

**Г.П. Ивус**, к.геогр.н., проф., **Д.В. Пишняк**, асп.,  
Одесский государственный экологический университет

**В.М. Шпиг**, к.геогр.н.,  
Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт

## **ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ХОЛОДНЫХ ФРОНТОВ В МОДЕЛИ WRF ARW**

*Рассмотрено несколько случаев прохождения холодных атмосферных фронтов через территорию Украины в холодное полугодие 2008-2009 гг. Произведена общая оценка отклонений метеорологических параметров в модели WRF ARW v2.2.1 от фактических наблюдений. Приведена синоптическая интерпретация особенностей пространственного и временного распределения ошибок.*

**Ключевые слова:** холодный атмосферный фронт, ошибка моделирования, дисперсия отклонений.

**Введение.** Качество комплексного восстановления состояния атмосферы современными численными моделями позволяет проведение подробных исследований реальных атмосферных процессов [1]. В то же время вопрос достоверности модельных симуляций все еще остается весьма актуальным, особенно для явлений малого масштаба. Поэтому использование результатов требует, по крайней мере, оценки их отклонения от фактического состояния. Большая работа в этом направлении проделана Российским Гидрометцентром, из данных отчета которого [2] следует, что модель WRF является одним из наиболее совершенных инструментов в области атмосферного моделирования. Однако, есть ряд работ, например [3], показывающих важность конфигурации самой модели и, в частности, выбора схем физических параметризаций, что существенно сказывается на конечном результате моделирования.

**Цель** настоящей работы заключается в проверке адекватности моделирования состояния атмосферы при помощи модели WRF (Weather Research and Forecast) [4] с тестовой конфигурацией, используемой Украинским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (УкрНИГМИ) в оперативном режиме, применительно к исследованию структуры атмосферных фронтов.

**Постановка задачи и методы исследования.** Для анализа выбрано несколько ситуаций прохождения холодных атмосферных фронтов над территорией Украины в холодном полугодии 2008-2009 гг. Временные рамки определялись, с одной стороны, наличием результатов моделирования, а с другой – стремлением к рассмотрению более устойчивых процессов, с минимальным вкладом конвекции, которая все еще является существенным источником неопределенности для моделирования. Последнее обстоятельство наглядно продемонстрировано, например, в [5, 6].

Атмосферные фронты, разделяющие воздушные массы с различными свойствами, могут по-разному проявляться в метеорологических полях, иметь различную вертикальную и горизонтальную протяженность [7]. Характеристикой интенсивности процессов на фронтах служат и вертикальные движения, которые частично отражаются в поле облачности. Так как в перспективе исследования нас интересует комплексное рассмотрение процессов, включая фазовые переходы водяного пара, помимо стандартных синоптических карт (приземные карты погоды, АТ-850, АТ-500 гПа), в качестве идентификатора фронтальных ситуаций применялись и спутниковые снимки облачного покрова. Надежность идентификации характерных

ситуаций обеспечивалась использованием изображений, полученных с геостационарного спутника в инфракрасном диапазоне с интервалом 1 час.

Определяя критерии отбора, ограничимся холодными фронтами, так как в силу особенностей их фронтогенеза они являются более выраженными в полях метеорологических величин, и потому чаще встречаются в обостренной форме, чем другие виды. Для простоты интерпретации, предпочтение отдавалось простым ситуациям с точки зрения синоптического анализа, т.е. фронтам со значительной скоростью смещения, с более узкой и плотной облачной полосой, но отсутствием явных признаков глубокой конвекции.

В результате исследования синоптического материала найдены две типичные ситуации прохождения холодных фронтов с северо-запада, достаточно хорошо выраженные в поле облачности, и два случая местного циклогенеза на территории Украины. Как дополнительный результат проведенного анализа стало заключение о том, что циркуляционная обстановка холодного полугодия 2008-2009 гг. была существенно нехарактерной. Территория часто находилась под влиянием областей повышенного давления, в то время как ухудшения погоды связаны в основном с юго-западными потоками. Постоянное взаимодействие средиземноморских и континентальных воздушных масс проявилось в доминировании влияния слабо выраженных южных циклонов, малоградиентных полей давления, теплых и стационарных фронтов, не удовлетворяющих критерию отбора, а выбранные случаи, связанные с прохождением или обострением холодных фронтов, как будет показано далее, значительно различались между собой.

Заблаговременность инициализации используемой модели составляет 12-36 часов до момента наступления кульминации (момента, вызывающего наибольший интерес) в каждой из ситуаций прохождения фронта, благодаря чему, несколько жертвуя точностью воспроизведения самой кульминации, мы намерены более полно охватить весь период эволюции синоптического процесса. Начальными и граничными данными для регионального моделирования служат прогностические поля GFS (Global Forecast System). Инициализация произведена от двух сроков – 00 и 06 UTC, что позволяет сделать дополнительные выводы об устойчивости модельных симуляций. Ниже приведем описание конфигурации региональной модели WRF-ARW v2.2.1, которая использовалась для моделирования выбранных ситуаций:

- Расчетная область 98×70 узлов;
- Горизонтальное разрешение –30 км;
- Вертикальное разрешение – 27 уровней;
- Параметризации процессов: микрофизика – WSM 3-class simple ice scheme, длинноволновая радиация – RRTM, коротковолновая радиация – Dudhia scheme, пограничный слой – YSU PBL, приземный слой – Monin-Obukhov, подстилающая поверхность – thermal diffusion, конвекция – Kain-Fritsch (new Eta) scheme [4].

Оценка отклонений результатов моделирования проведена по трем наиболее представительным и надежным в измерительно-инструментальном отношении параметрам: атмосферное давление, температура на уровне 2 м и количество осадков, как интегральная характеристика мезомасштабных процессов средней тропосферы [5]. Верификация выполнена на основе данных стандартных наблюдений сети гидрометеорологических станций Украины, общим количеством около 175, и результатов температурно-ветрового зонирования атмосферы.

Чтобы исключить влияние на конечные результаты грубых технических ошибок, имеющих место в данных фактических наблюдений, они сопоставляются с модельными расчетами, после чего явные выбросы отфильтровываются, посредством проверки ряда на однородность при помощи критерия Стьюдента.

**Описание результатов.** Далее приведем краткое описание синоптической обстановки и поведения ошибок моделирования по каждой из выбранных ситуаций.

Ситуации 17-18 ноября 2008 г. ранее предшествовало перемещение циклона с Атлантического океана по северу Европы. 16 ноября через территорию Украины проходит его теплый фронт, который сопровождается повышением приземной температуры в среднем на 5 °С, до 10-12 °С тепла на западе и юге страны, бесформенными массивами облачности среднего и нижнего ярусов, видимых на спутниковых снимках, и небольшими осадками по северу страны. Вслед за ним с севера в параллельных потоках медленно смещается холодный фронт, выраженный поясом облачности всех ярусов с продольной полосовой структурой. 17 ноября в 00 СГВ холодный фронт образует волну в районе Киева, предшествующую развитию частного циклона. Направление изобар начинает перестройку к меридиональному, перпендикулярно фронту, в связи с чем, в течении суток фронт быстро проходит через всю территорию страны (рис 1), сопровождаясь умеренными осадками общим количеством до 5-8 мм и понижением температуры в среднем на 10 °С. Ветер изменяет направление с юго-западного на северо-западное, имея среднюю скорость около 5 м/с как перед, так и за фронтом.

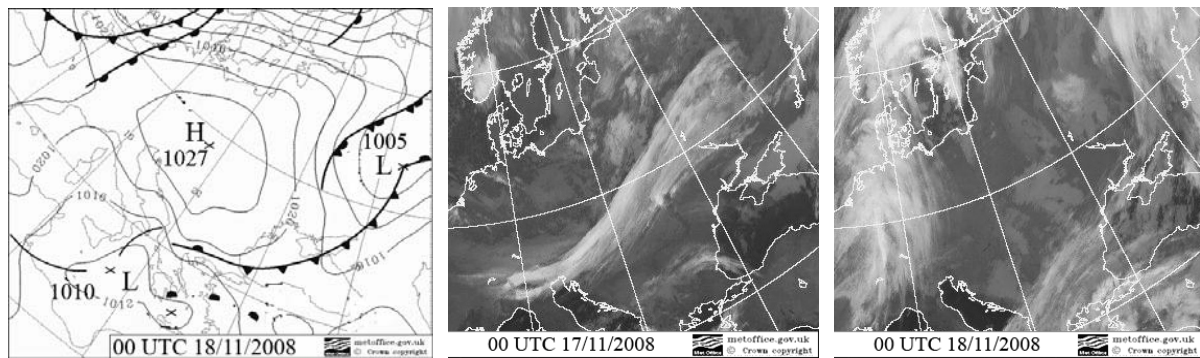


Рис.1 – Синоптическая ситуация 17.11.2008. В центре и справа спутниковые снимки облачности в инфракрасном диапазоне.

Результаты моделирования рассматриваемой выше ситуации можно считать сравнительно успешными до второй половины суток 17 ноября (рис.2а, б). После прохождения фронта обе симуляции за 00 и 06 UTC начали существенно занижать среднее давление. В синоптической интерпретации модель ожидала более интенсивного развития частного циклона на волне уходящего фронта, фактически же произошло усиление антициклона над Центральной Европой. К тому же наблюдалось неучтенное моделью обострение процессов осадкообразования в юго-восточной части Украины, что способствовало несвойственной общей недооценке количества осадков в модели (рис.2 д, е). Несмотря на то, что среднее абсолютное отклонение поля температуры в модели при этом приблизилось к нулю, среднеквадратическое отклонение (дисперсия) ошибки осталась без изменений (рис.2в, г) вследствие постоянного завышения температуры воздуха в южной части страны и занижения в северной. На рис. 3а приведены вертикальные профили температуры над Киевом для различных сроков наблюдений и соответствующие им профили отклонений (рис. 3 б, в). Такой же схемы представления результатов будем придерживаться и в дальнейшем. Рассмотрение вертикальных профилей отклонений температуры по Киеву (рис. 3 б, в), показало, что, во-первых, амплитуда отклонений отличается для различного времени старта в пользу более позднего (06 UTC). Во-вторых, занижение температуры, имеющее место в северной половине Украины, прослеживается только в нижнем слое,

а выше сменяется небольшим общим завышением. Наибольшие отклонения наблюдаются в средней тропосфере и в районе тропопаузы.

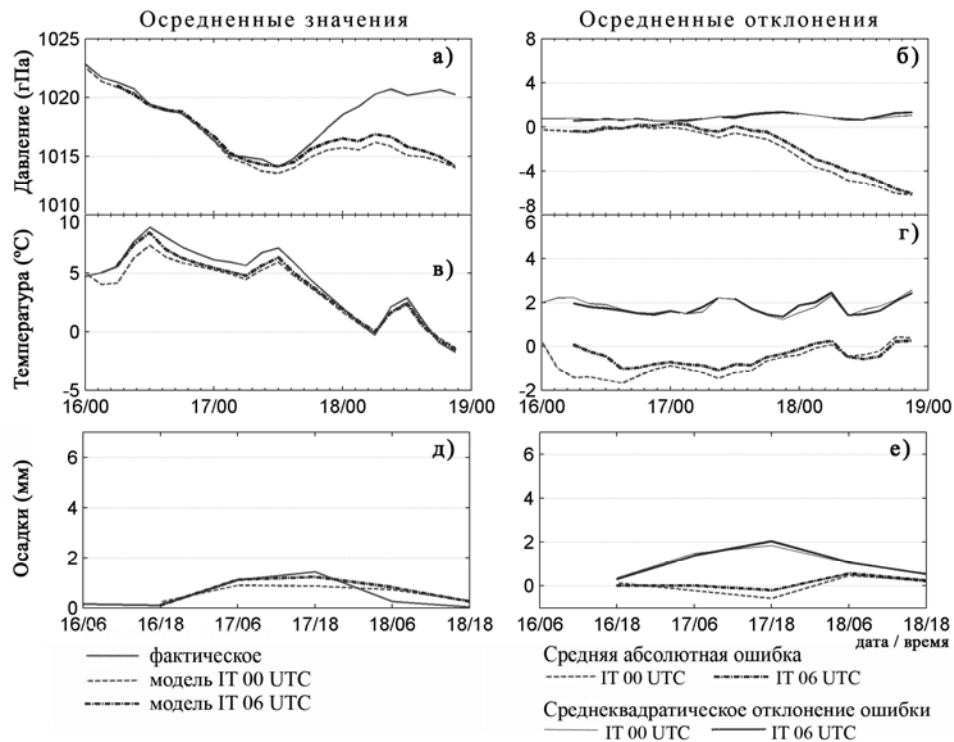


Рис.2 – Осредненные по метеорологическим станциям Украины значения параметров (а, в, д) и отклонений модели (б, г, е), для сроков инициализации 00 и 06 UTC 16.11.2008.

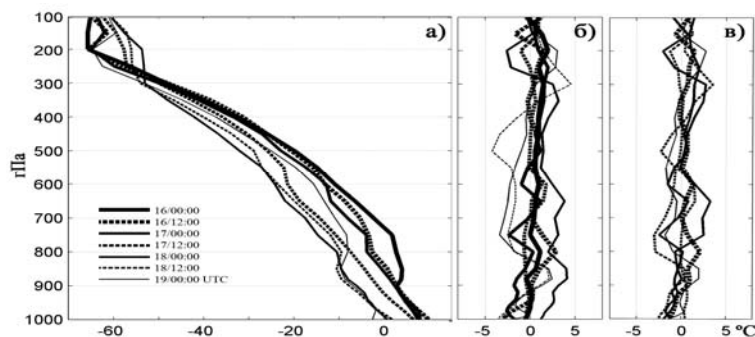


Рис.3 – Вертикальные профили а – фактической температуры по результатам радиозондирования в Киеве, б, в – отклонения модели, инициализированной в 00 UTC и 06 UTC 16.11.2008 соответственно.

22-23 ноября 2008 г. погодные условия над Украиной определяет глубокий, хорошо развитый циклон (рис 4). Его образованию предшествует смещение в рассматриваемый район холодного фронта, который 21 ноября сменяет знак на теплый и начинает отступать обратно к северу. В то же время над центральной Европой продолжается интенсивный заток холода, способствующий возникновению нового циклона в районе Южных Карпат. За сутки 22 ноября молодой циклон, резко углубляясь, пересек территорию Украины по линии Кишинев – Чернигов. Как теплый, так и холодный фронты циклона хорошо выражены во всех метеорологических полях. Примечательна особенно резкая переходная зона на холодном фронте, где градиент температуры у поверхности земли на значительном протяжении достигает 10 °C на 100 км. Сами же воздушные массы, расположенные по обе стороны фронта, имеют

температуры в среднем около +12 и -2 °С соответственно. В южной, центральной и северной частях страны выпали обильные осадки (до 35 мм за сутки) в виде дождя, переходящего в снег. Средняя скорость ветра в теплом секторе достигала 15 м/с, в тылу циклона – 10 м/с. Стадии максимального развития циклон достиг в конце суток 23 ноября в районе Финского залива, где давление в его центре понизилось до 955 гПа. К этому времени вся территория Украины уже была занята холодной воздушной массой.

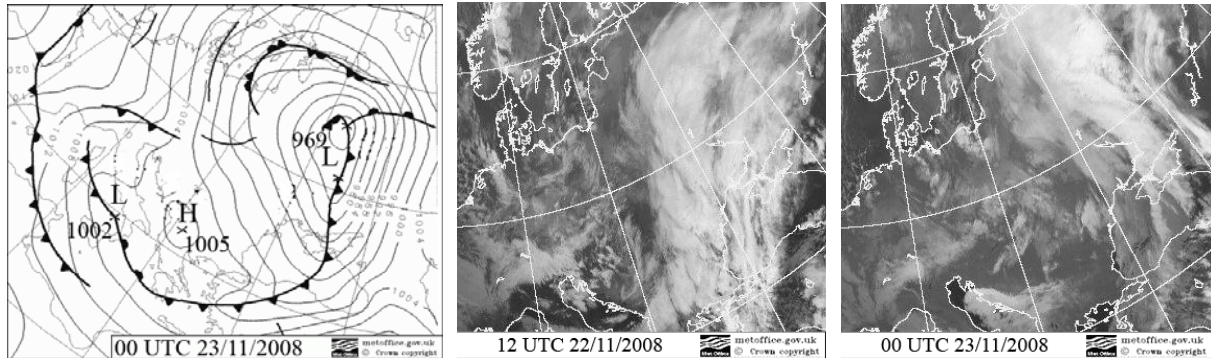


Рис.4 – Синоптическая ситуация 22-23.11.2008.

Среднее отклонение давления для модельных симуляций этой ситуации не превышало 4 гПа в меньшую сторону, что с учетом амплитуды хода самой величины можно считать удовлетворительным (рис.5а, б). Наибольшие ошибки, отмеченные пиком среднеквадратических отклонений всех параметров, связаны с прохождением центра циклона через рассматриваемую территорию. Несмотря на то, что положение центра циклона в модельных симуляциях примерно совпало с наблюдаемым, значение минимального давления в нем было меньше фактического на величину до 10 гПа. Модель несколько занизила температуру в теплом секторе циклона и задержала

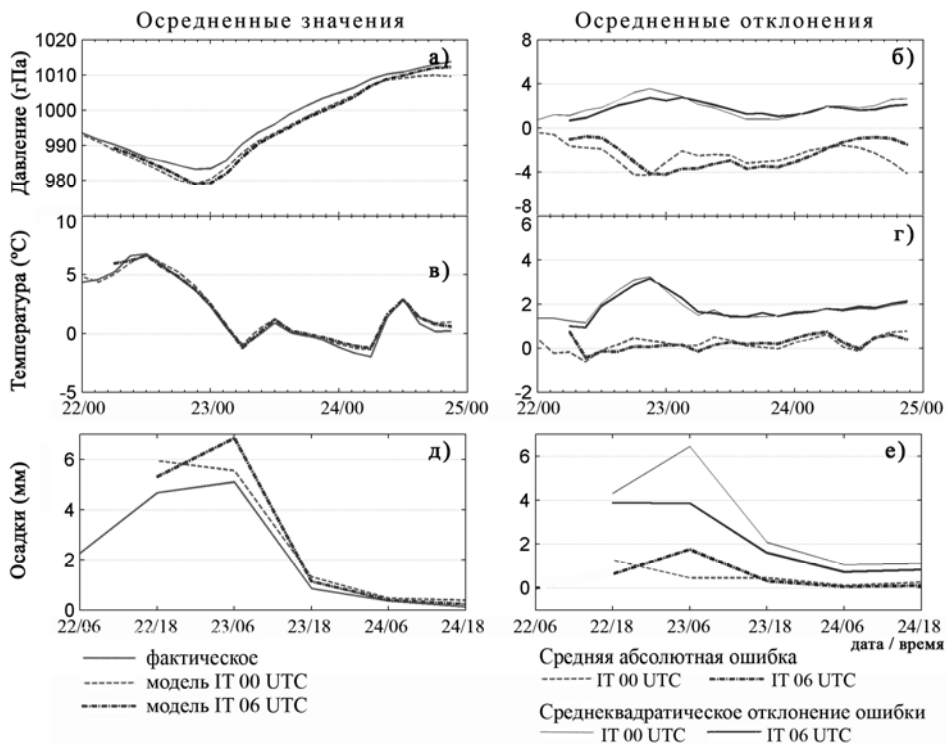


Рис.5 – Осредненные по метеорологическим станциям Украины значения параметров (а, в, д) и отклонений модели (б, г, е), для сроков инициализации 00 и 06 UTC 22.11.2008.

смещение холодного фронта, что из-за больших контрастов температуры на нем, привело к появлению пика в ходе среднеквадратического отклонения ошибки температуры (рис.5г). Абсолютные ошибки, скомпенсировав друг друга, никак не проявились в значениях осредненных по территории. Пример пространственного распределения последних будет приведен ниже, на рис. 13а. В распределении осадков лучшее пространственное соответствие имела симуляция, стартовавшая от 06 UTC, несмотря на большую переоценку общего количества осадков, по сравнению с более ранней (рис.5е). Значительные отклонения вертикальной стратификации температуры отмечены на уровне 500 гПа в случае ранней (рис.6б) и в слое 800-600 гПа в поздней симуляции (рис.6в). Это указывает на качественное отличие процессов, происходящих в толще модельных атмосфер этих двух симуляций.

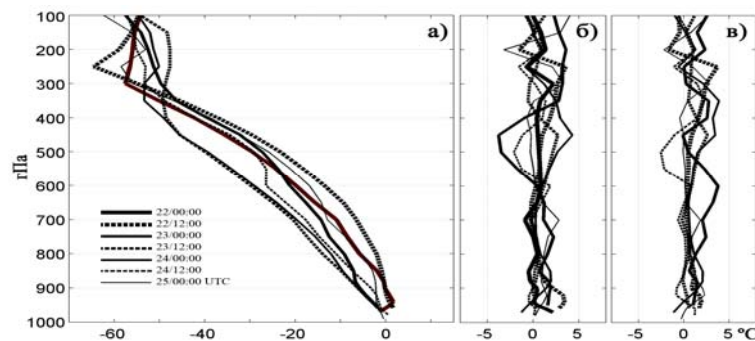


Рис.6 – Вертикальные профили *a* – фактической температуры по результатам радиозондирования в Киеве, *б, в* – отклонения модели, инициализированной в 00 UTC и 06 UTC 22.11.2008 соответственно.

Почти неделю до 08 января 2009 г. территория восточной Европы находилась под влиянием отрога британского антициклона, который на востоке смыкался с сибирским антициклоном. 08 января перемычка высокого давления нарушается барической ложбиной, сместившейся со Скандинавского полуострова (рис.7). Абсолютная глубина ложбины невелика, но взаимодействие с областями повышенного давления с обеих сторон создает заметные градиенты давления. С ложбиной связан фронт окклюзии циклона над Белым морем. Свежее вторжение холода, произошедшее на высотах в тылу циклона, привело к обострению фронта и ускорило его продвижение на юг, но уже как холодного. Приземный слой воздуха на территории Украины под влиянием радиационного выхолаживания в антициклоне охладился до  $-15...-25$  °C. Воздушная масса, пришедшая вслед за фронтом с северной Атлантики, оказалась теплее и привела к повышению приземной температуры до  $-5...-10$  °C, в то время как на высотах более километра за фронтом продолжалась адвекция холода. Прохождение

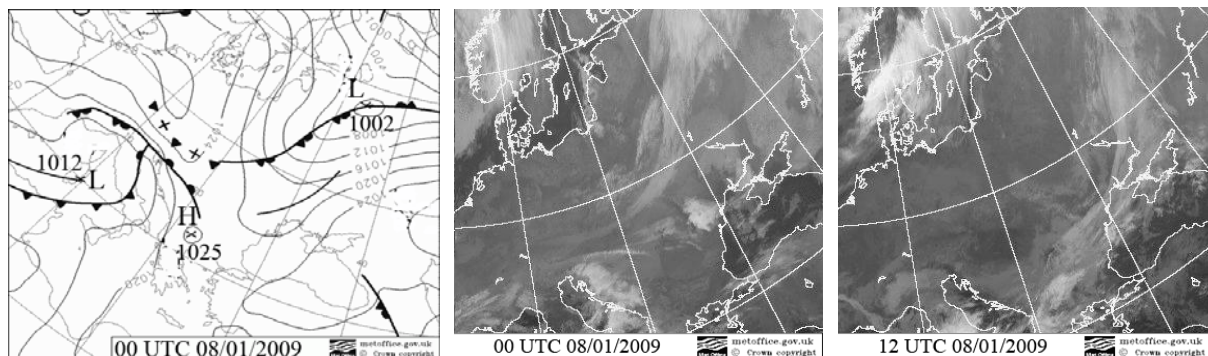


Рис.7 – Синоптическая ситуация 08.01.2009.

фронта сопровождалось незначительными осадками и лишь на востоке Украины их количество местами достигло умеренного ( $>5$  мм/12ч), ветер поворачивал с южного на северо-западный, не превышая 5-7 м/с.

О качестве симуляции рассмотренного случая сложно говорить однозначно. Видно (рис. 8а, б), что ошибка среднего давления постепенно возрастает, особенно после прохождения фронта, однако, отклонения температуры воздуха убывают (рис. 8в, г). Последнее можно объяснить тем, что в условиях тихой антициклональной погоды приземный температурный фон формируется под влиянием местных особенностей подстилающей поверхности и радиационного баланса. После усиления переноса и смены воздушных масс поле температуры стало более однородным и предсказуемым. Подтверждением служит и сравнительно небольшие расхождения температуры во всей толще атмосферы, за исключением пограничного слоя (рис. 9б, в). По мере продвижения атмосферный фронт заметно обострился на востоке Украины, где выпало основное количество осадков; при этом расчет модели зависил их примерно в два раза, проявив плохое соответствие фактической и модельной пространственной структуры,

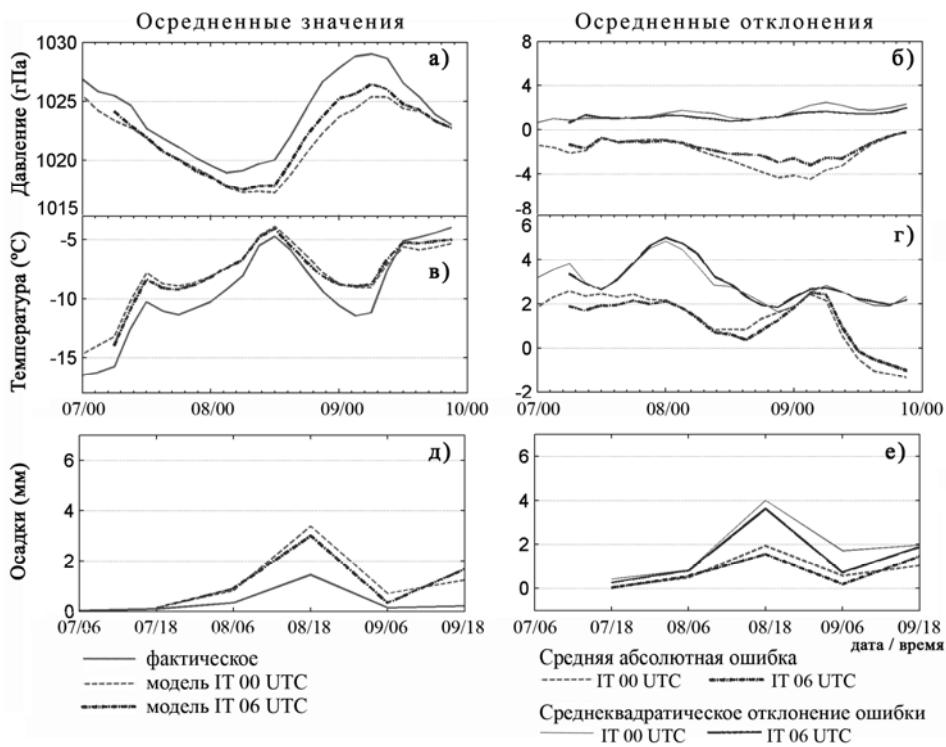


Рис.8 – Осредненные по метеорологическим станциям Украины значения параметров (а, в, д) и отклонений модели (б, г, е), для сроков инициализации 00 и 06 UTC 07.01.2009.

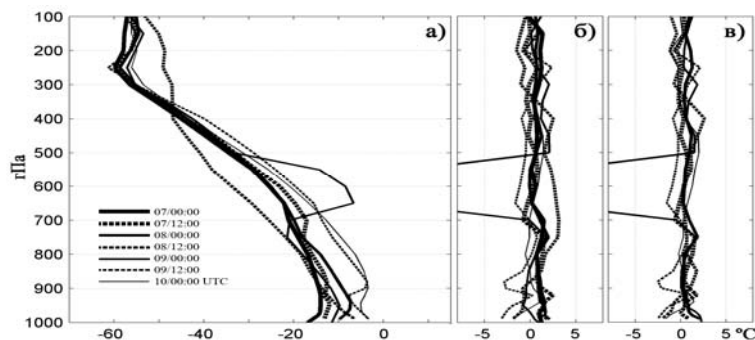


Рис.9 – Вертикальные профили а – фактической температуры по результатам радиозондирования в Киеве, б, в – отклонения модели, инициализированной в 00 UTC и 06 UTC 07.01.2009 соответственно.

выраженное пиком среднеквадратического отклонения (рис.8д, е). Здесь также, можно отметить, что для осадков, давления и вертикального распределения температуры воздуха моделирование от более позднего срока (06 UTC) показало лучшие результаты.

16 января 2009 г. холодная воздушная масса арктического происхождения на фоне расходимости изобар медленно продвигалась на юг над равнинами Украины. Метеорологические поля не имели характерных для фронта контрастов, но под обширным облачным покровом среднего яруса выпадал умеренный снег. Продвижение холода постепенно обострило градиент температуры воздуха над водной поверхностью Черного моря, создав благоприятные условия для циклогенеза. К концу дня над восточной частью акватории сформировался неглубокий циклон (рис.10). В течение суток 17 января 2009 г. это барическое образование (1009 гПа в центре), сделав в своем движении полукруг через восточные области Украины, сместилось на север страны, где оно и заполнилось на следующие сутки. У поверхности земли, как и на высотах, большие градиенты температуры отсутствуют, фронтальные системы размыты и расположены таким образом, что теплый сектор циклона находился в его восточной, а затем в северо-восточной части. По мере развития циклона интенсивность осадков, связанных с холодным фронтом, еще возросла. Средняя скорость ветра по данным наблюдений не превышала 5-7 м/с.

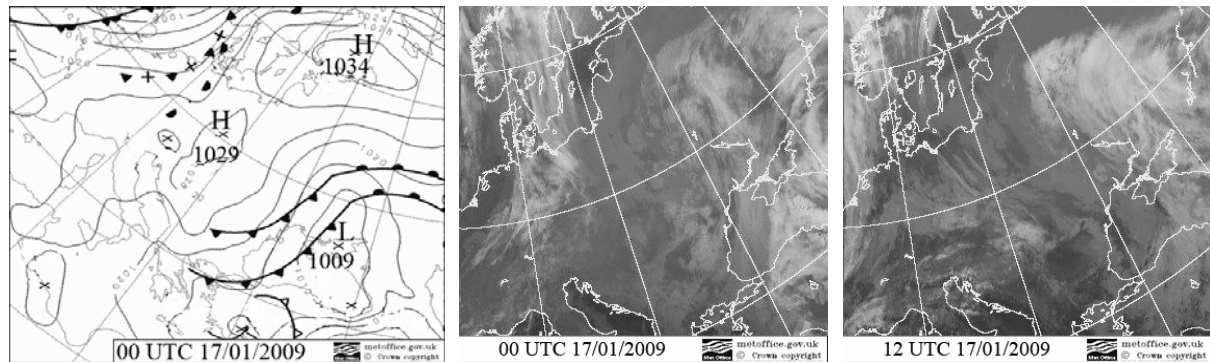


Рис.10 – Синоптическая ситуация 17.01.2009.

Среднее приземное давление в обеих симуляциях отклонилось в меньшую сторону от фактического, но хорошо сохранило особенности хода (рис11а, б). Причиной этому стало как занижение давления в центре циклона, так и некоторое несоответствие траектории перемещения образования. Модельное поле температуры проявило устойчивое отклонение на  $1^{\circ}\text{C}$  в сторону меньших значений (рис11в, г), вертикальные профили отклонений (рис12б, в) для Киева показывают, что таковые имели место во все сроки в нижнем слое атмосферы до высоты 300 – 500 м, выше наблюдалось небольшое общее завышение температуры. Ход среднеквадратического отклонения ошибки имеет два пика, приходящиеся на утреннее время, что указывает на вклад местных условий в термический режим приземного слоя, обусловленных ночным выхолаживанием. Значительное завышение количества осадков отчасти также может быть связано с отклонением траектории циклона ближе к центру рассматриваемого района. Следует отметить и плохое соответствие пространственной структуры зон осадков, в частности, большое их количество на вершине фронтальной волны и общий недоучет на юго-восточной периферии.

**Обобщение полученных результатов.** Оценка качества моделирования через осредненные характеристики является наиболее общей, хотя и достаточно грубой по своей сути. Как можно убедиться из рассмотренного выше, поведение осредненных



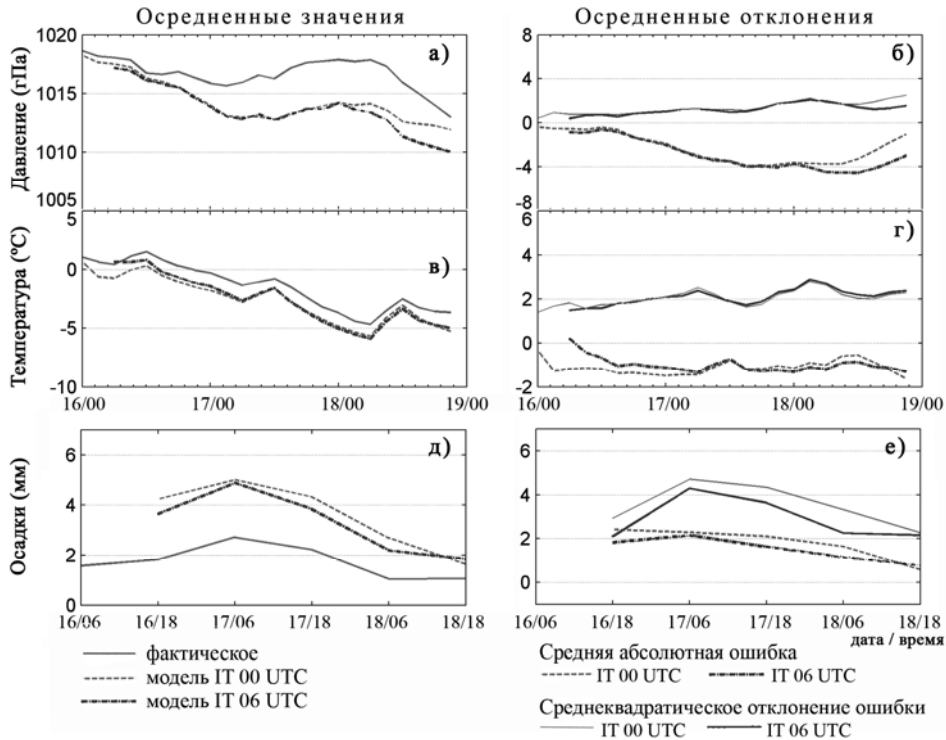


Рис.11 – Осредненные по метеорологическим станциям Украины значения параметров (а, в, д) и отклонений модели (б, г, е), для сроков инициализации 00 и 06 UTC 16.01.2009.

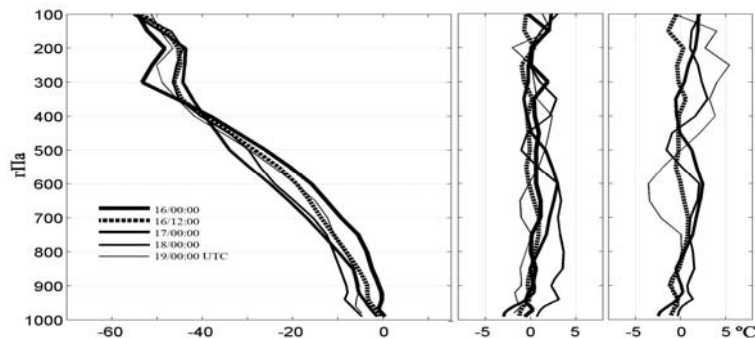


Рис.12 – Вертикальные профили а – фактической температуры по результатам радиозондирования в Киеве, б, в – отклонения модели, инициализированной в 00 UTC и 06 UTC 16.01.2009 соответственно.

параметров проявляет значительную независимость друг от друга, что вызывает затруднения при попытке дать однозначную оценку качества моделирования.

На основе результатов проведенного анализа сделаем попытку выделить основные метеорологические причинно-следственные взаимосвязи качества воспроизведения метеорологической ситуации. Естественно, что пространственную структуру ошибок можно разделить в соответствии с масштабами процессов. Из приведенных примеров видно, что крупномасштабным процессам соответствуют систематические отклонения, связанные с занижением давления в циклонах и ложбинах, а так же с несоответствием фактической и расчетной скорости и траектории движения синоптических объектов. Наибольший вклад эти ошибки внесли в ситуациях 16.11.2008 г. и 17.01.2009 г. 22 декабря 2008 г. (рис 13а) отставание модельного фронта от фактического компенсируется сравнительно успешным воспроизведением остальных процессов, что можно охарактеризовать фазовой ошибкой. Для более мелких масштабов отклонения начинают приобретать случайный характер. При

определенных ситуациях ряд параметров, измеряемых на метеостанциях, оказываются под большим местным влиянием подстилающей поверхности, которое, по-видимому, не может быть учтено данной моделью, по крайней мере, в рамках имеющегося разрешения. Как правило, ошибки такого рода возникают при устойчивой стратификации и ослабленном переносе. Хорошим примером может служить распределение ошибки температуры на уровне 2 м ночью 08.01.2009 г. (рис. 13б), что отражено в увеличении ее стандартного отклонения (дисперсии). Постоянные смещения в сторону занижения или завышения температуры на уровне 2 м при рассмотрении по вертикали наблюдаются только в пограничном слое.

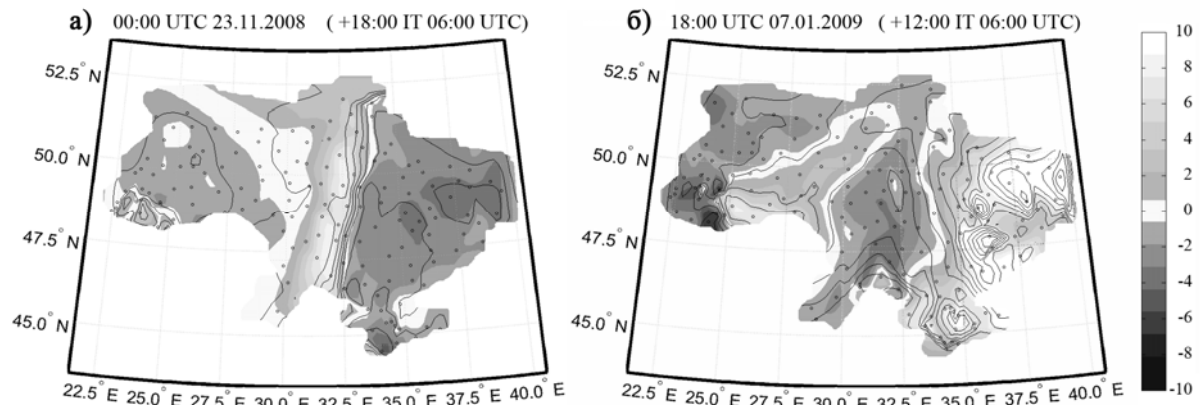


Рис 13 – Пространственное распределение абсолютной ошибки температуры на уровне 2 м (цветовая заливка) для сроков с максимальным среднеквадратическим отклонением, фактическое поле отражено изолиниями, проведенными через 2 °С.

К постоянным отклонениям модели следует добавить некоторое завышение средней скорости ветра на уровне флюгера (10 м) и выраженную переоценку количества осадков, что согласуется с результатами в [2]. Объективности ради отметим, что при тестировании модели для антарктических районов, описанном в [8], наоборот, фиксируется значительное занижение скорости ветра по сравнению с наблюдаемой. Обосновать причины отклонения мезомасштабной структуры осадков, из-за грубого временного разрешения данных наблюдений, не представляется возможным. Однако, примерное соответствие конфигурации областей их выпадения в некоторых случаях позволяет говорить об общей схожести модельных атмосферных процессов с реальными. Также замечено, что при более активных атмосферных процессах максимум хода отклонений приходится на период прохождения фронта через территорию Украины.

**Выводы.** Из рассмотренных ситуаций, связанных с перемещением холодных фронтов, наименее удачной оказалась 17.11.2008 г., когда модель после полутора суток начала допускать устойчивую грубую ошибку в отображении самого синоптического положения. К общим недостаткам моделирования выбранных ситуаций следует отнести наличие постоянных отклонений модели, выраженных в занижении давления в циклонах и переоценке количества осадков в сравнении с фактическим. Во всех случаях можно говорить о достаточной устойчивости модельных процессов относительно стартового срока, но более поздняя симуляция, инициализированная в 06 UTC, в общем, имеет несколько лучшие результаты. Допустимость таких отклонений, безусловно, должна определяться целями последующих исследований, в которых планируется использовать результаты моделирования. В перспективе число случаев для анализа будет увеличено. В целом, модельные симуляции имеют много общего с

фактичними процесами, поэтому рассмотренные результаты моделирования могут быть использованы для дальнейшего исследования термодинамического состояния атмосферы как возможный близкий вариант развития реальной ситуации.

За программно-технічне забезпечення операцій моделювання і обробки даних, колектив авторів виражає подяку Ігорю Васильовичу Будак, співробітнику УкрНИГМИ.

### Список литературы

1. Пірнач Г.М. Чисельне моделювання хмар та опадів у системах атмосферних фронтів. – К.: Ніка-Центр, 2008. – 296 с.
2. Багров А.Н. Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба // Методический кабинет Гидрометцентра России. Информационный сборник. – 2008. – № 35, с. 1 - 18 // <http://method.hydromet.ru/>
3. Hines K. M. Bromwich D. H. Development and Testing of Polar Weather Research and Forecasting (WRF) Model // Mon. Wea. Rev. – 2008. – Vol.136. – No.6. – p.1971 – 1989.
4. Michalakes, J., J. Dudhia, D. Gill, Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance // 11<sup>th</sup> ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing In Meteorology, 25-29 October 2004. // <http://www.wrf-model.org/index.php>
5. Davis C., Brown B., Bullock R. Object-based verification of precipitation forecasts. Part II: application to convective rain systems // Mon. Wea. Rev. – 2006. – Vol.134. – No.7. – p.1785 – 1795.
6. Pinto J. et al Assessment of the Statistical Characteristics of Thunderstorms Simulated with the WRF Model Using Convection-Permitting Resolution // Materials 33rd Conference on Radar Meteorology August 5 - 10, 2007, Session 5 // [http://ams.confex.com/ams/33Radar/techprogram/program\\_423.htm](http://ams.confex.com/ams/33Radar/techprogram/program_423.htm)
7. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С.242-285.
8. Powers J. G. Performance of the WRF v3.1 Polar modifications in an Antarctic severe wind event // Materials 10th WRF Users' Workshop National Center for Atmospheric Research June 23 - 26, 2009, Session 3B // <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2009/WorkshopPapers.php>

#### **Оцінка відтворення стану атмосфери при проходженні холодних фронтів в моделі WRF-ARW. Івус Г.П., Пішняк Д.В., Шпиг В.М.**

*Розглянуто декілька випадків проходження холодних атмосферних фронтів через територію України в холодне півріччя 2008-2009 рр. Виконана загальна оцінка відхилень метеорологічних параметрів в моделі WRF-ARW v2.2.1. від фактичних спостережень. Наведена синоптична інтерпретація особливостей просторового та часового розподілу похибок.*

**Ключові слова:** холодний атмосферний фронт, похибка моделювання, дисперсія відхилень.

#### **Estimation of atmosphere state reconstruction in the WRF-ARW model under cold fronts passing.**

**Ivus.G.P., Pishniak D.V., Shpyg. V.M.**

*Severe cases for cold fronts passing through the territory of Ukraine during cold season 2008-2009 are examined. General estimation of WRF-ARW v2.2.1 model biases from in-situ observation is obtained. Synoptic interpretation for spatial and temporal distributions of errors is proposed.*

**Key words:** cold front, model error, biases dispersion.