

უკ 551.511.3

**ამინდის პროგნოზის რიცხვითი მოდელებიშემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის
დ. დემეტრაშვილი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

დაახლოებით გასული საუკუნის დასასრულს დაწყებულმა გამოთვლითი ტექნიკის არნახულმა პროგრესმა მძლავრი ბიძგი მისცა ატმოსფერული პროცესების მათემატიკურ მოდელირებას და მაღალი გარჩევისუნარიანი ატმოსფეროს დინამიკის რიცხვითი მოდელების შემუშავებას. ამჟამად, მსოფლიოს მრავალი ქვეყნის ამინდის ოპერატიულ სამსახურში რამოდენიმე დღიანი ამინდის პროგნოზი შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის ხორციელდება სწორედ ასეთი თანამედროვე მოდელების საფუძველზე (LAM – Limited Area Models). ამ მოდელებს მიეკუთვნება WRF, MM5, ALADIN, HIRLAM და სხვ., რომლებიც ითვალისწინებენ მოცემულ ტერიტორიაზე ამინდის განმაპირობებელ თითქმის ყველა ძირითად ფაქტორს [1-3]. მათი სივრცითი გარჩევისუნარიანობა ძალზედ მაღალია, დაახლოებით 10-20 კმ, ზოგჯერ ნაკლებიც. ასეთი გარჩევისუნარიანობა არსებითად მნიშვნელოვანი ფაქტორია საქართველოს ტერიტორიაზე განვითარებული ატმოსფერული პროცესების ადეკვატური აღწერისათვის, რადგანაც საქართველოს ტერიტორია გამოირჩევა მკვეთრად გამოხატული ფიზიკურ-გეოგრაფიული თავისებურებებით.

საინტერესოა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ გასული საუკუნის 70-80-იან წლებში ყოფილ საბჭოთა კავშირში, ამინდის ოპერატიულ სამსახურში ფუნქციონირებდა საბჭოთა კავშირის ჰიდრომეტცენტრის (ქ. მოსკოვი) მეცნიერი თანამშრომლის ს. ლ. ბელოუსოვის მიერ შემუშავებული გეოპოტენციალის მოკლევადიანი პროგნოზის სქემა (ე. წ. ბელოუსოვის სქემა) შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის, რომელიც მოიცავდა ძირითადად სსრკ ევროპულ ნაწილს კავკასიის ტერიტორიის ჩათვლით [4]. აღნიშნულ ტერიტორიაზე პროგნოზული სისტემის რეალიზაცია ხორციელდებოდა 300 კმ სივრცითი ბიჯით. ეს იყო კვაზიგეოსტროფიული მოდელი, რომელიც იძლეოდა მხოლოდ ერთი მეტეოროლოგიური სიდიდის – გეოპოტენციალის პროგნოზს ძირითად იზობარულ ზედაპირებზე. პროგნოზის შედეგებს ყოველდღიურად იღებდა საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური სამმართველოს ამინდის სამსახური რუკების სახით.

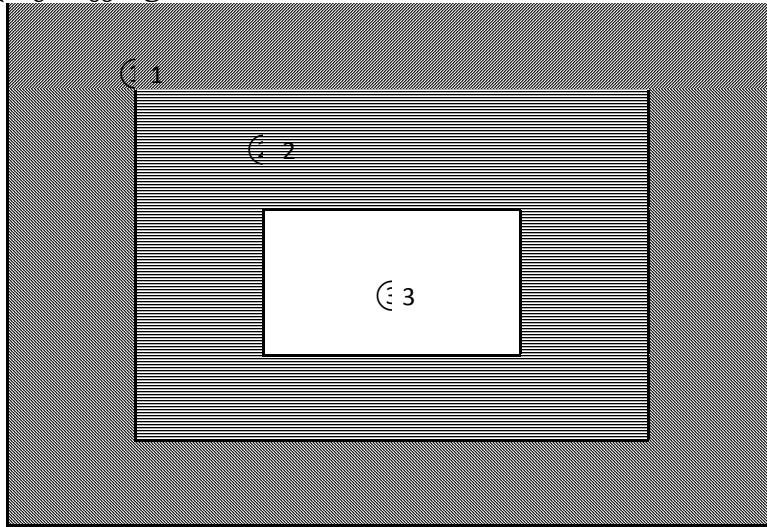
დღეისათვის, სხვადასხვა ქვეყნის ოპერატიულ სამსახურებში მოქმედი ამინდის პროგნოზის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები იძლევიან ყველა ძირითადი მეტეოროლოგიური ველების პროგნოზს ღრუბლებისა და ნალექების ჩათვლით. ასეთი მოდელების საფუძველზე გამოთვლილი პროგნოზის შედეგებს იყენებს საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს ამინდის ოპერატიული სამსახურიც.

ცხადია, იზადება კითხვა, რა საერთო და განსახვავებელი თავისებურებანი ახასიათებს ამჟამად მსოფლიოში მოქმედ რეგიონულ რიცხვით მოდელებს. საერთოა ის, რომ ეს მოდელები დაფუძნებულია ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემის ამოხსნაზე, ძირითადად, სასრულ-სხვაობითი მეთოდების გამოყენებით. თანამედროვე რეგიონული მოდელები იყოფიან ჰიდროსტატიკურ და არაჰიდროსტატიკურ მოდელებად. ჰიდროსტატიკურ მოდელებში ვერტიკალზე დაგვემდებარებულ მოძრაობის განტოლებებში უკუგდებულია ვერტიკალური სიჩქარის შემცველი წევრები, როგორც მცირე სიდიდეები და, ამგვარად, წნევის ვერტიკალური გრადიენტი გაწონასწორებულია სიმძიმის ძალით. სინოპტიკური და პლანეტარული მასშტაბის პროცესებისათვის, რომელთა ჰორიზონტალური მასშტაბი რამოდენიმე 1000 კმ რიგისაა ჰიდროსტატიკური მიახლოება სრულიად მისაღებია, მაგრამ თუ პროცესის მასშტაბი რამოდენიმე ათეული კილომეტრია და უფრო მცირეც, მაშინ სასურველია არაჰიდროსტატიკური მოდელების გამოყენება, სადაც მოძრაობის განტოლება ვერტიკალზე სრული სახით გაითვალისწინება. თანამედროვე რიცხვითი მოდელების უმრავლესობა შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის არაჰიდროსტატიკურია და აღწერენ ატმოსფერულ მოძრაობათა ფართო სპექტრს. არსებობს ზოგიერთი მოდელის ორივე ვერსია – ჰიდროსტატიკური და არაჰიდროსტატიკური.

ზემოთ აღნიშნული მოდელები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან: 1. გამოყენებული კოორდინატთა სისტემით; 2. გათვალისწინებული ფიზიკური ფაქტორებით და მათი პარამეტრიზაციის მეთოდებით; 3. მოდელის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის მეთოდებით; 4. რიცხვითი სქემის პარამეტრებით (დროითი და სივრცითი ბიჯები, დონეები ვერტიკალზე, ამოხსნის არის ზომები).

რიცხვითი მოდელებისათვის, რომელთა რეალიზაცია ხდება შემოსაზღვრულ ტერიტორიაზე, დამახასიათებელია ერთი საერთო პრობლემა, რაც დაკავშირებულია გვერდით სასაზღვრო პირობებთან. რადგანაც განტოლებათა ინტეგრება ხდება სასრულ არეში, მოითხოვება სასაზღვრო პირობები გვერდით ზედაპირებზე, რომლებიც შემოსაზღვრავენ მოცემულ საინტეგრო არეალს. მაშასადამე, განტოლებათა ინტეგრების დროის პერიოდში საჭიროა მეტეოროლოგიური სიდიდეების პროგნოზულ მნიშვნელობათა ცოდნა გვერდით საზღვრებზე, რაც შესაძლებელია უზრუნველყოფილ იქნას იგივე ან სხვა რიცხვითი მოდელის რეალ-

იზაციის შედეგად უფრო დიდ ტერიტორიაზე, რომელიც მოიცავს განსახილველ მცირე ტერიტორიას (nesting modeling). დიდ ტერიტორიაზე რიცხვითი მოდელების რეალიზაცია ხდება მნიშვნელოვნად უხეში სათვლელი ბადის გამოყენებით, რომლის სივრცითი ბიჯი აღემატება მცირე არეში გამოყენებული სათვლელი ბადის ბიჯს. მცირე მარის მაღალი გარჩევისუნარიანობის სათვლელი ბადე ჩადგმულია დიდი არის შედარებით უხეშ ბადეში, ხოლო დიდ არეზე ამოცანის რეალიზაციის შედეგად გამოთვლილი პროგნოზული მნიშვნელობები გამოიყენება სასაზღვრო პირობების სახით მცირე არეში რეალიზებადი რიცხვითი მოდელის განტოლებათა სისტემისათვის. ნახ.1-ზე სქემატურად ილუსტრირებულია ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის გამოყენება. აქ ციფრით '1' ნაჩვენებია დიდი არე, სადაც უხეშ ბადეზე მეტეოროლოგიური სიდიდეების გამოთვლილი მნიშვნელობები გამოიყენება '2'-ით აღნიშნულ მცირე არეში გვერდითი სასაზღვრო პირობების სახით, ხოლო ამ არეში მოდელის რეალიზაციის შედეგებს გამოიყენებს უფრო მცირე '3' არეში რეალიზებული მოდელი ყველაზე მაღალი გარჩევისუნარიანობით.



ნახ.1. ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის სქემატური სურათი.

გამოიყენება სამი სახის ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი: ცალმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (one-way nesting), ორმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (two-way nesting) და მოძრავ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (moving nesting). პირველი მეთოდი შედარებით მარტივია რეალიზაციის თვალსაზრისით და იგი უზრუნველყოფს დიდ ტერიტორიაზე განვითარებული პროცესების გავლენას იმ ლოკალურ ან რეგიონულ პროცესებზე, რომლებიც ვითარდებიან მცირე ტერიტორიაზე. ეს გავლენა გათვალისწინებულია გვერდითი სასაზღვრო პირობების მეშვეობით. ამ შემთხვევაში უკუგავლენის გათვალისწინება გამორიცხულია. ორმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი უზრუნველყოფს არა მარტო დიდ ტერიტორიაზე განვითარებული პროცესების გავლენას მცირე ტერიტორიაზე განვითარებულ ლოკალურ პროცესებზე, არამედ უკუგავლენასაც, როცა ხდება დიდ არეზე რეალიზებული მოდელის ამონახსნების დაზუსტება. ამ მიზნით განტოლებათა ინტეგრების პროცესში ყოველ დროით ბიჯზე უხეში ანუ დიდი ბადის იმ კვანძებში, რომლებიც ხვდება მცირე რეგიონული არის ტერიტორიაზე, დიდ არეზე რეალიზებული მოდელის ამონახსნები იცვლება მცირე ტერიტორიაზე რეალიზებული მოდელის ამონახსნებით. მესამე მეთოდის, ანუ მოძრავ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის გამოყენებისას მცირე ბადე უკეთესი გარჩევისუნარიანობით გადაადგილდება პროცესის განვითარების შესაბამისად. მაგალითად, ტროპიკული ციკლონის მოდელირებისას მოძრავი ბადეც გადაადგილდება ციკლონის შესაბამისად.

მშობლედ დავახასიათოთ ზოგიერთი თანამედროვე მოდელი. WRF (Weather Research and Forecasting) მოდელის შემუშავება დაიწყო 2000 წელს და ამჟამად მოქმედებაშია მე-3 ვერსია, რომელსაც სამეცნიერო და ოპერატიული დანიშნულება აქვს [5]. მოდელის შემუშავებაში მონაწილეობას იღებდნენ აშშ წამყვანი სამეცნიერო ორგანიზაციები: ოკეანისა და ატმოსფეროს ეროვნული ადმინისტრაცია (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration), გარემოს დაცვისა და პროგნოზული სისტემის ეროვნული ცენტრის ლაბორატორია (National Centers for Environmental Prediction and Forecast System Laboratory), აშშ სამხედრო-საჰაერო თავდაცვის დეპარტამენტი (The Department of Defense's Air Force of the USA), ამინდის სააგენტო და სამხედრო საზღვაო კვლევითი ლაბორატორია (Weather Agency (AFWA) and Naval Research Laboratory (NRL)), ოკლაჰომას უნივერსიტეტის შტორმების ანალიზისა და პროგნოზირების ცენტრი (The Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS) at the University of Oklahoma), ფედერალური ავიაციის ადმინისტრაცია (The

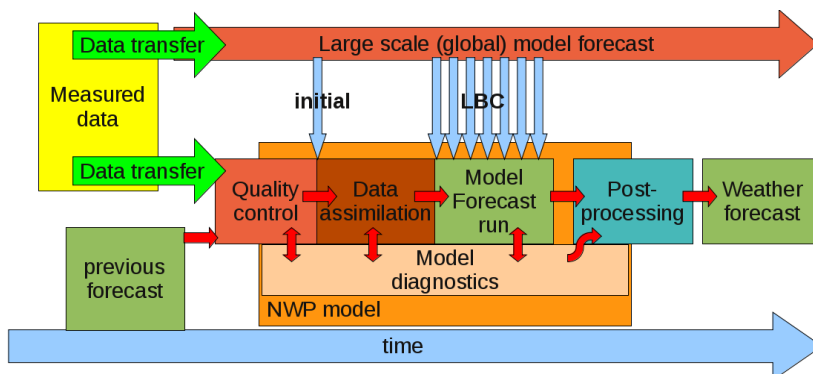
Federal Aviation Administration (FAA). WRF მოდელი არაჰიდროსტატიკურია და აღწერს ატმოსფერული მოძრაობების ფართო სპექტრს. მოდელი დაფუძნებულია ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემის რიცხვით ამოხსნაზე ხმელეთისა და წყლის ზედა ფენაში მიმდინარე პროცესების გათვალისწინებით და ითვალისწინებს შემდეგ ძირითად ფაქტორებს: 1. კონვექციური და ფენოვანი ღრუბლები; 2. მიკროფიზიკური პროცესები ღრუბლებში: წყლის ორთქლი, ყინულის კრისტალები, წყლიანობა, ნალექები და სხვ (გამოიყენება 8 პარამეტრიზაციის სქემა); 3. მიწისპირა ფენის ფიზიკა (გამოიყენება მონინ-ობუხოვის მსგავსების თეორია და სხვ.); 4. გრძელტალღოვანი და მოკლელტალღოვანი რადიაციის პარამეტრიზაცია (თითოეულისათვის განიხილება პარამეტრიზაციის 4 სქემა); 5. ატმოსფერული ნალექები. M

WRF მოდელის კომპიუტერული რეალიზაცია მოითხოვს LINUX სისტემას, C, C++ და FORTRAN კომპილატორებს და პროგრამული უზრუნველყოფის ბიბლიოთეკებს. WRF მოდელი წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე უნივერსალურ და თანამედროვე ატმოსფეროს მოდელირების სისტემას. იგი ფართოდ და წარმატებით გამოიყენება მეტეოროლოგიური პროგნოზებისა და კვლევითი მიზნებისათვის სხვადასხვა ქვეყნის მეტეოროლოგიურ სამსახურებსა და კვლევით ცენტრებში [6-10]. როგორც კვლევის ეფექტური ინსტრუმენტი იგი ფართო გამოყენებას პოულობს კლიმატის შესწავლაში, სხვადასხვა მეზომასშტაბური პროცესების მოდელირებისას და სხვ.

WRF ადაპტირებული იყო კავკასიის რეგიონისათვის [6, 7]. ამ მიზნით გამოიყენებოდა ორი არე: დიდი არე შედარებით უხეში ბადით მოიცავდა მთლიანად კავკასიის რეგიონს 167x117 ბადის კვანძებით და 5 კმ ბიჯით. დიდ ბადეში ჩადგმული იყო ბადე უკეთესი გარჩევისუნარიანობით, რომელიც ფარავდა საქართველოს ტერიტორიას 145x115 კვანძით და 5 კმ სივრცითი ბიჯით. გამოიყენებოდა ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის ყველა ვერსია. რეალური მონაცემები საწყისი და გვერდითი სასაზღვრო პირობების განსაზღვრავად მოიცემოდა გლობალური მოდელიდან (Global Forecasting System, GFS). მოდელირებული და პროგნოზირებული იყო ზოგიერთი შემთხვევა, მათ შორის დასავლეთისა და აღმოსავლეთის შემოჭრის დროს. საერთო დასკვნა ასეთი იყო: WRF-ით გამოთვლილი პროგნოზი უკეთესი აღმოჩნდა ტემპერატურის ექსტრემუმებისა და ქარის სიჩქარისათვის, ნალექებისათვის – უარესი. ასევე, პროგნოზი უკეთესი აღმოჩნდა დასავლეთის შემოჭრებისათვის, ვიდრე აღმოსავლეთის შემოჭრების შემთხვევაში.

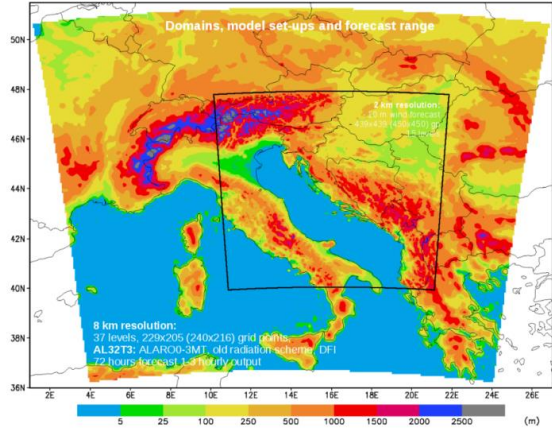
WRF მოდელი გამოიყენებოდა წყნარი ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში ტროპიკული ციკლონების ტრაექტორიისა და ევოლუციის პროგნოზის მიზნით შორეული აღმოსავლეთის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში (ქ. ვლადივოსტოკი, რუსეთი) [8]. [9]-ში წარმოდგენილია ჰაერის ტემპერატურის, ატმოსფერული წნევისა და ნალექების გამოთვლების შედეგები ტომსკის ოლქისათვის (რუსეთი) WRF მოდელის გამოყენებით. გამოთვლითმა ექსპერიმენტებმა, რომელიც ჩატარებული იყო სუპერკომპიუტერზე “СКИФ Cyberia”, აჩვენა მოდელის გამოყენების კარგი პერსპექტივები. [10] –ში წარმოდგენილია მოდელის გამოყენების შედეგები ნოვოროსისკის ბორას მოდელირებისას ARW-WRF ვერსიის გამოყენებით ოთხ ერთმანეთში ჩადგმულ ბადეზე. ამასთანავე შიდა არეში გამოიყენებოდა ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი ბადე 333 მ სივრცითი ბიჯებით, რთული რელიეფის ადექვატური აღწერის მიზნით.

ატმოსფეროს რეგიონული მოდელი ALADIN (Aire Limitee Adaptation Dinamique Developpement InterNational) შემუშავებულია 1997 წელს, რომლის ინიციატორია მეტეო-ფრანსი (Meteo-France). მოდელის შემუშავებაში მონაწილეობა მიიღო მეცნიერთა ჯგუფმა 16 ქვეყნიდან. არსებობს ALADIN –ის ჰიდროსტატიკური და არაჰიდროსტატიკური ვერსიები. ALADIN გამოიყენება უნგრეთის, ბულგარეთის, ხორვატიის, რუმინეთისა და ევროპის სხვა ქვეყნებისა და ჩრდილოეთ აფრიკის ქვეყნების ოპერატიულ სამსახურებში.



ნახ.2. პროგნოზის გამოთვლის ეტაპები ALADIN მოდელით [11].

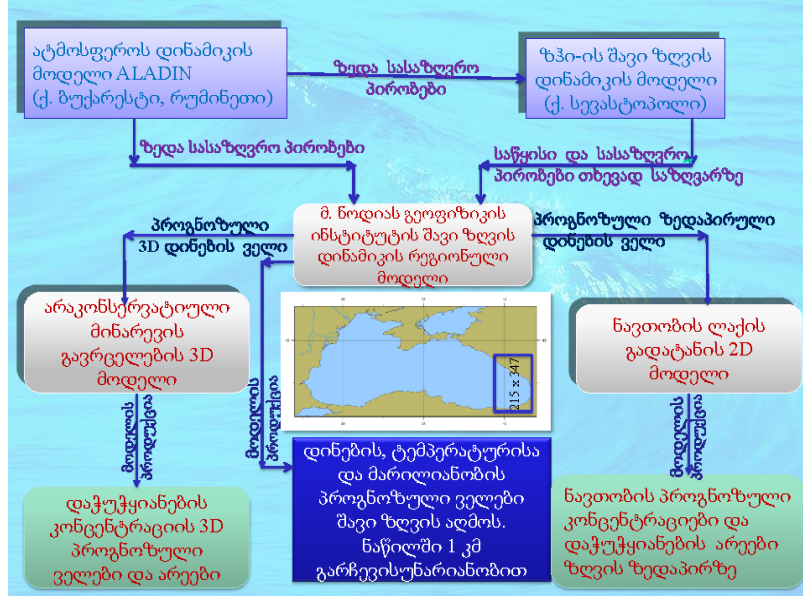
ნახ. 2 გვიჩვენებს ALADIN მოდელირების სისტემის გამოყენებით ამინდის პროგნოზის მომზადების ყველა ძირითად სტატიას დაწყებული საწყისი ველების დამუშავებიდან საბოლოო პროგნოზული პროდუქციის მომზადებამდე [11], ხოლო ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია პროგნოზის არე, რომელიც მოიცავს იტალიის ტერიტორიის დიდ ნაწილსა და ხორვატიის ტერიტორიას, სადაც ხდებოდა ALADIN სისტემის რეალიზაცია 8 კმ სივრცითი ბიჯით [11]. მოხაზვითა მიღება გვერდით საზღვრებზე ხდებოდა გლობალური მოდელიდან.



ნახ.3. ALADIN მოდელის რეალიზაციის არე და ოროგრაფია [11].

ALADIN – ით გამოთვლილ ამინდის პროგნოზის შედეგებს იყენებს შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემა [12, 13]. ამ მიზნით ALADIN მოდელი ადაპტირებულია შავი ზღვის რეგიონისათვის და მისი რეალიზაცია ხორციელდება 24 კმ სივრცითი ბიჯით შავი ზღვის ზემოთ. შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთი კომპონენტია რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის, რომელიც ფუნქციონირებს ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში და უზრუნველყოფს ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობისა და სიმკვრივის პროგნოზს 3 დღის წინასწარობით და 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ხოლო საგანგებო სიტუაციების დროს შესაძლებლობას იძლევა აგრეთვე გამოვთვალოთ ზღვაში მოხვედრილი ნავთობისა და სახვა მინარევების გავრელების ზონები და კონცენტრაციები [14-17]. N

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირების სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, სისტემის შემადგენელი ნაწილია ატმოსფეროს დინამიკის რეგიონული მოდელი ALADIN, რომელის საშუალებითაც რუმინეთის ეროვნულ მეტეოროლოგიურ სამსახურში (ქ. ბუქარესტი) გამოითვლება ატმოსფეროს მოკლევადიანი პროგნოზი შავი ზღვის აუზის ზემოთ.

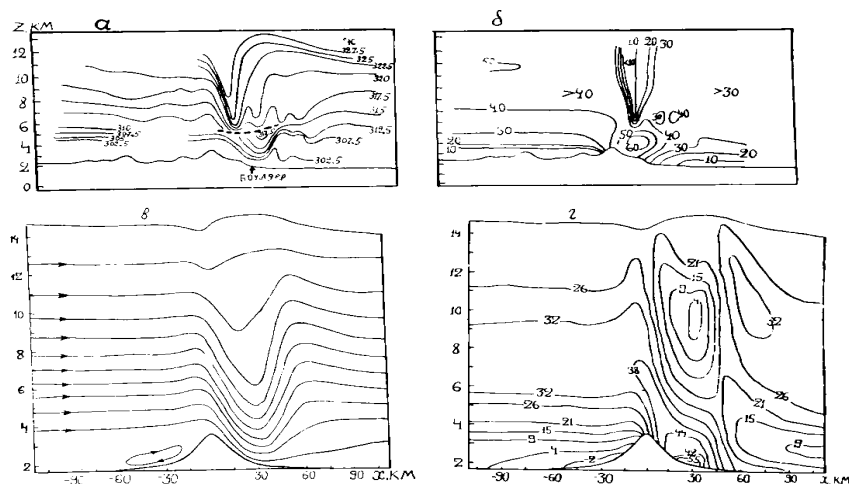


ნახ. 4. შავი ზღვის სანაპირო პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირების სქემა [17].

გამოთვლილი მეტეოროლოგიურ სიდიდეთა პროგნოზული მნიშვნელობები (ქარი, ტემპერატურა, ნალექები და სხვ.) ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში იგზავნება ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტში (ქ. სევასტოპოლი) ინტერნეტის საშუალებით. ეს სიდიდეები გამოიყენება სასაზღვრო პირობებში ზღვის ზედაპირზე ზღვის დინამიკის მოდელისათვის, რომლის რეალიზაცია ხდება 5 კმ სივრცითი ბიჯით მთლიანდ შავი ზღვის აუზისათვის. საზღვაო პროგნოზის დამთავრებისთანავე ხდება გამოთვლილი პროგნოზული ინფორმაციის განთავსება საქართველოსათვის განკუთვნილ საიტზე, მათ შორის ALADIN-ით გამოთვლილი მეტეოროლოგიური სიდიდეებისაც. მიღებული პროგნოზული ინფორმაციის გამოყენებით მაღალი გარჩევისუნარიანი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის საფუძველზე გამოითვლება ძირითადი დინამიკური ველების 3 დღიანი პროგნოზი შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის.

ატმოსფეროს დინამიკის მთელი რიგი საკითხები კავკასიის რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით განიხილება ქართველ მეცნიერთა მრავალ პუბლიკაციაში (მაგ., [18-25]). მნიშვნელოვან ინტერესს იმსახურებს შრომათა ციკლი [22-25], რომლებშიც არასტაციონარული ბაროკლინური მოდელის საფუძველზე კავკასიის რეალური რელიეფის გათვალისწინებით მოდელირებულია მეტეოროლოგიური ველების სივრცით-დროითი ევოლუცია სხვადასხვა სინოპტიკური (ფონური) პროცესების შემთხვევაში. მოდელში გათვალისწინებულია ისეთი ძირითადი ფაქტორები, როგორცაა ღრუბელთა და ნალექთა წარმოქმნის პროცესები, ქვეფენილ ზედაპირთან (ზღვა, ხმელეთი) ურთიერთქმედება, ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების სივრცით-დროითი ცვალებადობა და სხვ.

[26]-ში შემოთავაზებულია ლოკალური ატმოსფერული პროცესების მოდელირების სისტემის ერთ-ერთი ვერსიის ფიზიკა-მათემატიკური ფორმულირება ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გათვალისწინებით. განიხილება მოძრავი ჰაერის მასა ტროპოსფეროში, რომელიც ქვემოდან შემოსაზღვრულია ოროგრაფიულად არაერთგვაროვანი დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირით, ხოლო ზემოდან - თავისუფალი ზედაპირით, რომლის მდებარეობაც განისაზღვრება ამოცანის ამოხსნის პროცესში. ვერტიკალზე მოდელი მოიცავს რამოდენიმე ფენას – თავისუფალ ატმოსფეროს, მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებს, ნიადაგის აქტიურ ფენას (ან ზღვის აქტიურ ფენას). ქვედა ტურბულენტურ ფენაში ატმოსფერული პროცესები აღიწერება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის კვაზიერთგანზომილებიანი განტოლებათა სისტემის საშუალებით, ხოლო ტურბულენტური ველის განსაზღვრავად გამოყენებულია მონინ-ობუხოვის მსგავსების თეორია, რაც საშუალება იძლევა გათვალისწინებულ იქნას მიწისპირა ფენაში თერმული სტრატეფიკაციის სხვადასხვა რეჟიმის გავლენა ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების პროფილების ფორმირებაზე.



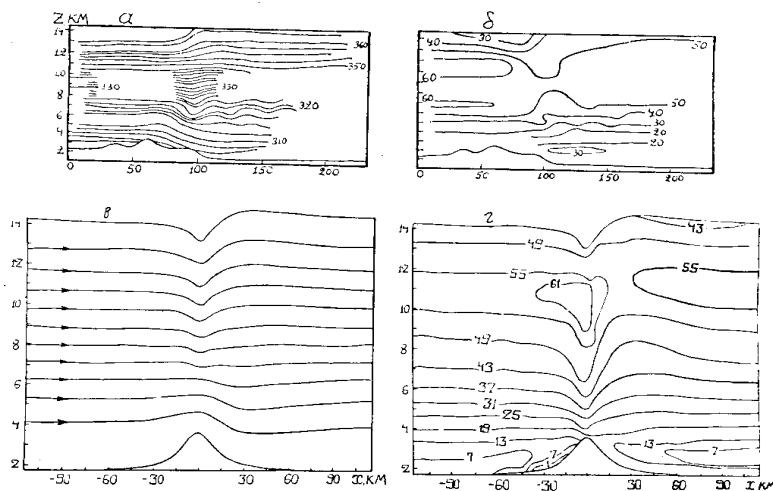
ნახ. 5. დინების ველი და ქარის სიჩქარის იზოწირები კლდოვანი მთების ზემოთ 1972 წლის 11 იანვარს ქ. ბოულდერთან (აშშ). დაკვირვების მონაცემები (ზედა სურათები) და მოდელირების შედეგები (ქვედა სურათები).

აღნიშნული მოდელის შემადგენელი კომპონენტი – ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენა – ნიადაგის არასტაციონარული კვაზიერთგვაროვანი მოდელი [27], ასევე მოდელის ორი და სამგანზომილებიანი ვერსიები გარკვეული დაშვების ფარგლებში რეალიზებული იყო ავტორის მიერ გასულ წლებში [28-30]. აქ მოვიყვანთ მოდელის ორგანზომილებიანი ვერსიის ვალიდაციის შედეგებს “მშრალი” ატმოსფეროს პირობებში, რაც გან-

ხორციელდა მოდელური შედეგების შედარების გზით [31-34]-ში აღწერილ დაკვირვების მონაცემებთან ორ-ოგრაფიულად შეშფოთებული ჰაერის დინების ორ შემთხვევაში კლდოვანი მთების ზემოთ ქ. ბოულდერის (აშშ) მახლობლობაში. ეს ორი შემთხვევა შეესაბამებოდა 1972 წლის 11 იანვარს და 1970 წლის 17 თებერვალს, როდესაც დაიკვირვებოდა სრულიად განსხვავებული დინებები – პირველ შემთხვევაში ადგილი ქონდა მძლავრი ჰიდრავლიკური ნახტომის ფორმირებას მთის ქარზურგა ფერდობის ზემოთ თავისუფალ ატმოსფეროში (ნახ. 5), ხოლო 1970 წლის 17 თებერვალს დინებას მშვიდი ხასიათი ქონდა, როდესაც ოროგრაფიულ ტალღათა ამპლიტუდა გაცილებით მცირე იყო (ნახ. 6). დინებათა სურათები და ქარის სიჩქარის იზოწირები აგებული იყო თვითმფრინავით ზონდირების საშუალებით მიღებული შედეგების საფუძველზე.

ნახ. 5-ზე მაჩვენებია კლდოვანი მთების ზემოთ 1972 წლის 11 იანვარს დაკვირვების (სურათები ზემოთ) და მოდელირების (სურათები ქვემოთ) შედეგად მიღებული დინებისა და სიჩქარის იზოწირების სურათები. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ მოდელი კარგად აღწერს ამდღეს რეალური დინების ძირითად თავისებურებებს: გამოთვლილ დინებას ისეთივე ხასიათი აქვს თავისუფალ ატმოსფეროში ქარზურგა მხარეს, რაც ბუნებაში დაიკვირვებოდა, მიღებულია დინება მძლავრი ჰიდრავლიკური ნახტომით, დინების ჰავლური გაძლიერება ქვედა ფენებში ქარზურგა ფერდობთან სიახლოვეს, შედარებით სუსტი დინების არე თავისუფალ ატმოსფეროში. ჩვენს გამოთვლებში ქარპირა ფერდობთან ფორმირდება ჩაკეტილი ცირკულაცია, რაც დაკვირვების შედეგად არ აღინიშნება. ამის მიზეზი შესაძლებელია იყოს ის ფაქტი, რომ მოდელში არ არის გათვალისწინებული მიწისპირა ფენის პროცესები, გარდა ამისა რეალური რელიეფი მიახლოებითაა გათვალისწინებული.

სრულიად განსხვავებული ხასიათის დინებას ქონდა ადგილი კლდოვანი მთების ზემოთ 1970 წლის 17 თებერვალს, რომლის შესაბამისი დინებისა და სიჩქარის სურათები ნაჩვენებია ნახ. 6-ზე (ზედა სურათებზე - დაკვირვების შედეგები, ქვედაზე - მოდელირების შედეგები). ნახაზიდან ცხადად ჩანს, რომ მოდელირების შედეგად მიღებულია დინების ისეთივე წყნარი სურათი, როგორც ეს დაიკვირვებოდა ამ დღეს რეალურად. ასეთივე კარგი დამთხვევაა დაკვირვებულ და გამოთვლილ ქარის სიჩქარეებს შორის. აღვნიშნოთ, რომ დინებათა ასეთი განსხვავებული სურათები, რომლებსაც ადგილი ქონდა 1972 წლის 11 იანვარს და 1970 წლის 17 თებერვალს აიხსნება იმ ფაქტით, რომ შეუშფოთებელი დინების დამახასიათებელი პარამეტრები - ქარის სიჩქარე და ვერტიკალური გრადიენტი, ასევე თერმული სტრატეფიკაცია ამ ორ შემთხვევაში სრულიად განსხვავდებოდა ერთმანეთისაგან.



ნახ. 6. დინების ველი და ქარის სიჩქარის იზოწირები კლდოვანი მთების ზემოთ 1970 წლის 17 თებერვალს ქ. ბოულდერთან (აშშ). დაკვირვების მონაცემები (ზედა სურათები) და მოდელირების შედეგები (ქვედა სურათები).

[26]-ში ფორმულირებული ამოცანის შემდგომი სრულყოფა და განვითარება დაკავშირებულია ისეთი ფაქტორების გათვალისწინებასთან, როგორებიცაა ატმოსფერული ნალექები, რადიაციული და კონვექციური პროცესები და სხვ.

ლიტერატურა-LITERATURA-REFERENCES

1. Saito K., Ishida J., Aranami K., Hara T., Segawa T., Narita M., Honda Y. Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. Journal of Meteorological Society of Japan, 2007, v.85B, pp.271-304.
2. Brozkova R., Derkova M., Bellus M., Farda A. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. Ocean Science, 2006, № 2, pp.113-121, <http://www.ocean-sci.net/2/113/2006>

3. ტატიშვილი მ., დემეტრაშვილი დ., მკურნალიძე ი. ამინდის საპროგნოზო მოდელირება საქართველოში. აკადემიკოს ივერი ფრანგიშვილის დაბადების 85-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა” შრომები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2015, გვ.28-432.
4. Белоусов С. Л., Беркович Л. В., Лосев В. М. Развитие гидродинамических методов краткосрочного прогноза погоды. В кн.: 70 лет Гидрометцентру России. Гидрометеоиздат, 1999. с.3-16.
5. Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D. M., Duda M. G., Huang X. Y., Wang W., Powers J. G. A description of the Advanced Research WRF Version 3. National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado, USA, 2008, 113 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/ace5/4d4d1d6c9914997ad8f4e410044fdeb95b9d.pdf>.
6. Davitashvili T., Kvatadze R., Kutaladze N. Weather prediction over Caucasus region using WRF-ARW model. Proceedings of the 34th International Convection, 2011, Print ISBN: 978-1-4577-0996-8, Opatija, Croatia, pp.326-330.
7. Davitashvili T., Kutaladze N., Kvatadze R., Mikushadze G., Modebadze Z., Samkharadze I. Precipitation prediction by different physics of WRF model. International Journal of Environmental Science. 2016, v.1, pp.294-299. <http://iaras.org/iaras/journals/ijes>
8. Крохин В. В., Ламаш Б. Е. Использование численной модели высокого разрешения HWRF для прогноза траектории и эволюции тайфунов северо-западной части Тихого океана. Вестник ДВО РАН, 2012, №3, с.42-48.
9. Кижнер Л. И., Нахтигалова Д. П., Барт А. А. Использование прогностической модели WRF для использования погоды Томской области. Вестник Томского государственного университета. 2012, №358, с.219-224.
10. Ефимов В. В., Барабанов В. С. Моделирование Черноморской боры. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2013, т.49, № 6, с.688-698.
11. Tudor M., Ivatek-Sahdan S., Stanesic A., Horvath K., Bajic A. Numerical weather in Croatia using ALADIN numerical weather prediction model. 2013, <http://dx.doi.org/10.5772/55698>
12. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeev V. L., Demyshev S. G., Kubryakov A. I., Ratner Yu. B. Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. Ocean Science, 2011, 7, pp.629-649. doi: 10.5194/os-7-629-2011/.
13. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. L., Ratner Y. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. Ocean Science, 2012, 8, pp.183-196.
14. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP, Ocean Science, 2011, 7, pp.793-803.
15. Kordzadze A., Demetrashvili D., Kukhalashvili V. Easternmost Black Sea regional forecasting system. In: Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment-MEDCOAST 2015, 6-10 October, Varna, Bulgaria, pp.769-780.
16. Kordzadze A., Demetrashvili D. Operational forecasting for the eastern Black Sea. In: Proceedings of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. MEDCOAST 2017, 31 October-04 November, Mellieha, Malta, pp.1215-1224.
17. კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, 1987, 187 გვ.
18. Нозадзе Р. И. Гидродинамический краткосрочный прогноз температуры атмосферы с учетом влияния рельефа. Тр. ЗакНИГМИ, 1971, вып.43(49), с.2-20.
19. Хведелидзе З. В. Исследование атмосферных движений в поле силы Кориолиса при наличии гор. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1982, т.18, № 3, с.227-232.
20. Микашавидзе Б. А. Расчет вертикальных токов на разных уровнях атмосферы с учетом влияния орографии. Труды ЗакНИГМИ, 1967, вып. 24 (30), Ленинград, с.67-87.
21. დავითაშვილი თ. ატმოსფეროს ფიზიკის ზოგიერთი ამოცანის რიცხვითი მოდელირება მთიანი რეგიონებისათვის. ავტორეფერატი ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 1997, 41 გვ.А
22. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background eastern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 1999, v.4b, pp.61-72.
23. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background northern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 1999, v.4b, pp.48-60.
24. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background southern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 2000, v.5b, pp.39-50.
25. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния Кавказского рельефа на распределение гидрометеорологических полей. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2007, т.43, № 6, с.783-791.
26. დემეტრაშვილი დ. ლოკალური ატმოსფერული პროცესების ჰიდროდინამიკური მოდელირების შესახებ. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2010, ტ. 114, გვ. 119-125.

27. Деметрашвили Д. И. Нестационарная квазиодномерная модель планетарного пограничного слоя. - Тр. ЗаКНИИ, Москва., Гидрометеоиздат, 1989, вып. 91 (98). с.84-93.
28. Деметрашвили Д. И. Нестационарная задача о мезомасштабных процессах в свободной атмосфере над орографически неоднородной поверхностью Земли. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1979, т.17, № 7, с.699-709.
29. Деметрашвили Д. И. Численное моделирование реальных течений над горным хребтом в свободной атмосфере. Тр. ЗаКНИИ, Москва, Гидрометеоиздат, 1984, Вып. 81(88), с. 65-73.
30. Demetrashvili D., Davitashvili T. A modeling study of meso-scale air flow over the mountainous relief with variable in time large-scale background flow. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2013, t.7, N 2, pp.57-65.
31. Lilly D. K., Zipser E. J. The front range windstorm of 11 January 1972. A meteorological narrative. Weatherwise, 1972, v.25, №1, pp.56-63.
32. Lilly D. K., Kennedy P. J. Observational of stationary mountain wave and its associated mountain flux and energy dissipation. J. Atm. Sci., 1973, v.30, № 6, pp.1135-1152.
33. Klemp J. B., Lilly D. K., Numerical simulation of hydrostatic mountain waves. J. Atm. Sci., 1978, v.35, № 1, pp.78-107.
34. Lilly D. K. A severe downslope windstorm and aircraft turbulence event induced by a mountain wave. J. Atm. Sci., 1978, v.35, № 1, pp. 59-77.

ამინდის პროგნოზის რიცხვითი მოდელები შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის. /დ. დემეტრაშვილი/სტუ-ს ჰმ-ის სამეცნ. რეგ. შრ. კრებ. - 2018. - ტ.125. - გვ.90-98. - ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.. სტატიაში მოკლედ მიმოიხილება ამინდის პროგნოზის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის, რომლებიც ამჟამად ფართოდ გამოიყენება მრავალი ქვეყნის ამინდის ოპერატიულ სამსახურში და კვლევითი მიზნებისთვის (ALADIN, WRF, MM5 და სხვ.). ერთ-ერთი ასეთი მოდელის შედეგებს იყენებს საქართველოს ამინდის ოპერატიული სამსახური. ხაზგასმულია აღნიშნული მოდელების საერთო და განმასხვავებელი თავისებურებანი. ამინდის პროგნოზის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები ხასიათდებიან მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, რაც ატმოსფერულ მოძრაობათა მეტად ფართო სპექტრის აღწერის საშუალებას იძლევა, დაწყებულს ათეული კილომეტრის რიგიდან სინოპტიკური მასშტაბის პროცესებამდე. აღნიშნულია საქართველოში წარმოებული სამუშაოები მეზომასშტაბური ატმოსფერული პროცესების მოდელირებასა და მის შემდგომ განვითარებასთან დაკავშირებით.

Numerical Weather Forecasting Models For Limited Areal./D. Demetrashvili/ Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.94-102. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

The article presents an overview of the modern numerical weather prediction models for a limited area, which are widely used in operational weather service of many countries and for research purposes (ALADIN, WRF, MM5, etc.). The operational weather service of Georgia uses the results of one of these models. The general and distinctive features of such models are noted. Modern numerical weather forecasting models are characterized by high spatial resolution, which makes it possible to reproduce a wide range of atmospheric movements from scales of the order of 10 km to synoptic scale processes. The research works on modeling of mesoscale atmospheric processes carried out in Georgia and the prospects for their further development are noted. The results of modeling real currents over the Rocky Mountains (USA) are presented on the basis of a two-dimensional version of the mesoscale flow model and comparison with observational data.

Модели численного прогноза погоды для ограниченной территории./Д.Деметрашвили/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.94-102. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье дается краткий обзор современных моделей численного прогноза погоды для ограниченной территории, которые широко используются в оперативной службе погоды многих стран и в исследовательских целях (ALADIN, WRF, MM5 и др.). Оперативная служба погоды Грузии использует результаты одного из таких моделей. Отмечается общие и отличительные особенности таких моделей. Современные численные модели прогноза погоды характеризуются высокой пространственной разрешающей способностью, что дает возможность воспроизводить широкий спектр атмосферных движений начиная с масштабов порядка 10 км до процессов синоптического масштаба. Отмечается научно-исследовательские работы по моделированию мезомасштабных атмосферных процессов, проводимые в Грузии и перспективы их дальнейшего развития. Приведены результаты моделирования реальных течений над Скалистыми горами (США) на основе двумерной версии модели мезомасштабного течения и сопоставление с данными наблюдений.