

შავი ზღვის ჰიდროფიზიკური პროცესების შესწავლა რიცხვითი მოდელების გამოყენებით

დემური დემეტრაშვილი**, ვეფხია კუხალაშვილი*, დიანა კვარაცხელია*

*ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

აბსტრაქტი. სტატიაში განიხილება შავი ზღვის ჰიდროფიზიკური პროცესების შესწავლა რიცხვითი მოდელების საშუალებით, რომელთა ინტენსიური შემუშავება დაიწყო გასული საუკუნის 60-70-იანი წლებიდან. ყურადღება გამახვილებულია შავი ზღვის საქართველოს სექტორში რეგიონული ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების შესწავლაზე ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის საფუძველზე.

საკვანძო სიტყვები. ზღვის ცირკულაცია, ატმოსფერული ზემოქმედება, განტოლებათა სისტემა, რიცხვითი მეთოდი.

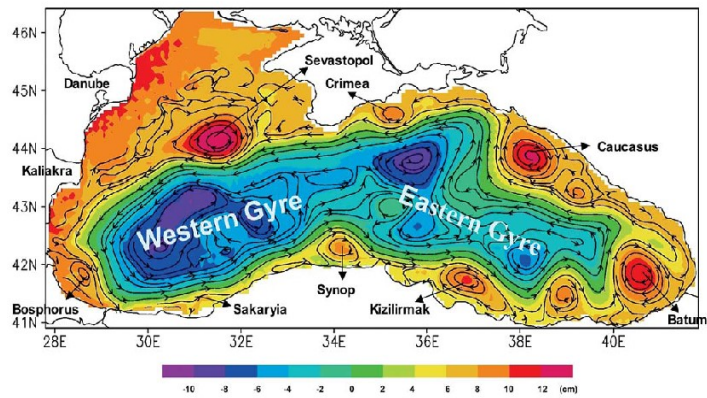
შავი ზღვის ჰიდროდინამიკური პროცესების შესწავლა რიცხვითი მოდელების ინტენსიური გამოყენებით დაიწყო გასული საუკუნის 60-70-იან წლებში. რიცხვითი მოდელები ეფუძნება დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებს, რომელთა ამოხსნა ხორციელდება სასრულ-სხვაობითი (რიცხვითი) მეთოდების გამოყენებით [1]. ადრეულ გამოკვლევებში მკაფიოდ გამოირჩეოდა ორი სახის მოდელები: დიაგნოსტიკური და პროგნოსტიკული. მათ შორის შედარებით მარტივია დიაგნოსტიკური მოდელები, რომლებშიც სიმკვრივის ველი განისაზღვრება დაკვირვების მონაცემთა საფუძველზე (და არა ამოხსნის პროცესში) [2].

სრულყოფილების თვალსაზრისით გაცილებით მნიშვნელოვანია პროგნოსტიკული მოდელები, რომლებსაც საფუძვლად უდევს ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა. პიონერული შრომა ამ მიმართულებით შესრულებული იყო ყოფილ საბჭოთა კავშირში - სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ციმბირის განყოფილების გამოთვლით ცენტრში (ქ. ნოვოსიბირსკი, აკადემქალაქი) [3], სადაც განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად გამოყენებული იყო გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდი [1]. იგივე მეთოდი გამოყენებული იყო [4]-ში.

გასული საუკუნის 70-80-იანი წლების გამოთვლითი ტექნიკის დონე არ იძლეოდა არასტაციონარული სივრცითი ამოცანების რეალიზაციას სასურველი სივრცითი გარჩევისუნარიანობით. ბოლო ათეულ წლებში გამოთვლითი ტექნიკის პროგრესმა არსებითად ხელი შეუწყო შავი ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელების სივრცითი გარჩევისუნარიანობის საგრძნობლად ამაღლებას, რამაც უფრო საიმედო და ადექვატური გახადა ზღვის დინამიკური პროცესების მოდელირების შედეგები (მაგ., [5-8]). მოკლედ აღვწეროთ ზოგიერთი მათგანი.

ცნობილი POM (Princeton Ocean Model) მოდელი გამოიყენებოდა შავ ზღვაში ქარის-

მიერი და თერმოხალინური ცირკულაციის შესასწავლად კლიმატური მონაცემების გამოყენებით [5]. POM იყენებს ვერტიკალზე ზღვის ფსკერის ტოპოგრაფიის მიმყოფ σ კოორდინატს და სანაპირო ხაზის მიმყოფ ორთოგონალურ მრუდწირულ კოორდინატთა სისტემას. ზღვის ზედაპირი მოდელირებულია თავისუფალი ზედაპირის სახით. POM მოდელი რეალიზებული იყო მთლიანად შავი ზღვის აუზისათვის 5 კმ სივრცითი ბიჯით ზღვის სამხრეთ სანაპირო აკვატორიისათვის, სადაც ზღვის ტოპოგრაფია გამოირჩევა მკვეთრი არაერთგვაროვნებით, ხოლო ზღვის ღია ნაწილში, სადაც ზღვის ტოპოგრაფია თითქმის ბრტყელია, სივრცითი ბიჯი იყო 15 კმ. [6]-ში ოკეანის **DieCAST (The Dietrich Center for Air Sea Technology)** მოდელი ადაპტირებული იყო შავი ზღვისათვის, სადაც მოდელირებული იყო ზღვის დინამიკური პროცესები $1/12^{\circ}$ (5 საზღვაო მილი) ჰორიზონტალური გარჩევისუნარიანობით და 20 დონით ვერტიკალზე. ნახ.1-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული ზღვის დონისა და დენის წირების სურათი შავი ზღვისათვის, საიდანაც კარგად ჩანს, რომ მოდელი კარგად ასახავს ზღვის ზოგადი ცირკულაციის ძირითად თავისებურებებს - ციკლონური ხასიათის ზღვის ძირითად დინებას, ციკლონურ გრიგალებს ზღვის ღია ნაწილში და ანტიციკლონურ სანაპირო გრიგალებს.



ის დონეები და

დენის წირები შავი ზღვის ზედაპირზე [6].

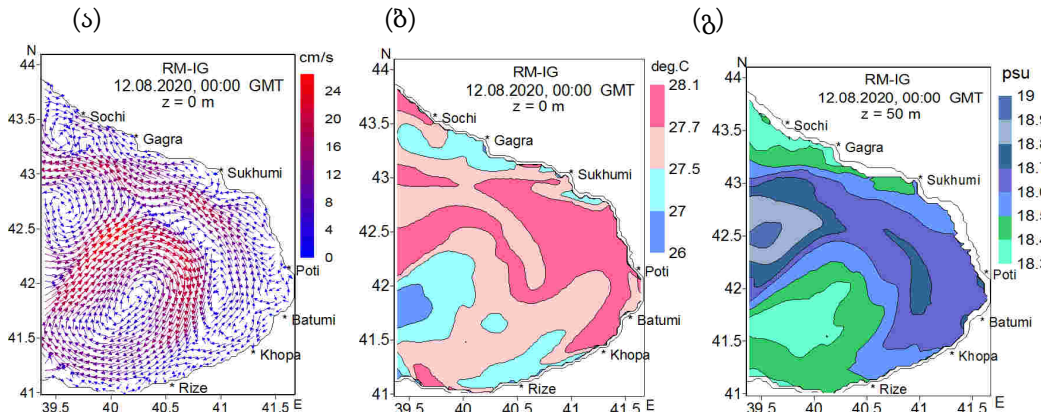
აღსანიშნავია [7]-ში განხილული რიცხვითი მოდელი, რომელიც დაფუძნებულია სფერულ კოორდინატთა სისტემაში ჩაწერილ სრულ განტოლებათა სისტემაზე. მოდელს გააჩნია 4×4 კმ გარჩევისუნარიანობა ჰორიზონტებზე და 40 დონე ვერტიკალზე.

გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში განხორციელდა [3] მოდელის სრულყოფა ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გათვალისწინებით და ერთდროულად მოდელის სივრცით გარჩევისუნარიანობის გაზრდით [8].

გასული საუკუნის ბოლოს შეიქმნა მყარი საფუძველი, რათა შემუშავებულიყო ევროპის ცალკეული ზღვებისათვის მოკლევადიანი პროგნოზული სისტემები, ისეთი როგორც ამინდის პროგნოზებია. შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფიის უდიდესი მიღწევაა შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის ოპერატიული სისტემის შემუშავება [9], რაც განხორციელდა ევროკავშირის საერთაშორისო პროექტების ARENA და ECOOP ფარგლებ-

ში. აღნიშნული სისტემის ერთ-ერთი კომპონენტი გახდა მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც მოიცავს შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას [10]. რეგიონული სისტემის ძირითადი ბირთვია შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, რომელიც მიღებულია შავი ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის რიცხვითი მოდელის [8] ადაპტირების გზით ზღვის განაპირა ადმოსფერულ აკვატორიისათვის.

ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის საფუძველზე ჩატარებულმა მრავალრიცხოვანმა გამოთვლებმა რეალური ატმოსფერული ზემოქმედების გათვალისწინებით აჩვენა, რომ შავი ზღვის საქართველოს აკვატორია ხასიათდება ჰიდროფიზიკური პროცესების მნიშვნელოვანი ცვალებადობით, რასაც თან ახლავს მეზომასშტაბური და სუბმეზომასშტაბური გრიგალური სტრუქტურების ფორმირება [10-13].



ნახ. 2. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული ზედაპირული დინება (ა), ტემპერატურა (ბ) და მარილიანობა $z = 50$ მ ჰორიზონტზე (გ) 2020 წლის 12 აგვისტოს, 00:00 GMT.

ილუსტრაციის მიზნით ნახ.2-ზე ნაჩვენებია რეგიონული მოდელის საფუძველზე გამოთვლილი ზღვის ზედაპირული დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის სურათები, რომლებიც შეესაბამებიათ 2020 წლის 12 აგვისტოს. სურათები ნაჩვენებია პროგნოზის საწყისი მომენტიდან 72 საათის შემდეგ. პროგნოზული ინტერვალია 9-12 აგვისტო, 2020. ნახ, 2ა -ზე კარგად ჩანს ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც რეგიონული ცირკულაციის მთავარი ელემენტია აღნიშნული დღისათვის. დაიკვირვება აგრეთვე მცირე ზომის გრიგალური სტრუქტურების ფორმირებაც.

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

ლიტერატურა:

1. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, 1974, 303 с.
2. Саркисян А. С. Основы теории расчета океанических течений. Ленинград, 1966, 123 с.

3. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А., Скиба Ю. Н. Расчет основных гидрологических полей Черного моря на основе метода расщепления. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 1975, т.11, №4, с. 379-393.
4. Girgvliani A. Circulation of seasonal variability of the hydrological characteristics of the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., 1998, v. 3b, pp.17-26.
5. Oguz T, Malalnote-Rizzoli P., Aubrey D. Wind and thermohaline circulation of the Black Sea driven by yearly mean climatological forcing. J. Geophys. Res., 1995, vol. 100, No. C4, pp. 6845-6863.
6. Staneva J. V., Dietrich D. E., Stanev E. V., Bouman M. J. Mesoscale circulation in the Black Sea: New results from DieCAST model simulation. J. Mar. Sys. 2001, 31, pp. 137-157.
7. Zalesny V. B., Gusev A. V., Moshonkin S. N. Numerical model of the Hydrothermodynamics of the Black Sea and the Sea of Azov with variational initialization of temperature and salinity. Izvestiya RAS, Atmospheric and Oceanic Physics. 2013, 49 (6), pp. 699-716. DOI.10.7868/S000235151306014X.
8. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование гидрофизических полей Черного моря в условиях чередования атмосферных циркуляционных процессов. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2008, т.44, №2, с. 227-238.
9. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeyev 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/.
10. 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. www.ocean-sci.net/7/793/2011/.
11. კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. თბილის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2017, 187 გვ.
12. Demetrashvili, D., Kukhalashvili, V. High-resolving modeling and forecast of regional dynamic and transport processes in the easternmost Black Sea basin. In: Proceedings of the International Conference on Geosciences (GEOLINKS 2019), 26-29 March, Athens, Greece, 2019, Book 3, v.1, pp. 99-107.
13. 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. 2024, v. 25, № 1, pp. 42-52.

Study of hydrophysical processes of the Black Sea using numerical models Summary

The article discusses the study of hydrophysical processes of the Black Sea by means of numerical models, the intensive development of which began in the 60-70s of the last century. Attention is focused on the study of regional hydrothermodynamic processes in the Georgian sector of the Black Sea based on the regional model of sea dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University.