

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ" ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ КАТЕДРА "МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА"

ДИПЛОМНА РАБОТА

За придобиване на образователно-квалификационна степен бакалавър

на

Виктория Любомирова Клещанова

Фак. № 80137

ТЕМА: Свръхкраткосрочна прогноза на времето

РЪКОВОДИТЕЛ КАТЕДРА..... НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ...../доц. д-р. Н. Рачев/ /доц. д-р Г. Герова/

РЕЦЕНЗЕНТ:..... / гл. ас. д-р. В. Данчовски /

НАУЧЕН КОНСУЛТАНТ:...../Цв. Димитрова/

СОФИЯ, 2016

Изқазвам сърдечната си благодарност на научния ми ръқоводител доц. д-р Гергана Герова, на научния ми қонсултант Цветелина Димитрова за непреқъснатото внимание и помощ при изработқата на настоящата дипломна работа.

СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД	4
_ГЛАВА 1 СВРЪХКРАТКОСРОЧНА ПРОГНОЗА НА ВРЕМЕТО	6
1.1 Видове прогнози	6
1.2 Какво е свръхкраткосрочна прогноза и защо е нужна?	7
ГЛАВА 2_СИСТЕМА ЗА СВРЪХКРАТКОСРОЧНА ПРОГНОЗА INCA	12
2.1 Източници на данни	14
2.1.1 Числен модел за прогноза на времето	14
2.2.2 Измервания от наземни метеорологични станции	15
2.2.3 Наземна мрежа с много висока гъстота от станции (WegenerNet)	16
2.2.4 Радарни наблюдения	
2.2.5. Сателитни наблюдения	
2.2.6. Данни за надморска височина	19
2.2.7. Топографски данни	19
2.3 Диагноза на метеорологичните елементи чрез системата INCA	
2.3.1. Температура и влажност	
2.3.2. Вятър	
2.3.3. Облачност	
2.3.4 Валеж	
2.3.4 Вид на валежа	
2.4 Прогноза на метеорологичните елементи	
2.4.1 Прогноза на температура и влажност	
2.4.2 Прогноза на вятър	
2.4.3 Прогноза на облачност	
2.4.4. Прогноза на валеж	39
ГЛАВА З_АЛГОРИТМИ ЗА КОМБИНИРАНЕ НА МЕТОДИ ЗА ПРОГНОЗА	
3.1 Алогритми за комбиниране на методи за прогноза	
3.2 Пример за комбиниране на вероятностни прогнози	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА	
ПРИЛОЖЕНИЕ	51
Таблица П2:	53
Таблица П3: Продължение на таблица П2 Error! Bookmark not	lefined.

Списък на фигурите

1.	Типичен размер и продължителност на метеорологичните явления в различните								
	мащаби 8								
2.	Стопански и обществени дейности, потребители на СК прогноза на времето 8								
3.	Снимка на градови зърна от градушката на 8 юли 2014г 9								
4.	Снимки на последствията от градушката в София на 8 юли 2014 г 9								
5.	Приложения на системата INCA за крайни потребители 10								
6.	Компоненти на системата за свръхкраткосрочна прогноза INCA 11								
7.	Моделна област и топография на ALADIN-AUSTRIA 14								
8.	Разположение на наземните станции TAWES 15								
9.	Станции, използвани оперативно в INCA 16								
10.	Топография, използвана в INCA 19								
11.	Долна граница на земната повърхност на долината, получена в INCA 19								
12.	Индекс на повърхностен слой ISFC 20								
13.	Низходяща екстраполация на температурния профил в алпийските долини 22								
14.	Разликата между отчетената при наблюдение температура и първото								
	предположение								
15.	Разликата между отчетената при наблюдение температура и първото								
	предположение								
16.	Пример за анализ с INCA на влажност 24								
17.	Пример за анализ на вятъра на височина 10 m от INCA. 24								
18.	Комбиниран анализ на облачност на 02.11.2004 г, 13 UTC 26								
19.	Метод на обработка и контрол на валежите в системата INCA 27								
20.	Оперативна област на INCA, орография и дъждомерни станции								
21.	Пример за анализ на валеж								
22.	Пример за анализ на температура в INCA, валеж и получените видове валеж 35								
23.	Абсолютната грешка в прогнозата на температура от ALADIN и INCA 37								
24.	Анализ на инсолационната част SP								
25.	Основни вектори на движение за екстраполация на SP анализи на								
	полета								
26.	SP свръхкраткосрочни полета на 17.01.2006 г 39								
27.	Филтриране на векторите на движение								
28.	Времева валидност на методите за прогноза								
29.	Пример за комбинирана прогноза за валеж								
30.	Тегловни функции за комбинираните вероятности								
21									

УВОД

Свръхкраткосрочната прогноза на времето е известна още от 19 век, когато през 1860 г. адмирал Фицрой подава първата прогноза в метеорологичната служба. Той я прави въз основа на събрани сведения за бури от крайбрежието, и след това ги споделя с пристанищата. Основавайки се на посоката на вятъра, се прогнозира дали настъпва лошо време. Това е една проста форма на прогнозиране.

120 години по-късно, на първата конференция по свръхкраткосрочно прогнозиране през 1981 година, професор Keith Browning използва за първи път терминът свръхкраткосрочна прогноза (nowcasting) като: детайлно описание на текущото състояние на времето и предвиждане на промените в следващите няколко часа.

Според Световната метеорологична организация (СМО) 90 % от всички бедствия са поради лоши метеорологични условия. Това обяснява защо в последните години се наблюдава изключително нарастване на търсенето, както в публичния, така и в частния сектор, на висококачествени свръхкраткосрочни прогнози (до 6 часа) за различни метеорологични елементи – температура, вятър, радиация и валежи. Планирането на транспорта все повече се основава на метеорологични прогнози.

В широк смисъл, свръхкраткосрочното прогнозиране допринася за:

- ▶ Намаляване на смъртните случаи и нараняванията, поради опасно време;
- > Намаление на щети на частни, обществени и промишлени на имущества;
- Подобрена ефективността и икономии за промишлеността, транспорта и селското стопанство.

Метеорологичните служби са изправени пред предизвикателството за издаване пред широката общественост на подобрени метеорологични предупреждения с висока честота на обновяване и с по-точно определяне на района. За период до 6 часа е възможно да се прогнозират с необходимата точност малки по-мащаб събития, като например отделни бури. Използвайки най-новите радарни, сателитни и от наземни наблюдения данни метеорологът е в състояние да направи анализ на дребномащабни явления, развиващи се над малка територия, като например град, и да направи точна прогноза за следващите няколко часа. Следователно това е мощен инструмент за предупреждение за опасни метеорологични явления, включително тропически циклони, бури и торнада, наводнения, мълнии и разрушителни ветрове. С цел да се задоволят всички тези изисквания, за подобряване на прогнозите, са разработени различни системи за анализ и прогноза. Една от тези системи, разработена в Австрия, е Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA). Тя е пространствено квази-непрекъсната, т.е. работи с висока резолюция. Взимат се под внимание, доколкото е възможно, всички налични източници на данни, като: 1) резултати от модели, 2) данни от наземни станции за наблюдение, 3) радарни и сателитни данни, 4) аерологични данни и др., които да се използват за изграждане на физически последователни анализи на атмосферните полета. Методологията на INCA е полезна в области, където радарно покритие е лошо, но плътността на наземната метеорологична мрежа е добра, особено планинските райони.

Системите за свръхкраткосрочни прогнози подпомагат метеоролозите в синтезирането на дневния поток от информация, но със сигурност нито могат, нито са предназначени да ги заменят. В случай на метеорологични предупреждения, се издават предупреждения само след решение на метеоролога и контролен процес.

Тема на настоящата дипломна работа са съвремненните системи за свръхкраткосрочна прогноза на времето.

Дипломната работа се състои от увод, три глави, заключение, литературна справка и приложение.

Първа глава дава представа за видовете прогнози, като по-подробно е дадена информация за свръхкраткосрочните прогнози и ситеми.

Във втора глава е направено описание на широко използваната в Европа система за свръхкраткосрочните прогнози INCA.

В трета глава е направено кратко описание на алгоритмите за комбиниране на методи за прогноза и на ансамблови свръхкраткосрочни прогнози.

В заключението са направени изводи и са предложени насоки за използване на методите в България.

ГЛАВА 1

СВРЪХКРАТКОСРОЧНА ПРОГНОЗА НА ВРЕМЕТО

1.1 Видове прогнози

Метеорологичното време се характеризира чрез съвкупност от параметри (величини), определящи състоянието на атмосферата. Прогнозирането на времето се състои в определяне на пространственото разпределение на тези величини след някакъв интервал от време, като се познава това разпределение в началния момент.

Основните елементи, които характеризират времето, са налягане, температура, влажност, вятър (посока и скорост), облачност и валежи, видимост (и др.). Освен тези величини трябва да се познават и характеристиките на подложната повърхност: свойствата на почвата (температура, влажност) и свързаната с тях трансформация на въздушните маси; особеностите на терена и др.

Наблюденията, включително предварително обработените (осреднени, интерполирани и т.н.), са *изходните данни*, които се използват при прогнозата.

Изходен момент за прогнозата е последният срок на наблюдение, резултатите от измерванията/наблюденията в който са включени в изходните данни. При съставянето на прогнозата се използват и данни от предишни срокове. Моментът на съставяне на прогнозата е този, в който тя е готова за предоставяне на потребителите. Дължината на периода от изходния момент до момента на съставяне на прогнозата зависи от организацията на събирането на данните от наблюденията, от бързината на обработката им (например нанасянето на данните върху синоптичните карти и анализирането на картите), от бързината на съставянето на прогнозата.

Според мястото, за което се отнасят, метеорологичните прогнози се разделят на:

- прогнози за пункт град, летище и други;
- прогнози за район географски, административен;
- прогнози по маршрут.

Според предназначението си метеорологичните прогнози са общи и специализирани (Сиракова, 2009). Общите прогнози са предназначени за широк кръг потребители и съдържат най-общи сведения за бъдещото състояние на времето. Такива са например прогнозите, излъчвани по радиото и телевизията и публикувани във вестниците. Специализираните прогнози се разработват за конкретни потребители, като се отчита спецификата на тяхната дейност. Те съдържат детайлна и конкретна характеристика на онези метеорологични елементи, които представляват интерес за съответния потребител. Така например в авиационните прогнози особено внимание се отделя на облачността, явленията, намаляващи видимостта, опасните явления (силен вятър, гръмотевични бури и др).

В зависимост от вида на прогнозираната характеристика на времето прогнозите могат да бъдат количествени и качествени (Сиракова, 2009). Количествени са прогнозите за метеорологичните елементи, т.е. за онези метеорологични величини, които могат да се измерват и се изразяват количествено. Качествените прогнози могат да се отнасят за метеорологичните явления, т.е. за онези метеорологични величини, които не се изразяват количествено; могат да се отнасят и за различни метеорологични елементи, ако не се интересуваме от стойностите им, а само от това дали ще настъпят или не, т.е. ако ги разглеждаме като явления.

Интервалът от време, за който се отнася прогнозата, се нарича *срок на прогнозата*. В зависимост от него прогнозите се делят на:

- дългосрочни за месец, сезон;
- *средносрочни* за 3, 5-7, 10-12 дни;
- краткосрочни до две денонощия;
- *свръхкраткосрочни* до 6 часа.

1.2 Какво е свръхкраткосрочна прогноза и защо е нужна?

Свръхкраткосрочната (СК) прогноза се прави за период от 0 до 6 часа. Пространственият мащаб, който обхваща СК прогноза е не повече от няколко километра (1-3 км) с чести актуализации на данните (5-10 минути). На фигура 1 е показан типът на метеорологичните явления, обект на СК прогноза на времето.



Фигура 1: Типичен размер и продължителност на метеорологичните явления в различните мащаби

СК прогноза на времето е изключително важна за различни стопански дейности (фигура 2): авиация, транспорт, строителство, поддръжка на пътища, както и организация на културни мероприятия като концерти и спортни събития например.



Източных www.vegetarianbuffalo.com

Фигура 2: Стопански и обществени дейности, потребители на СК прогноза на времето

Източник: www.tt.com

Източных: www.land-oberoesterreich.gv.at

Особено място в свръхкраткосрочното прогнозиране заема градушката. Един пример е бурята и апокалиптичната градушка от 08.07.2014 година над София. Ледени късове, по-големи от орех (фигура 3), чупят прозорци, разбиват фасади и огъват ламарини. Улиците в града се превръщат в реки (фигура 4). Равносметката – 10 000 изпочупени автомобила, над 40 ранени и един загубен човешки живот (http://www.btvnovinite.bg/). Година след градушката потърпевшите продължават да поправят щетите. Общо те възлизат на 200 милиона лева.



Фигура 3: Снимка на градови зърна от градушката на 8 юли 2014г.



Фигура 4: Снимки на последствията от градушката в София на 8 юли 2014 г.

Свръхкраткосрочната прогноза се изготвя с помощта на различни методи. Разнообразието на методите и системите е необходимо, заради различните нужди на потребителите - различните продукти, от които те се нуждаят; разнообразните околни среди, в които те се намират. Системата INCA например намира приложение в безопастността на движение по пътищата, в хидрологията и в гражданската защита. Използва се от доставчиците на електроенергия. С нейна помощ се моделират свлачища, опасни явления и др. На фигура 5 са показани тези приложения. За нуждите на хидрологията са неоходими много чести актуализация на валежа, на всеки 5 min. С помощта на INCA се подобрява прогнозата за гръмотевични бури и свързаните с тях наводнения (Kann, 2014). INCA подпомага прогнозата на слънчева радиация за нуждите на захранване, особено в диапазона на свръхкраткосрочната прогноза (до 6 часа). Системата INCA генерира и продукти, свързани с условията в приземния слой на атмосферата, който е особено важен през зимния период и е свързан с опасността от натрупване на сняг, заледявания на пътя и последващи катастрофи, които не са избегнати и до днес.



Фигура 5: Приложения на системата INCA за крайни потребители.

Системата INCA се използва от 6 метеорологични центъра в Австрия (ZAMG), Унгария (OMSZ), Република Чехия (CHMI), Словения (ARSO), Швейцария (MeteoSwiss), Италия (OSMER FVG). Използваните в INCA данни са от различни източници и включват географска информационна система, числени модели, наземни наблюдения, аерологични сондажи, спътници, радари (фигура 6). Тези данни преминават през качествен контрол, интеграция и оптимизация преди да генерират продукти за свръхкраткосрочната прогноза на времето. Детайлно описание на различните обработки и продукти на системата се намира в глава 2.



Фигура 6: Компоненти на системата за свръхкраткосрочна прогноза INCA.

ГЛАВА 2 СИСТЕМА ЗА СВРЪХКРАТКОСРОЧНА ПРОГНОЗА INCA

В настоящата глава са описани елементите на една от най-широко използваните системи за прогноза на времето INCA (Таблица 1). В австрийският метеорологичен институт (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG) INCA се базира на радарни и сателитни наблюдения, автоматични станции, числени модели ECMWF/ALARO. Те се актуализират на всеки 5-15 минути за валеж, 15 минути за облачност и 60 минути за други параметри. От наблюденията се получава информация за валежи, облаци, температура, краткотрайни валеж или градушка, температура на земната повърхост, граница на снеговалеж/замръзване. Информация за конвективни клетки и свързани продукти (ковективен валеж и порив на вятър) на всеки 15 минути. Времевият обхват на прогнозата е 2 часа за екстраполиране, 2 до 6 часа за съчетаване на данни, 6 до 48 часа при числени модели. Хоризонталният мащаб е 1х1 км.

В INCA наблюденията винаги се комбинират. В таблица 2 са представени етапите на СК прогноза за валеж, облачност, вятър, температура и влажност.

	Валеж	Облачност	Вятър	Температура и влажност
Диагноза	Радарни данни	Сателитни данни	Числена прогноза (ALARO5)	Числена прогноза (ALARO5)
Метод на свръх- краткосрочна прогноза	Екстраполация с вектора на движение	Екстраполация с вектора на движение	Изминал момент + числена интерполация	Изминал момент + числена интерполация
Числена прогноза	ALARO5 + ECMWF	ALARO5	ALARO5	ALARO5
Валидност на прогнозата	6 часа	6 часа	6 часа	3 до 12 часа (в зависимост от устойчивостта)

Табица 2: Етапи на свръхкраткосрочна прогноза на времето за различните метеорологични елементи

Таблица 1. Система за прогноза на времето INCA	
--	--

Име на системата	Страна (институт)	Използвани данни/модели	Честота на актуализация	Краен продукт	Времеви обхват на прогнозата и хоризонтален мащаб
INCA	Австрия (ZAMG)	Радарни, спътникови данни, автоматични станции, числени модели (ECMWF/ALARO)	5-15 минути за валеж; 15 минути за облачност; 60 минути за други параметри	Валежи, облаци. Други: Температура, краткотрайни валеж или градушка, температура на земната повърхност, граница на снеговалеж/замръзване. Информация за конвективни клетки и свързани продукти (ковективен валеж и порив на вятъра) на всеки 15 минути. Вероятността на тази система о в процес на развитие и се основава на информация от мезомащабни числени модели (LAM- EPS)	2 часа: екстраполиране 2 до 6 часа: съчетаване на данни; 6 до 48 часа: числени модели 1х1 км
	Унгария (OMSZ)	Радарни данни, автоматични станции, числен модел (ECMWF/ нехидростатичен WRF)	60 минути	Валежи, температура, вятър, порив на вятъра, конвективни параметри	б часа 1х1 км
	Чехия (CHMI)	Радарни данни, спътникови данни, автоматични станции, числен модел (ALADIN), сондажи	10 минути	 За водосборни басейни: 1) Оценка на количествата валеж: валежи за всеки 10 мин. и за всеки 1,3,6,24 часа 2) Прогноза на количествата валеж Също така: Температура, вятър 	QPF до 3 чада 1х1 км
	Словения (ARSO)	Радарни данни, спътникови данни, автоматични станции, числен модел (ALADIN), NWCSAF, AMV	60 минути; 30 минути за валежи	Виж ZAMG INCA-CE	12 часа
	Швейцария (Meteo Swiss)	Радарни данни, автоматични станции, числен модел (Cosmo-2)	10 минути за валеж; 60 минути за други	Насочен към хората със смартфони. Индекси на конвекция и видове валеж и прогноза за количество валеж за следващите 6 часа. Температура,относителна влажност, порив на вятъра	1 час: екстрапо- лация (валеж) 1 до 6 часа: съче- таване на данни; 1х2 км
	Италия (OSMER FVG)	Радарни, автоматични станции, числен модел (ALARO-5-LAM)	60 минути	Валеж на всеки 15 минути	24 часа; 1х1 км

2.1 Източници на данни

2.1.1 Числен модел за прогноза на времето

За триизмерен анализ на температура, влажността и вятъра, числената прогноза на полетата осигурява първото предположение, върху което се наслагват корекциите, направени въз основа на наблюдения. За тази цел се използват изходните данни върху определената от модела ALADIN площ, която се управлява оперативно в ZAMG от 1999 година насам. Полетата, използвани в числените модели са почасови, с резолюция 9.6 km и са разделени на 45 нива във вертикално направление (Wang et al., 2006). INCA може да използва и друг числен модел, например в швейцарският вариант (INCA-CH), се използват полетата от модел COSMO.

В ZAMG прогностичният модел ALADIN се стартират четири пъти на ден (00, 06, 12 и 18 UTC). В 00 и 12 UTC прогнозите са до +72 h, а тези в 06 и 18 UTC — до +60 h. Обработените полета са на разположение приблизително 4 часа след анализа. Полетата, използвани в ALADIN от системата INCA са геопотенциал, температура, относителна влажност, u, v и w компоненти на вятъра (тримерни полета), температура и относителна влажност на височина 2 метра, u, v компонентите на вятъра на 10 метра, валеж, облачност, ниска облачност и температура на земната повърхност (двумерни полета). Тримерните полета се получават на различни барични нива с вертикална резолюция 50 hPa от земната повърхост до 600 hPa, и резолюция 100 hPa над 600 hPa. Областта, обхваната от ALADIN е показана на фигура 7.



Orography ALADIN-AUSTRIA

Фигура 7: Моделна област и топография на ALADIN-AUSTRIA. Хоризонталната резолюция е 9.6 km.

2.2.2 Измервания от наземни метеорологични станции

Най-важният източник на данни за системата INCA са наземните станции. Институтът ZAMG управлява мрежа от приблизително 200 автоматични станции (Teilautomatisches Wetterstationsnetz, TAWES), в цялата страна. Във вертикално направление тази мрежа обхваща най-добре топографията на Австрия, с най-високо разположени станции 3440 m (Brunnenkogel) и 3105 m (Sonnblick). Въпреки, че разпределението на станциите е фокусирано в долинните райони, има достатъчно голям брой планински станции, данните от чиито наблюдения се използват за подобряване на триизмерни корекции на полетата, получени от числения модел. Гъстотата на станциите (фигура 8) до около 1500 m височина съответства на съотношението на надморската височина и топографията. На по-голяма височина, гъстотата на станциите е по-малка от необходимата.

ТАWES станциите правят измервания на всяка минута. Данните се изпращат до ZAMG на всеки 10 минути. За анализ на валеж в системата INCA, който се обновява на 15 минути, количеството валеж, получено във всяка минута се сумира. Метеорологичните наблюдения, използвани в INCA са температура на 2 m височина, относителна влажност и точка на оросяване (измерени независимо), вятър на 10 m височина, количество валеж, количество валеж на минута и слънчева радиация, достигнала до Земята.



Фигура 8: Разположение на наземните станции TAWES

В системата INCA все повече се използват данни и от други наземни метеорологични станции. Така например хидрологичната служба на Австрия управлява мрежа от хидрометеорологични станции, от които приблизително 150 могат да осигурят данни за анализ на валеж и температура в реално време всеки 15 минути. Хидрометеорологичните станции на провинциите Южна Австрия, Залцбург, Тирол и Каринтия са интегрирани в системата за оперативен анализ на валежа. Това дава приблизително двукратно повишаване на плътността на станциите в тези области (фигура 9a). За почасови анализи на температурата и влажността, синоптичните станции в съседните страни дават толкова добри резултати, колкото хидрологичните станции в Южна Австрия, Залцбург, Тирол и Каринтия (фигура 9б).



Фигура 9: Станции, използвани оперативно в INCA: a) за 15 минутен анализ на валеж (TAWES станции + хидрологични станции); б) за едночасов анализ на температура и влажност (TAWES станции + синоптични станции + хидрологични станции).

2.2.3 Наземна мрежа с много висока гъстота от станции (WegenerNet)

Това кратко описание на мрежата от станции, управлявана от център Wegener за климатични и глобални промени към университета в Грац, Австрия, е базирано на Kirchengast et al. (2014) и Kabas (2012), където може да бъде намерена допълнителна информация. Мрежата Wegener съдържа 151 метеорологични станции в рамките на площ от около 20 km \times 15 km в югоизточната част на Щирия, Австрия (в близост до град Фелдбах, 46.93° N, 15.90° E), регион с висока изменчивост на метеорологичното време (Kabas et al., 2011а, б). Станциите са разположени на разстояние 1.4 km x 1.4 km една от друга и измерват температурата на въздуха, относителната влажност и количеството валеж. Някои станции правят и допълнителни измервания на вятъра и на параметри на почвата. Освен това, атмосферното налягане и слънчевата радиация се следят от една референтна станция. Събраните данни се обработват от автоматична WegenerNet Processing System (WPS). Необработените данни се съхраняват от интернет регистратори (GeoPrecision GmbH, Germany; www.geoprecision.com) и се прехвърлят чрез GPRS до базата данни на Wegener центъра. Предаването по GPRS се извършав

през час от подгрупи на 30 станции, които прехвърлят данни чрез натрупване на всеки 5 минути през първата половина от часа.

Входящите файлове се съхраняват в база данни и се проверяват от система за контрол на качеството (СКК). СКК се стартира почасово и проверява наличността и коректността на всяка една от всичките 151 станции, както и техническата и физическата правдоподобност на измерванията в осем степени за качествен контрол (КК), представени в таблица 3 (Kann et al., 2015).

Степените за КК 0 и 1 проверяват наличието на данни; КК в степени 2, 5 и 7 е доста често срещан и проверява границите и отклоненията на данните, а междинния КК на степен 6 се използва за откриване на неправдоподобно висок скок на стойности на параметрите между станциите и е уникален за такъв тип гъста мрежа. Относно даннита за валеж, степените 2, 4, 5 и 6 са ключови: степен 4 отделя много по-високите стойности от определените климатични граници, степен 5 открива несъответствия между данните от дъждомери и отделните станции. Степен 6 открива частично или напълно блокирани фунии на дъждомерните станции и силните струи при отблокирванена фунията на дъждомера и общи необичайни отклонения от съседните станции. Ако всички КК степени са преминали успешно, данните се проверяват от степен 0, която дава най-високо качество. Допълнителна информация относно КК и всички направени проверки могат да бъдат открити в Kirchengast et al. (2014) and Scheidl (2014). Индивидуалните измервания във всяка станция се използват от генератор на данни, който ги трансформира в регулярна мрежа 200x200 m. Впоследствие наблюденията от станциите, получени на всеки 5 минути се осредняват (сумират за валеж) за различни метеорологични и климатични продукти (от половин час до една година).

Степени на качествен контрол	Описание
0: Проверка на различията в работата на станциите	Порверява дали станцията работи постоянно
1: Проверка за наличността на данни	Проверява дали очакваните данни от сензора са налични
 Проверка за функционирането на сензорите 	Проверява дали измерените стойости не надхвърлят определения диапазон от техническите спецификации на сензора
 Проверка за климатичната правдоподобност 	Проверява дали измерените стойости отчитат много високи или много ниски стойности
5: Проверка за съгласуваността на данните в една станция	Проверява дали измерената стойност съответства на определените параметри
6: Провекза за съгласуваността на данните между станциите	Проверява дали измерените стойности се различават много от тези, получени от останалите станции
7: Сравняване на данни от различни източници	Проверява (за налягане) дали измерените стойности се различават много от тези от ZAMG

Таблица 3: Степени на качествен контрол на данни в WegenerNet

2.2.4 Радарни наблюдения

Австрийската радарна мрежа се управлява от ръководството на гражданската авиация. Тя съдържа четири радарни станции, локализирани на летището във Виена, близо до градовете Залцбург и Инсбрук (в планината Пачеркофел), и в Североизточна Каринтия (в планината Зирбитскоагел). ZAMG оперативно получава двумерни радарни продукти, синтезирани от тези четири радара, съдържащи данни за максимални стойности в 14 степенна скала, при времева резолюция 15 минути. Грешките, породени от подложната повърхност са премахнати от данните. Въпреки това, поради планинския характер на страната, радарните данни са с ограничена приложимост в голяма част от Западна Австрия, особено през зимата, когато валежите могат да бъдат породени и от ниски облаци.

2.2.5. Сателитни наблюдения

Сателитните продукти на второто поколение на Meteosat (Meteosat Second Generation-MSG), използвани в INCA, са продукт "видове облаци", който се състои от 17 категории, и снимки във видимия спектър (VIS). Видът на облачността се разделя на три нива (ниски, средни, високи), както и на различни степени на непрозрачност. Също

така се определя дали облаците са конвективни или слоести. Изображенията във видимият канал се използват за намаляване мащаба на сателитните снимки на облаците, получени в инфрачервения спектър (и по този начин да подобри резолюцията) през деня.

2.2.6. Данни за надморска височина

Топографията 1x1 km, използвана в INCA (фигура 10), е получена чрез билинейна интерполация през 30 секунди географска ширина и дължина. Резолюцията от 30 секунди съответства на ~930 m по географска ширина и ~630 m (при 48°N) по географска дължина.



Фигура 10: Топография, използвана в INCA

2.2.7. Топографски данни

За екстраполация на тримерните прогностични полета от модел ALADIN в долините, "долната граница на земната повърхност" се извлича от базата данни за надморска височина (фигура 11). Тя представлява мезомащабна средна височина на долината и се изчислява като се отдели всяка точка от мрежата на минимална височина в радиус от 10 km. Получените полета се изглаждат с плъзгащо средно в област от 20х20 km.



Фигура 11: Долна граница на земната повърхност на долината, получена в INCA.

Друго получено топографско поле е безразмерният индекс на земната повърхност I_{SFC} (фигура 12), който варира между 0 и 1. Той се използва за анализи на температура и влажност и характеризира степента, до която местният терен подпомага формирането на обособен приземен слой. Определя се, както следва: първо, за всяка точка от мрежата се определя средната топографска височина в квадрат 7х7 точки (6х6 km²), центриран около всяка точка от мрежата, но се взимат само за тези точки в рамките на ограничената област, които са на по-ниска надморска височина от тази на точката от мрежата.



Фигура 12: Индекс на повърхностен слой I_{SFC}, базиран на разликите между локалната надморска височина и средната надморска височина на по-ниско лежащите точки (в хоризонтално направление).

2.3 Диагноза на метеорологичните елементи чрез системата INCA

2.3.1. Температура и влажност

Тримерният анализ на температура и влажност в системата INCA започва с прогноза от числения модел ALADIN като първо предположение (Haiden et al., 2010). Първото предположение се коригира въз основа разликите между наблюденията и прогнозата в наземните станции. Тъй като наблюденията във всички станции се правят близо до земната повърхност, е важно да се вземе под внимание "излишъкът" на температурата през деня и "дефицитът" през нощта в приземния слой при интерпретацията на тези различия. Така прогнозираната от ALADIN температура на 2 m височина е разделена в "3-d", или моделна част, и в "2-d", или приземен слой.

$$\Gamma^{ALA} = TL^{ALA} + DT^{ALA}, \tag{1}$$

където Т^{ALA} е стандартната температура на 2 m височина, прогнозирана от ALADIN, а TL^{ALA} е температурата на най-ниското моделно ниво. В практиката се работи с "3-d" изходни данни на нивата на налягането, а TL^{ALA} се изчислява чрез интерполиране на прогнозираната 3-d температура вертикално до височината на моделната топография. Разликата DT^{ALA} между двете температури е температурния "излишък" (или "дефицит") при земята. Аналогично на формула (1) разделяне е направено и за специфичната влажност.

За да се изгради първо предположение, прогнозите от ALADIN за температура и специфична влажност върху нивата на налягане са интерполирани тримерно в триизмерна INCA мрежа. Специално внимание се обръща на алпийските долини, защото голяма част от атмосферата в долината под нивото на билото не е представена в модела ALADIN. Това се дължи на неговата резолюция (9.6 km) и е усложнено от факта, че се използва изгладена орография. Първото предположение, използвано при температурата в тези части на планините се определя чрез насочване на температурния профил към по-ниско лежащо ниво (фигура 13), като се определя температурният градиент за тази низходяща екстраполация.



Фигура 13: Низходяща екстраполация на температурния профил в алпийските долини.

Следващата стъпка е пресмятане на корекциите от първото предположение въз основа на разликите между температурата от наблюдения и тази, прогнозирана от ALADIN в наземните станции. Подобно на даденото във формула (1) тези корекции са разделени на "3-d" и "2-d" части

$$\Delta T = \Delta T L + \Delta D T \tag{2}$$

Докато в модела ALADIN разделянето във формула (1) е непряко, то във формула (2) трябва да бъде направено разделянето на корекциите. Въпросът може да бъде поставен така: ако има разлика между температурата от наблюдение и прогнозната в наземните станции (фигура 14), до каква степен тя се отразява върху грешката в прогнозата, така че да продължи да се наблюдава и на по-високи нива и до каква степен това е грешка в прогнозата в рамките на приземния слой? Тук се използва принципът на "минимално необходима корекция". Предполага се, че грешката в прогнозата е ограничена в приземния слой, доколкото това предположение е физически правдоподобно. Само ако грешката в прогнозата е твърде голяма, за да бъде обяснена единствено от различията в приземния слой, тогава част от нея се класифицира като 3-d моделна грешка на даденото ниво.



Фигура 14: Разликата между отчетената при наблюдение температура и първото предположение може да бъде ограничена в слоя при земята (пунктираната крива в ляво), но може също така да се разшири по-високо (пунктираната линия в дясно)

Като следваща стъпка, останалите разлики, дължащи се на влиянието на земната повърхност, се определят от

$$\Delta DT_{k} = T_{k}^{\text{Ha6}\pi} - TL_{k}^{\text{INCA}}$$
(3)

и се интерполират хоризонтално, като се използва модифицирана обратна тегловна функция, която отчита разликата между коефициентите на преобразуване в точката от решетката (i, j) и мястото на k-тата станция. Накрая, анализът на температурата на 2 m височина се получава чрез добавяне на корекция за приземния слой към коригираните моделните нива на полето на топографска височина z.

$$T^{INCA}(\mathbf{I}, \mathbf{j}) = TL^{INCA}(\mathbf{I}, \mathbf{j}, \mathbf{m}(\mathbf{z})) + \Delta DT(\mathbf{I}, \mathbf{j})$$
(4)

Цялата процедура възпроизвежда наблюдаваните стойности в станциите в рамките на 0,1 - 0,3 К. В случаите, когато станциите са само на няколко километра една от друга и се наблюдават големи разлики в температурата, разликата ще бъде по-голяма, но пак ще е по-малка от 1 К.

Процедура, аналогична на тази, описана за температурата, се използва и за специфичната влажност. Примери на получени от INCA полета на температурата и влажността на височина 2 m са представени на фигури 15 и 16. На фигура 15 се вижда се разликата между северните и южните алпийски долини. Също така, в източните долини от северната страна все още има студени въздушни течения, докато долините Ин и Рейн вече са по-топли. Най-високите температури са регистрирани по склоновете над студените въздушни течения. На фигура 16 е показана относителната влажност височина 2 m. Типично за есента, има голяма разлика между студен влажен въздух в долините и много сух във височина. Виждат се разликите между долината Рейн на запад, където относителната влажност е висока и долината Ин, където все още е много по-сухо.

Получените от кръстосано валидиране резултати, осреднени за устойчиви и неустойчиви условия, показват, че средната абсолютна грешка при анализа е 1 - 1.5 К в низините, полупланинските райони и в откритите планински места и 1.5 – 2 К в планинските долини. При условия на добро смесване в планетарният граничен слой средната абсолютна грешка е под 1 К, както и в равнинните и планинските райони, и достига стойности 0.5 К в области с добро покритие от станции. Най-големи грешки се получават в дълбоките планински долини при стабилна устойчивост. Недоброто познаване на височината на студените въздушни течения води до голяма изменчивост на температурата, зависеща от това дали станцията е все още в обсега на студения въздух или вече не е, например поради фьон.



Фигура 15: Пример за анализ с INCA на температура по време на фьон (21.11.2007, 08 UTC).



Фигура 16: Пример за анализ с INCA на влажност (29.10.2005, 13 UTC).

2.3.2. Вятър

Подобно на анализа на температурата и влажността, и този на полето на вятъра е тримерен и се базира на полетата, получени от ALADIN като първо предположение. Прогнозата за вятър в ALADIN, интерполирана в мрежата на INCA, се използва като фоново поле, върху което се наслагват и интерполират наблюдаваните изменения. Както в случая на температура и влажност разделянето се прави между тримерните моделни нива на стойностите на скоростта на вятъра и двумерната моделна скорост на вятъра на височина 10 m. Последното се изчислява от числния модел чрез интерполация, използвайки граничния слой между най-ниското моделно ниво и земната повърхност. Както и при температурата, моделните нива на вятъра се интерполират тримерно до топографската височина в INCA. Отчетеният вятър в станцията е този на 10 m височина (фитура 17). Затова за да се определи разликата между моделното ниво и наблюденията, трябва да се пресметне коефициент f₁₀, който

превръща моделните нива в нива на 10 m височина. Въз основа на съотношението между вятъра на височина 10 m и моделното ниво в ALADIN, за този коефициент е получена средна стойност приблизително 0.75. Тази стойност се използва оперативно при по-ниските нива и в долините. На по-високите нива на долината, където теренът е по-открит, този коефициент може да се увеличи до 0.9.



Фигура 17: Пример за анализ на вятъра на височина 10 m от INCA. Цветовете дават скоростта на вятъра, а векторите показват посоката. а) анализ за цялата площ, анализирана чрез INCA б) анализ върху площта на езерото Нойзидлер. Над езерото, анализираните скорости на вятъра на 10 м височина обикновено са 10-20 % по-високи поради еднородността на водната повърхност.

2.3.3. Облачност

Анализът на облачността чрез INCA е всъщност анализ на инсолационният¹ коефициент S_p , базиран на наблюдения в станциите, използвайки сателитни данни за вида на облаците за пространствена интерполация. Подходът е подобен на анализа на валежа в INCA, в смисъл че не се използват изходните данни от численият модел, а наблюденията от дистанционните методи се калибрират чрез наблюдения в наземните станции. Също така, за да се избегнат някои неточности във времето и пространството на сателитните снимки, както и заради наклона на пътя на слънчевия лъч са определени пространствени разлики (5 km) между местоположението на станцията и сателитното изображение. Основната идея е да се направи пространствена интерполация на наблюденията от станциите отделно за всеки набор от станции, които се намират под определен тип облак. По този начин връзката между типа на облачността и инсолацията в даден ден не се нарушава в областите, където граничат различните типове облачност. На полученото поле се прилага изглаждане, съобразено с

¹ Инсолация -количеството слънчева енергия, която се получава върху определена площ за единица време

размера на пространственото отместване между станцията и сателита, описана по-горе. Фигура 18 показва как информацията за типа на облачността подобрява пространствената структура на областта на инсолация в сравнение с тази, получена само от интерполация в станцията. През нощта, когато наблюденията в станцията са еквивалентни на "звездната светлина", полето е просто самият тип на облачността, мащабирано на базата на едногодишен период на отчитане. По този начин, видовете облаци се превръщат в "звездна светлина" на месечна основа с линейна времева зависимост, за да се избегнат прекъсванията в края на месеца.



Фигура 18: Комбиниран анализ на облачност на 02.11.2004 г, 13 UTC. а) Инсолация от интерполация на данните от дадена станция; б) Видове облаци от сателитни данни; в) Данни за облачността в следствие на комбинация от наземни и сателитни данни.

2.3.4 Валеж

Анализът на валежите чрез системата INCA включва данни от радарите и наземната дъждомерна мрежа, както и влиянието на надморската височина. Целта е да се съчетаят количествената точност (в сравнение с радара) на измерванията с дъждомери и пространствената точност на радарните данни. Целта е да се преодолеят най-слабите страни на двата вида наблюдения, а именно ограничената представителност и недостатъчна плътност на дъждомерните станции и количествената несигурност на оценката на валежите валежи чрез радара. Отделните стъпки от анализа са показни на фигура 19.



Фигура 19. Метод на обработка и контрол на валежите в системата INCA.

Анализът се прави чрез седем етапа (Haiden et al., 2011), описани по-долу:

Етап 1: Филтриране на радарните данни

Австрийската радарна мрежа се състои от две радарни станции, разположени в равнинната част на страната и три в планинските райони, управлявани от австрийската авиационна служба (Austro Control). Всеки радар сканира обемно атмосферата в продължение на 5 минути със 16 индивидуални стъпки, съответстващи на различни ъгли във височина, до достигане на ъгъл от 67° и обсег от 224 km (Kann et al., 2015). Всяка радарна станция разполага със софтуерен продукт (MaxCAPPI), даващ максимална радарна отажаемост на постоянна височина. Максималната радарна отражаемост се пресмята от получените данни от обемното сканиране с радара, чрез проектиране на максимална стойност в рамките на вертикален стълб до 2D равнината. Замърсяването на данните от отражение от земна повърхност се коригира чрез доплерова обработка и многопараметрови статистически филтри. Данните от МахСАРРI са предвидени за декартова мрежа с хоризонтална резолюция от 1 km и са класифицирани в 14 класа ("не вали дъжд", 11.8, 14.0, 19.5, 22.0, 26.7, 30.0, 34.2, 38.0,

41.8, 46.0, 50.2, 54.3 и 58.0 [dBZ]). Те са оперативно превърнати в интензивност на дъжда, чрез използване на отношението на Marshall–Palmer: $Z = 200R^{1.6}$ (Marshall и Допълнителни корекции на радарния лъч не се правят, затова Palmer, 1948). резултатите, получени от радара могат да бъдат повлияни от грешки при измерванията, също така и от наличието на линия на топене, отслабване на сигнала, липса на калибровка на радара, случайно намокряне и грешки, дължащи се на неметеорологични обекти. Така например имайки предвид, че в МахСАРРІ винаги се използва максималната стойност във вертикалния стълб, наличието на линия на топене в дъжд от слоести облаци и градушка в гръмотевичните бури водят до надценяване на интензивността на валежа. Други важни аспекти са частичното и пълното екраниране на лъча от орографията и разширяването на лъча с увеличаване на разстоянието от радарната станция. В изследвания район минималната височина, която се вижда от радарната мрежа е около 2000 метра над земната повърхност (фигура 196). Валежите, в близост до земната повърхност, които се измерват с наземни станции, не се отчитат от радарния сигнал. Затова засилването на тези потенциални валежи или на процесите на изпарение и разпределението на големините им, дължащо се на наклона на вятъра, не са отразени. Накрая, фиксираната Z-R връзка, която не се взема под внимание при разнообразното разпределение на валежните капки, и ограничената резолюция на данните в 14 класа, са допълнителни значителни ограничения за прогнозиране интензивността на валежа. Независимо от всичко това MaxCAPPI е най-добрият източник на данни за INCA. Радарните данни имат преимуществото да разпрознават структурата на валежа като цяло, затова тази информация може да се добави към измерванията в наземни точки. INCA използва наблюденията от MaxCAPPI, осигурени от всеки радар и генерира композит като избира най-високата стойност във всяка точка от мрежата.

Етап 2: Климатично мащабиране

2D радарните наблюдения са обобщени до 15 min суми на валежите и чрез билинейна интерполация представени върху INCA мрежата. Първоначалното некоригирано радарно поле е зависимо от разстоянията от радара и съдържа систематични грешки, дължащи се на топографията на релефа. Частична корекция на тези проблеми се постига чрез климатичен мащабен фактор, който е изчислен за всеки месец (М) на годината. Това е съотношението между многогодишно, 3-месечно (от М-1 до М+1) количество валеж получено от интерполация на данните за валежите от наземната мрежа и съответстващо на валежите суми, измерени с радара.

28

Полученото радарно поле чрез климатично мащабиране е пространствено изгладено, за да се намалят ефектите, дължащи се на интензивни, локални валежи. Един от проблемите, свързани с този вид мащабиране е, че в региони, където полето на радарна отражаемост е много слабо, поради екраниране на радарния лъч от планински възвишения, ще се получат произволно високи мащабни фактори, което води съмнителни стойности на валежните суми. Това се избягва чрез налагане на горна граница на мащабния фактор. Друг проблем е, че по-интензивни валежи по принцип се регистрират по-добре и по този начин по-малко се подценяват от радара. За да се предотврати надценяването на такива случаи, мащабният фактор се намалява в полза на радарни стойности.

Етап 3: <u>Промяна на радарното поле и окончателно мащабиране на раданите</u> <u>данни</u>

Климатично мащабираното радарно поле се премащабира на база сравнение между наблюденията от наземните станции и радарното поле над мястото на станцията. Максимално пространствено изместване 4 км в която и да е посока позволява да се вземат предвид ефектите, дължащи се на окончателното разпределение във времето на хидрометеорите, посоката на вятъра и някои неточности при локализация на радарните данни. Ако данните в различен от най-близкия радарен пиксел съвпадат значително подобре с наблюдението от станцията, то в следващите изчисления се използват тези стойности. За всяка наземна станция се пресмята вектор на пространствена промяна и се интерполира в мрежата, използвайки пространствено-тегловен алгоритъм.

Окончателното мащабиране е средна претеглена стойност на отношението между данните за валежа от най-близкия дъждомер и радара, като теглото намалява с увеличаване на разстоянието, с увеличаване на разликата в климатичното мащабиране, и с намаляване на количеството на валежа в съответната станция (свързан с валежа от точката на мрежата). Също така премащабирането, базиращо се на наземните измервания, е важно с цел намаляване на грешките в пространственото разпределение на валежа, дължащи се на различната радарна отражаемост между дъжд и сняг, поради липса на корекция за линия на топене.

Етап 4: Филтриране на данните от дъждомерите

Филтрирането на данните от дъждомерите е свързано с отстраняване на съмнителни данни от измерванията.

29

Етап 5: <u>Пространствена интерполация на данните за количество валеж от</u> <u>дъждомерите</u>

Едноминутните измервания на валежните количества са заменени с еквивалентните им суми за период от 5 или 15 min. Данните от нерегулярната мрежа от дъжодмери се интерполират с помощта на обратно пропорционален тегловен коефициент върху регулярна 1x1 km мрежа на INCA, чрез използване на осемте найблизки станции. Тези измервания са използвани като са осъществени няколко критерия за качествен контрол, включващи времеви контрол, сравнение с радарните данни и съседните станции.

Етап 6: Отчитане влиянието на надморската височина.

Отчитане влиянието на височината е от решаващо значение за реална оценка на пространственото разпределение на валежите в алпийските райони, особено за хидроложки приложения. На базата на обратна връзка от хидроложки симулации, които използват валежните анализи от INCA като входни данни, е възможно да се ограничи и да се оптимизира използваната параметризация. Първата стъпка е създаване на "топография на станциите". Тя е направена въз основа на използваните дъждомерни станции и е изчислена чрез използваната в INCA интерполация.

По същия начин се процедира за валежи в долините, но се използват само тези станции, които са разположени на височина не по-голяма от 300 m над морско ниво. Всяка параметризация на ефекта от височината за кратка продължителност трябва да има възможност да бъде нулирана. Това изисква тя да е по-скоро мултипликативна отколкото комулативна, и се основава на относителен валежен градиент, който е функция на интензивността на валежа (Haiden and Pistonik, 2009). Градиентът по височина се прилага само за наземните наблюдения на валеж и то в само за тези, които не са регистрирани от радара. Това позволява да не бъдат засегнати валежите от многоклетъчни конвективни облаци. Резултатът от параметризацията на височината се вижда на фигура 21, където са сравнени резултатите от интерполация на станциите и крайният анализ в Алпийските области с лошо радарно покритие. Фигура 20 представя оперативната област на INCA и разположението на автоматичните станции и на петте радара.



Фигура 20: а) Оперативна област на INCA, орография и дъждомерни станции, измерващи валеж на всеки пет миути (бели/сини точки). Отбелязано е и местоположението на пет радара (червените триъгълници) в региона, обхванат от WegenerNet (червения квадрат). б) Относителна височина на най-ниския възможен радарен лъч над орографията, комбиниран с мрежата Wegener (червената кутийка) и радарите Rauchenwarth (RAU) and Zirbitzkogel (ZIR) (червените точки).

Етап 7: <u>Комбиниране на интерполираните данни от метеорологични станции и</u> на премащабираните радарни полета

Комбинираните полета се генерират чрез теглови функции между двете отделни полета (от радарите и дъждомерните станциии), което води до по-добро разпределение на валежа в пространството в сравнение с всяко едно от тях поотделно. Колкото поголямо е разстоянието до станцията, толкова по-големи са тегловните коефициенти (мащабирането) на радарните полета (Kann et al., 2015). От друга страна, по-ниското качество на радарните данни, дължащо се на разнообразния релеф накланя повече везната към интерполираните данни от станциите. Освен това, ефектите във височина са параметризирани спрямо увеличаването на валежното количество във височина (Haiden and Pistotnik, 2009). Фигура 20 илюстрира алгоритьма за комбиниране за анализ на валеж на 13.09.2014, 02:40 UTC. Виждат се големите разлики между интерполацията на данните от дъждомерните станции, мащабираното радарно поле и композитния продукт за валежа (фигура 21а, б, в). Важността на финалната комбинация е, че тя намалява разликите между областите, добре покрити от радарите и тези със слабо покритие, поради влиянието на релефа (фигура 21г). В тези области анализът се свежда до интерполация на данните от дъждомерните станции с отчитане на надморска височина.



Фигура 21: Пример за анализ на валеж, базиран на комбинация от наблюдения от дъждомерна мрежа и от радар, за 13.09.2014, 02:40 UTC. (а) Мащабирано радарно поле, (б) Интерполирани измервания от дъждомерна мрежа (TAWES), (в) композитен анализ на валежа и (г) разлики между анализа на валежа, получен от INCA и валежа, определен чрез радарни

измервания (а минус в).

2.3.4 Вид на валежа

Моделът ALADIN предоставя прогнози за течни и твърди валежи на надморската височина, равна на моделната топография. Тази прогноза е с ограничена приложимост в планини и райони с пресечена местност, където моделната топография се различава от действителния релеф. За град Инсбрук, например, разположен на около 600 m надморска височина дава разлика в височина 900 m спрямо топографията в ALADIN (надморска височина 1500 m). В няколко алпийски долини тези разлики достигат до 1500 m Използвайки средната височината на орографията, тези разлики намаляват, но не решава проблема с прогноза на снеговалежа и прогнозирането на наводнения в местата, в които снегът се натрупва върху земната повърхност. Също така това е от решаващо значение за прогноза на състоянието на пътищата относно вземане на мерки за поддръжката им, например разпръскване на сол.

В някои случаи разграничаването между дъжд и сняг не е достатъчно. В случаите когато атмосферата е устойчиво стратифицирана и температурата намалява с височина, границата между валеж от дъжд и сняг е относително тясна. В по-стабилна атмосфера или когато границата на снеговалежа пада на долу, поради ефекти, дължащи се на отделянето на скрита топлина при топене, може да има широк диапазон от височини с температури, близки до 0° С и смесени валежи от сняг и дъжд. Ако вали

дъжд в близък до земната повърхност слой на студен въздух или на земната повърхност с температура на замръзване, ще се образува поледица. Този вид валеж е най-опасният от всички, тъй като може да доведе до огромни последици за транспорта и широкоразпространени структурни повреди в тежки случаи (Rauber и колектив, 1994).

Едно от най-ясно установените нива от ALADIN, което оперативно може да се изчисли извън модела, е границата на снеговалеж. Разликата между дъжд и сняг е базирана на температурата от мокрия термометър t_w , а не на абсолютната температура Т. Добре известно е, че снеговалеж може да падне при температура с няколко градуса над 0° C, ако атмосферата е достатъчно суха. Steinacker (1983) доказва емпирично, че праговата стойност за t_w , която разделя сняг и дъжд е близо до критичната стойност (t_w)_{кр.}= +1.5° C. Това е стойността, която се използва за пресмятане на границата на снеговалеж в ALADIN.

Прогнозата от ALADIN за абсолютна температура (T) и специфична влажност (q) на отделните нива на налягане е интерполирана до мрежата на INCA и екстраполирана в долините. След това, като се започне от най-високата точка на долината, t_w се пресмята на всяко ниво, вървейки надолу. Когато се намери първото t_w > $(t_w)_{kp}$, височината на границата на снеговалежа се пресмята с линейна интерполация между това ниво и горното. Тъй като няма близък аналитичен израз за t_w = f (t, q, p), се използва итеративна процедура с разполовяване на алгоритъма. В случаите, когато границата на снеговалежа е по-ниско от височината на долината, се задава стойност по подразбиране.

Определянето на вида на валежа също се базира на температурата от мокрия термометър. Според проучване на Steinacker (1983) смесица от дъжд и сняг е повероятно да се наблюдава в интервала 0° С \leq t_w \leq +2° С. Под 0° С валежът предимо пада като сняг, а над +2° С като дъжд. Стратификацията на температурата и влажността в приземния граничен слой не позволява да се използват само стойности, измерени близо до земната повърхност. Например, дори при t_w \leq 0° С, когато теоретично пада сняг, може да има по-топъл слой на по-голяма височина, където валежът е напълно стопен и да вали дъжд. Алгоритъмът, който определя вида на валежа, използва както информация, близка до повърхността (температура на 2 m, температура на мокрия термометър от 2 m., температура на земна повърхност), така и информация от повисоко разположени атмосферни слоеве (границата на снеговалеж, определена погоре). 1) $t_w < +2^\circ$ С. В този случай се взема предвид отношението между границата на снеговалеж (zs) и височината на земната повърхност (z). Ако zs – z < -1.5 $\Delta z_{cmecBahe}$, се прогнозира снеговалеж. Ако -1.5 $\Delta z_{cmecBahe} < zs - z < 0.5\Delta z_{cmecBahe}$, се прогнозира дъжд и сняг, а при zs – z $\geq 0.5\Delta z_{cmecBahe}$ – само дъжд.

2) $t_w \ge +2^\circ C. B$ този случай се прогнозира дъжд.

Величината $\Delta z_{\text{смесване}}$, която представлява половината ширина от слоя на смесване, в момента в модела е зададена при постоянна стойност 100 m, но целта е да бъде заменена от действителната стойност на полуширината на слоя на смесване, пресметната от границите $t_w = 0^\circ C$ и $t_w = +2^\circ C$.

В случаите, когато по този начин се прогнозира дъжд, се прави допълнителен тест за леден дъжд. Предполага се, че леден дъжд се образува, ако температурата на въздуха или температурата на земната повърхност е под 0° С. В последния случай, обаче, температурата на въздуха не трябва да надвишава критичната стойност $+2^{\circ}$ С. За да се изясни дали наистина е необходима тази допълнителна "предпазна мярка", са предвидени в бъдеще анализи на случаи на леден дъжд. Анализите на температурата (фигура 22а) на земната повърхност в INCA се базират на наземни наблюдения на температурата на въздуха на +5 сm; температурата на почвата на -10 cm; и температурата на въздуха на 2 m. По настоящем, анализът се използва само за определяне на възможността за образуване на суграшица. Извън обхвата на свръхкраткосрочната прогноза, за прогноза на температура на земната повърхност се използва числен модел (коригиран за съответната надморска височина, спрямо температурата на височина 2 m.).

Изчисленията, описани по-горе, са оперативно приложени в INCA. Данните за валеж (фигура 226) се актуализират на всеки 15 min. Тъй като температурата, влажността на въздуха и температурата на земята се актуализират на всеки един час, се използва линейна интерполация във времето, за да се осигури актуализация на видовете валеж на всеки 15 min (фигура 22в).



Фигура 22: Пример за анализ на: а) температура в INCA, (б) валеж и (в) получените видове валеж. Снеговалежът е означен в син цвят, сняг+дъжд в светлосин, дъжд в зелен, суграшица в червен. В този случай суграшицата е прогнозирана в някои студени въздушни маси, които съществуват във вътрешно-алпийските басейни.

2.4 Прогноза на метеорологичните елементи

2.4.1 Прогноза на температура и влажност

Методът, който се използва, за свръхкраткосрочно прогнозиране на температура е разработен от прилагането му само в една точка. Той обаче се използва в цялата точкова мрежа. Това със сигурност води до съмнение за допускане на грешки в числената прогноза, в зависимост от стратификацията и облачността.

Повечето грешки, допускани в числената прогноза на температурата са следствие от грешки в прогнозата на облачност и грешки, свързани с радиационният баланс на земната повърхност. Ако моделът подцени облачността, промяната на прогнозната температура ще надвиши реално наблюдаваната, и обратно. Предполага се, че грешката в прогнозата на дневна температура f_T може да се свърже с грешката в прогнозата на облачността С_{ERR} чрез линейната връзка

$$f_{\rm T} = 1 + c_{\rm N} \, C_{\rm ERR},\tag{5}$$

където коефициентът с_N е типично в диапазона 0,5 – 0,7. СК прогноза на температура за време t_i се дава чрез рекурсивна връзка:

$$\Gamma_{\text{INCA}}(t_i) = T_{\text{INCA}}(t_{i-1}) + f_{\text{T}} [T_{\text{ALADIN}}(t_i) - T_{\text{ALADIN}}(t_{i-1})], \quad (6)$$

където при i = 1, $T_{INCA}(t_0)$ е температурата в момента на анализа. По този начин СК прогноза на температура се състои от наблюдаваната температура плюс промяната на температурата, прогнозирана от числен модел, умножена по член, който зависи от грешката в прогнозата на облачността от числения модел. Ако няма грешка в прогнозата на облачност, промяната на прогнозираната температура ще бъде равна на температурата, получена от числения модел.

Температурата, пресметната чрез уравнения (5) и (6) не се приближава към прогнозата, получена от ALADIN, през по-голяма част от времето. Поради тази причина в прогнозното уравнение се поставя тегловна функция между температурата, получена от уравнение (6) и тази от ALADIN за време t_i > t_c. Получава се отрицателно-експоненциална асимптота:

$$T^{*}_{INCA}(t_{i}) = gT_{INCA}(t_{i}) + (1 - g) T_{ALADIN}(t_{i}), \qquad (7)$$

където тегловната функция g e g $(t_i) = exp$ [- $(t_i - \tau_c)/\tau_d$]

Времевата скала τ_c зависи от устойчивостта на атмосферата, най-вече от наличието и големината на темературна инверсия. Ако няма инверсия, $\tau_c = 3$ часа. Ако е на лице голяма инвесия τ_c може да достигне стойности от над 12 часа. Това зависи от наблюдаваните различия в устойчивостта на прогнозата на температура при различни синоптични условия. През зимата, типичните стойности за τ_c са високи при наличие на антициклон с повдигната инверсия, под която се задържа ниска слоеста облачност в продължение на няколко дни. Параметърът τ_d има постоянна стойност за 6 часа. Фигура 23 илюстрира подобрението, получена по този метод. Подобрението при свръхкраткосрочна прогноза е ясно изразено през първите 6 часа. Малката грешка, допусната от INCA за по-големи времеви интервали е основно поради сложността за екстраполация на температура в дълбоки долини.



Фигура 23: Абсолютната грешка в прогнозата на температура от ALADIN (синя линия) и INCA (червена линия) в основните синоптични срокове от +00 до +12 UTC за двуседмичен период през зимата.

2.4.2 Прогноза на вятър

Както в случая на температура и влажност, прогнозата за вятър в системата INCA отчита само грешката в численият модел и се слива с прогнозата от числения модел спрямо използваната тегловна функция, която намалява линейно от 1 до 0 в интервала от +0 до +6 часа. По този начин прогнозата на тримерен вятър може да бъде записана като

$$\vec{v}_{INCA}(t_i) = g \, \vec{v}_{INCA}(t_0) + (1 - g) \, \vec{v}_{ALADIN}(t_i), \tag{8}$$

където тегловната функция се дава чрез

$$g(t_i) = \max\left(1 - \frac{t_i}{\tau_v}, 0\right),$$

с т_v = 6 часа. Над езерата е взета предвид еднородността на подложната повърхност.

2.4.3 Прогноза на облачност

СК прогноза на облачността в INCA, или по-точно, инсолационната част SP, се базира на вектора на движение на облака, получен от последователни спътникови снимки във видимия спектър (през деня) и в инфрачервения спектър (през нощта). По време на изгрев и залез, се използва тегловна функция, която е комбинация от двете векторни полета. Екстраполирането се прави за прогностичен диапазон до +6 h през 15 min интервал. Специално внимание трябва да се обърне на границите на обхвата на INCA, където постъпва информация. Това се прави чрез екстраполиране на видовете

облаци, които са създадени с вектори на движение на облака по снимка от инфрачервения спектър. След това, облаците от границите се трансформират до съответния облачен вид чрез пространствена и времева корекция с помощта на информацията от последната времева стъпка. Прилагането на филтри накрая намалява нехомогенностите в преходната зона на екстраполация на инсолационната част и екстраполира видовете облаци, които са получени след преобразуване на инсолационната част. Процедурата за прогнозиране на облачността се финализира от проверка на съответствие с полето за прогнозиране на валежите.

Прогнозата от числения модел ALADIN на ниска, средна и висока облачност се превръща в прогноза на инсолационната част SP_{ALADIN}, използвайки емпиричната връзка:

$$SP_{ALADIN} = 1 - (c_l C_{low} + c_m C_{med} + c_h C_{high})$$
⁽⁹⁾

с коефициенти $c_l = 1.0, c_m = 0.65, c_h = 0.35$.

Фигура 24 представя анализите на инсолационната част SP за 17.01.2006 г. 09:30 UTC. Съответните вектори за движение (фигура 25) са получени от последователни сателитни снимки във видимият спектър. Те са средно за един час, за да се намали броят на случайните колебания, генерирани от псевдо корелации. Екстраполация на SP анализите до +120 min, която дава SP CK прогноза, е показана на фигура 26.



Фигура 24: Анализ на инсолационната част SP на 17.01.2006 г, 09:30 UTC.



Фигура 25: Основни вектори на движение за екстраполация на SP анализи на полетата на 17.01.2006 г, 09:30 UTC.



Фигура 26: SP свръхкраткосрочни полета на 17.01.2006 г, 09:30 UTC +120 min, екстраполирани чрез векторите на движение, показани на фигура 24.

2.4.4. Прогноза на валеж

Прогнозата за валеж в INCA се състои от две компоненти: (1) екстраполация, базирана на наблюдения и (2) числен модел (Haiden and Kann, 2010). Методът на ексраполация се основава на вектори на движение, определени от предишни анализи. Численият модел очертава област, за която се изготвя прогнозата. Границите на областта се определят от регионалния модел ALADIN и глобалния модел ECMWF. За екстраполация са изследвани различни вектори на движение:

- вектори на движение на облаци
- вектори на движение на водна пара
- радарни вектори на движение
- вектори на движение от последователни анализи на валеж чрез INCA.

Различните групи вектори имат различни предимства и недостатьци. Векторите на движение на водната пара, например, най-добре покриват площта, зададена от числения модел, но определят по-добре посоката на движение в средните слоеве на тропосферата, отколкото в ниските. Радарните вектори на движение за валеж са получени директно от радарното ехо, но липсват в много планински места, дори станциите да отчитат валеж там. Векторите на движение в INCA са получени от последователни анализи на валеж чрез INCA и поради тази причина са най-добре съгласувани с областта, в която се прилагат. Паразитни корелации, които предполагат нереално големи скорости на движение се филтрират, чрез сравнение с полетата на вятъра, получени от ALADIN, на нива 700 и 500 hPa. Филтрирането се извършва с помощта на уравнението:

$$\left|\vec{V}_{KORR}\right| + \left|\vec{V}_{KORR} - \vec{V}_{ALA}\right| \le \left|\vec{V}_{ALA}\right| + 2\Delta,\tag{10}$$

където V_{KORR} е вектор на движение, получен от анализ на корелация, V_{ALA} е полето на вятъра в модела ALADIN на ниво 500 или 700 hPa (което е по-близо до V_{KORR}), и Δ е зададената скорост на вятъра, която определя размера на отклонението между V_{KORR} и V_{ALA} . Обикновено се използва стойността $\Delta = 5 \text{ ms}^{-1}$. Уравнение (10) дефинира елипса, показана на фигура 27.



Фигура 27: Филтриране на векторите на движение спрямо уравнение (2.1). Синият вектор е полето на вятъра в ALADIN на ниво 500 или 700 hPa. Черните стрелки са примери за вектори на движение, получени от корелационен алгоритъм. Векторите на движение, излизащи от елипсата са премахнати.

Вижда се, че валежната система може да се премести по посока на вятъра със скорост, по-малка от зададената в модела (например квазистационарен дъжд, издигащ се по склон); със скорост, която е малко по-голяма от тази на вятъра и дори със скорост, насочена срещу него. Векторите на движение, използвани в INCA, филтрирани относно уравнение (10) се използват оперативно за ексраполация на прогноза на валеж (P_{EXTRAP}).

Проверка на резултати от двата метода (екстраполация и числен модел), показва че методът на екстраполация дава по-добра прогноза от числения модел за следващите 2 часа. За да се получи непрекъсната последователност на прогнозата, преминаването от метод на екстраполация Р_{ЕХТВАР} към числен модел се извършва с теглови функции. Моментната тегловна функция накланя напълно везната към прогноза чрез екстраполация през следващите два часа. Намалява я линейно до 0 % с увеличаване на времето, като достига този минимум след 6 часа от момента на изготвяне на прогнозата и остава същата за по-големите интервали от време (уравнения (11) и (12)), както е показано на фигура 28.

Прогнозата за валеж в INCA може да бъде записана чрез уравнението: $P_{INCA}(t_i) = g P_{EXTRAP}(t_i) + (1 - g) P_{OPT}(t_i)$ (11)

където тегловната функция се дава чрез

$$g(t_i) = max\left[min\left(1 - \frac{t_i - \tau_{p_1}}{\tau_{p_2} - \tau_{p_1}}\right), 0\right]$$
(12)

Тук t_i е времето, за което определяме тегловната функция, τ_{p1} и τ_{p2} са съответно интервала от време за прогноза чрез екстраполация (максимум 2 h) и числен модел (максимум 6 h).



Фигура 28: Времева валидност на методите за прогноза

Числените модели дават някои квази-систематични грешки в прогнозата на валеж, обикновено в области с изразен релеф. В случая на ALADIN и ECMWF особеностите на грешките са доста различни, което предполага че комбинацията на двата модела би довела до намаляване на грешките в изходните данни. Проблемът е изследван, чрез използване на архивни данни за прогноза на валеж и наблюдения от няколко години за 26 водосборни басейна в Австрия и части на Бавария. В проучването, акцентът е поставен върху умерените и силни валежи (>5 mm/24 h и >10 mm/24 h в средни по размер области). За всяка от 26-те зададени области е определена линейната връзка от уравнението

$$\mathbf{P}_{\text{OPT}} = \mathbf{w}_{\text{ALA}} \mathbf{P}_{\text{ALA}} + \mathbf{w}_{\text{ECM}} \mathbf{P}_{\text{ECM}}, \qquad (11)$$

където P_{OPT} е комбинирана прогноза за валеж, P_{ALA} и P_{ECM} са съответно прогноза за валеж от числените модели ALADIN и ECMWF, w_{ALA} и w_{ECM} са тегловни коефициенти. Сумата от коефициентите w_{ALA} + w_{ECM} не е задължително равнна на 1. Оптималните коефициенти се намират от уравнението за минимално модифицирана абсолютна грешка $x^* = x + 0.5^*|S|$, където x^* е минимално модифицирана абсолютна грешка, x - абсолютна грешка, 0.5 – максимална абсолютна грешка, S - систематична грешка. След като се намерят за всяка една област, те се интерполират пространствено върху мрежата, обхваната от INCA. Прогнозата от числените модели също се интерполира върху тази мрежа, чрез билинейна интерполация. По този начин комбинираните полета P_{OPT} могат да се пресметнат оперативно за всяка точка от мрежата. На фигура 29 е показана комбинираната прогноза на валеж с различни теглови функции в ALADIN и ECMWF.



Фигура 29: Пример за комбинирана прогноза за валеж, получена от пространствено различни теглови фукции в а) ECMWF, б) ALADIN и (в) комбинираната прогноза.

ГЛАВА 3

АЛГОРИТМИ ЗА КОМБИНИРАНЕ НА МЕТОДИ ЗА ПРОГНОЗА

3.1 Алогритми за комбиниране на методи за прогноза

В литературата са описани различни технически похвати за комбиниране на методи за СК прогноза. Тук е представено кратко описание на еволюцията им чрез изброяване на няколко значими момента от развитието на метеорологията.

Първите технически похвати за комбиниране на методи за прогноза са разработени от Golding през 1998 година (Atencia et al., 2010). Те са базирани на опростени тегловни функции от числените модели за екстраполация на полетата, направени с помощта на радарни данни. Следващата стъпка се състои в създаване на обектно ориентиран модел, който описва развитието на облачната система. Той е включен в система за генериране на автоматична свръхкраткосрочна прогноза за конвективен валеж, наречена GANDOLF (Pierce, 2000). Тя може да избере прогноза от обектно ориентирания модел. През 2003 г. Ganguly and Bras (2003) разработват хибриден модел, който използва различни методи от интерполация до статистическа обработка на времеви редове и невронни мрежи. През 2006 г. Bowler et al. (2006) разработват първият ансамболов метод за СК прогноза на времето. Той комбинира екстраполация с числен модел и в зависимост от големината на синоптичния мащаб се правят различни нива на прогноза на принципа на каскадни процеси. Малките мащаби, които не се представят точно от модела, са описани в прогнозата чрез стохастичен шум. През 2009 година са публикувани три нови метода, които въвеждат корекция на грешки във фазата и интензитета на прогнозираните валежи, чрез комбинация на методи. Два от тях (Wong et al., 2009; Dufran et al., 2009) правят корекцията, чрез минимизиране на кост функция. Третият метод (Chiang and Chang, 2009) се основава на корегиране на грешки във фазата и интензитета на валежа чрез използване на невронна мрежа, наблюдения от радарни, валежомерни станции и данни от числен модел. През 2010 г. в рамките на проект за подобряване готовността и за предупреждения за риск от внезапни наводнения и свлачища е доразвита процедурата за комбиниране от Atencia et al., (2010). Тя се основава на няколко съществуващи техники за комбиниране, но включва и нови подходи. Открита е пространствената зависимост на тегловите коефициенти като функция ат местоположението на валежа.

На базата на тези техники за комбиниране са съставени следните модели за целите на СК прогноза:

1. Алгоритъм за комбиниране NIWOT: Този алгоритъм допуска, че екстраполацията, основана на радарни данни, е най-добрият метод за прогнозиране на валеж, а числените модели имат определени умения за представяне на валежни системи. Ако радарното ехо надвишава 35 dBZ в момента на прогнозата се използва екстраполация на радарното ехо, за да се прогнозира бъдещото местоположение на прогнозното ехото. Ако радарното ехо не надвишава 35 dBZ в момента на прогнозата, прогнозата се прави на базата на моделното ехо. В допълнение, NIWOT позволява корекция на комбинираната прогноза от оперативен синоптик.

2. Алгоритъм за комбиниране SWIRLS: Техниката за "корекция на фазата" се използва, за да се коригира грешката във валежната система на числения модел. В същото време интензивността на валежа, базирана на модела, се сравнява с реалните измервания, преди да се препокрие с моделното ехо. Чрез този алгоритъм за комбиниране, тегловните коефициенти се използват за изготвяне на прогноза за валеж, базирана на екстраполация. Коригираният модел дава тегловните коефициенти като хиперболични функции, които намаляват между 1 и 6 часа. Този алгоритъм може да се пренастрои спрямо моделно ехо и траекторията на развиващата се буря.

3. Алгоритъм за комбиниране GRAPES: Използва метод, базиращ се на "размита логика" за комбиниране на отместения вектор на движенията (алгоритъм COTREC) с полето на хоризонталния вятър чрез почасово обновяване и намиране на подобни числени модели, които обхващат вектора на екстраполация на полето на вятъра. Взимайки предвид грешката при екстраполиране в следствие на ограничената резолюция на вектора на движенията и грешката от ехото, за прогноза на радарното ехо във всяка точка на мрежата е използвана компенсационна схема.

3.2 Пример за комбиниране на вероятностни прогнози

Чрез комбиниране на радарен (Rad-TRAM) и числен (COSMO-DE-EPS) модели се създават вероятностните прогнози за превишаване на определения праг за валеж от 19 DBZ (Kober, 2010). Основание за комбинирането на тези вероятностни прогнози е тяхната успеваемост за периода на прогнозиране.

За подобряване на успеваемостта са въведени тегловни функции, основаващи се на средната ефективност на модела Rad-TRAM. Теглото на Rad-TRAM, w_r се определя в зависимост от големината на прогностиния срок т като:

$$w_r(\tau) = 2.11 - \frac{1}{1 - CSRR(\tau)^{2.8}}$$
, (13)

където CSRR е оценка на условната рангова квадратична вероятност както е предложено от Germann and Zawadzki (2004). CSRR се дефинира за многокатегориини прогннози и по същество представлява средноквадратичната грешка на вероятностната прогноза и на бинарните наблюдения.

Поради спецификата в настройките на модела COSMO-DE-EPS, такава зависимост от срока на прогноза не е възможно да се направи. По тази причина тегловните функции се дефинират по различен начин. Тегловните коефициенти за всички прогнози (w_c) се обобщават в една основна тегловна функция в модела Rad-TRAM:

$$w_{c}(\tau) = 1 - w_{r}(\tau) \tag{14}$$

В COSMO-DE-EPS е въведена една обща тегловна фукция за всичките моделни прогнози. Резултантната тегловна функция е показана на фигура 30.



Теглова функция

Фигура 30: Тегловни функции за комбинираните вероятности, базирани на екстраполация с Rad-TRAM *w*_r (непрекъсната линия) и тези, получени от COSMO-DE-EPS *w*_c (пунктирна линия).

Коефициента w_r не достига до нулата, а има минимум при 0.38. Точката на пресичане е след 5.75 часа от началото на комбиниране. Това означава, че след това време по-голяма тежест се пада на числения модел. Максимумът на модела COSMO-DE-EPS е 0,62.

За да се комбинират двете вероятности за всяка времева стъпка в съответния осем часов интервал, тегловните функции от съответните вероятностни прогнози от Rad-TRAM (P_{LL}) и COSMO-DE-EPS (P_{EPS}) се умножават. Получава се комбинираната вероятност $P_{\text{комб}}$:

$$P_{KOMG}$$
, $i = w_r(\tau) * P_{LL}(\tau) + w_c(\tau) * P_{EPS}$, *i* (15)

Индексът *i* обхваща $22^{\text{те}}$ прогнози от COSMO-DE-EPS. Всичките прогнози се третират с едни и същи тегловни коефициенти w_c , като разликите в методите оказват много малко влияние върху крайния резултат.

На фигури 31a и 31б е представен пример за комбинация на два различни прогностични срокове. Те са подбрани така, че за единия срок максималният тегловен коефициент е зададен от метеоролога, а за другия срок е от числения модел. Показани са както компонентите на комбинацията, така и получените комбинирани вероятностни прогнози. За нагледност е показана само една малка част от метода за 22^{те} моделни прогнози. Комбинирания резултат в 22^{те} различни прогнози се базира на комбинация на Rad-TRAM с тези от COSMO-DE-EPS.

Фигура 31а показва вероятностната прогноза за 12.08.2007, 23:15 UTC с прогностично време $\tau = 1.25$ h. По това време на деня валежът се предвижва напред по студен фронт. В това време прогнозата на Rad-TRAM (фигура 31a, горе в ляво) е с повисок тегловен коефициент w_r от този на прогнозата на COSMODE-EPS (фигура 31a, горе в дясно). Затова комбинираните вероятностни полета отразяват висока вероятност от Rad-TRAM прогноза.

Фигура 316 е в същия час, но с прогностично време $\tau = 7.15$ h. Моделната прогноза е същата, както на фигура 31a. За това прогностично време тегловия коефициент w_c е по-голям от този за Rad-TRAM. Затова комбинираните вероятностни полета (фигура 316 долу) са доминирани от прогностичен метод.

При сравняване на фигурите 31a и 31б (долу) се вижда ясно намаляваващото влияние на оперативния синоптик. Използвайки само информация от комбинираните вероятности не е възможно да се определи кой прогностичен източник има ефект има върху общата вероятност. Комбинираните прогнози, базирани на вероятностни оценки от радар и числен модел водят до подобровяне на СК прогноза.



Фиигура 31: Комбинирани вероятности за 12.08.2007, 23:15 UTC (долу) с компоненти от Rad-TRAM и калибриран COSMO-DE-EPS (горе) за а) τ = 1,25 часа и б) τ = 7,25 часа. Наблюденията, използвани за инициализиране на Rad-TRAM прогнозите са показани в цветно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СК прогноза за времето е от особено значение за икономиката и обществото. Настоящата дипломна работа разглежда съвременните методи, използвани за свръхкраткосрочна прогноза на времето в Европа.

Направен е обзор на източниците на данни, както и методите за диагноза и прогноза на метеорологичните елементи. Специално внимание е отделено на използваната в 12 метеорологични центъра интегрирана система за свръхкраткосрочна прогноза на времето – INCA.

INCA е разработена в Австрия и специално внимание е отделено на приложението ѝ за свръхкраткосрочна прогноза в планински и полупланински райони. Това я прави и подходяща за използване на Балканският полуостров.

В допълнение са разгледани разработените през последното десетилетие алгоритми за комбиниране на методи за прогноза и е представен пример за такъв метод, използван в Германия.

Съвременните методи за свръхкраткосрочна прогноза са слабо развити в България. Интегриране на системи от типа INCA в оперативните центрове за прогноза на времето би подпомогнало съществено работата на оперативните синоптици. Подходяща възможност е участието на България в проекта на EUMEN - ASIST (http://www.eumetnet.eu/nowcasting-activity).

Проекът ASIST започва през юли 2015 г и има за цели: 1) обмяна на опит в СК прогноза и разработване на продукти за крайни потребители, 2) да демонстрира ползата от обмяната на данни между метеорологичните центрове, 3) да разработи насоки за оценка на системите за СК прогноза на времето, 4) да подготви обучителни материали, и 5) сътрудничество в работата по общи проекти и участие в други програми.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- Atencia, A., Rigo, T., Sairouni, A., Moré, J., Bech, J., Vilaclara, E., ... & Garrote, L. (2010). Improving QPF by blending techniques at the Meteorological Service of Catalonia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(7), 1443-1455.
- Bowler, N. E., Pierce, C. E., & Seed, A. W. (2006). STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 132(620), 2127-2155.
- Chiang, Y.-M. and Chang, F.-J. (2009), Integrating hydrometeorological information for rainfall-runoff modelling by artificial neural networks. Hydrol. Process., 23: 1650– 1659. doi: 10.1002/hyp.7299.
- 4. Dufran, Z., Carpenter Jr, R., and Shaw, B.: Improved Precipitation nowcasting algorithm using a high-resolution NWP model and national radar mosaic, in: 34th Conference on Radar Meteorology, 2009.
- 5. Ganguly, A. R., & Bras, R. L. (2003). Distributed quantitative precipitation forecasting using information from radar and numerical weather prediction models. Journal of Hydrometeorology, 4(6), 1168-1180.
- 6. Germann, U., & Zawadzki, I. (2004). Scale dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part II: Probability forecasts. Journal of Applied Meteorology, 43(1), 74-89.
- 7. Golding, B. W. (1998). Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts. Meteorological Applications, 5(01), 1-16.
- 8. Haiden, T., & Pistotnik, G. (2009). Intensity-dependent parameterization of elevation effects in precipitation analysis. Advances in Geosciences, 20, 33-38.
- 9. Haiden, T., Kann, A., Pistotnik, G., Stadlbacher, K., & Wittmann, C. (2010). Integrated nowcasting through comprehensive analysis (INCA) system description. ZAMG report, 60.
- Kabas, T., Foelsche, U., & Kirchengast, G. (2011). Seasonal and annual trends of temperature and precipitation within 1951/1971–2007 in south-eastern Styria, Austria. Meteorologische Zeitschrift, 20(3), 277-289.
- 11. Kabas, T., Leuprecht, A., Bichler, C., & Kirchengast, G. (2011). WegenerNet climate station network region Feldbach, Austria: network structure, processing system, and example results. Advances in Science and Research, 6(1), 49-54.
- Kabas, T. (2012). WegenerNet Klimastationsnetz Region Feldbach: Experimenteller Aufbau und hochauflösende Daten für die Klima- und Umweltforschung. Sci. Rep. No. 47-2012. Wegener Center Verlag, Graz, Austria. URL: www.wegcenter.at/wcv > 2012.

- Kann, A., 2014: Nowcasting: Fundamentals, methods and applications. GNSS4SWEC summer school, available from http://suada.phys.uni-sofia.bg/wordpress/wpcontent/uploads/2014/09/Nowcasting_Kann.pdf
- Kann, A., Meirold-Mautner, I., Schmid, F., Kirchengast, G., Fuchsberger, J., Meyer, V., ... & Bica, B. (2015). Evaluation of high-resolution precipitation analyses using a dense station network. Hydrology and Earth System Sciences, 19(3), 1547-1559.
- 15. Kirchengast, G., Kabas, T., Leuprecht, A., Bichler, C., & Truhetz, H. (2014). Wegenernet: A pioneering high-resolution network for monitoring weather and climate. Bulletin of the American Meteorological Society, 95(2), 227-242.
- 16. Kober, K. (2010). Probabilistic forecasting of convective precipitation by combining a nowcasting method with several interpretations of a high resolution ensemble (Doctoral dissertation, lmu)
- 17. Marshall, J. S., Langille, R. C., & Palmer, W. M. K. (1947). Measurement of rainfall by radar. Journal of Meteorology, 4(6), 186-192.
- Pierce, C. E., Hardaker, P. J., Collier, C. G., & Haggett, C. M. (2000). GANDOLF: a system for generating automated nowcasts of convective precipitation. Meteorological Applications, 7(04), 341-360.
- 19. Rauber, R. M., Ramamurthy, M. K., & Tokay, A. (1994). Synoptic and mesoscale structure of a severe freezing rain event: The St. Valentine's Day ice storm. Weather and forecasting, 9(2), 183-208.
- 20. Scheidl, D. (2014). Improved Quality Control for the WegenerNet and Demonstration for Selected Weather Events and Climate.
- 21. Steinacker, R. (1983). Diagnose und prognose der schneefallgrenze. Wetter und Leben, 35(81-90), 120.
- 22. Wang, Y., Haiden, T., & Kann, A. (2006). The operational limited area modelling system at ZAMG: ALADIN-AUSTRIA. Zentralanst. für Meteorologie u. Geodynamik.
- Wong, W., Yeung, L., Wang, Y., and Chen, M.: Towards the Blending of NWP with NowcastOperation Experience in B08FDP, in: WMO Symposium on Nowcasting, vol. 30, 2009.
- 24. Сиракова, М.: Записки по синоптечен анализ, достъпни от <u>http://www.phys.uni-sofia.bg/~elfa/list/startsite/Zapiski_SinAnaliz.html</u>.
- 25. http://www.eumetnet.eu/nowcasting-activity
- 26. <u>http://www.geoprecision.com</u>
- 27. <u>http://btvnovinite.bg/video/videos/tazi-sutrin/godina-sled-adskata-gradushka-v-sofija.html</u>.

приложение

ПЪЛЕН СПИСЪК НА СИСТЕМИТЕ ЗА СК ПРОГНОЗА НА ВРЕМЕТО, ИЗПОЛЗВАНИ В ЕВРОПЕЙСКИТЕ МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ЦЕНТРОВЕ

Име на системата	Страна (институт)	Използвани данни/модели	Честота на актуализация	Краен продукт	Времеви обхват на прогнозата и хори- зонтален мащаб
MEANDER	Унгария (OMSZ)	Радарни, спътникови данни, автоматични станции, числен модел (нехидростатичен модел WRF, ECMWF)	15 минути	Валеж, температура, вятър, порив на вятъра, налягане на морско ниво, облаци, видимост. Идентификация и проследяване на клетките. Издаване на предупреждения за тежки метеорологични условия.	3 часа (интерполация: анализи/ WRF - BETA); 1x1
HIRLAM U11 RUC	Холан- дия (KNMIб	Автоматични станции, MODES (вкл. въздушен контрол, радарни данни, транспондери, температура	60 минути	Стандартни числени модели с изходни данни на всеки 10 минути. Подпомагне на прогнозата на летища.	24 часа (на 10 минути за първите 6 часа)
DMI HIRLAM за автомоби- лен транспорт	Дания (DMI)	Спътникови, радарни данни, автоматични станции, числени модели, глобални спътникови системи за позициониране (ГССП), пътни станции	 10 минути за определени области, 60 минути за стандартните 	Изходните данни от всички стандартни числени модели плюс допълнителни данни за секторите, сързани с поддръжка на пътища и енергетика	Полезна за от 6-12 часа до 24 часа
	Финландия (FMI)	Радарни, спътникови данни, автоматични станции, числен модел (ECMWF), сондажи, лидари, авиационни доклади	60 минути	Валеж, температура, вятър, порив на вятър, налягане на морско равнище, облачност, видимост, относителна влажност, ледообразуване, тежки (опасни) метеорологични условия, индекси за опастност от пожар и т.н.	Анализи и начални предположения: 6 часа (HARMOLINE); 3х3 км
LAPS	Италия (ISAC- CNR)	Италия (ISAC- CNR) Радарни, спътникови данни, автоматични станции, ГССП, числени модели (ECMWF/GFS), сондажи	Числен модел BOLAM за времеви диапазон за прогноза 9 часа)	Planned RUC 1-3 часа	
	Greece (UNI. Атина)	Радарни данни, спътникови, автоматични станции, числени модели, сондажи, вертикален профил от самолети	60 минути 30 минути в оперативен режим	Всички стандартни числени модели	60 минути (анализ на прогнозата за времето)

Таблица 4: Сиситеми и продукти, използвани в СК прогноза в Европа.

Име на системата	Страна (институт)	Обект на наблюдение	Използвани данни/ модели	Честота на актуализация	Краен продукт	Времеви обхват на прогнозата и хоризонтален мащаб
Смесен валеж (RAVAKE)	Финландия (FMI)	Алгоритъм за СК прогноза на вероятността за валеж чрез комбиниране на радарни и числени данни	Радарни данни, числени модели (HIRLAM, HARMONIE)	Две компоненти: 1)15 минути за СК прогноза само от радарни данни 2)1 час за обща прогноза от радара и моделите	 Вероятност за валеж. Екстраполация и ансамбли, базирани само на числени модели Комбинирана вероятност за валеж от радарните данни и числените модели 	 180 минути за прогнозаот радарните данни 30 часа за комбинираната прогноза
TULISET	Финландия (FMI)	Алгоритъм за екстраполация на модел на валеж, базиран върху радарни данни	Радарни данни	10 минути	На изхода има само валеж, но той е получен от 5 проби, което илюстрира несигурността, свързана с числените модели	180 минути
COTREC	Чехия (CHIMI)	Системи за екстраполация на валеж	Радарни данни, числен модел (ALADIN): вектори на движение	5 минути	Радарни индекси (максимална радарна отражаемост и радарна отражаемост на постоянна височина 2 км), включително. Екстраполация на полетата на валеж: валеж, валеж за водосборен басейн	90 минути за проследяване на радарното ехо; 180 минути за прогноза за валеж
RADCAST	Словения (ARSO)	Откриване, просле- дяване и екстраполация на валежни системи. Фокусирана върху момента на появяване в дадено място, главно летища	Радарни данни. Основно в СОТREC с някои подобрения.	10 минути	Ексраполация на радарни изображения: максимум	1 час

Име на системата	Страна (институт)	Обект на наблюдение	Използвани данни/ модели	Честота на актуализация	Краен продукт	Времеви обхват на прогнозата и хоризонтален мащаб
2ріR схема	Франция (Metèo France)	Преместване на полетата на радарна отражаемост, чрез екстраполация. Свръхкраткосрочна прогноза за дъжд	Радани данни	5 минути	Отместване полето на радарна отражаемост Z и интезивност на валежа R чрез метод за екстраполация на техните картинки. Описание на конвективните области (аеронавигационно). Вероятностно описание на прогноза за количество валеж (основано на разнообразието на падналия дъжд в близост до всяка точка от мрежата)	1 час
Комбини- рана прогноза за валеж	Швейцария (Meteo Swiss)	Геостатистическа дъждомерно-радарна комбинация за получав- ане в реално време на полетата на валежите	Радарнии данни, автоматични станции	10 минути	Прогноза на количество валеж на 5 минути, 1, 3, 6, 12, 24 часа - карти на валежите в реално време	

Име на системата	Страна (институт)	Обект на наблюдение	Използвани данни/модели	Честота на актуали- зация	Краен продукт	Времеви обхват на прогнозата и хоризонтален мащаб
Nowcast MIX	Германия (DWD)	Идентифициране на опасни зони	Радарни, спътникови данни, автоматични станции, числени модели, други (KONRAD, Cell- MOS, Meso Detection)	5 минути	Вероятност за облачност, вероятност за градушка, валеж, вятър, порив на вятъра, дебелина на снежна покривка. Детерминистично решение за прогноза на клетки. Възможност за класификация и екстраполация.	До 2 часа за екстраполация на клетки
3D	Испания (АЕМЕТ)	Извънтропични фронтове с конвек- тивни клетки	Радарни данни (3D), спътникови данни, числени модели	10 минути	Вероятност за облачност и градушка, автоматични предупреждения	60 минути
2D	Порту- галия (IPMA)	Извънтропични фронтове с конвективни клетки	Автоматични станции, радарни данни (2D), калибриране на дъждомера за полетата на валеж с данни от радара	5 минути: дъжд, 10 минути: 2D + пре- дупреж- дения	Вероятност за облачност за системи с опастност от наводнения, вероятност за градушка и други форми на опасни явления	Променлив период на времето за екстраполация
Следене на клетката	Чехия (Czech H. Institute)	Извънтропични фронтове с за конвективни клетки	Радарни данни	5 минути	Вероятност за облачност, прогноза за валеж за предварително определени водосборни басейни	30 минути за следене, 180 минути за водосборен басейни
SIGOONS	Франция (Meteo France)	Съчетаване на: CONO + автоматични станции + валеж + скорост на вятъра + числен модел	Радарни данни (радарна отражаемост, интензивност на валежите, скорост на вятъра), спътникови данни, SAFNWC, автоматични станции, числени модели	5 минути	Вероятност за облачност, вектор на движение на клетките, опасни явления (LTG, валежи, вятър, порив на вятъра, вероятност за градушка). Предупреждения за бури. Температура на горната граница на облачността	60 минути

Име на системата	Страна (институт)	Обект на наблюдение	Използвани данни/модели	Честота на актуали- зация	Краен продукт	Времеви обхват на прогнозата и хоризонтален мащаб
TRT	Швейцария (Meteo Swiss)	Извънтропични фронтове с конвективни клетки	Радарни данни, LTG числени модели	5/2,5 минути (радарен скан)	Вероятност за облачност и градушка, максимално очаквани размери на градовите зърна (MESHS), PSW и т.н.	60 минути за екстраполация на клети
COALITION	Швейцария (Meteo Swiss)	Ранна идентификация на конвективни клетки водещи до опасни явления	Радарни, спътникови данни, числени модели, топография	5 минути	Вероятност за облачност с вероятност за интензификация/възможност за развитие на буря. Прогноза, базирана на обекти за вертикална интегрирана водност в облака и СТТ. Не се прави екстарполация на конвективни клетки	<mark>15 минути за</mark> <u>СТТ;</u> <mark>30 минути за</mark> <mark>VIL</mark>
A-TNT	Австрия (ZAMG)	Извънтропични фронтове с кон- вективни клетки	Радарни данни, числени модели	5 минути	Вероятност за облачност. Предупреждения за градушка	1 час с преход от 15 минути
FeWis	Meteo LUX	Система за преду- преждения (DWD): време в момента и прогноза; индекси за горски пожари	KONRAD (Paдap 2D)	5 минути	Вероятност за облачност, вероятност за градушка, следене	60 минути
RDT SAF-NWC	Франция (Meteo France)	Извънтропични фронтове с конвективни клетки	Спътникови данни, числени модели, други SAF продукти (свързани с облаците и CRR)	5 /15 / 30 минути	Вероятност за облачност, вектор на движение, скорост на охлаждане и т.н. Фази на облачните клетки, максимум на конвективния дъжд.	До сега: анализ, разработване на числен модел до час
NEFODINA	Италия (CNMCA)	Извънтропични фронтове с за конвективни клетки	Спътникови данни, числени модели EUMETNET продукти	15 мин.	Вероятност за облачност, индекс на наклона, валеж, температура на облаците, височина на облаците, пожар	?