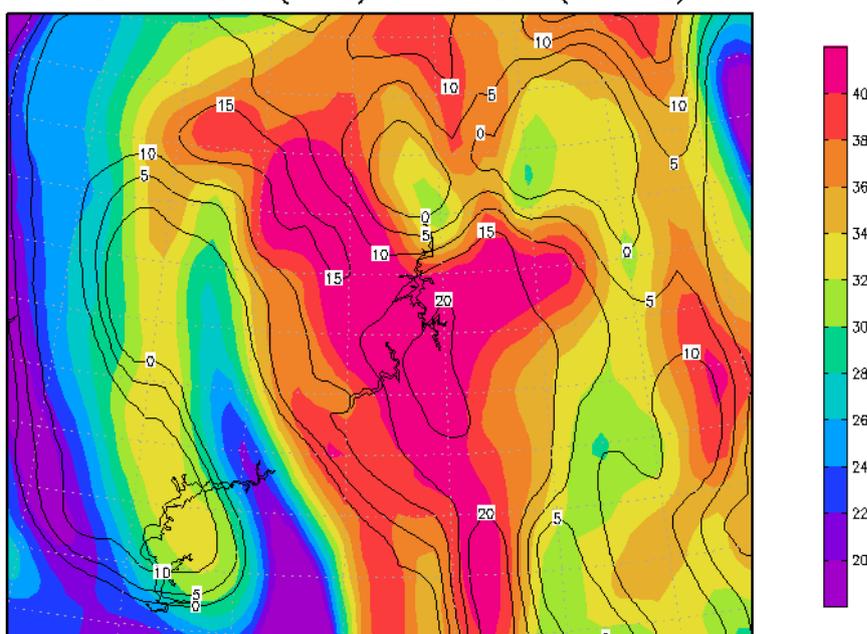


Рис. 8. Снимок NOAA-16, 21.20 местного времени 18.07.2012

Таким образом, использование спутниковых данных в комплексе с другой синоптической информацией позволило определить траекторию перемещения конвективных штормов и стадии их развития. При смещении скоплений облаков Сb от южных районов края на север происходило их усиление, рост площади зон осадков и высоты верхней границы облаков. Сформировавшийся МКК достиг стадии максимального развития над северными и северо-западными районами Пермского края (Кудымкарский, Юрлинский, Кочевский, Гайнский, Чердынский и Красновишерский районы). Здесь зафиксированы значительные разрушения в населенных пунктах, а также массовые ветровалы.

В исследовании условий развития шквалов также использованы результаты счета глобальной численной модели атмосферы GFS/NCEP с шагом 0,5°, за 00 UT 18.07.2012 г. Расчеты и визуализация карт метеорологических параметров выполнены в пакете GRADS. Подготовлен специальный скрипт, позволяющий рассчитывать более 15-ти параметров неустойчивости атмосферы. Сопоставление полученных карт со спутниковыми данными указывает на то, что модель корректно воспроизводит поля атмосферного давления и ветра, но некорректно воспроизводит поле осадков и время прохождения атмосферных фронтов. В соответствии с расчетами модели GFS, наиболее интенсивные осадки и град диаметром до 4,5 см ожидалось при прохождении основного холодного фронта по западным районам Пермского края в вечерние часы (15.00 UT). Модель не воспроизводит осадки в теплом секторе циклона, а также быстрое смещение полярного холодного фронта на восток в период с 13.00 по 16.00 местного времени, и развитие вдоль него интенсивной конвекции. В то же время некоторые из рассчитанных параметров конвекции (К индекс Вайтинга, индекс Фатеева, индекс Пескова, PTS) указывают на значительную конвективную неустойчивость в теплом секторе циклона, связанную со значительными вертикальными градиентами температуры и влагосодержанием воздушной массы в средней тропосфере. Используя эти параметры конвекции, можно было прогнозировать развитие сильных гроз и шквалов, начиная с 15.00 местного времени. Примеры результатов расчета параметров конвекции приведены на рис 9-11.

Fateev Index (lines) & K index (shaded)



GFS Model Run: 00Z18JUL2012 Valid: 09Z18JUL2012

GRADS: COLA/IGES

Рис. 9. Индексы Фатеева и Вайтинга на 09 UT 18.07.2012. Области максимальных значений индексов совпадают с фактическим полем конвективной облачности по спутниковым данным.

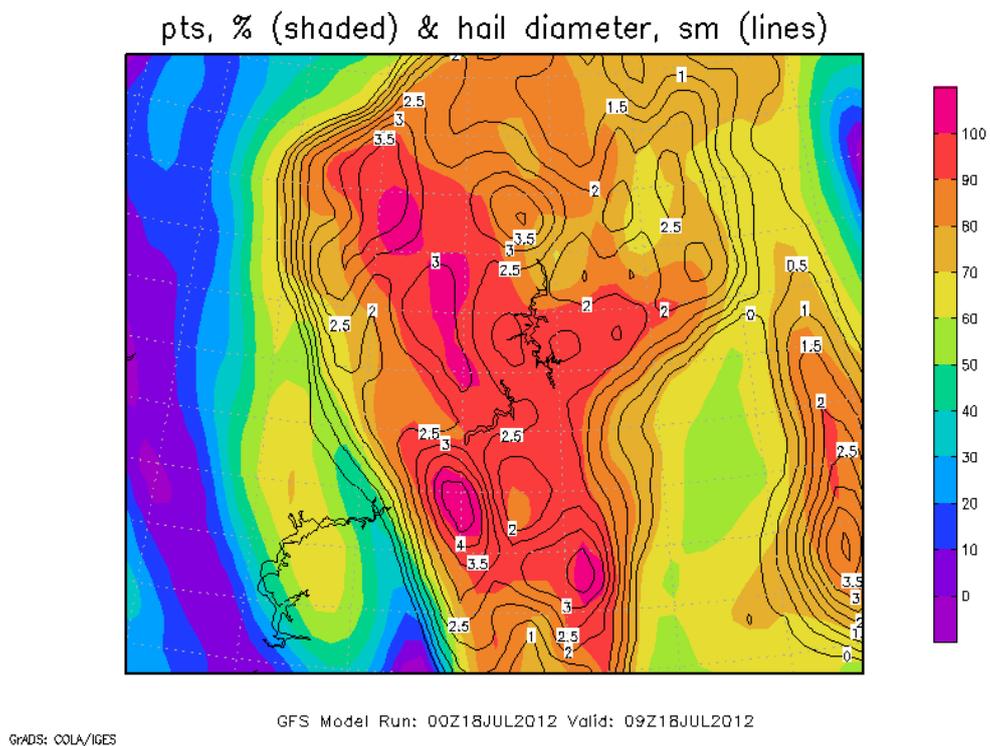


Рис. 10. Индекс PTS (вероятность грозы) и расчетный диаметр града. Модель воспроизводит выпадение града на западе Пермского края, но также дает ряд «ложных» зон градоопасности.

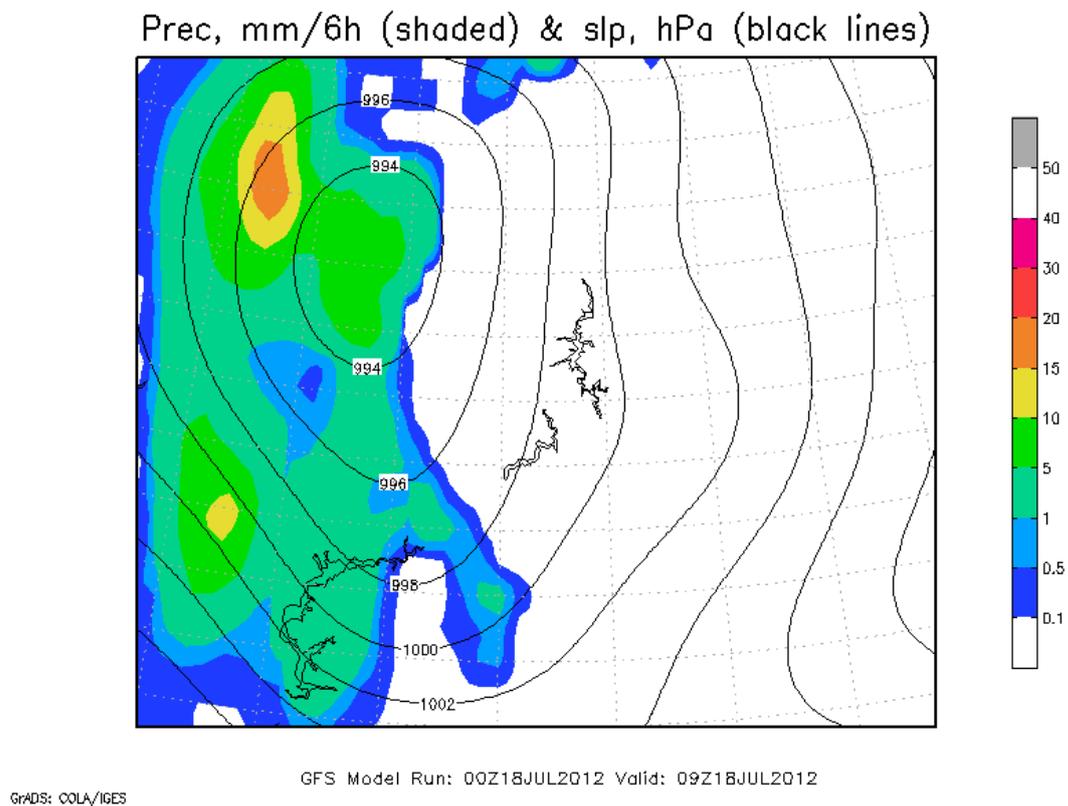


Рис. 11. Поле осадков по результатам счета модели GFS не соответствует фактическому полю облачности

Оценка площади ветровалов в лесных массивах Пермского края, и анализ их пространственного распределения

В результате шквалов 18 июля был нанесен значительный ущерб лесному фонду Пермского края. В ряде районов произошли массовые ветровалы. 2 августа на сайте Министерства лесного хозяйства опубликованы предварительные итоги обследования лесного фонда края. По результатам предварительного обследования лесных насаждений, поврежденных в результате ураганных ветров, пострадала территория лесного фонда Пермского края на площади 2 763,8 га. В том числе на территориях Гайнского (1 125,0 га), Кочевского (817,9 га), Юрлинского (279,2 га), Очерского (191,0 га), Кишертского (124,7 га), Чердынского (79,4 га), Закамского (69,4 га), Красновишерского (30,0 га), Кудымкарского (26,3 га) лесничеств. Фото ветровалов в Кочевском районе Пермского края приведены ниже на рис. 12, 13. Фото получены из интернет-дневника директора ГКУ «Кочевское лесничество» Л.П. Абрамовой.



Рис. 12. Массовый ветровал в Кочевском районе Пермского края



Рис. 13. Маасовый ветровал в Кочевском районе Пермского края

Нами выполнен предварительный анализ распространения ветровалов и оценка их площади по космическим снимкам среднего (LANDSAT 7 ETM+) и высокого (SPOT4 HRVIR) разрешения. Приведенные ниже результаты имеют предварительный характер по следующим причинам:

- Не на все пострадавшие территории удалось получить качественные снимки в период после прохождения шквалов 18 июля.
- В ряде случаев требуется получение дополнительных данных для проверки и корректировки контуров ветровалов.
- Не было проведено полевых обследований ветровалов на ключевых участках
- Часть выявленных объектов не удалось однозначно классифицировать как ветровалы
- Значительные площади лесонасаждений отнесены к частично поврежденным. В течение ближайшего года, в силу разных причин, они могут перейти в категорию сильно поврежденных, или будут подвергнуты санитарным рубкам.

Методы дешифрирования ветровалов по космическим снимкам рассматриваются в работах [Крылов, 2011; Петухов, 2011; Королева, 2012]. Наиболее полный анализ этой проблемы приведен в статье [Крылов, 2011].

В качестве исходных данных для проведения исследования использовались разновременные снимки LANDSAT 7 ETM+ и SPOT4 HRVIR 2011-2012 гг, а также архивные снимки LANDSAT 5 TM за 2011 г. Для выявления ветровалов была использована пороговая методика на основе коротковолнового вегетационного индекса SWVI. Данный индекс широко применяется для выявления и оценки площади гарей и ветровалов. Его эффективность обусловлена тем, что при повреждении

растительности, наряду со снижением фотосинтеза и уменьшением отражения в ближней ИК области спектра, происходит значительный рост отражательной способности в среднем ИК канале.

Результаты

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. Общая площадь ветровалов, выявленных на данный момент, составляет не менее 8 тыс. га. В наибольшей степени пострадали лесонасаждения в Кочевском, Гайнском и Красновишерском районах (рис. 12).

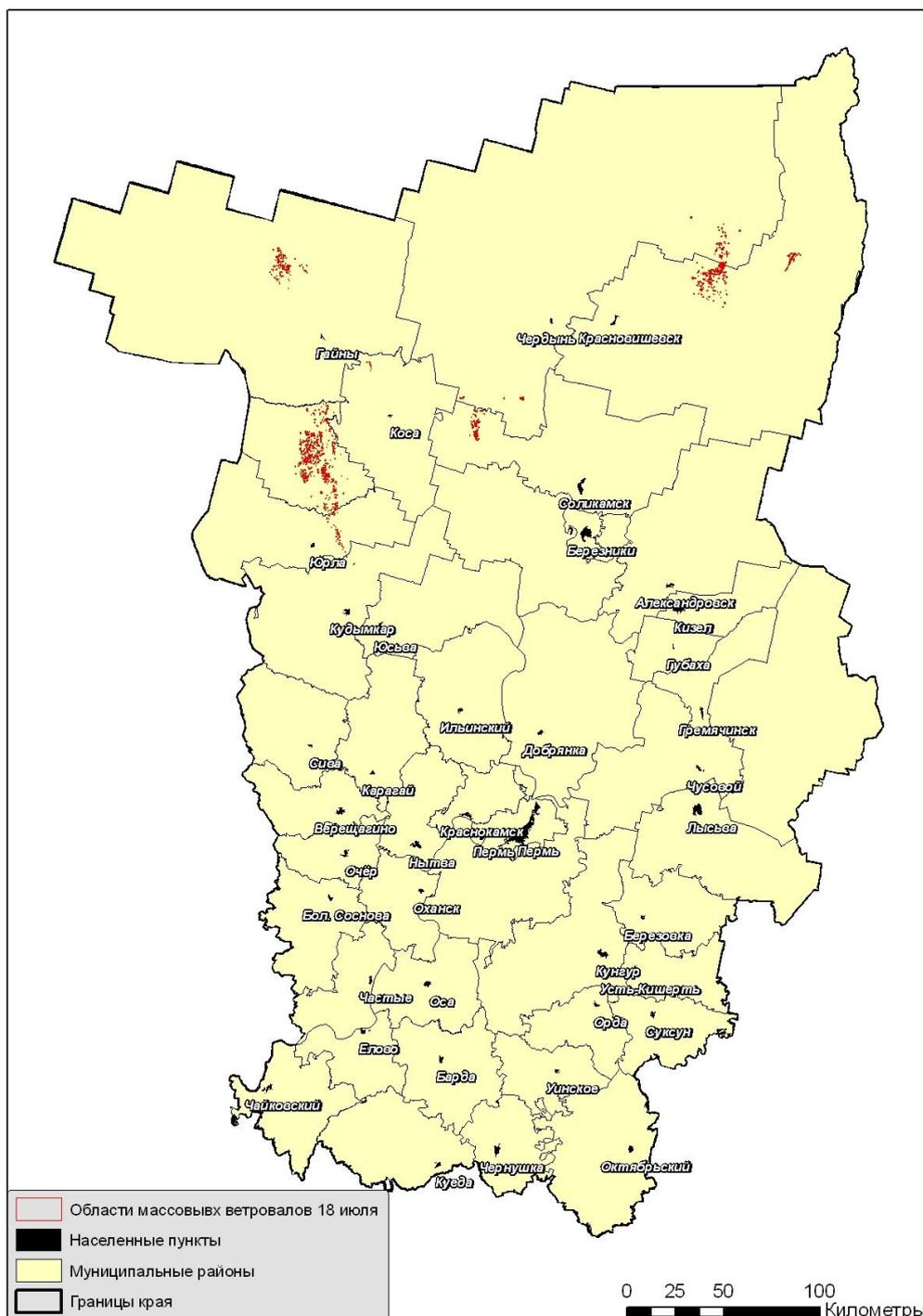


Рис. 12. Распределение массовых ветровалов по территории Пермского края

Все массовые ветровалы, выявленные на территории Пермского края, представляют собой сложную мозаику сравнительно небольшого числа крупных (10-150 га), и большого числа мелких участков на территории, общая площадь которой составляет несколько сотен квадратных километров.

Катастрофический ветровал в Кочевском районе представляет собой полосу в разной степени поврежденной лесной растительности длиной около 80 км, и шириной от 2-3 км до 15-20 км. На территории Юрлинского района (где значительно меньше залесенность территории) полоса поврежденных ветровалом насаждений имеет ширину всего 2-5 км. В наибольшей степени от ветровала пострадали юго-восточная и центральная часть Кочевского района. На этой территории ширина зоны ветровала увеличивается от 6-8 до 20 км, в виде нескольких параллельных полос. Наиболее крупный участок ветровала имеет площадь 130 га. В результате ветровала пострадали в основном спелые и перестойные насаждения с преобладанием хвойных пород. Общая площадь ветровала оценивается в 3400 га.

От ветровала в Кочевском районе пострадала территория, на которой ведутся активные лесозаготовки. Ежегодно в этом районе производятся сплошные рубки спелых и перестойных насаждений на лесосеках площадью от 2-5 до 30-40 га, границы которых имеют сложную форму. В связи с этим при дешифрировании возникла проблема отделения сплошных ветровалов от рубок (границы их часто пересекаются). При дешифрировании контуров ветровалов использовались снимки LANDSAT 7 ETM+ за 23.08.2012 г., LANDSAT 5-TM за 13.08.2011 г. а также снимки SPOT4 за 23.07.2011., мозаика зимних снимков 2012 г. Примеры приведены на рис. 15, 16.

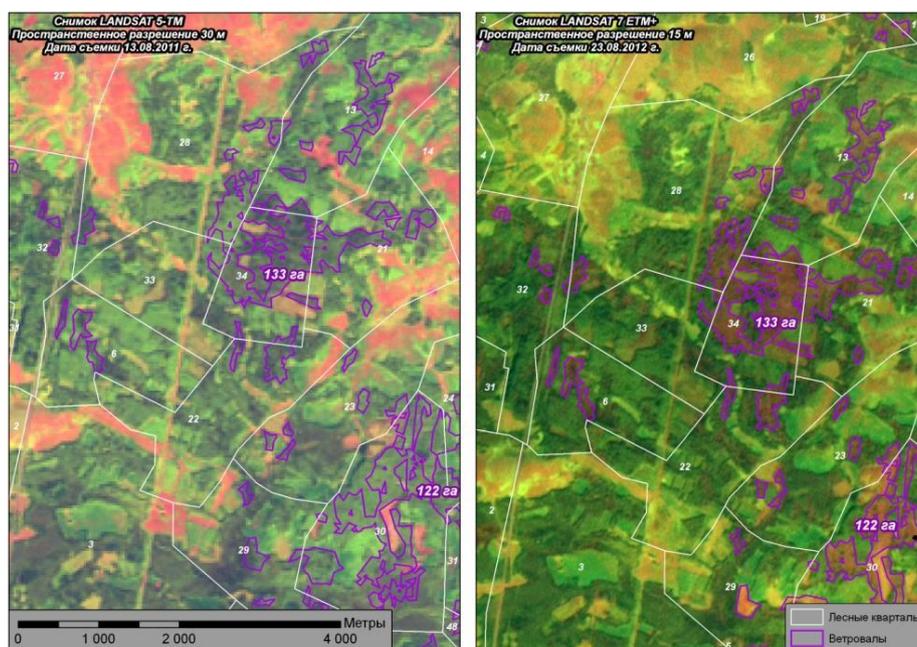


Рис. 13. Ветровал в Кочевском районе Пермского края, к юго-востоку от с. Петухово

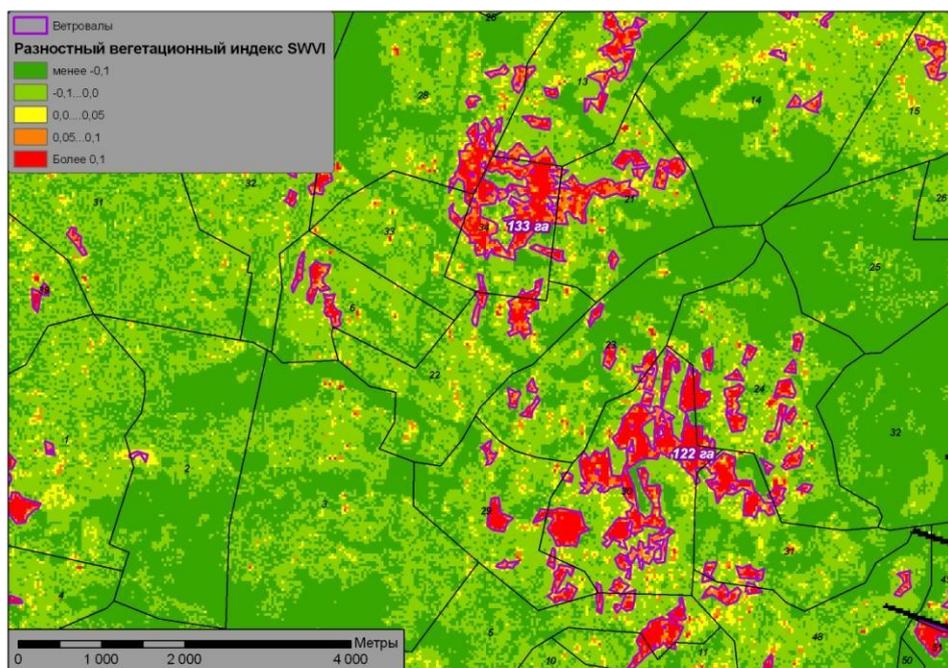


Рис. 14. Выявление ветровалов с помощью разности индекса SWVI

Катастрофический 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 наименьшей точностью. Тем не менее, этот ветровал можно рассматривать как наиболее масштабный. Ветровал представляет собой полосу шириной 10-20 и длиной около 40 км, в центральной части которой сосредоточены наиболее крупные участки сплошного ветровала площадью более 100 га, а по периферии – более мелкие участки. Общая площадь ветровала предварительно оценивается в 3-5 тыс. га (с учетом фрагментов, попадающих в пределы облачных участков снимков и дефектов CLS-off). В результате ветровала также пострадали в основном спелые и перестойные насаждения с преобладанием хвойных пород, но в отличие от Кочевского ветровала, зоны активных лесозаготовок оказались в стороне. Пример приведен на рис. 17.

Катастрофический 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 около 20 км. Общая площадь ветровала не менее 1000 га, площадь наиболее крупных поврежденных участков 30-50 га. Пример приведен на рис. 18

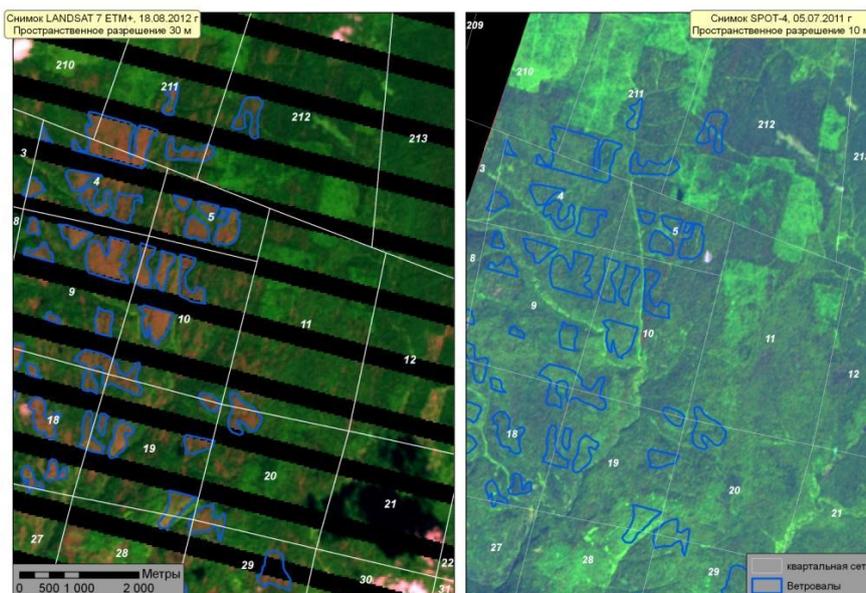


Рис. 17. Катастрофический ветровал в Акчимском лесничестве

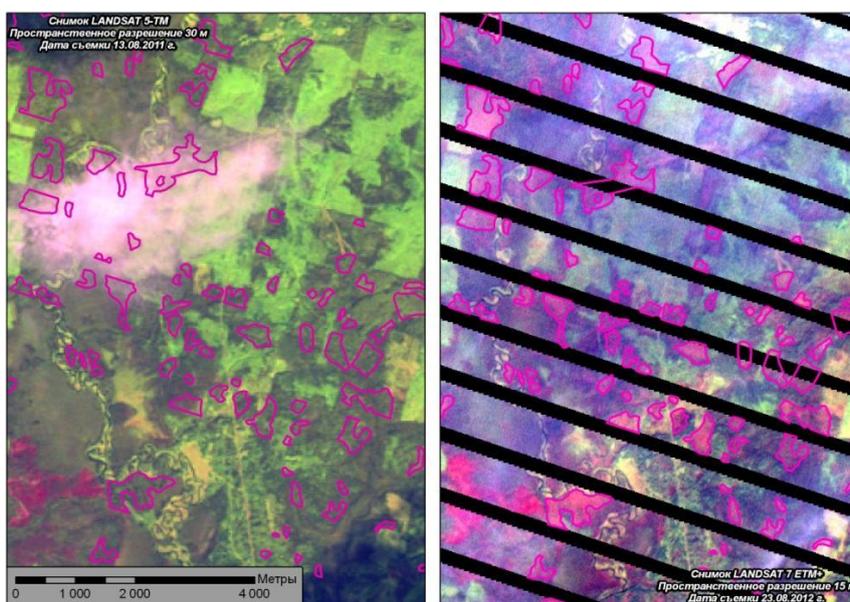


Рис. 18. Ветровал в Гайнском районе

Представляет интерес вопрос оценки погрешности определения площади ветровалов по снимкам LANDSAT и SPOT-4, который рассматривается, в частности, в работе [Королева, 2012]. Полученные авторами результаты указывают на существенное завышение площади небольших ветровалов, которое связано со смешиванием спектральных характеристик поврежденных и сохранившихся деревьев 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%. Уверенное выявление ветровалов по снимкам LANDSAT возможно, начиная с площади 2,4 га [Королева, 2012].

В связи с этим, важное значение имеет характер распределения площадей ветровальных участков, сопоставление которых приведено в таблице 1. С учетом использованного метода дешифрирования (для Кочевского участка – автоматизированное, для Акчимского и Гайнского - визуальное), можно предположить, что площадь выявленных по снимкам ветровалов в Кочевском районе существенно завышена (на величину не менее 500 га), а на Акчимском и Гайнском участках, наоборот, занижена вследствие влияния облачности и дефектов снимков.

Площадь участков ветровала	Кочевский	Акчимский	Гайнский
----------------------------	-----------	-----------	----------

	ветровал	ветровал	ветровал
Более 30 га (число участков, площадь)	8 (480 га)	16 (1064 га)	3 (121 га)
10-30 га (число участков, площадь)	47 (767 га)	71 (1132 га)	24 (381 га)
5-10 га (число участков, площадь)	111 (755 га)	67 (479 га)	26 (177 га)
2,5-5 га (число участков, площадь)	186 (686 га)	48 (176 га)	35 (135 га)
Менее 2,5 га (число участков, площадь)	518 (742 га)	43 (77,3)	62 (53,6 га)

Табл. 1. Распределение участков ветровалов по площади

Выводы

- В результате проведенной работы получены предварительные данные о площадях ветровалов после сильных шквалов 18 июля. Выявлены 3 участка катастрофических ветровалов. В пределах этих участков повреждения лесной растительности наблюдаются практически повсеместно.
- Для получения более достоверных данных о площадях ветровалов необходимо уточнение контуров по снимкам высокого разрешения.
- Для уточнения степени повреждения растительности на ветровалах должен быть выполнен совместный анализ космических снимков и данных лесопатологических обследований.
- Окончательно площадь погибших в результате ветровала насаждений может быть определена весной 2013 г.

Литература

1. 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.
2. Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика, 2011, № 3. С. 53-58
3. Петухов И.Н., Немчинова А.В. Пространственная структура массовых ветровалов на территории Костромской области // Вестник КГУ им Н.А. Некрасова, 2011, № 1, С. 19-24.
4. Петухов И.В., Немчинова А.В., Грозовский С.А., Иванова Н.В. Характер и степень повреждения лесных фитохор на участке массового ветровала в Костромской области // Вестник КГУ им Н.А. Некрасова, 2011, № 5-6, С. 23-31
5. Министерство лесного хозяйства Пермского края. Электронный ресурс www.les.permkrai.ru
6. Спрыгин А.А. Возможности спутникового диагноза конвективных штормов над ЕТ СНГ по многоканальным данным спутников METEOSAT второго поколения (MSG). Электронный ресурс http://www.scs.netai.net/1_17_Using-the-MSG-data-introduction.html