# Изучение двух случаев сильных смерчей в Предуралье

### А.Н. Шихов, А.В. Быков

Пермский государственный национальный исследовательский университет Пермь, 614990, Россия E-mail: and3131@inbox.ru

Проанализированы условия развития двух случаев сильных смерчей, наблюдавшихся 7 июня 2009 г. в Пермском крае и 29 августа 2014 г. в Башкортостане. Траектории прохождения смерчей определены по разновременным снимкам со спутников серии LANDSAT. С использованием мезомасштабной модели атмосферы WRF и данных реанализа CFS выполнена оценка возможности краткосрочного прогнозирования смерчеопасных ситуаций в регионе. Модель запускалась в режиме прямого моделирования глубокой конвекции с шагом по пространству, равным 3 км. Для оценки достоверности полученного результата использовались данные наземных, спутниковых и радиолокационных наблюдений, по которым производилось сопоставление фактических и расчетных траекторий прохождения мезомасштабных конвективных систем и их интенсивности. В обоих рассмотренных случаях модель WRF воспроизводит формирование мезомасштабных конвективных систем в зонах, где наблюдались смерчи, но значительно недооценивает их интенсивность. Недооценка интенсивности конвекции в зонах формирования смерчей, вероятно, обусловлена слабым дневным прогревом воздуха в условиях значительной облачности вблизи центра циклона. В результате этого занижается энергия неустойчивости. В то же время модельный прогноз конвективных опасных явлений, наблюдавшихся на холодном фронте 07.06.2009 после интенсивного дневного прогрева, характеризуется более высокой достоверностью.

Ключевые слова: смерчи, ветровалы, данные дистанционного зондирования Земли, мезомасштабные конвективные системы, модель WRF

#### Введение

Смерчи представляют собой одно из наиболее редких и опасных явлений погоды. По многолетним данным в Уральском регионе смерчи наблюдаются в 10 раз реже, чем сильные шквалы со скоростью ветра ≥25 м/с. В большинстве случаев это слабые смерчи (EF0 – EF1 по шкале Фуджиты-Пирсона), длина пути которых не превышала 25 км (Опасные явления..., 2007). Тем не менее, за последние годы в Предуралье зафиксированы два случая сильных смерчей, приведших к значительным разрушениям: 7 июня 2009 г. на северо-западе Пермского края и 29 августа 2014 г. в Башкортостане. Длина пути этих смерчей превышала 50 км, а ширина полосы разрушений – 500 м. Изучение и сопоставление условий их возникновения и является целью настоящей статьи.

Несмотря на редкую повторяемость смерчей в регионе, прогноз смерчеопасных ситуаций исключительно важен в целях снижения возможного ущерба. Современные численные прогнозы, составленные на основе мезомасштабных моделей атмосферы, чаще всего не позволяют определить место и время возникновения суперячейковых (supercell) кучево-дождевых облаков, с которыми связано большинство случаев смерчей, а также других опасных явлений (сильных шквалов, крупного града). Однако по ним может оцениваться ряд ключевых для образования суперячеек и смерчей атмосферных параметров. Поэтому необходим детальный анализ каждого случая смерча с привлечением всей имеющейся информации (модельной, радиолокационной, спутниковой, наземной). Это позволит лучше понять региональные особенности возникновения смерчей и усовершенствовать методы их прогноза (Вельтищев, 2011; Дмитриева, 2010, 2011; Калинин, 2013).

### Характеристика рассматриваемых случаев смерчей

Поскольку смерчи крайне редко фиксируются наблюдательной сетью, для оценки их интенсивности обычно используют данные о нанесенном ущербе. На территориях с низкой плотностью населения и значительной залесенностью одним из основных видов ущерба от смерчей являются ветровалы в лесных массивах. По данным о ветровалах можно определить траекторию прохождения смерча и оценить его интенсивность (Jedlovec, 2006; Lillesand, 2002). Ветровалы от смерчей 2009 и 2014 гг. в Предуралье выявлены по результатам сопоставления разновременных снимков со спутников LANDSAT и SPOT-5, более подробно методика описана в работе (Шихов, 2014).

Смерчи 7 июня 2009 г. прошли во второй половине дня через малонаселенную местность в Гайнском и Юрлинском районах Пермского края, а также в Усть-Куломском районе Республики Коми. Также на территории Пермского края наблюдался крупный град диаметром до 33 мм и шквалы со скоростью ветра 20–27 м/с. Наблюдательной сетью смерчи зафиксированы не были. Общая протяженность ветровалов от смерчей 7 июня 2009 г. составляет порядка 110 км, ширина – от 200 до 600 м, суммарная площадь –2,5 тыс. га (*рис. 1a*). По космическим снимкам сверхвысокого разрешения выявляется характерная линейно-веерная форма ветровальных нарушений (*рис. 1б, в*). Форма ветровалов, а также их геометрические характеристики позволяют



Рис. 1. а – траектория прохождения смерча 07.06.2009 г.; б – фрагмент высокодетального спутникового снимка смерчевого ветровала; в – оцифрованная по снимку линейно-веерная структура ветровала

утверждать, что ветровал вызван прохождением именно смерча, а не шквала. Все полосы ветровалов от смерчей 7 июня 2009 г. попадают на одну прямую линию. Предположительно, все смерчи были связаны с прохождением одного суперячейкового кучево-дождевого облака.

Смерч 29 августа 2014 г. прошел путь длиной более 50 км по территории Краснокамского, Калтасинского и Янаульского районов Башкортостана (*puc. 2 a*). Он сформировался ориентировочно в 11.50 UTC в районе пос. Арлан, а разрушился после 13.00 UTC северо-восточнее г. Янаул. Помимо смерча в регионе наблюдались шквалы до 26 м/с и град диаметром до 50 мм. В результате прохождения смерча имелись человеческие жертвы и масштабные разрушения. Факт прохождения смерча был подтвержден многочисленными фотографиями (*puc. 2 б*). Смерч не был зафиксирован наблюдательной сетью, на ближайшей метеостанции Янаул отмечен шквал 22 м/с.

На основе анализа разновременных снимков со спутников серии LANDSAT проведено уточнение траектории движения смерча. Ширина полосы ветровала в лесных массивах, попавших под воздействие смерча, составляет 300–500 м., а характер разрушений в населенных пунктах позволяет отнести смерч к третьей категории интенсивности по шкале Фуджиты-Пирсона. Общая площадь ветровалов в подвергшихся воздействию смерча лесных массивов составила 140 га.



Рис. 2. а – траектория прохождения смерча на севере Башкортостана 29.08.2014 г; б – фото смерча в г. Янаул (около 13.00 UTC 29.08.2014)

### Исходные данные и методы исследования

Анализ рассмотренных смерчеопасных ситуаций и оценка возможности прогнозирования смерчей выполнены на основе глобальных и мезомасштабных моделей атмосферы. Для расчетов использована модель WRF/ARW версии 3.6.1 – численная негидростатическая региональная система прогнозирования погоды. Инициализация модели WRF и задание граничных условий (с шагом 1 ч.) выполнена по данным реанализа численной модели прогноза CFS (CDAS). В обоих случаях расчеты по модели WRF производились на сетке с шагом по горизонтали, равным 4 км, размер расчетной области составлял 400×400 точек. Расчет вели на 38 вертикальных уровнях. Период моделирования составлял 24 ч., а временной шаг вывода данных – 1 ч.

Расчеты выполнялись с использованием следующих настроек модели WRF: микрофизика облачности – схема Томпсона, длинноволновая радиация – схема RRTM, коротковолновая радиация – схема Дудья, приземный слой – схема Монина-Обухова с вязким подслоем Карлсона-Боланда и стандартными функциями подобия, подстилающая поверхность и почва – схема NOAH; пограничный слой – схема университета Енсей. Параметризация конвекции отключалась, производилось ее прямое моделирование. Таким образом, оценивалось качество воспроизведения моделью процесса эволюции мезомасштабных конвективных систем (MKC), с которыми были связаны вышеперечисленные опасные явления погоды (смерчи, шквалы и крупный град).

Для оценки достоверности моделирования глубокой конвекции выводились следующие результаты расчетов: температура и влажность воздуха у земли и по различным высотам, скорость ветра на высоте 10 м, интенсивность осадков в виде дождя и града (мм/ч); расчетная радиолокационная отражаемость (DbZ). Дополнительно по выходным данным модели средствами программного комплекса OpenGrADS 2.0 рассчитывалась высота верхней границы облаков (Нвго, км) и температура на данном уровне (температура ВГО, °C). Порог наличия/отсутствия облачности при расчете Нвго принимался равным 95% (облачность имеется, если она покрывает на данной высоте 95 и более процентов неба). Результаты моделирования сопоставлялись с данными станционных, радиолокационных и спутниковых (данные Terra/Aqua MODIS) измерений.

Для анализа смерчеопасной ситуации на синоптическом масштабе использовались различные индексы конвективной неустойчивости, разработанные для прогноза суперячеек и смерчей. По данным реанализа по модели CFS (CDAS) (с шагом по времени 1 ч. и шагом по пространству  $0,5^{\circ}$ ), рассчитывались следующие параметры: доступная потенциальная энергия неустойчивости (CAPE), энергия противодействия конвекции (CIN), относительная завихренность в слое от земли до 3 км (SRH), индекс для прогноза сильных конвективных штормов (SWEAT) и комплексный предиктор для прогноза суперячеек (SCP). Развитие суперячейковых штормов и смерчей вероятно при значениях SRH $\geq$ 150, SWEAT $\geq$  400 и SCP $\geq$ 1 (Doswell, 2006).

### Анализ смерчеопасной ситуации 7 июня 2009 г.

Синоптическая ситуация в регионе 7 июня 2009 г. в целом определялась теплым сектором высокого циклона, который смещался с республики Марий Эл в район Сыктывкара со скоростью 12 м/с. В средней тропосфере теплому сектору соответствовала передняя часть высотной ложбины, ось которой была ориентирована со Скандинавии на центральную часть Европейской России. Скорость ветра в средней тропосфере достигала 30 м/с. В первой половине дня через территорию Удмуртии и Кировской области пролегал меридионально ориентированный фронт полярной системы, вдоль которого перемещались волновые возмущения. Одно из них, сместившись на север Пермского края, к 12 ч. UTC оформилось в частный циклон с замкнутой изобарой 1005 гПа.

В теплом секторе циклона на Зауралье и Западную Сибирь поступала тропическая воздушная масса с максимальной температурой +29°...+32° и температурой точки росы у земли +8°...+10°. За холодным фронтом максимальная температура была в пределах +17°...+19°, т.е. контраст температур на фронте достигал 12°–15°С. Днем 7 июня полярный фронт начал смещаться на восток-северо-восток как холодный. К 15 UTC 7 июня он пересек территорию Пермского края. С прохождением волновых возмущений на фронте и был связан комплекс опасных явлений погоды: шквалы 20–27м/с, крупный град и смерч.

По данным реанализа по модели CFS, в период между 10 и 12 UTC 07.08.2009 г. в центральных и юго-западных районах края складывалась смерчеопасная ситуация, обусловленная сильной конвективной неустойчивостью атмосферы (энергия неустойчивости 1600–1800 Дж/кг) и сдвигом ветра (индекс SWEAT достигал 350–400). Фактически смерч прошел через северо-западную часть Пермского края, а в центральных и юго-западных районах наблюдались только шквалы 20–25 м/с и крупный град. Результаты расчетов индексов неустойчивости по данным реанализаCFS в районах формирования смерча и выпадения крупного града приведены в *табл. 1*.

Параметр	7.06.2009		29.08.2014	
	Гайны, 11 UTC	Максимум, 12 UTC	Янаул, 13 UTC	Максимум, 12 UTC
САРЕ, Дж/кг	300–400	1600–1800	500-600	800–1000
CIN, Дж/кг	-5075	050	-5075	-2550
SRH	200–250	250-300	200–250	350-400
SCP	1–1,5	2,5–3	2,5–3	4–5
SWEAT	250-300	350-400	350-400	400–450

Таблица 1. Показатели вероятности развития суперячейковых штормов 07.06.2009 г. и 29.08.2014 г., рассчитанные по данным реанализа CFS

На снимке Aqua MODIS за 09.25 UTC 7 июня 2009 г. вдоль границы Пермского края и Кировской области наблюдалась линейная система кучево-дождевых облаков (Cb) на холодном фронте. Наиболее мощная ячейка диаметром около 30 км, с температурой ВГО до –62°С, на момент съемки находилась у западной границы Пермского края, в 20 км юго-западнее точки начала первого смерчевого ветровала. Траектория дальнейшего смещения данной ячейки, проложенная по потоку, совпадает с траекторией прохождения смерча.

Таким образом, с высокой вероятностью можно утверждать, что смерч был связан именно с этой ячейкой и наблюдался в период между 09.30 и 11.30 ч. UTC.

По модели WRF начало формирования мезомасштабной конвективной системы (MKC), вызвавшей смерч на северо-западе Пермского края, прогнозировалось еще в 07 ч. UTC над территорией Удмуртии. Ее возникновение было связано с волновым возмущением на фронте. Дальнейшая траектория смещения МКС воспроизводится моделью с высокой степенью достоверности (*puc. 3*), однако модель недооценивает мощность данной МКС. Расчетная интенсивность осадков не превышала 5 мм/ч, выпадение града также не прогнозировалось, Нвго по модели не превышала 10 км.



Рис. 3. а, б – расчетная радиолокационная отражаемость по модели WRF в 9 и 10 UTC 07.06.2009 г.; в – температура верхней границы облаков по данным Aqua MODIS на 09.25 UTC 07.06.2009 г.

Во второй половине дня, при прохождении холодного фронта с волнами через юго-западные и центральные районы Пермского края, по модели WRF прогнозировалось формирование еще двух долгоживущих МКС с Нвго до 12 км с сильными осадками (до 15– 20 мм/ч), градом (до 5 мм осадков в виде града) и шквалами к северу и к западу от г. Перми, а также западнее г. Березники. Фактически опасные явления (крупный град диаметром ≥ 3 см и шквалы 25–27 м/с) наблюдались на этой территории в период между 11 и 12 ч. UTC. На метеостанции Верещагино в это время также был зафиксирован смерч (*табл. 2*).

Таким образом, развитие МКС со шквалами и крупным градом в целом успешно воспроизводится моделью WRF, с ошибкой по времени прохождения явления ±1 ч. Однако траектория движения МКС по модели несколько смещена к востоку. Так, по модели наибольшая интенсивность конвективных явлений ожидалась в 13 ч. UTC к северу от г. Перми, фактически же крупный град выпал на час раньше и к западу от города.

Недооценка интенсивности конвекции по северо-западным районам края (где наблюдался смерч), вероятно, возникает из-за недоучета в модели дневного прогрева воздуха в условиях значительной облачности вблизи центра волнового циклона. В то же время по центральным и южным районам, где в теплом секторе циклона дневной прогрев был более значительным, результаты моделирования оказались более адекватными.

Дата, время (UTC)	Район наблюдения ОЯ (КНЯ)	Вид и интенсивность явления	Нвго и метеоявления по данным МРЛ	Прогноз по модели WRF
09.30– 11.30	Юрлинский, Гайнский районы Пермского края	Смерч (длина пути 110 км, ширина до 600 м)	Нет данных	Конвективная ячейка с Нвго 10 км, отражаемость до 50 DBz
11.00– 12.00	Метеостанция Ножовка	Граддиаметром 20–30 мм, шквал 20–24 м/с	Конвективная ячейка с градом, Нвго 13 км	Конвективная ячейка с Нвго 11 км, отражаемость до 50 DBz
11.00– 13.00	Нытвенский район	Град диаметром 30 мм	Конвективная ячейка с градом, Нвго 13 км	МКС с Нвго 12 км отражаемостью до 55 DBz, сильными ливнями (до 16 мм/ч), градом (до 4 мм осадков в виде града)
11.00– 12.00	Метеостанция Верещагино	Смерч	Конвективная ячейка с градом, Нвго 13 км	Отсутствие конвективных явлений
11.00– 12.00	Метеостанция Лысьва	Шквал 20 м/с, град	Конвективная ячейка с грозой, Нвго 11 км	Локальная конвективная ячейка с отражаемостью до 45 DBz
13.00	Метеостанция Пермь	Шквал 20 м/с	Конвективных явлений нет	МКС с Нвго 12 км, отражаемостью до 55 DBz, сильными ливнями (до 16 мм/ч), градом (до 4 мм осадков в виде града)
Нет данных	Усольский район, г. Березники, пост Усть-Игум	Шквал до 25–27 м/с	Нет данных	МКС с Нвго 12 км, отражаемостью до 60 DBz, сильными ливнями (до 16 мм/ч), градом (до 4 мм осадков в виде града)

Таблица 2. Характеристика достоверности прогноза опасных явлений погоды по модели WRF 07.06.2009 г.

## Анализ смерчеопасной ситуации 29 августа 2014 г.

Синоптическая ситуация над восточной частью Европейской России 29.08.2014 г. определялась высотной циклонической депрессией над севером ЕТР и высотным гребнем, ориентированным с района Каспийского моря на Зауралье. На этом фоне с Нижнего Поволжья на Татарстан, а затем на Удмуртию смещался углубляющийся юго-западный циклон. Циклон сформировался на волне полярного фронта к северу от Волгограда в 18 ч. UTC 28 августа. В 0 ч. UTC центр циклона располагался над Тамбовской областью, а в 12 ч. UTC он находился уже восточнее Казани, давление в его центре упало до 991 гПа. Скорость углубления циклона составляла около 1 гПа/ч. Циклон сформировался на полярном фронте, в его теплом секторе на Урал поступала тропическая воздушная масса с температурой на поверхности АТ-850 до +22°C, а в тыл циклона поступала воздушная масса с температурой на поверхности АТ-850 всего +6...+8°C. В средней тропосфере над Предуральем наблюдалось струйное течение со скоростью ветра до 40 м/с. К 12 ч. UTC начался процесс окклюдирования, точка окклюзии полярного фронта проходила через северо-западные районы Башкирии.

По данным реанализа по модели CFS, смерчеопасная ситуация складывалась в 12– 13 ч. UTC у точки окклюзии полярного фронта по северным районам Башкирии и на крайнем юге Пермского края. Она была обусловлена сильным сдвигом ветра в теплом секторе циклона на фоне умеренной неустойчивости атмосферы (САРЕ 800–1000 Дж/кг). Индекс SWEAT в теплом секторе циклона достигал 450 (*табл. 1*).

По данным допплеровского метеорологического радиолокатора, установленного в г. Ижевск, в 07.40 UTC к юго-западу от г. Бирск сформировался первый суперячейковый шторм с Нвго Cb до 14 км, который достиг максимального развития в период между 08 UTC и 09 ч. UTC, смещаясь через Дюртюлинский район Башкортостана. С его прохождением отмечался град диаметром до 40 мм. Второй, более мощный суперячейковый шторм (также с Нвго до 14 км) сформировался около 11.00 UTC южнее г. Мензелинск, и смещался по потоку через Нефтекамский, Калтасинский и Янаульский районы Башкортостана на юг Пермского края. С его прохождением был связан смерч, крупный град диаметром до 50 мм, шквал до 22 м/с. В период с 13 по 16 ч. UTC суперячейка эволюционировала в МКС квазиокруглой формы диаметром до 150 км, которая вызвала сильные ливневые дожди (до 40 мм) на востоке Пермского края.

По расчету модели WRF развитие опасных конвективных явлений в теплом секторе циклона над севером Башкортостана не воспроизводится. К 13 ч. UTC прогнозировалось смещение с северо-запада Башкортостана на юг Пермского края линейной системы Cb с Нвго 10 км, умеренными ливнями до 8 мм/ч, выпадение града и развитие шквалов не прогнозировалось. Вероятно, как и в первом случае, это вызвано недооценкой неустойчивости атмосферы в условиях значительной облачности, слабого дневного прогрева (максимальная температура +21°...+24°C) и наличия задерживающих слоев в профиле. В последующие часы модель воспроизводит формирование мезомасштабной конвективной системы над восточными районами Пермского края, но недооценивает интенсивность связанных с ней ливней (расчетная интенсивность осадков не превышает 5–10 мм/ч).

## Заключение

Таким образом, в обоих рассмотренных случаях модель WRF воспроизводит формирование мезомасштабных конвективных систем в зонах, где наблюдались смерчи, но значительно недооценивает их интенсивность (например, высота верхней границы Cb по модели занижена на 3–5 км в сравнении с фактическими данными). Недооценка интенсивности конвекции в зонах формирования смерчей, вероятно, обусловлена слабым дневным прогревом воздуха в условиях значительной облачности вблизи центра циклона. В результате этого занижается энергия неустойчивости. В то же время, модельный прогноз конвективных опасных явлений, наблюдавшихся на холодном фронте 07.06.2009 г. после интенсивного дневного прогрева, характеризуется более высокой достоверностью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-96000–р-Урал-а) и Фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере (Проект № 4323ГУ1/2014).

## Литература

- 1. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д., Павлюков Ю.Б. Краткосрочный прогноз сильных осадков и ветра с помощью разрешающих конвекцию моделей WRF // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 5–18.
- 2. Дмитриева Т.Г. Эволюция и движение очагов кучево-дождевой облачности по спутниковымданным в случаях сильных шквалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2010. Т. 1. № 7. С. 83–91.
- 3. 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.
- 4. Калинин Н.А., Ветров А.Л., Свиязов Е.М., Попова Е.В. Изучение интенсивной конвекции в Пермском крае с помощью модели WRF // Метеорология и гидрология. 2013. № 9. С. 21–30.
- 5. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала. Справочник специалиста. Л.: Гидрометеоиздат. 1987. Ч.3. 200 с.
- 6. Шихов А.Н. Оценка последствий стихийных природных явлений для лесных ресурсов Пермского края по многолетним рядам данных космической съемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 21–30.
- 7. *Doswell C.A. and Shultz D.M.* On the use of indices and parameters in forecasting severe storms // Electronic J. Severe Storms Meteorology. 2006. Vol. 1. No. 3. P. 122.
- 8. *Jedlovec G. J., Nair U., Haines S.L.* Detection of storm damage tracks with EOS data // Weather and Forecasting. 2006. Vol. 21. P. 249–267.
- Lillesand T., Podger N., Chimpan J., Goldmann R., Levelling K. and Olsen T. Assessing tornado damage via analysis of multi-temporal LANDSAT 7 ETM + data. 2002 Annual conference of the American society for Photogrammetry and Remote sensing (ASPRS). URL: http://www.wisconsinview.org/documents/SirenPaper2002. pdf (access 27.05.2015).

## Study of two cases of severe tornadoes in the Predural'e region

### A.N. Shikhov, A.V. Bykov

Perm State National Research University Perm 614990, Russia *E-mail: and3131@inbox.ru* 

The article describes the conditions of two cases of strong tornadoes observed June 7, 2009 in the Perm region, and August 29, 2014 in Bashkortostan. The tornado tracks were determined from multi-temporal images of LANDSAT satellites. Using the WRF mesoscale atmospheric model and reanalysis data, the possibility of short-term forecasting of tornado danger in the region was estimated. The model was run with the settings of direct modeling of deep convection with spatial step of 3 km. To estimate the reliability of the modeling results, we used the data of terrestrial, satellite and radar observations on which the comparison was made of the actual and calculated tracks of mesoscale convective systems and their intensities.

In both cases the model WRF reproduces the formation of mesoscale convective systems in areas where tornadoes were observed, but significantly underestimates their intensity. The underestimation of the intensity of convection in the areas of tornadoes formation is probably due to weak daytime air heating in heavy cloudy conditions near the center of the cyclone. As a result, there was an underestimation of convective instability energy. At the same time, the model forecast of convective hazards observed on the cold front 07.06.2009 after an intense day warm-up is characterized by a higher degree of confidence.

**Keywords:** tornadoes, forest damage, Earth remote sensing data, mesoscale convective storms, the WRF model

### References

- Vel'tishchev N.F., Zhupanov V.D., Pavlyukov Yu.B. Kratkosrochnyi prognoz sil'nykh osadkov i vetra s 1. pomoshch'yu razreshayushchikh konvektsiyu modelei WRF (Short-range forecast of heavy precipitation and strong wind using the convection-allowing WRF models), Meteorologiya i gidrologiya, 2011, No. 1, pp. 5–18.
- Dmitrieva T.G. Evolyutsiya i dvizhenie ochagov kuchevo-dozhdevoi oblachnosti po sputnikovym dannym v 2. sluchayakh sil'nykh shkvalov (Evolution and movement of cumulonimbus clouds hearths with satellites date in occurrences of severe squalls), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2010, Vol. 1, No. 7, pp. 83–91.
- Dmitrieva T.G., Bukharov M.V., Peskov B.E. Analiz uslovii vozniknoveniya sil'nykh shkvalov po sputnikovoi i 3 prognosticheskoi informatsii (Analysis of arising of strong squalls using satellite and forecast data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 244–250.
- Kalinin N.A., Vetrov A.L., Sviyazov E.M., Popova E.V. Izuchenie intensivnoi konvektsii v Permskom krae s 4 pomoshch'yu modeli WRF (Studying intensive convection in Perm krai using the WRF model), Meteorologiya i *gidrologiya*, 2013, No. 9, pp. 21–30. Opasnye yavleniya pogody na territorii Sibiri i Urala. Spravochnik spetsialista. (Dangerous weather phenomena
- 5 on the territory of Siberia and the Urals. Reference specialist), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, Vol. 3, 200 p.
- Shikhov A.N. Otsenka posledstvii stikhiinykh prirodnykh yavlenii dlya lesnykh resursov Permskogo kraya po 6. mnogoletnim ryadam dannykh kosmicheskoi s"emki (Estimation of forest damage from natural disasters in Perm region using the long-term series of space imagery), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 21-30.
- Doswell C.A. and Shultz D.M. On the use of indices and parameters in forecasting severe storms // Electronic J. 7
- Severe Storms Meteorology, 2006, Vol. 1, No. 3, p. 122. Jedlovec G.J., Nair U., Haines S.L. Detection of storm damage tracks with EOS data, Weather and Forecasting, 8 2006, Vol. 21, pp. 249–267. Lillesand T., Podger N., Chimpan J., Goldmann R., Levelling K., Olsen T. Assessing tornado damage via analysis
- 9. of multi-temporal LANDSAT 7 ETM + data, 2002 Annual conference of the American society for Photogrammetry and Remote sensing (ASPRS), URL: http://www.wisconsinview.org/documents/SirenPaper2002.pdf.