

მონიტორინგისა და მოკლევადიანი პროგნოზის სისტემები ევროპის ზღვებისათვის

დემეტრაშვილი დ.

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მ. ნოდუას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

ანოტაცია. სტატიაში მოკლედ განიხილება ევროპის ზოგიერთი ზღვის მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემა, რომლებიც დაფუძნებულია ოკეანის დინამიკის თანამედროვე რიცხვითი მოდელების გამოყენებაზე. მნიშვნელოვანი ყურადღება გამახვილებულია შავი ზღვის მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემაზე, რომლის ერთ-ერთი კომპონენტია მაღალი გარჩევისუნარიანი რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის. პროგნოზის სისტემის ბირთვია მ. ნოდუას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შავი ზღვის დინამიკის ბაროკლინური მოდელი. მოყვანილია გამოთვლების ზოგიერთი შედეგი.

საკვანძო სიტყვები: პროგნოზის სისტემა, ხმელთაშუა ზღვა, განტოლებათა სისტემა, დინების ველი.

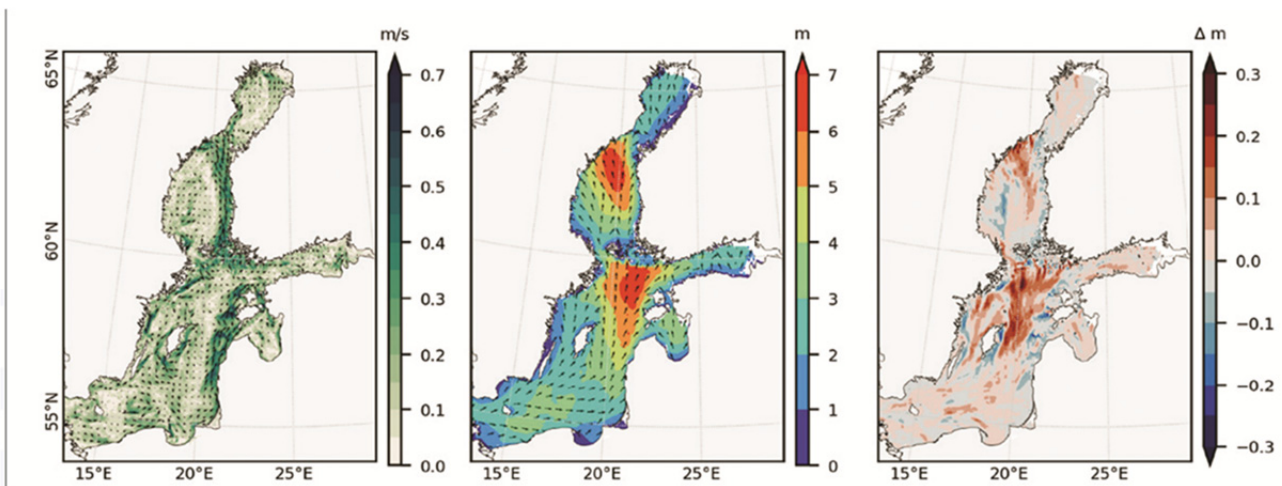
გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან ფიზიკური ოკეანოგრაფია შევიდა თავისი განვითარების ახალ ეტაპში, განვითარდა ახალი ქვემომართულება – ოპერატიული ოკეანოგრაფია, რომლის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა საზღვაო მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემების შემუშავება მსოფლიო ოკეანის ცალკეული რეგიონებისათვის. პროგნოზული სისტემები უზრუნველყოფენ ძირითადი სამგანზომილებიანი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობის, ზღვის დონის და სხვა პარამეტრების მოკლევადიან პროგნოზს. თანამედროვე პირობებში, როდესაც ძალზედ გააქტიურებულია საზოგადოების სამეურნეო საქმიანობა, ასეთი ინფორმაციის არსებობა მნიშვნელოვანი ფაქტორია ბუნებრივი რესურსების რაციონალური ათვისებისა და სამეურნეო საქმიანობის ოპტიმალურად წარმართვისათვის. საზღვაო პროგნოზული სისტემის ფუნქციონირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ზღვის სანაპირო/შელფური ზონებისათვის, სადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს ადამიანთა ეკონომიკური საქმიანობა, აქ მდებარეობს საზღვაო პორტები, რეკრეაციული ზონები, ვითარდება სანაპირო ინფრასტრუქტურა [1, 2].

ბოლო 2-3 ათეულ წელიწადში გამოთვლითი ტექნიკის პროგრესმა და მასთან დაკავშირებული მაღალი გარჩევისუნარიანი ზღვის ჰიდროდინამიკის თანამედროვე რიცხვითი მოდელების შემუშავებამ, დისტანციური ზონდირებისა და კონტაქტურ დაკვირვებათა სისტემების სრულყოფამ, დაკვირვების მონაცემთა ასიმილაციის მეთოდების განვითარებამ დიდი ბიძგი მისცა ევროპის ცალკეული ზღვებისათვის მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემების შემუშავებას [3-5]. საზღვაო პროგნოზული სისტემების ძირითადი ბირთვია ოკეანის ჰიდროდინამიკის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები, რომლებიც დაფუძნებულია ფიზიკურად სრულ არანრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებზე და უნარი აქვთ ადეკვატურად ასახონ რეალური პროცესები. ამასთანავე, ჰიდროფიზიკური ველების საწყისი მდგომარეობის დაზუსტება ხორციელდება ნატურალურ დაკვირვებათა მონაცემების ასიმილაციის გზით. მოკლედ მიმოვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

გასული საუკუნის 90-იან წლებში ოპერატიულ რეჟიმში ფუნქციონირება დაიწყო ხმელთაშუა ზღვის პროგნოზის სისტემამ (MFS – Mediterranean Forecasting System), რომელიც შემუშავებული იყო ევროკავშირის VI და VII პროგრამის ჩარჩოებში და უზრუნველყოფს მოკლევადიან საზღვაო პროგ-

ნოზს მთელი აუზის მასშტაბით [3]. პროგნოზის სისტემა დაფუძნებულია შეწყვილებულ ჰიდროდინამიკურ-ტალღურ მოდელზე მონაცემთა ასიმილაციის გათვალისწინებით. ზღვის ზედაპირი მოდელირებულია თავისუფალი ზედაპირის სახით, ხოლო მოდელის სათვლელი ბადის გარჩევისუნარიანობაა დაახლოებით 6-7 კმ. ვერტიკალზე აღებულია 72 დონე არაერთგვაროვანი ბიჯებით. ჰიდროდინამიკური ბლოკის სახით გამოიყენება ცნობილი ოკეანის მოდელი NEMO (<https://www.nemo-ocean.eu>) ხოლო ტალღური კომპონენტისათვის WaveWatch-III (<https://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>).

ბალტიის მონიტორინგის პროგნოზის ცენტრის (BAL MFC) მიერ, რომელიც არის კოპერნიკის ზღვის გარემოს მონიტორინგის სერვისის (The Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)) ნაწილი, ბალტიის ზღვისათვის შემუშავებულია შეწყვილებული (coupled) მოდელირების სისტემა ოპერატიული გამოყენებისათვის [4]. სისტემა ოთხი კომპონენტისაგან შედგება; ოკეანის ცირკულაციის მოდელის NEMO-ს გაუმჯობესებული ვერსია, ბიოგეოქიმიური მოდელი (ERCOM), ქარისმიერი ტალღების მოდელი (WAM) და მონაცემთა ასიმილაციის სისტემა. მოდელირების სისტემის რეალიზაცია მთლიანად ბალტიის ზღვის აუზისათვის ხორციელდება $\approx 1,85$ კმ ჰორიზონტალური გარჩევისუნარიანობით, ხოლო პროგნოზის გამოთვლა 6 დღის წინსწრებით. ბალტიის მონიტორინგისა და პროგნოზის ცენტრის მთავარი მიზანია უზრუნველყოს მომხმარებელი ფიზიკური და ბიოგეოქიმიური პარამეტრებით. მოდელირების სისტემის გამოყენებამ ოპერატიულ რეჟიმში აჩვენა გამოთვლილი პროგნოზების კარგი სიზუსტე. შესაძლებელია მოდელირების სისტემის შემდგომი განვითარება სხვადასხვა კომპონენტების ჩართვის გზით.

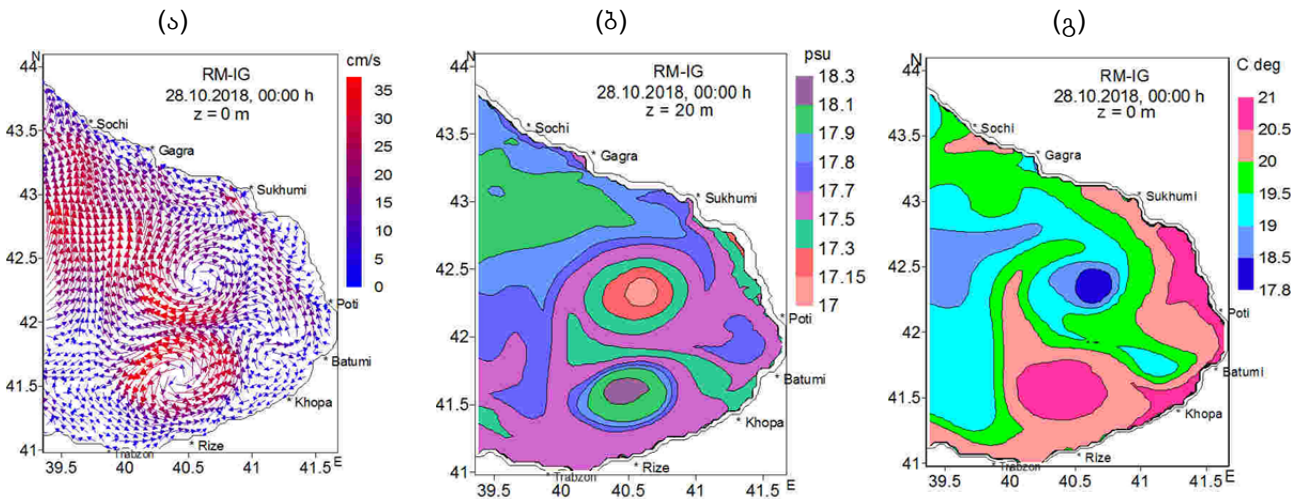


ნახ.1. დინების ველი (მარცხენა პანელი), ტალღების სიმაღლე დინების გათვალისწინების გარეშე (შუა პანელი) და დინების გათვალისწინებით (მარჯვენა პანელი) 2017 წლის 12 იანვარს ტოინის შტორმის დროს (storm Toini) [4].

ტალღური მოდელი გაუმჯობესდა ზედაპირული დინებისა და ყინულის კონცენტრაციის გათვალისწინებით, რამაც შესაძლებელი გახადა ყინულის მდგომარეობის ცვლილების გათვალისწინება პროგნოზული დროითი ინტერვალის განმავლობაში. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია [4]-ში მოყვანილი დინებისა და ტალღის სიმაღლეების განაწილების ველი ქარიშხალ ტოინის (Storm Toini) დროს.

შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფიის დიდი მიღწევაა ევროკავშირის სამეცნიერო-ტექნიკური პროექტების ARENA (2003-2006) და ECOOP(2007-2010) ფარგლებში შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება, რომელმაც ოპერატიულ რეჟიმში ფუნქციონირება დაიწყო 2010 წლიდან [5]. სისტემის ძირითადი კომპონენტები იყო ატმოსფეროს დინამიკის მოდელი ALADIN ან SCIRON, ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ქ. სევასტოპოლი, უკრაინა) ზღვის აუზის მასშტაბის შავი ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელი 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით და მის სათვლელ ბადეში ჩადგმული სანაპირო დინამიკის მაღალი გარჩევისუნარიანი რიცხვითი მოდელები, მათ შორის მ. ნოდინას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი 1 კმ

გარჩევისუნარიანობით [5, 6]. რეგიონული მოდელი ძირითადი კომპონენტია რეგიონული პროგნოზის სისტემისა. რეგიონულ მოდელს საფუძვლად უდევს დეკარტის მართკუთხოვან კოორდინატთა სისტემაში ჩანერილი ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკურ განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ და უკუმშვადი სითხის მიახლოებაში, რომლის ამოხსნა განხორციელებულია დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნის სასრულ-სხვაობითი მეთოდით, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდით ფიზიკური პროცესების, ვერტიკალური საკოორდინატო სიბრტყეებისა და კოორდინატების მიხედვით [7]. მოდელში შემავალი რეალური მონაცემების პირობებში რეგიონული პროგნოზის სისტემა საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის სამგანზომილებიანი ველების პროგნოზი 72 სთ წინსწრებით შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში. საზღვაო პროგნოზის გათვლისათვის საჭირო მონაცემთა მასივები ყოველდღიურად მიიღებოდა ინტერნეტის საშუალებით ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში დაწყებული 2010 წლიდან 2021 წლის ჩათვლით, რაც გათვალისწინებული იყო ზემოთ აღნიშნული ევროკავშირის პროექტების ფარგლებში. ტექნიკური მიზეზების გამო 2021 წლის შემდეგ მონაცემთა მიღება შეწყდა. მრავალრიცხოვანმა გამოთვლებმა რეალური მონაცემების გათვალისწინებით აჩვენა, რომ შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთი აკვატორია ჰიდროდინამიკის თვალსაზრისით ძალზედ აქტიური რეგიონია, რომელიც ხასიათება მეზომასშტაბური და სუბმეზომასშტაბური გრიგალური სტრუქტურების უწყვეტი ფორმირებითა და ევოლუციით [8, 9].



ნახ.2. (ა) – ზედაპირული დინების, (ბ) – მარილიანობის (z = 20 მ სპორიზონტზე) და (გ) -ზზტ პროგნოზული ველები 2018 წ. 28 ოქტომბერს, 00:00 GMT, 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. (პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 25-29 ოქტომბერი 2018 წ.

ილუსტრაციის მიზნით ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია დინების, მარილიანობისა და ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის (ზზტ) პროგნოზული ველები 2018 წლის 28 ოქტომბერს, t = 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. ნახ. 2ა-ზე კარგად დაიკვირვება დიპოლური სტრუქტურის „ციკლონი-ანტიციკლონი“ ფორმირება აღნიშნულ დღეს. ნახ. 2ბ-დან ასევე კარგად ჩანს, რომ მარილიანობის ველი კარგ კორელაციაშია დინების ველთან, რომელიც განაპირობებს შედარებით დაბალი მარილიანობის წყლებს ანტიციკლონური გრიგალის ცენტრალურ ნაწილში, ხოლო ციკლონური გრიგალის არეალში – მაღალ მარილიანობას.

ამჟამად, ჩვენ ვატარებთ სამუშაოებს, რომლებიც დაკავშირებულია არსებული საზღვაო რეგიონული პროგნოზის შემდგომ განვითარებასთან და სრულყოფასთან ძალიან მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანი ქვესისტემის შემუშავების მიზნით ბათუმი-ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის.

მადლიერება. კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [გრანტის ნომერი FR-22-365].

ლიტერატურა

- [1] Marchuk G. I., Paton B. E., Korotaev G. K., Zalesny V. B. Data-computing technologies: a new stage in the development of operational oceanography. // Izv. RAS, Atmospheric and Oceanic Physics, v.49, № 6, 2013, pp. 579-591.
- [2] Towards operational oceanography: The Global Ocean Observing System (GOOS). // GOOS report-16 IOC/INF-1028 Paris, 26 April 1996, 14 p.
- [3] Pinardi N., Allen I., Demirov E., De Mey P., Korres G., Lascaratos A., Le traon P. Y., Maillard C., Manzella G., Tziavos C. The Mediterranean ocean forecasting system: first phase of implementation (1998-2001). // Annales Geophysicae, 21, 2003, pp.3-20.
- [4] Nord A., Karna T., Lindethal A., Ljungenyr P., Maljutenko I., Falahat S., Ringgoard I. M., Korabel V., at al. New coupled forecasting system for the Baltic Sea area. // 9th EuroGOOS International conference, Shom; Ifremer; EuroGOOS AISBL, May 2021, Brest, France, hal-03328374v1.
- [5] Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. I., Ratner V. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. // Ocean Science, 8, 2012, pp.183-196.
- [6] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. // Ocean Science, 7, 2011, pp. 793-803.
- [7] Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. // Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
- [8] Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kvaratskhelia D. Numerical study of some peculiarities of hydrological mode for the southeastern part of the Black Sea (2010-2021). // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. v.16, №4, 2022, pp. 47-53.
- [9] Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kvaratskhelia D. Modeling and forecasting of mesoscale circulation and oil pollution transport in the southeastern Black Sea. // Journal of Environmental Protection and Ecology, v. 25, No 1, 2024, pp. 42–52.

Monitoring and Short-Term Forecasting Systems for European Seas

Demetrashvili D.

Abstract. *The article briefly reviews some European marine monitoring and forecasting systems based on the use of modern numerical models of ocean dynamics. Significant attention is focused on the Black Sea monitoring and forecasting system, one of the components of which is a high-resolution regional forecasting system for the Georgian sector of the Black Sea and the surrounding water area. The core of the regional forecasting system is the baroclinic model of the Black Sea dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics. Some calculation results are given.*

Key words: *forecasting system, Mediterranean Sea, system of equations, flow field.*