

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУ ПОГОДИ ДЛЯ УКРАЇНИ В УкрНДГМІ

Порівнюються прогностичні можливості різних версій моделі WRF, включаючи негідростатичну (NMM). Визначено похибки прогнозу головних метеорологічних величин, проаналізовано окремі випадки, показано шляхи оптимального використання прогностичної інформації для покращання якості прогнозів.

***Ключові слова:** регіональна модель, короткостроковий прогноз, схеми параметризації, градієнт тиску, прогноз температури.*

Вступ. В теперішній час в рамках регіональних систем коротко- і середньострокового прогнозу приділяється багато уваги до моделювання метеорологічних полів і явищ у регіональному (мезо) масштабі. Це важливо як для дослідження атмосферних процесів і окремих явищ, так і подальшого удосконалення прогнозування небезпечних явищ погоди, особливо в районах зі складною орографією. До специфічних метеорологічних явищ, що потребують детального вивчення, відносять як такі, що утворились внаслідок синоптичної еволюції (атмосферні фронти, хвилі, лінії шквалів), так і такі, що виникли за рахунок впливу підстильної поверхні - гірські хвилі і місцеві циркуляції, морські бризи, літні конвективні осередки та супутні явища (грози, зливи, сильний вітер).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одною з найпоширеніших і доступних до впровадження є модель Weather and Research Forecasting (WRF), яка використовується у оперативному або дослідницькому режимі у багатьох регіонах планети, включаючи Європу, Північну і Південну Америку, Середній та Далекий Схід, північну і центральну Африку, Антарктику [4-7, 10-12]. Є досвід адаптації мезомасштабної моделі для України [1]. Можливість ідентифікації ліній атмосферних фронтів через розрахунок термічного фронтального параметру показано в [3].

За допомогою WRF вивчаються специфічні явища у граничному шарі (турбулентність, хмарність, перенос домішок), у полі вітру [4, 6].

Для території України найбільш доцільним є застосування моделей у районах, де небезпечні (НЯ) і стихійні (СГЯ) гідрометеорологічні явища найбільш ймовірні, а також відзначаються найбільша мінливість метеорологічних умов у просторі і часі. Це райони Карпатських і Кримських гір, береги Азовського і Чорного морів, мегаполіси (зокрема Київ). Покращання прогнозів в цих районах має бути проведено з використанням більш детальної сітки, що враховує орографію місцевості.

В кліматичному моделюванні: регіональні моделі можуть бути використані для уточнення існуючих даних, наприклад, реаналізу, шляхом асиміляції спостережних даних, з подальшою розробкою кліматичних карт, атласів та ін. [7].

Головні налаштування моделей. Комплекс Моделі WRF складається з двох динамічних блоків:

– блоку WRF ARW (Weather Research and Forecasting Model Advanced Research), що перш за все пристосований для досліджень, розвинутого Національним центром атмосферних досліджень США (NCAR);

– блоку негідростатичної моделі (NMM), розвинутого Національною адміністрацією атмосфери і океану і Національним центром прогнозу навколишнього середовища США (NOAA/NCEP), призначеного для оперативного використання.

Динамічний блок моделі WRF ARW складається з ядра динаміки атмосфери у поєднанні з іншими компонентами системи WRF, які є необхідними для проведення розрахунків. Сюди також відносяться набір фізичних схем, стандартні пакети ініціалізації та пакет асиміляції даних. Більшість доступних фізичних пакетів в моделі WRF ARW успадкована з MM5, а негідростатична версія фактично побудована на моделі ETA. Використання моделей з двома дещо різними динамічними наповненнями є доцільним для порівняння спроможності моделей і можливого покращання якості прогнозів.

Детальний опис моделей наведений у ряді керівних документах та статтях [6-12]. Тут зазначимо головні відмінності моделей. Горизонтальна сітка ARW являє собою так звана розхитана сітка (Arakawa C.), а в NMM застосована обернена сітка Аракави.

Вертикальна координата представлена у WRF ARW за допомогою гідростатичної ізобаричної системи координат, яка враховує вплив рельєфу

$$\eta = \frac{p_h - p_{ht}}{\mu},$$

де $\mu = p_{hs} - p_{ht}$, p_h – гідростатична компонента тиску; p_{hs} і p_{ht} – значення тиску на нижній і верхній границях відповідно.

Версія WRF-NMM є стиснутою, негідростатичною версією (з гідростатичною опцією), яка використовує гібридну σ -вертикальну систему координат [11]. Переваги: σ -система координат відповідає природному ландшафту (типу підстильної поверхні). Це дозволяє забезпечити адекватне відновлення безперервних полів, таких як поле вітру і адвекції температури, в районах, де тип підстильної поверхні змінюється плавно. Крім того, прогноз вітру залежить від точного розрахунку сили градієнта тиску.

Перевага ETA-системи координат: не потрібно виконувати перерахунок сили градієнта тиску через нахил ізобаричних поверхонь. Це покращує прогноз вітру, температури і вологості в областях неоднорідної місцевості, з деякими обмеженнями.

У статті представлено результати оцінки якості прогнозів, які розраховувались в УкрНДГМІ з квітня 2009 р. до вересня 2011р. за версіями WRF 3-1, 2-2-1 і 2-1-1 та негідростатичній NMM. Головна розрахункова область 98 x 70 вузлів, кроки по горизонталі від 21 до 30 км. Використовується конічна проекція Ламберта, паралелі перетину - 52°50' пн.ш., та 44°50' сх. д. (рис. 1). Використовувались дві незалежні вкладені розрахункові області: західна, Карпатський регіон: 61 x 55 вузлів, кроки - 7 км, а також південна - 121 x 73 вузли, кроки - 7 км.

В NMM: крок по довготі 0.15407°, по широті = 0.14085°, паралелі перетину 50°50' пн.ш, 31°50' сх. д.

Вихідними даними були дані глобальної системи прогнозу GFS з розділенням 1°. Вони ж використовувались для порівняння якості прогнозів. Результати прогнозу в експериментальному режимі надаються на Інтернет-сторінці accuweather.org.ua, автор компіляції моделей та розробка веб-ресурсу – ст. наук. сп. Будак І.В. (УкрНДГМІ).

Проводились експерименти з використання різних джерел даних топографії підстильної поверхні, кількості рівнів по вертикалі, схем фізичної параметризації. У версії WRF 3.1.1 використовувалась топографія USGS (US Geological Survey, і MODIS, WRF 2.2.1 – топографія USGS, WRF NMM 3.1.1 – топографія USGS. В обох джерелах топографічних баз USGS і MODIS розділення 30' (близько 1 км), MODIS - більш точна, але менше категорій підстильної поверхні. Тип топографії в базі MODIS наведені для глобальної сітки 1x1° (http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD08_D3/index.html "t" _top).

Кількість вертикальних рівнів в моделях змінювалась з 28 до 46, результати в роботі надаються для 35 рівнів. Методика інтерполяції даних з вузлів розрахункової сітки моделі до положення станцій – білінійна, яка була обрана перш за все через найменшу витрату часу розрахунку.

Схеми параметризації змінювались у моделі WRF ARW перш за все для врахування різних режимів стійкості приземного і граничного шарів атмосфери (ГША). Використовувались так звані схеми MM5 і ETA. За основний приймався набір схем MM5, зі схемами приземного шару Мони́на-Обухова і граничного шару Yonsei University, а за експериментальну - ETA-схеми приземного шару і схема Mellor-Yamada для ГША. Перші дві схеми найкраще мають відтворити процеси в нестійкому ГША (в подальшому “стандартні”), а інші дві схеми налаштовані для стійкого ГША (в подальшому “експеримент”).

Асиміляція даних не проводилась на даному етапі досліджень.



Рис. 1- Головна область розрахунків моделі WRF ARW, версія 3.1.1, з вкладеними областями.

Метою статті є отримання оцінок якості прогнозу поля атмосферного тиску і окремих баричних утворень, а також температури повітря і опадів, з висновками щодо можливості використання модельних розрахунків у оперативній практиці для України та в окремих регіонах. Аналіз проводився за даними станцій міжнародного обміну (атмосферний тиск), а також 180 станцій України (температура повітря).

Методика оцінки справджуваності. Для кількісних величин (температура повітря, атмосферний тиск) розраховуються наступні оцінки якості: середня відносна, абсолютна, похибка, середнє квадратичне відхилення, згідно з Настановами ECMWF, національними документами [2, 9]. Похибки прогнозів виправлялись також на систематичну похибку, якщо це було доцільно. Для оцінки прогнозу поля тиску використовувався критерій аналогічності

$$\rho = \frac{n_B - n_H}{n_B + n_H + n_K},$$

де n_B , n_H - кількість станцій (вузлів сітки), в яких прогноз знаку зміни тиску виправдався і не виправдався, відповідно, а n_K - кількість станцій, в яких $H_{II} - H_B = 0$ при $H_{II} - H_B \neq 0$, або $H_{II} - H_B \neq 0$ при $H_{II} - H_B = 0$ (випадки з $H_{II} - H_B = 0$ і $H_{II} - H_B \neq 0$ відносять до n_B). Тут: H_{II} і H_{II} - прогностичне та фактичне значення, H_B - вихідне значення (дані початкових умов моделі). Значення $\rho \geq 0,5$ свідчить про задовільну, а $\rho \geq 0,7$ - про відмінну якість прогнозу зміни тиску. Величина ρ є безрозмірною, але її

можна представити в процентах по відношенню до області прогнозу (вузлів сітки): $100 \cdot 0,5 \rho + 50$. Так, при значенні $\rho = 0,50$ аномалії співпадають на 75% області.

Крім того, порівнювались фактичні і прогностичні градієнти тиску між окремими пунктами.

Виклад основного матеріалу.

Прогноз атмосферного тиску. В цілому, за даними 2009-2010 рр., абсолютна похибка прогнозів не перевищує 1,5 гПа на більшості території України для ARW і NMM, найменші похибка на півночі і центрі (менше 1 гПа), дещо більша – у східних областях та АР Крим.

Значно більший практичний інтерес викликає успішність прогнозу поля тиску, особливо із завчасністю прогнозу. Як впливає з рис. 2, якість прогнозу за даними геометричного критерію подібності (ρ) на перші дві доби практично не відрізняється між різними моделями, і поступово зменшується до 0.4 на кінець 5-ої доби (на практиці вважається, що мінімальним значенням для аналогічності полів $\rho \geq 0,3$). Крім того, значення критерію зменшується не монотонно, тобто відзначено деякий добовий хід – справджуваність прогнозів на дану добу краще із завчасністю, кратною 24 год. У циклонічних умовах критерій подібності зменшується ще швидше з часом, в окремому випадку величина ρ знижується до 0 наприкінці першої доби прогнозу.

В випадку стаціонарного антициклона ρ тримається довше вище зазначеного порогу, близько 0,7 на 5 добу (на прикладі ситуації, що зумовила тривалу спеку влітку 2010 р.).

Таким чином, експлуатація моделі із завчасністю 4-5 діб і більше з даними початковими умовами можлива тільки в умовах стійкого синоптичного процесу.

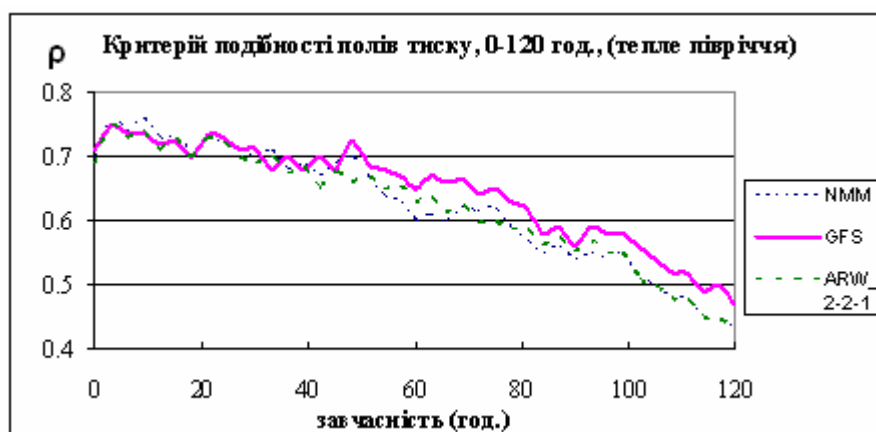


Рис. 2 - Критерій подібності прогностичного і фактичного полів тиску, завчасність до 120 год., 3 моделі, 20.04 – 30.09.2011 р. (Дані станцій міжнародного обміну).

Проаналізуємо кілька випадків з виходом циклонів на Україну, коли якість прогнозу змінювалась із завчасністю, або спостерігалась зміна траєкторії.

Впродовж періоду дослідженні Україна була під впливом південних, західних і північно-західних циклонів, переважно у зимові місяці. Вихід південних циклонів відзначено 20 квітня 2010 р., 15-17 і 25-16 грудня 2009 р., 28-30 грудня 2010 р., 26-28 липня 2011 р. Північно-західний циклон пірнаючого типу відзначений 8-9 квітня 2011 р.

Циклон 26-28 липня 2011 р. рухався по незвичній південно-східній траєкторії. Він виник близько Чорноморського узбережжя Кавказу РФ і рухався вздовж берега на східний Крим і далі на Запорізьку, Миколаївську, Херсонську і Одеську області, тобто з поворотом траєкторії проти годинникової стрілки. Критерій подібності поля тиску різко знижувався впродовж першої доби прогнозу до 0,27, а наприкінці другої і третьої

діб знизився до від'ємних значень (рис. 3), тобто такі поля містять значні похибки і їх недоцільно використовувати для прогнозу.

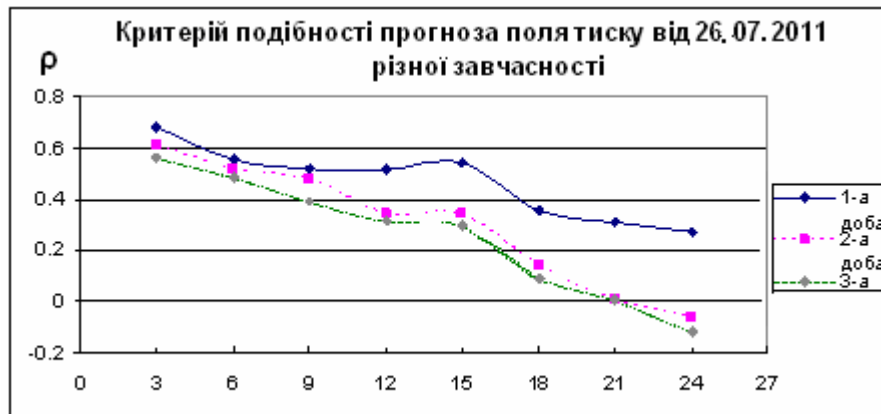


Рис. 3 - Критерій подібності прогностичного і фактичного полів тиску, прогноз від 26.07.2011 р., завчасність до 72 год.

Модель в цілому вірно відтворила виникнення циклону і його вихід на Україну, а також поворот траєкторії на південний захід (рис. 4). Але, у прогнозі на другу добу траєкторія відхилилась дещо на схід від реальної, з чим були пов'язані помилки у прогнозі поля тиску, а також температури повітря і опадів. У прогнозі центр циклона рухається над Азовським морем з виходом на північ України, у той час як фактично центральна частина циклона пройшла над суходолом і дещо південніше – Запорізькою, Кіровоградською, Миколаївською, Одеською областями і АР Крим. У прогнозі на одну добу траєкторія більше наближена до реальної. Таким чином, у випадку подібних процесів потрібно враховувати можливість зміни прогнозу баричного поля на найменшій можливій завчасності, щонайменше на половину доби.

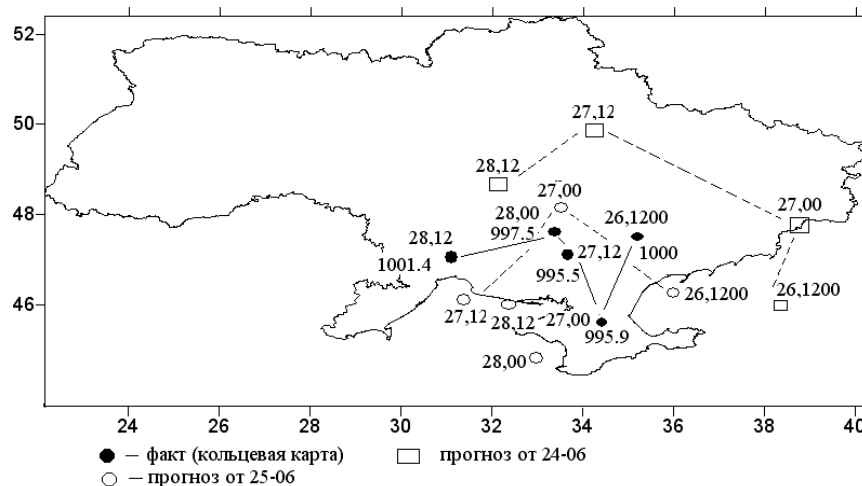


Рис. 4 - Траєкторія південного циклону (фактичне положення, прогноз на першу та другу доби від 26 липня 2011 р.). Для кожного положення центру циклона позначено дату, строк (00 або 12 UTC), а також значення тиску для фактичної траєкторії (гПа).

У прогнозі градієнтів тиску було відзначено випередження фактичного максимуму, порівняно з модельним прогнозом, що спричинило затримку у прогнозі передфронтального підвищення температури повітря (рис. 5), а також початку опадів на 6 год. раніше за даними п. Одеса. Максимум температури повітря був недооцінений

за даними моделі, а добовий хід – дещо згладжений. Фактично, центр циклону рухався дещо з більшою швидкістю, ніж було передбачено в модельному прогнозі.

Таким чином, був відмічений ефект “затримки” прогнозу, який виникає переважно на другу і третю доби. Найбільш часто це виявлено при переміщенні південних циклонів. Крім циклонічних ситуацій, затримка прогнозу тиску відзначається при реалізації східних процесів (наступ сибірського антициклону). У більшості ситуацій прогноз покращується на першу добу. Можливі затримки у прогнозі атмосферного тиску у мезомасштабній моделі цілком залежать від прогнозу у початковій моделі (GFS), яка є, у свою чергу, залежною від початкових умов. Таким чином цей ефект не може бути подоланий при експлуатації регіональної моделі, а тільки за рахунок врахування типового процесу (аналогу). Потрібний додатковий контроль розвитку синоптичної ситуації за даними історії процесу, кільцевих карт, або прогностичних карт іншого джерела ніж GFS (ECMWF, прогноз ГМЦ РФ).

В іншому випадку пірнаючого циклону 08-09.04.2011 р. траєкторія в цілому була передбачена моделями вірно, атмосферні опади також були спрогнозовані задовільно, разом із часом початку.

Прогноз температури повітря. Абсолютна помилка прогнозу середньодобової температури повітря на першу і другу доби для більшості станцій України за даними всіх версій WRF не перевищує 2 °С (на рівнинних станціях північного заходу вона менше 1,2 °С у прогнозі на першу добу), і тільки на гірських станціях Криму і Карпат, вона більше 2 °С. Найменша абсолютна помилка середньодобової температури, що не перевищує 1,5 °С на перші дві доби прогнозу, на станціях центру, заходу і північного заходу (Львів, Рівне, Івано-Франківськ, Вінниця, Суми). Абсолютна помилка середньодобової температури зростає до 1,5-2 °С на сході (Дніпропетровськ, Харків, Донецьк) і в рівнинних пунктах півдня (Сімферополь, Одеса, Херсон).

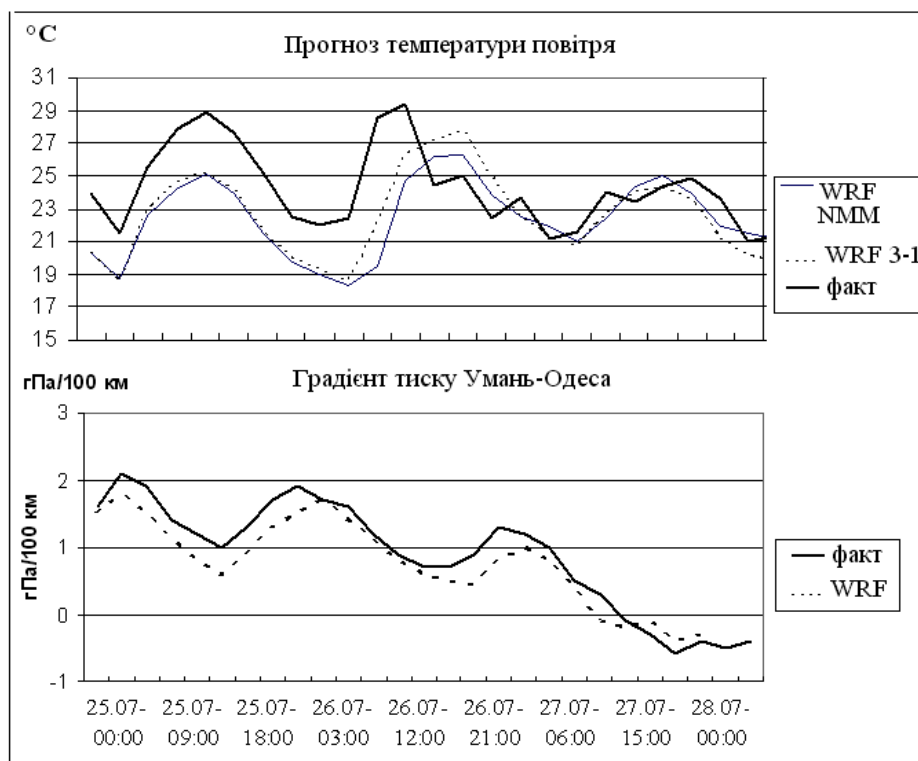


Рис. 5 - Прогноз температури повітря по п. Одеса та gradientів тиску між пп. Умань-Одеса, від 25.07.2011р. на 72 год.

В берегових пунктах (Ялті і Бердянську) помилка зростає в залежності від сезону - спостерігається заниження літніх температур і завищення осінніх. При цьому помилка прогнозу максимальної температури більше, ніж мінімальної і на більшості станцій перевищує 2 °С, а помилка прогнозу мінімальної температури лежить в межах 2 °С. Враховуючи довірчий інтервал для 100% справджуваності, це дозволяє використовувати дані будь-якої моделі для корекції прогнозу шляхом врахування систематичної похибки.

Далі, у прогнозах на 48-72 год. похибка зростає і перевищує 2 °С для версії WRF 3-1-1 і 2-2-1; похибка NMM перевищує 2 °С у прогнозі на 48 год., а GFS - у прогнозі на 60 год. Аналіз похибок впродовж першої доби прогнозу показує наявність добового ходу: більші похибки у прогнозі на денні строки 12, 15 і 18 UTC, а о 21 год. і наприкінці доби вони дещо зменшуються (рис. 6), порівняно із суміжними строками. Таким чином, підтверджується факт залежності якості прогнозу від початкового строку.

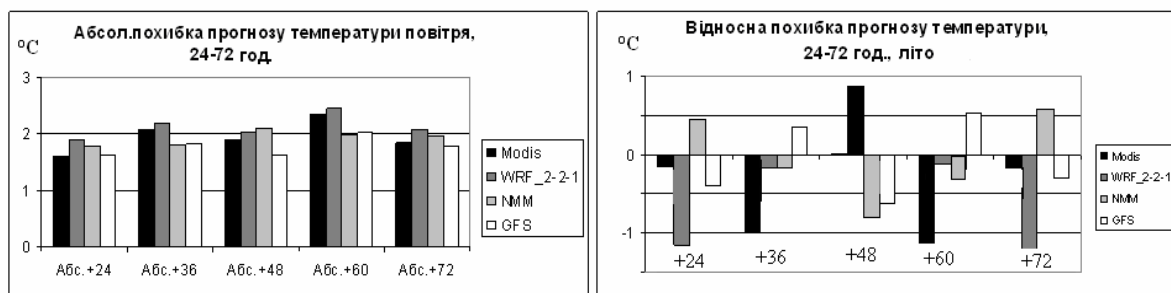


Рис. 6 - Абсолютна і відносна похибка прогнозу температури повітря, станції України, завчасність 24-72 год., 20.04 – 15.09.2011 р.

Взимку похибки всіх моделей дещо зростають, що пов'язано з більшими коливаннями і загальною нестійкістю зимової погоди, і перевищують 2 °С, починаючи із завчасності 24 год. Відносна похибка прогнозів додатна для NMM для зимових прогнозів і прогнозу на 24 год. влітку, а за версіями ARW і GFS – переважно від'ємна у прогнозі на першу добу (рис. 7). Для окремих пунктів це дозволяє побудувати міні-ансамблеву модель, що враховує похибки обох моделей таким чином, щоб мінімізувати загальну похибку прогнозу (табл. 1). Наприклад прогностичні величини максимальної температури у 90% випадків лежать у межах інтервалу $\pm 3^{\circ}\text{C}$, який вважається 100%-им при оцінці якості прогнозу.

Окремий експеримент проводився в холодне півріччя для різних умов стійкості в ГША. Якщо похибки прогнозу температури повітря практично не розрізняються, то для кількості опадів найкращий результат отриманий для умов стійкого ГША (табл. 2).

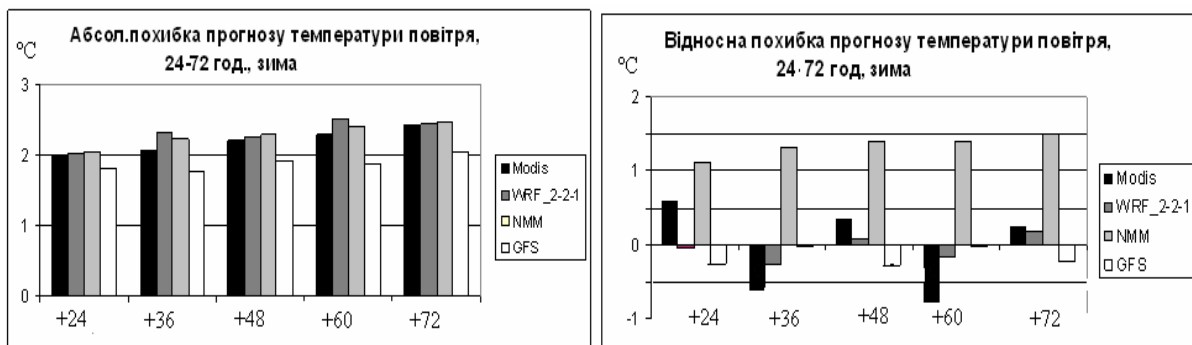


Рис. 7 - Абсолютна і відносна похибка прогнозу температури повітря на 24-72 год. Станції України, зима 2010 р., версії 3.1.1, 2.2.1, NMM.

Інші типові випадки можливих похибок прогнозу температури повітря є такі:

- завищення середньої добової і максимальної температури повітря під час зимових похолодань. Для подолання можливих похибок доцільний контроль ситуації традиційним синоптичним методом (температура у початковій точці траєкторії), з врахуванням трансформації повітряної маси;

- заниження денної і завищення нічної температури повітря у внутрішньомасових умовах (період літньої спеки - липень і серпень 2010 р.). Але, водночас, у стійких синоптичних умовах похибки прогнозу незначно зростають із завчасністю прогнозу. Як вже вказувалось, подолати похибку можливо шляхом врахування систематичної похибки, розрахованої для кожного пункту;

- значна недооцінка температури через вплив снігового покриву у перехідні сезони (зима-весна), приклад – березень 2010 р. При проясненнях відзначені значні похибки, до 8-10 °С нижче фактичної, за версіями WRF ARW 2 і 3; у негідростатичній версії похибки дещо менші;

- вплив низької шаруватої хмарності (осінні або зимові антициклонічні ситуації). При щільній хмарності нижнього ярусу в антициклоні зафіксовані значні похибки у прогнозі температури, особливо WRF ARW версії 2 і 3.

Таблиця 1 - Коефіцієнти регресії для прогнозу денної і екстремальної температури. Київ (літо: червень-серпень 2010 р., зима: 1 грудня 2010 – 2 лютого 2011 р.)

Сезон, параметр	NMM	WRF	Вільний член	Стандартна Похибка
Літо				
Середня денна	0,45	0,53	0,40	0,90
Максимальна	0,93	-0,48	1,50	1,60
Мінімальна	0,44	-	-0,60	1,40
Зима				
Середня денна	0,58	0,34	-0,25	1,80
Максимальна	0,87	- 0,47	-1,20	2,10
Мінімальна	0,46	-	0,18	2,00

Таблиця 2 – Похибки прогнозу температури повітря та кількості опадів за різними схемами параметризації ГША, WRF 2.1, січень - березень 2009 р.

Набір схем параметриза- ції	Сер.квadr. відхилення	Сер. квадр. відхилення виправлене	Похибка абсолютна	Похибка відносна (прогноз- факт)	Відношення кількості опадів прогноз/ факт
<i>Стандарт</i>					
Україна	2,16	1,92	1,4	0,02	1,7
Київ	1,76	1,63	1,2	-0,32	1,8
Одеса	1,85	1,74	1,4	0,35	1,4
<i>Експеримент</i>					
Україна	2,14	1,90	1,6	-0,22	1,1
Київ	1,80	1,70	1,3	-0,58	1,0
Одеса	1,86	1,73	1,4	0,42	0,9

Ще одна з причин похибок прогнозу - вплив конвективної хмарності у поєднанні з іншою хмарністю (купчасто-дощова, купчаста, шарувата, розірвано-дощова) при проходженні холодних фронтів або вторинних фронтів (поривчастості). При цьому похибки моделі можуть бути як додатними, так і від'ємними. Від'ємна похибка (модель холодніше) типова в умовах розвитку конвекції або проходження холодного фронту з конвективними явищами за ним. У тилу циклона похибка додатна, але це залежить від часу проходження фронту, який в свою чергу залежить від прогнозу поля тиску.

Щодо **прогнозу атмосферних опадів**, зазначимо, що найкраще прогнозуються опади у добре розвинених циклонах. Так, було успішно передбачено формування значних опадів та час їх початку у Карпатах у липні 2008 р. – ситуації, що спричинила паводок на річках Прикарпаття. Модель в цілому успішно відтворила сильний снігопад 16-17 грудня 2009 р., який утворив значні проблем для транспорту в Одесі, з деяким заниженням кількості опадів (рис. 8).

Для опадів, пов'язаних з великомасштабним процесом, зазначається загальна переоцінка кількості опадів по території. Деяко гірше прогнозуються літні зливи осередкового типу (внутрішньо масові), краще прогнозуються у конфігурації з більшою кількістю рівнів моделі по вертикалі. Покращання потребує прогноз сильних опадів, включаючи НЯ і СГЯ, особливо у літній сезон. Підвищення ступеня деталізації регіональних чисельних моделей прогнозу погоди для окремих регіонів України шляхом вкладених сіток показало покращання прогнозу температури та атмосферних опадів для Карпатського регіону, крім гірських станцій.

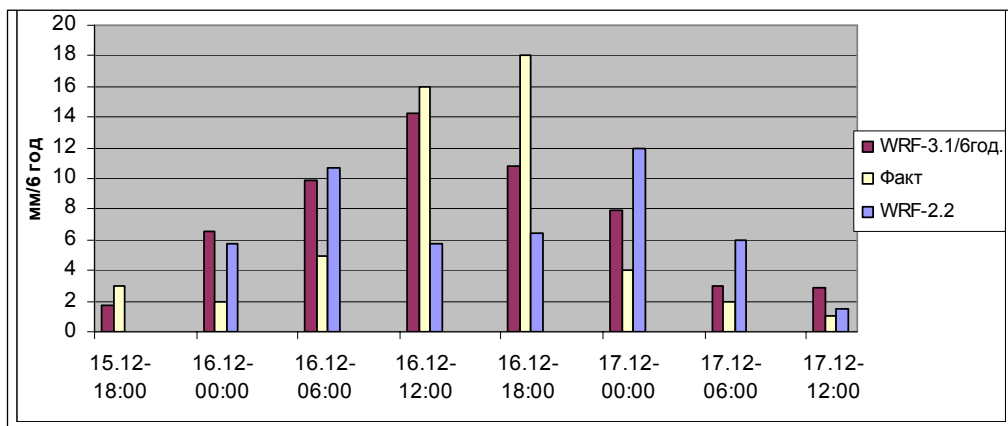


Рис. 8 - Прогноз атмосферних опадів у м. Одеса від 15.12.2009 р., завчасністю 6-48 год.

Висновки. В цілому, модель WRF може бути успішно застосована для короткострокового прогнозу на більшості території України, без додаткової асиміляції, але з деякими обмеженнями, враховуючи синоптичний процес, сезонні особливості, тип орографії.

На успішність мезомасштабної моделі сильно впливає якість великомасштабних прогнозів у початковій моделі. Це в першу чергу стосується прогнозу переміщення циклонів на Україну; для вдосконалення прогнозів необхідний контроль синоптичної ситуації. Відмінності у прогнозі атмосферного тиску найбільш виявлені при переміщенні південних циклонів. Відхилення у прогностичній траєкторії циклону призводить до помилкового прогнозу температури, опадів, в тому числі початку окремих явищ погоди.

Прогноз температури є задовільним на перші 2-3 доби, але якість прогнозу залежить від синоптичних умов. Врахування систематичної похибки є одним з шляхів покращання якості прогнозів у внутрішньомасових умовах.

Тип і кількість зимових явищ в цілому прогнозується краще, ніж літня конвекція. Успішно спрогнозовані сильні снігопади внаслідок виходу південних циклонів в 2009-2010 рр. Для

покращання прогнозу кількості атмосферних опадів доцільно змінювати схеми параметризації ГША в залежності від сезону.

Подальші перспективи. Для покращання якості прогнозів опадів необхідно проводити подальші експерименти чутливості поведінки моделі з різними фізичними процесами, різними роздільними здатностями по горизонталі і вертикалі, виконати асиміляцію додаткових даних спостережень.

Список літератури

1. Лев Т. Д., Мисник С. В., Тищенко О. Г. Адаптация модели численного прогноза погоды MM5 к условиям Украины и предварительная оценка успешности прогноза для задач переноса и осаждения радиоактивных веществ в районах расположения АЭС // Проблемы безопасности Атомных электростанций і Чернобиля. – 2009. - Вип. 11. – С. 48-56.
2. Методические указания по проведению оперативных испытаний новых методов гидрометеорологических прогнозов / Под ред. А.И. Угрюмова -Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 107 с.
3. Семенова И.Г., Ивус Г.П. Использование термического фронтального параметра для моделирования бароклинных зон в процессах циклогенеза // Тр.УкрНДГМІ. – 2011. - Вип. 260. – С. 56-71.
4. Bao J.-W., Michelson S. A., Persson P., Djalalova I.V. Observed and WRF-Simulated Low-Level Winds in a High-Ozone Episode during the Central California Ozone Study. // J. of Appl. Met. and Climat. - 2008. - Vol. 47. – P. 2372-2394.
5. Das S., Singh V., Rajagopal E.N., Gall R. Mesoscale Modeling for Mountain Weather Forecasting Over the Himalayas // American Met. Soc. – Sept. 2003. – P. 1237-1243.
6. ECMWF User Guide. - Reading, UK. 2005. – 532 p.
7. Etherton B., Santos P. Sensitivity of WRF Forecasts for South Florida to Initial Conditions // Weather and Forecasting. – 2008. - Vol. 23. – P. 725-740.
8. Kenneth T. Waight III, Glenn E. Van Knowe, Steve Young and John W. Zack. An Evaluation of the WRF Model as a Tool to Produce Wind Forecasts and Climate Statistics for Alberta, Canada // Weather and Forecasting. – 2006. - Vol. 42. – P. 832 -846.
9. Powers J.G. Numerical Prediction of an Antarctic Severe Wind Event with the Weather Research and Forecasting (WRF) Model // Mon. Wea. Rev. – 2007. - Vol. 135. - No 9. - P. 3134-3157.
10. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., Powers J.G. 444A description of the Advanced Research WRF Version 2. – NCAR TECHNICAL NOTE: NCAR/TN-468+STR. – 2007. – 100 p.
11. User's Guide for the NMM Core of the Weather Research and Forecast (WRF) Modeling System Version 3. - NCAR. – 147 p.
12. Xu J., Rugg S., Byerlie L., Liu Z. Weather Forecasts by the WRF-ARW Model with the GSI Data Assimilation System in the Complex Terrain Areas of Southwest Asia // Weather and Forecasting. - 2009. - Vol. 24. - P. 987-1008.

Опыт применения региональных численных моделей прогноза погоды для Украины в УкрНИГМИ. Тимофеев В.Е.

Сравниваются прогностические возможности различных версий модели WRF, включая негидростатическую (NMM). Определены погрешности прогноза основных метеорологических величин, проанализированы отдельные случаи. Показаны пути оптимального использования прогностической информации для улучшения качества прогнозов.

Ключевые слова: региональная модель, краткосрочный прогноз, схемы параметризации, градиент давления, прогноз температуры.

On the experience of use of the regional numerical weather forecast models for Ukraine in UkrNIGMI. Tymofeyev V.E.

Prognostic abilities of the different versions of WRF models, including non-hydrostatic (NMM) are compared. Models' biases of the main meteorological variables in the short-term forecasts are defined, Individual case studies are analyzed. Optimal use of prognostic information to improve the quality of forecasts are shown.

Keywords: regional model, short-range forecast, parameterization schemes, pressure gradient, temperature forecast.