

შავი ზღვის ზედა ტურბულენტურ ფენაში ტემპერატურის ველის საწყის პირობებზე მგრძობალობის რისხვითი გამოკვლევა ზღვის დინამიკის რისხვითი მოდელის გამოყენებით

***,** კვარაცხელია დ., * დემეტრაშვილი დ.**

**ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო
**ზინესისა და ტექნოლოგიების უნივერსიტეტი, თბილისი. საქართველო*

ანოტაცია. მოცემულ სტატიაში ჩვენი მიზანია, ზღვის დინამიკის 3-განზომილებიანი აუზის მასშტაბის რიცხვითი მოდელის გამოყენებით გამოვიკვლიოთ შავი ზღვის ზედა ტურბულენტური ფენის ტემპერატურის ველის მგრძობალობა საწყისი პირობების ცვლილებების მიმართ. ამ მიზნით მოდელი ფუნქციონირებს 2 წლის განმავლობაში და საწყის ეტაპზე მასში ინიციალიზირებულია ზღვის მახასიათებელი პარამეტრების საშუალო წლიური სიმულირებული მონაცემები, ხოლო ერთი წლის მერე საწყის პირობად ავტომატურად გამოიყენება ერთწლიანი ინტეგრირებისას მიღებული დეკემბრის ბოლო დღის მონაცემები. როგორც იანვრის თვის მაგალითზე ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, ტემპერატურის ველში საწყისი პირობების როლი შესამჩნევად მცირდება დინამიკაში. ამავე დროს, დეკემბრის მონაცემების ავტომატური გათვალისწინება მოდელში, რომელიც გამოირჩევა სეზონური თავისებურებებით, მნიშვნელოვნად ზრდის ტემპერატურის ველის სიახლოვეს კოპერნიკის საზღვაო სერვისის მონაცემებთან.

საკვანძო სიტყვები: საწყისი პირობები, პრიმიტიული განტოლებათა სისტემა, რიცხვითი მოდელი, ტურბულენტური ფენა.

1. მიმოხილვა

ბოლო ათწლეულებში, გლობალური დათბობისა და კლიმატის ცვლილების ფონზე, საზღვაო სისტემაში, მთელი რიგი ძალისხმევით დაინერგა ზღვის დინამიკის აღმწერ რიცხვით მოდელებზე დაფუძნებული, ზღვისა და ოკეანის ფიზიკური მდგომარეობის განმსაზღვრელი დაკვირვებისა და პროგნოზირების სისტემები. ბუნებრივია იგივე აქტივობები შეეხო შავ ზღვას, რომელშიც ამჟამად კოპერნიკის საზღვაო გარემოს მონიტორინგის სისტემა (CMEMS) ფუნქციონირებს უწყვეტად [1].

როგორც ცნობილია, ოპერატიულ რეჟიმში მოქმედი შავი ზღვის დინამიკის მოდელებში [1, 2] ადგილობრივი და სატელიტური ხელსაწყოებით გაზომილი მონაცემების ასიმილაცია ხდება სხვადასხვა ვარიაციული სქემების გამოყენებით. უნდა ითქვას, რომ ზღვის საწყისის მდგომარეობის შესაბამისი (ზღვის დინების, მარილიანობისა და ტემპერატურის ველების) 3-განზომილებიანი ციფრული მნიშვნელობების ინიციალიზაცია მოდელში დაკავშირებულია მთელ რიგ ტექნოლოგიურ სიძნელეებთან. ასეთ დროს რეალურთან ახლოს სიმულირებული შედეგების საწყის პირობად ინიციალიზაცია მოდელში შესაძლებლობას გვაძლევს განვიხილოთ და შევაფასოთ ზღვაში მიმდინარე პროცესების ცვლილებები ნებისმიერი დროითი ფანჯრით .

მოცემულ სტატიაში, ზღვის დინამიკის 3-განზომილებიანი აუზის მასშტაბის რიცხვითი მოდელის (ამ-რმ) [3] ბაზაზე, შევისწავლით შავი ზღვის ზედა ტურბულენტურ ფენაში ტემპერატურის ველის ცვლილებებს ერთწლიანი დროითი ინტერვალით – ორი სხვადასხვა საწყისი პირობების შესაბამისად. აღნიშნული მოდელი, ისევე როგორც მისი მაღალი გარჩევადობის რეგიონალური ოპერატიული ვერსია საქართველოსთვის [4], რომელიც ფუნქციონირებდა ევროპული პროექტების ფარგლებში

[2], შემუშავებულია ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში (თბილისი, საქართველო).

კვლევის მიზანია გამოვავლინოთ საწყისი პირობების როლი რამდენად მნიშვნელოვნად აისახება სიმულირებულ სცენარებზე, მისი ინიციალიზაციის პირველ და მე-10 დღეს, რამდენადაც იგი სამომავლოდ განსაზღვრავს, მაღალი გარჩევადობის რეგიონალური მოდელის ბაზაზე, ერთთვიანი პროგნოზული სისტემის ფუნქციონირების პერსპექტივას. ამ მიზნით მოდელი ფუნქციონირებს 2 წლის განმავლობაში და მასში ინტეგრირების დასაწყისში საწყის პირობად ინიციალიზირებულია ზღვის მახასიათებელი პარამეტრების საშუალო წლიური კლიმატური სიმულირებული მონაცემები, ხოლო ერთი წლის მერე მოდელში საწყის პირობად ავტომატურად გამოიყენება ერთწლიანი ინტეგრებისას მიღებული დეკემბრის ბოლო დღის მონაცემები.

2. მოდელი, ამოხსნის მეთოდები და მასალები

შავი ზღვის ამ-რმ, რომელიც გაუმჯობესებულია ვერტიკალური ტურბულენტობის მდგრადი მოდელით [5], დაფუძნებულია ზღვისა და ოკეანის დინამიკის აღმწერ პრიმიტიულ განტოლებათა სრულ სისტემაზე ჰიდროსტატიკური მიახლოებით. მოდელში საწყისი და სასაზღვრო პირობები განისაზღვრება კოში-დირიხლე / ნეიმანის პირობებით. ბუნებრივია, მასში საწყისი პირობების რეალურთან მიახლოებული მნიშვნელობების გათვალისწინება არსებითად განსაზღვრავს სიმულირებული შედეგების სიახლოვეს რეალურთან.

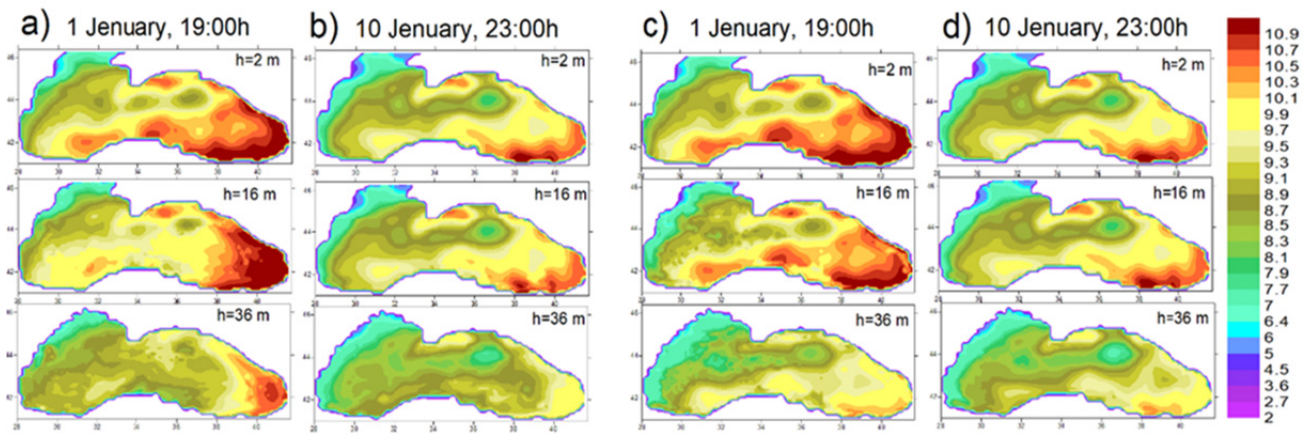
ინფორმაცია მოდელის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის რიცხვით მეთოდებზე [6] და აგრეთვე კლიმატურ მონაცემებზე, რომელიც მიეკუთვნება მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარს, ვრცლად მოცემულია წინა კვლევებში [3, 5]. მოდელის პროგრამული უზრუნველყოფა შემუშავებულია Visual Fortran V6.1-ბაზაზე, ხოლო მიღებული ციფრული მონაცემების დამუშავებისა და ვიზუალიზაციისთვის გამოიყენებულია Python 3.10 და “Surfer-8”-ის სისტემური გარემო.

3. რიცხვითი გამოკვლევის შედეგები

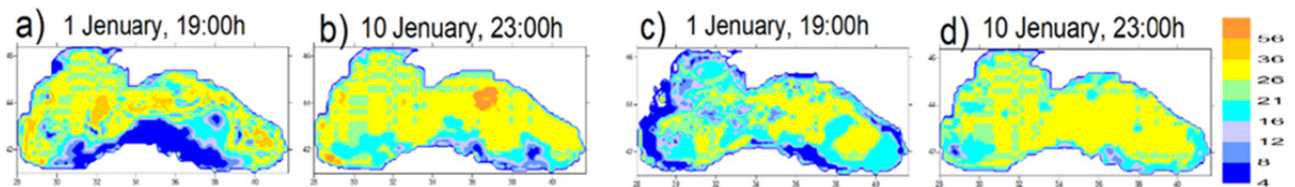
შავი ზღვის ტემპერატურის სიმულირებულ სცენარებზე საწყისი მნიშვნელობების გავლენის შეფასების მიზნით, ნახ. 1-ზე და ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია ორივე პირობის მიხედვით სიმულირებული ტემპერატურის ველები და შერეული ტურბულენტური ფენის ჰორიზონტალური სიღრმეები, რომელიც გათვლილია იანვრის პირველი და მე-10 დღის შესაბამისად.

უნდა ითქვას, ზღვის ზედაპირი იანვრის პირველ და მე-10 დღეს, ერთწლიანი დროითი ინტერვალით, განიცდის ერთი და იმავე ჩრდილო-აღმოსავლეთის ზომიერი (5-10 მ/წმ) და ძლიერი (>20მ/წმ) ქარის ზემოქმედებას. ასევე, ორივე პირობის მიხედვით, უცვლელია ატმოსფერული – თერმოჰალინური ზემოქმედების განმსაზღვრელი კლიმატური მონაცემები და ზღვის მახასიათებელი პროფილების საშუალო თვიური რიცხვითი მნიშვნელობები.

აქ წარმოდგენილი შედეგების მიხედვით, ორივე პირობის შესაბამისად, იანვრის თვეში ცივი წყლის ადვექცია დაიკვირვება ზღვის ჩრდილო-დასვლეთ ზონიდან მის ცენტრალურ ნაწილში (იხ. ნახ. 1ა, ბ და ნახ.1ც, დ), მაშინ როცა ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ სანაპიროსთან ახლოს და საქართველოს საზღვაო რეგიონში თითქმის კავკასიის სანაპირომდე, ისევე როგორც სხვა კვლევებში [5, 7], თბილი წყლის აუზი ფიქსირდება. უფრო დეტალური ანალიზისას აშკარაა, რომ საწყისი პირობების როლი უფრო მნიშვნელოვანია იანვრის პირველ დღეს (იხ. ნახ.1ა და ნახ.1ც), რამდენადაც 16 მეტრიდან რადიკალურად განსხვავებული სტრუქტურა ფიქსირდება ტერმპერატურის ველებში. მე-10 დღეს კი ეს ცვლილება ვლინდება 36 მეტრიდან (იხ. ნახ.1ბ და ნახ.1დ). რაც შეეხება რაოდენობრივ სხვაობას, რომელიც არ აღემატებოდა 0.7 ცელსიუს იანვრის დასაწყისში, თანდათან მცირდება დინამიკაში.



ნახ.1. ზღვის ტემპერატურის სიმულირებული ველები მოდელის ინტეგრირების იანვრის პირველი დღის 19:00 საათზე -(ა) და მე-10 დღის 23:00 საათზე -(ბ), ხოლო იგივე ველები მეორე წლის იანვრის იმავე დროის მომენტში (ც) და (დ), შესაბამისად.



ნახ. 2 . შერეული ფენის სიღრმეების ჰორიზონტალური ველები -(ა), (ბ) პირველი წლის იანვრის პირველ და მე-10 დღეს, ხოლო – (ც) და (დ) მეორე წლის იანვრის იმავე დღეებში

მიღებული შედეგები უშუალოდ მეტყველებს იმაზე, რომ ზედაპირთან ახლოს 0-16 მეტრ სიღრმეზე, ზღვის ტემპერატურის ველში სასაზღვრო პირობების ზემოქმედება უფრო მნიშვნელოვანია, მაშინ როცა სიღრმის ზრდასთან ერთად თვალში საცემია საწყისი პირობების გავლენა. იგი მიუხედავად ტურბულენტობის გამომწვევი პირველადი ფაქტორებისა [8, 9], კიდევ უფრო მკვეთრად გამოკვეთილია შერეული ფენის სიღრმეების ჰორიზონტალურ ველებში, რომელიც ისევე როგორც წინა კვლევაში [5], ტემპერატურის კლასიკური კრიტერიუმით (0.2°C) განისაზღვრა. როგორც ცნობილია, ტურბულენტური შერევა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს კლიმატის ცვლილებას, რადგან ოკეანის ზედა ფენიდან სითბო მიეწოდება ატმოსფეროს. აქ, ჩატარებული კვლევის დროს, განსაკუთრებით მეორე შემთხვევაში, ზღვის 0-36 მეტრ სიღრმეზე თვისობრივად შენარჩუნებულია შავი ზღვის ტემპერატურის ველისთვის დამახასიათებელი თავისებურება [10]. ასევე მიღებული შედეგი კარგ ჰარმონიაშია კოპერნიკის სერვისის 2021 წლის იანვრის მოდელურ მონაცემებთან, https://data.marine.copernicus.eu/product/BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001/description.

4. დასკვნა

მოცემული კვლევის მიხედვით ნათელია, რომ დინამიკაში საწყისი პირობების გავლენა ტემპერატურის ველზე, განსაკუთრებით ზედა ფენაში, შესამჩნევად მცირდება. ამავე დროს, დეკემბრისთვის მონაცემების ინსტალაცია მოდელში, რომელიც შინაარსობრივად უფრო მისაღებია, თავის მხრივ განსაზღვრავს შავი ზღვის ტემპერატურის ველის რეალურთან მიახლოებულ უკეთეს შედეგს.

კვლევა ჩატარდა საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (SRNSFG) მხარდაჭერით (გრანტის ნომერი FR-22-365).

- [1] Jansen E., Azevedo D., Stefanizzi L., Causio S., Ilicak M., Ciliberti S., Gunduz M., Matreata M., Aydogdu A., Lima L., Peneva E., Masina S., Coppini G., Pinardi N. Black Sea Production Centre BLKSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_007_001 // Copernicus Marine Environment Monitoring Service, Quality Information Document, 2021, 4, PP.35, <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-BS-QUID-007-001.pdf>
- [2] 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 Sci., 7, 2011, 629–649, <https://doi.org/10.5194/os-7-629-2011>
- [3] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Surmava A. A., Numerical modeling of hydrophysical fields of the Black Sea under the conditions of alternation of atmospheric circulation processes. // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Publishing, USA, 44 (2), 2008, pp. 213-224
- [4] 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, <https://doi.org/10.5194/os-7-793-2011>
- [5] Kvaratskhelia D., Demetrashvili D., Elbakidze Kh., Sorriso-Valvo L., Turbulent mixing numerical study in the Black Sea basin using modified version of the Pacanovski-Philander formulation. // Bulletin TICMI, 25(1), 2021, pp. 3-19
- [6] Marchuk G. I., Numerical solution of the problems of the atmosphere and the ocean dynamics. // Gidrometeoizdat, Leningrad , 1974, 303 pp., (in Russian).
- [7] Ratner Yu. B., Korotaev G. K., Specific features of heat exchange between the Black Sea and the atmosphere in winter in 1971–1991. // Russian Meteorology and Hydrology, 42, 2017, pp. 503–509
- [8] Kara A. B., Helber R. W., Boyer T.P., Elsner J.B., Mixed layer depth in the Aegean, Marmara, Black and Azov Seas: Part I: General features. //Journal of Marine Systems, 78, 2009, S169-S180, <https://www7320.nrlssc.navy.mil/pubs/2009/helber2-2009.pdf>
- [9] Stanev E. V., Chtirkova B. Interannual Change in Mode Waters: Case of the Black Sea. //Journal of Geophysical Research; Oceans , 126(2), 2021, pp. 20. <https://doi.org/10.1029/2020JC016429>
- [10] Miladinova S., Stips A., Garcia-Gorriz E., Macias Moy D. Black Sea thermohaline properties: Long- term trends and variations. // Journal of Geophysical Research; Oceans Journal of AGU Publication, 122(7), 2017, pp. 5624-5644, <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>

NUMERICAL INVESTIGATION OF SENSITIVITY OF THE TEMPERATURE FIELD TO INITIAL CONDITIONS IN THE UPPER TURBULENT LAYER OF THE BLACK SEA USING THE NUMERICAL MODEL OF THE SEA DYNAMICS

Kvaratskhelia D., Demetrashvili D.

***Abstract.** In this paper, our goal is to investigate of the upper turbulent layer temperature field sensitivity on the initial conditions variability using a 3-dimensional basin-scale numerical model of sea dynamics. For this purpose, the model operates for 2 years. At the initial stage, the average annual simulated data of the sea characteristics are initialized in it, but after one year, the data of the last day of December obtained during one-year integration are used as the initial condition, automatically .*

As the numerical studies on the example of the January showed, in the temperature field the role of initial conditions is reduced noticeably in dynamics. At the same time, the December data automatic consideration in the model, which is distinguished by seasonal features significantly increases proximity of the temperature field to the Copernicus Naval Service datas.

Key words: Initial condition, Primitive Equations System, Numerical Modeling, Turbulent Layer