

საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი განვითარების პერსპექტივები შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის

დემეტრაშვილი დ.

თსუ მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
demetr_48@yahoo.com

თავისი გეოპოლიტიკური მნიშვნელობითა და უნიკალური ჰიდროლოგიური სტრუქტურით შავი ზღვა დიდი ხანია იპყრობს მეცნიერთა და ფართო საზოგადოების ყურადღებას. დიდა შავი ზღვის გავლენა საქართველოს სოციალურ-ეკონომიკურ მდგომარეობაზე. გარდა იმისა, რომ შავი ზღვა ბიოლოგიური და მინერალური რესურსების მნიშვნელოვანი წყაროა, მას დიდი სატრანსპორტო და რეკრეაციული მნიშვნელობა გააჩნია.

მნიშვნელოვანია შავი ზღვის როლი რეგიონული ამინდისა და კლიმატის ფორმირებაში. შავი ზღვა და ატმოსფერო ერთიანი ჰიდროდინამიკური სისტემის კომპონენტებია, რომელთა შორის უწყვეტად მიმდინარეობს ენერგიებისა და ნივთიერებათა გაცვლის პროცესები.

შავი ზღვისადმი ინტერესი მნიშვნელოვნად გაიზარდა ბოლო ათეულ წლებში, რის ერთ-ერთი მიზეზიცაა შავი ზღვის მზარდი დაბინძურება სხვადასხვა მიწარევებით. ეს გამოწვეულია ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურებით და ზღვის აუზის სპეციფიკური ჰიდროლოგიური თავისებურებებით. შავი ზღვა მეტად მგრძობიარეა გარეშე ანთროპოგენური დატვირთვის მიმართ, რადგან იგი თითქმის ჩაკეტილი წყალსატევია და მხოლოდ ბოსფორის ვიწრო სრუტით უკავშირდება მსოფლიო ოკეანეს.

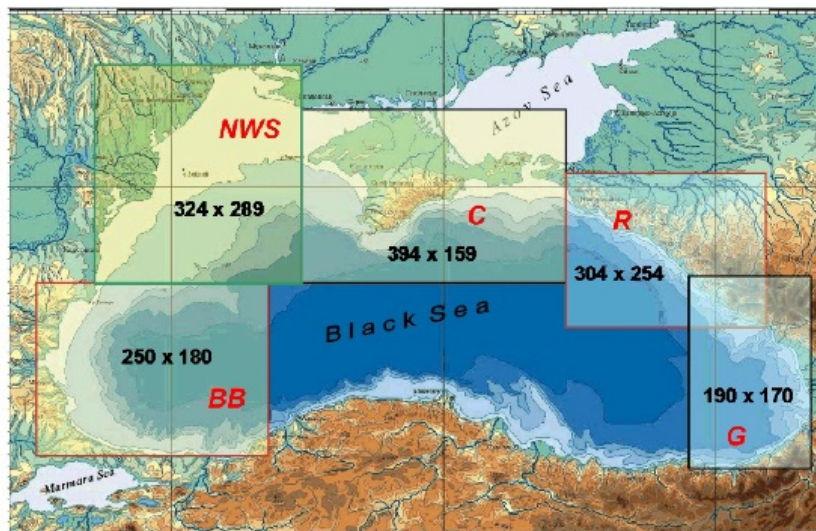
განსაკუთრებული პრესის ქვეშაა შავი ზღვის სანაპირო ზონა და მათ შორის შავი ზღვის საქართველოს სექტორი, სადაც ადამიანის ყოფითი და სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურება მნიშვნელოვან საშიშროებას უქადის ზღვის სანაპირო ეკოსისტემას.

შავი ზღვის საქართველოს სექტორის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო ზონა, სადაც საგრძნობლად იზრდება სამეურნეო საქმიანობა: ყოველწლიურად მატულობს ტურისტთა ნაკადი, ინტენსიურად ვითარდება სანაპირო ინფრასტრუქტურა (თუ არ მივიღებთ მხედველობაში 2020-2021 წლებს COVID-19 პანდემიასთან დაკავშირებით). ამ ზონაში მდებარეობს ბათუმისა და ფოთის პორტები, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება მნიშვნელოვანი საპორტო ოპერაციები და საზღვაოდსატრანსპორტო გადაზიდვები. დღეისათვის, შავი ზღვა აქტიურად ასრულებს სატრანსპორტო დერეფნის როლს ნავთობპროდუქტებისა და სხვა პროდუქციის გადატანაში აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით, ხოლო ახლო მომავალში მოსალოდნელია ზღვის სატრანსპორტო ფუნქციის კიდევ უფრო გაზრდა დაგეგმილი ახალი საზღვაო ინფრასტრუქტურების მშენებლობასთან დაკავშირებით.

ინტენსიური ანთროპოგენური დატვირთვის პირობებში მნიშვნელოვან აქტუალობას იძენს მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე საზღვაო პროგნოზული სისტემა, რომელიც დროულად უზრუნველყოფს ზღვის მდგომარეობის პროგნოზს დაბინძურების ზონების იდენტიფიცირებით.

დაახლოებით, ბოლო ორ ათეულ წელიწადში შავი ზღვის დინამიკის კვლევებმა რიცხვითი მოდელების გამოყენებით ფართო განვითარება მოიპოვა. კომპიუტერული ტექნიკის პროგრესმა ხელი შეუწყო მაღალი გარჩევისუნარიანი მათემატიკური მოდელების შემუშავებას, რომლებსაც უნარი შესწევთ ჰიდროფიზიკური პროცესების საკმაოდ მაღალი ადეკვატურობით რეპროდუცირება. თანამედროვე მათემატიკური მოდელები, ძირითადად, ერთმანეთისგან განსხვავდება გამოყენებული საკოორდინატო სისტემით, ფიზიკური პროცესების პარამეტრიზაციის მეთოდებით (ტურბულენტობა, მზის რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენაში და ა.შ.), ამოხსნის ალგორითმით (მაგ., [1-5]).

XXI საუკუნის დასაწყისის შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფიის მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-ტექნიკური მიღწევაა შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება, რაც შესაძლებელი გახდა შავი ზღვისპირა ქვეყნების წამყვანი ოკეანოგრაფიული ცენტრების, მათ შორის ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის (ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორი), თანამშრომლობით ევროკავშირის საერთაშორისო-ტექნიკური პროექტების ARENA (2003-2006) და ECOOP(2007-2009) ფარგლებში. სისტემა მოიცავს დისტანციურ (თანამგზავრულ) და კონტაქტურ დაკვირვებებს, მონაცემთა შეკრება-დამუშავებისა და ასიმილაციის მეთოდებს, ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ზჰი, სევასტოპოლი) ზღვის აუზის მასშტაბის შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკურ მოდელს და მაღალი გარჩევისუნარიან რეგიონულ მოდელებს ზღვის ცალკეული სანაპირო რეგიონებისათვის [6-8].



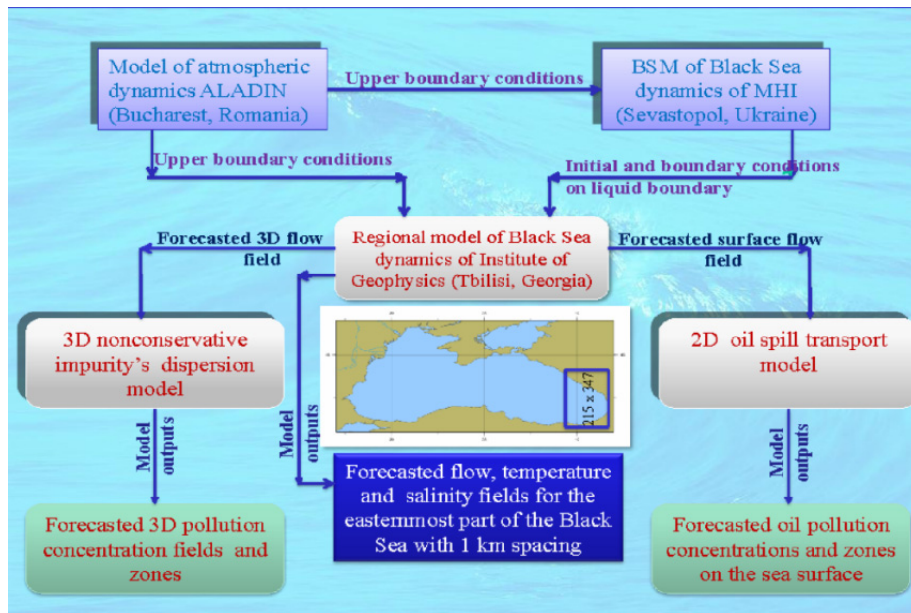
ნახ.1. შავი ზღვის სანაპირო რეგიონები, სადაც გამოითვლება დინამიკური ველების პროგნოზი მაღალი გარჩევისუნარიანობით [7]. რიცხვებით აღნიშნულია რიცხვითი მოდელების სათვლელ ბადეთა კვანძების რაოდენობა ჰორიზონტებზე.

ნახ.1-ზე ნაჩვენებია [7]-ში მოყვანილი სურათი ბულგარეთის, რუმინეთის, უკრაინის, რუსეთისა და საქართველოს სანაპირო არეების ჩვენებით, სადაც გამოითვლება ზღვის რეგიონული პროგნოზი უფრო მაღალი გარჩევისუნარიანობით, ვიდრე ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მთელი აუზის მასშტაბით. ნახაზზე თითოეული სანაპირო აკვატორიისათვის ნაჩვენებია მოდელების სათვლელ ბადეთა კვანძების რაოდენობა ჰორიზონტებზე, მაგრამ საქართველოს აკვატორიისათვის არასწორადაა მითითებული ბადის კვანძების რაოდენობა, რაც ქვემოთ იქნება მოყვანილი.

შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის, რომელიც შემუშავებულია ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში [9-18]. რეგიონული სისტემა მოიცავს ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას, შემოსაზღვრულს დასავლეთიდან 39.08° ა. გ. მერიდიანზე გამავალი პირობითი თხევადი საზღვრით (მერიდიანი გადის, დაახლოებით, ქ. ტუაფსეზე/რუსეთი).

შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო გრანტის (2013-2015) ფარგლებში განხორციელდა რეგიონული პროგნოზული სისტემის სრულყოფა მინარევების გავრცელების ორი და სამგანზომილებიანი რიცხვითი მოდელების ჩართვის გზით პროგნოზულ სისტემაში.

შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიის რეგიონული პროგნოზული სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირების სქემა ნაჩვენებია ნახ.2-ზე. სისტემის ძირითადი ბირთვია მაღალი გარჩევისუნარიანი მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შავი ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელი, რომლის სათვლელი ბადე (სივრცითი ბიჯით 1 კმ) ჩადგმულია ზჭი-ის აუზის მასშტაბის ზღვის დინამიკის მოდელში 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით. აქ გამოყენებულია ცალმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (one-way nesting), რაც უზრუნველყოფს ზღვის აუზის მასშტაბის პროცესების ზემოქმედების გათვალისწინებას სანაპირო პროცესებზე ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში.



ნახ. 2. რეგიონული პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა [13]. ნახაზის შუა ნაწილში მართკუთხედით აღნიშნულია მოდელირებისა და პროგნოზის არე შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში.

ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელთან შეწყვილებულია მინარევების გავრცელების ორი და სამგანზომილებიანი რიცხვითი მოდელები, რომლებიც გამოიყენებენ ზღვის დინამიკის მოდელით გამოთვლილ ცირკულაციურ პარამეტრებს.

შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი მიღებულია ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელის [19] ადაპტირების გზით ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილისათვის და სივრცითი გარჩევისუნარიანობის გაზრდით 5 კმ-დან 1 კმ-მდე. რეგიონულ მოდელს საფუძვლად უდევს

ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ და უკუმ-შვადი სითხის მიახლოებაში, ხოლო მინარევების გავრცელების მოდელები დაფუძნებულია არაკონსერვატიული მინარევის გადატანა-დიფუზიის არასტაციონარულ განტოლებაზე.

პროგნოზულ სისტემაში შემავალი რიცხვითი მოდელების განტოლებათა ამოხსნა ეფუძნება, ძირითადად, ერთიან მეთოდოლოგიურ მიდგომას, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდის გამოყენებას ფიზიკური პროცესებისა და სივრცითი კოორდინატების მიმართ. გახლეჩის მეთოდი ოკეანისა და ატმოსფეროს დინამიკის ამოცანათა ფართო კლასის ამოხსნის ერთდერთი ეფექტური საშუალებაა, რომელსაც საფუძვლად უდევს ამოცანის ძირითადი ოპერატორის წარმოდგენა უფრო მარტივი ოპერატორების ჯამის სახით და არსებითად ამარტივებს გეოფიზიკური ჰიდროდინამიკის რთული არასტაციონარული მათემატიკური მოდელების რეალიზაციას [20, 21].

რეგიონული საზღვაო პროგნოზის სისტემა საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში ძირითადი ჰიდროფიზიკური სამგანზომილებიანი ველების - ზღვის დინების, ტემპერატურის, მარილიანობისა და სიმკვრივის 3-დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ხოლო საგანგებო სიტუაციების დროს ვიწინასწარმეტყველოთ, აგრეთვე, ზღვაში მოხვედრილი ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების არეები და კონცენტრაციები. როგორც ARENA და ECOOP პროექტებით იყო გათვალისწინებული, გამოთვლებისათვის საჭირო ყველა მონაცემი რიცხვითი მასივების სახით მიიღება ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში ყოველდღიურად ინტერნეტის მეშვეობით. ეს მონაცემებია:

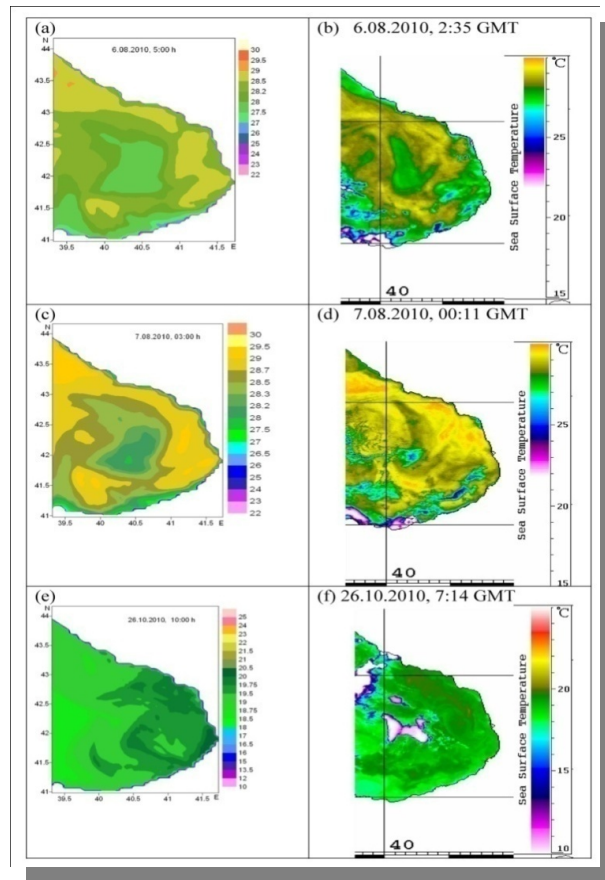
- დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის სამგანზომილებიანი საწყისი ველები;
- დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის მნიშვნელობები დასავლეთის თხევად საზღვარზე;
- პროგნოზული მეტეოროლოგიური ველები ზღვის ზედაპირზე - ქარის ხახუნის ტანგენციალური მდგენელები, სითბოს ნაკადი, ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან.

შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ვალიდაცია წარმატებით განხორციელდა 2005 წლის 22-26 ივლისს, როდესაც შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის ისტორიაში პირველად ჩატარდა პილოტური ექსპერიმენტი პროგნოზის სისტემის ფუნქციონირების გამოცდის მიზნით ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში. პილოტურ ექსპერიმენტში, შავიზღვისპირა ქვეყნების ოკეანოლოგ-ექსპერტებთან ერთად მონაწილეობდნენ მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორის თანამშრომლები (*ა. კორძაძე, დ. დემეტრაშვილი*). პილოტურ ექსპერიმენტს კოორდინაციას უწევდა უკრაინის ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი (*ქ. სევასტოპოლი*). პილოტური ექსპერიმენტის წარმატებით ჩატარებამ ფართო გამოხმაურება ჰპოვა, არა მარტო სპეციალისტთა შორის, არამედ საზოგადოების ფართო ფენებშიც. გაზეთმა „Слава Севастополя“ (19 ავგუსტა 2005, № 153 (22088)) სპეციალური სტატია მიუძღვნა ამ ექსპერიმენტს, სადაც აღნიშნული იყო ქართველ მეცნიერთა წვლილიც ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში.

ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელისა და მინარევების გავრცელების სამგანზომილებიანი მოდელის კომპიუტერული რეალიზაცია ხდება ბადეზე, რომელიც ვერტიკალზე მოიცავს 30 სათვლელ დონეს არათანაბარი ვერტიკალური ბიჯებით, ხოლო თითოეულ ჰორიზონტზე ბადის კვანძების რაოდენობაა 215 x 347. სივრცითი ჰორიზონტალური ბიჯია 1 კმ, ხოლო დროითი ბიჯი - 0.5 სთ.

2010 წლიდან რეგულარულად ხორციელდება ჰიდროფიზიკური ველების მოკლევადიანი პროგნოზის გამოთვლები, რომლის შედეგების განთავსება ხდება ინტერნეტში შემდეგ მისამართებზე: www.ig-geophysics.ge , www.oceandna.ge.

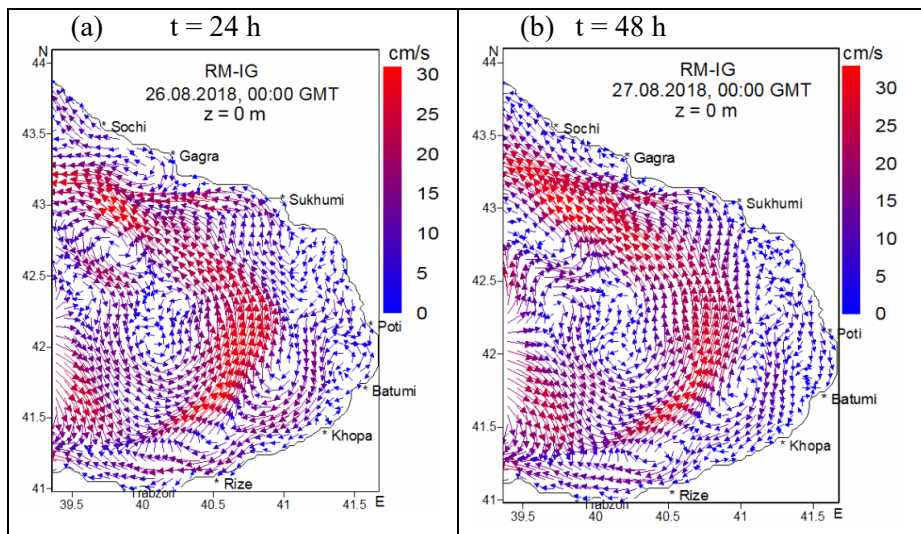
გამოთვლის შედეგების შედარებამ ჩვენთვის ხელმისაწვდომ დაკვირვების მონაცემებთან აჩვენა, რომ პროგნოზული და დაკვირვებული ველები კარგ თანხმობაშია ერთმანეთთან.



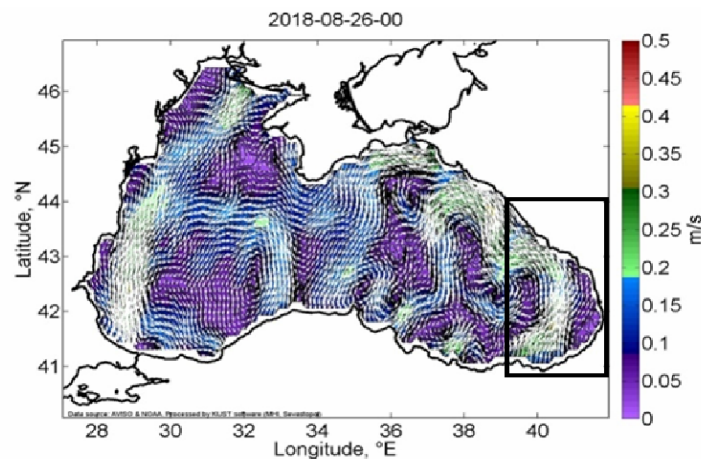
ნახ. 3. პროგნოზული (მარცხნივ) და NOAA თანამგზავრიდან მიღებული ზღვის ზედაპირის ტემპერატურა შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილში 2010 წლის 6, 7 აგვისტოს და 26 ოქტომბერს [9].

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია რეგიონული მოდელის საფუძველზე გამოთვლილი ზღვის ზედაპირული ტემპერატურის ველები და NOAA დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან მიღებული ზღვის ზედაპირული ტემპერატურის სურათები შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის, რომლებიც შეესაბამებიან 2010 წლის 6, 7 აგვისტოს და 26 ოქტომბერს [9]. პროგნოზული ველების შედარება ხდებოდა იმ თანამგზავრულ სურათებთან, რომლებიც დაახლოებით შეესაბამებოდნენ პროგნოზული ველების შესაბამის დროით მომენ-

ტებს. შედარების მიზნით შეირჩა ის დღეები, როცა შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიის ზემოთ ცა თითქმის თავისუფალი იყო ღრუბელთა საფარისაგან. 26 ოქტომბერს მცირე მოღრუბლულობა დაიკვირვებოდა მხოლოდ განსახილველი ტერიტორიის ცენტრალურ და ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში. ნახ.3-დან ჩანს, რომ გამოთვლილი ველები კარგ თანხმობაშია თანამგზავრულ დაკვირვების მონაცემებთან, მოდელირებული და თანამგზავრული სურათები თითქმის ერთნაირად ასახავენ ტემპერატურული ველების თავისებურებებს. მაგალითად, ნახაზიდან შეიძლება შევნიშნოთ, რომ 2010 წლის 6 და 7 აგვისტოს როგორც პროგნოზული, ასევე თანამგზავრული ტემპერატურის ველებში დაიკვირვებოდა ნაპირის გასწვრივ შედარებით მაღალი ტემპერატურები და დაბალი ტემპერატურები განსახილველი არის ცენტრალურ ნაწილი. 26 ოქტომბერს კი შესამჩნევი იყო წყლის გაცივების საერთო ტენდენცია საქართველოს ნაპირებიდან ზღვის სიღრმისაკენ.



ნახ.4. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილი ზედაპრული დინების პროგნოზული ველები 24 სთ (a) და 48 სთ (b) შემდეგ. პროგნოზის ინტერვალია 25-28 აგვისტო 2018, 00:00 GMT.



ნახ.5. გეოსტროფიული დინების ველი 00:00 GMT, 2018 წლის 26 აგვისტოს, რომელიც აღდგენილია ალტიმეტრიული თანამგზავრული დაკვირვებების საფუძველზე. მართკუთხედით აღნიშნულია პროგნოზის არე განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიაში.

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია რეგიონული პროგნოზული სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი ზედაპირული ცირკულაციის ველები 2018 წლის 26 და 27 აგვისტოს 24 და 48 საათის შემდეგ (დრო ათვლილია პროგნოზის საწყისი მომენტიდან) შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში [16]. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ დროის ამ პერიოდისათვის რეგიონული ცირკულაცია ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილში ხასიათდებოდა ვიწრო ციკლონური ხასიათის ჭავლით, რომელიც ახლოს ჩაუვლიდა საქართველოს სანაპიროს. გამოთვლების თანახმად, ჭავლური დინების სიჩქარე დაახლოებით 25-30 სმ/წმ -ია. გარდა ამისა, ნახაზზე კარგად ჩანს მცირე მასშტაბის გრიგალური წარმონაქმნებიც.

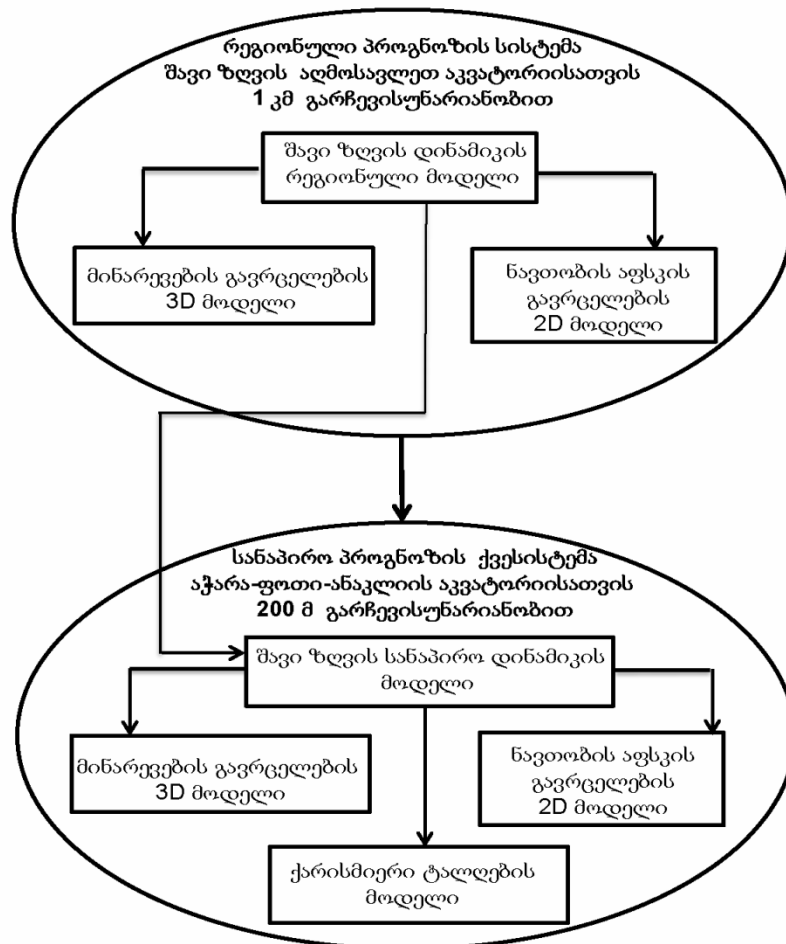
ნახ.5-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის ზედაპირული გეოსტროფიული ცირკულაციის სურათი 2018 წლის 26 აგვისტოსათვის, რომელიც აღდგენილია თანამგზავრული ალტიმეტრიული დაკვირვების მონაცემების საფუძველზე (<http://dvs.net.ru/mp/data/main.shtml>). აქ მართკუთხედით აღნიშნულია ჩვენი მოდელირების არე განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიაში. გამოთვლილი პროგნოზული დინების ველის შედარება (ნახ.4) გეოსტროფიული დინების ველთან (ნახ.5) გვიჩვენებს, რომ მოდელი კარგად აღწერს ციკლონურ ჭავლურ დინებას, რომელიც შეიძლება მივიჩნიოთ, როგორც შავი ზღვის ძირითადი დინების აღმოსავლეთ ტოტი. რაც შეეხება მცირე გრიგალურ წარმონაქმნებს, რომელსაც ჩვენი მოდელი აფიქსირებს, გეოსტროფიული მიახლოება ვერ ახდენს ასეთი მცირე ზომის გრიგალების იდენტიფიცირებას.

რეგიონული პროგნოზის სისტემის ფუნქციონირებამ საშუალება მოგვცა შეგვექმნა უნიკალური მონაცემთა ბაზა, რომელიც მოიცავს დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3-განზომილებიან ველებს 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2010-2021 წწ. პერიოდისათვის. ამ მონაცემთა ანალიზმა შესაძლებლობა მოგვცა შეგვესწავლა დინამიკური ველების ცვალებადობის ზოგიერთი თავისებურებები [10-12, 14]. შემდგომში, მონაცემთა უფრო დეტალური ანალიზი საშუალებას მოგვცემს უფრო სრულყოფილი გავხადოთ ჩვენი ცოდნა ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში განვითარებული ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების შესახებ, გამოვავლინოთ თერმოხალინური ველების ტრენდი ბოლო 10-12 წლის განმავლობაში, რასაც მნიშვნელოვანი მეცნიერული ღირებულება გააჩნია კლიმატის თანამედროვე ცვლილების თვალსაზრისით.



ნახ. 6. რეგიონული და სანაპირო პროგნოზის არეები შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილში.

რეგიონული პროგნოზული სისტემა შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის არ წარმოადგენს საბოლოო ვერსიას. მისი შემდგომი განვითარება და სრულყოფა დაკავშირებულია ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე (სივრცითი ბიჯით 150-200 მ) პროგნოზული ქვესისტემის შემუშავებასთან აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო ზონისათვის, რომელიც არსებული რეგიონული პროგნოზის სისტემის შემადგენელი კომპონენტი იქნება. ამ ქვესისტემის დანიშნულებაა დააზუსტოს და უფრო დეტალიზირებული გახადოს დინამიკური და სხვა ველების პროგნოზი აღნიშნულ აკვატორიაში. ნახ. 6-ზე ნაჩვენებია პროგნოზის არე, სადაც ხდება ამოცანათა რეალიზაცია 1 კმ სივრცით გარჩევისუნარიანობით და ბათუმი-ფოთი-ანაკლიის აკვატორია, სადაც გამოითვლება პროგნოზი 150-200 მ გარჩევისუნარიანობით.



ნახ. 7. საზღვაო პროგნოზული სისტემის გაუმჯობესებული ვერსიის სტრუქტურა.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია საზღვაო რეგიონული პროგნოზის სისტემის გაუმჯობესებული ვერსიის სტრუქტურა.

როგორც ნახ. 7-დან ჩანს, პროგნოზული ქვესისტემის შემადგენელი კომპონენტები იქნება:

- ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი 3-განზომილებიანი სანაპირო დინამიკის რიცხვითი მოდელი (150-200 მ ბადის სივრცითი ბიჯით), რომელიც ჩადგმული იქნება 1 კმ გარჩევისუნარიან ზღვის დინამიკის მოდელში.
- 2-განზომილებიანი ნავთობის აფსკის გავრცელების რიცხვითი მოდელი.
- 3-განზომილებიანი არაკონსერვატიული მინარევის გავრცელების რიცხვითი მოდელი.

- ზედაპირული გრავიტაციული ტალღების მოდელი.

სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემის ძირითადი ბირთვი იქნება ზღვის დინამიკის მოდელის ახალი მაღალგარჩევისუნარიანი ვერსია, რომელიც მიიღება არსებული რეგიონული მოდელის ადაპტირების გზით აჭარა-ანაკლიის აკვატორიისათვის და სივრცითი გარჩევისუნარიანობის გაზრდით 1 კმ ბადის ბიჯიდან 150-200 მ ბადის ბიჯამდე. ამავე დროს სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემა გაფართოვდება ზღვის ზედაპირული ტალღების პროგნოზის ამოცანით. დაგეგმილია, რომ ქარისმიერი ზედაპირული ტალღების მოდელი დაფუძნებული იქნება სპექტრალური ტალღური ენერჯის ბალანსის განტოლებაზე. აღსანიშნავია, რომ ამავე განტოლებას ეფუძნება ლიტერატურაში კარგად ცნობილი SWAN (Simulating Waves Nearshore) მოდელი, რომელიც საკმაოდ სრულად აღწერს ტალღური მოძრაობის ფორმირებასა და ტრანსფორმაციას სანაპირო ზონებში და ფართოდ გამოიყენება ქარისმიერი ტალღების გამოსათვლელად მთელ რიგ სანაპირო ზონებში [22-24].

სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემის ფუნქციონირება შესაძლებელი იქნება არსებულ რეგიონულ სისტემასთან ერთობლივად ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის გამოყენებით (nesting modeling), რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ არა მარტო დინამიკური ველებისა და მინარევების გავრცელებისა და კონცენტრაციების პროგნოზი, არამედ ზედაპირული ტალღების სიმაღლე და მიმართულება 150-200 მ გარჩევისუნარიანობით აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო ზონისათვის.

კომპლექსური რეგიონული პროგნოზული სისტემის ახალი ვერსიის პროგრამული უზრუნველყოფა წარმოდგენილი იქნება ერთიანი კომპლექსური პროგრამული პაკეტისაგან, რომელიც შემუშავებული იქნება ალგორითმულ ენაზე „ფორტრანი“. პროგრამული პაკეტი შედგება ცალკეული მოდულებისაგან, რომლებსაც გარკვეული ფუნქციონალური დატვირთვა გააჩნიათ.

ამგვარად, შეიქმნება კომპლექსური ოპერატიული რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც გააერთიანებს 1 კმ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ სისტემას და 150-200 მ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ ქვესისტემას აჭარის სანაპირო ზონისა და ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის. აღნიშნული გაუმჯობესებული რეგიონული პროგნოზული სისტემის შემუშავებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მისი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, რადგანაც ასეთი სისტემის ფუნქციონირება ოპერატიულ რეჟიმში საშუალებას მოგვცემს უზრუნველყოთ საზღვაო პროგნოზით ისეთი სახალხო-სამეურნეო დარგები, რომელთა სრულფასოვანი ფუნქციონირება საჭიროებს ოპერატიულ ინფორმაციას შავი ზღვის მდგომარეობის შესახებ.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Staneva I. V., Dietrich D. E., Stanev E. V., Bowman M. J. Mesoscale circulation in the Black Sea: New results from DieCAST model simulations. *J. Mar. Sys.* v.31, 2001, pp.137-157.
2. Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A., Koblinsky C. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data. *J. Geophys. Res.*, v.108, No. C4, 3122, 2003, pp. 19-15.
3. Stanev E. Understanding Black Sea dynamics: Overview of recent numerical modeling. *Oceanography*, v.18. № 2, 2005, pp. 52-71.
4. Zalesny V. B., Gusev A. V., Moshonkin S. N. Numerical model of the hydrodynamics of the Black Sea and the sea of Azov with variational initialization of temperature and salinity. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 49, № 6, 2013, pp. 699-716.

5. Demyshev S. G., Dymova O. A. Numerical analysis of the mesoscale features of circulation in the Black Sea coastal zone. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 49, № 6, 2013, pp. 603-610, DOI:[10.1134/S0001433813060030](https://doi.org/10.1134/S0001433813060030)
6. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeyev V. L., Demyshev S. G., Kubryakov A. I., Ratner Yu. B. Development of the Black Sea nowcasting and forecasting system. *Ocean Science*, 7, 2011, pp. 629-649. DOI:10.5194/os-7-629-2011/.
7. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeyev V. L., Ratner Y. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. *Ocean Science*, 8, 2012, pp.183-196.
8. Marchuk G. I., Paton B. E., Korotaev G. K., Zalesny V. B. Data-computing technologies: a new stage in the development of operational oceanography. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol.49, № 6, 2013, pp. 579-591.
9. 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. doi: 10.5194/os-7-793-2011. www.ocean-sci.net/7/793/2011/.
10. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А., Кухалашвили В. Г. Некоторые особенности динамического режима восточной части Черного моря по результатам моделирования и прогноза гидрофизических полей за 2010-2013 гг. Труды Института геофизики им. М. З. Нодиа. т. LXIV, 2013, 2013, с. 117-130.
11. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Surmava A. A. Dynamical processes developed in the easternmost part of the Black Sea in warm period for 2010-2013. *J. Georgian Geophys. Soc.*, v. 16b, 2013, pp. 3-12.
12. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Черного моря. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, т. 49, № 6, 2013, с. 733-745.
13. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. Easternmost Black Sea Regional Forecasting System. *Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment –MEDCOAST 2015*, 6-10 October, Varna, Bulgaria, 2015, pp. 769-780.
14. კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2017, 187 გვ.
15. Kordzadze A., Demetrashvili D. Operational forecasting for the eastern Black Sea. *Proceed. of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017*, 30 October – 4 November, 2017, Mellieha, Malta, t.2, 2017, pp.1215-1224.
16. Demetrashvili D., Kukhalashvili V. High-resolving modeling and forecast of regional dynamic and transport processes in the easternmost Black Sea basin. *Proceed. of the International Conference on Geosciences (GEOLINKS 2019)*, 26-29 March 2019, Athens, Greece, Book 3, vol.1, 2019, pp. 99-107.
17. Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Surmava A., Kvaratskhelia D., Modeling of variability of the regional dynamic processes, developed during 2017-2019 in the easternmost part of the Black Sea. *Proceed. of the International Conference GEOLINKS 2020*, Plovdiv, Bulgaria, ISSN 2603-5472, ISBN 978-619-7495-09-6, Book 2, V.2, 2020, pp. 111-120. DOI 10.32008/GEOLINKS2020/B2/V2.
18. Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kvaratskhelia D., Surmava A. Marine forecast for the easternmost part of the Black Sea. *Conference Proceedings GEOLINKS -2021*, Book 1, Volume 3, 17-18 May 2021, Online Edition, ISSN 2603-5472, ISBN 978-619-7495-17-1, DOI 10.32008/GEOLINKS 2021/B1/V3, pp. 453-460.
19. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U., Gvelesiani A. I. The vortical motions in the Black Sea obtained by the 3D thermo-hydrodynamical numerical model, *Advances in Geosciences*, 14, 2008, pp. 295-299, <http://www.adv-geosci.net/14/295/2008/adgeo-14-295-2008.html>
20. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
21. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Москва, Наука, 1982, 319 с.
22. Rusu E., Silva D., C. Guedes Soares. Evolution of the shoreline dynamics in a coastal sector of the Portuguese nearshore. *Maritime Technology and Engineering*, 3, London, 2016, pp. 1079-1086, ISBN 978-1-138-03000-8.
23. Rusu E., Strategies in using numerical wave models in ocean/coastal applications. *J. Marine Science and Technology*, vol. 19, N. 1, 2011, pp. 58-75, <http://jmst.ntou.edu.tw/marine/19-1/58-75.pdf>.

საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი განვითარების პერსპექტივები შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის

დემეტრაშვილი დ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია რეგიონული საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი შემდგომი განვითარებისა და სრულყოფის პერსპექტივები საქართველოს შავი ზღვის სექტორისათვის. რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც შემუშავებულია ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური პროექტების ARENA და ECOOP ფარგლებში და წარმოადგენს მთლიანად შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთ შემადგენელ კომპონენტს, უზრუნველყოფს ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების - დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3 დღიან პროგნოზს შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ასევე, ზღვაში მოხვედრილი ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროგნოზს საგანგებო სიტუაციების შემთხვევაში. პროგნოზული სისტემის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ქარისმიერი ზღვის ზედაპირული ტალღების პროგნოზის მოდელის ჩართვასა და ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი პროგნოზული ქვესისტემის შემუშავებასთან აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო აკვატორიისათვის. საზღვაო რეგიონული პროგნოზის სისტემის ახალი ვერსია მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯი იქნება საქართველოს სანაპირო ზონის ეკოლოგიური და ნავიგაციური უსაფრთხოებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: ზღვის დინამიკის მოდელი, პროგნოზის სისტემა, ზედაპირული ტალღები, განტოლებათა სისტემა.

MARINE FORECASTING SYSTEM AND PROSPECTS FOR ITS DEVELOPMENT FOR THE GEORGIAN SECTOR OF THE BLACK SEA

Demetrashvili D.

Abstract

The article discusses the regional maritime forecasting system and the prospects for its further development and improvement for the Georgian sector of the Black Sea. The regional forecasting system, developed within the framework of the EU international scientific and technical projects ARENA and ECOOP and being one of the components of the Black Sea basin-scale nowcasting /forecasting system, provides a 3-day forecast of main hydrophysical fields –the current, temperature and salinity with a spatial resolution of 1 km, and in emergency situations - forecasting the spread of oil and other impurities in the sea. Further development of the regional forecasting system is associated with the development of a forecasting

subsystem with a very high resolution for the Adjara-Poti-Anaklia coastal zone and the inclusion of a model of wind-induced surface waves in the subsystem. The new version of the Maritime Regional Forecasting System will be an important step forward for the ecological and navigation security of the Georgian coastal zone.

Key words: sea dynamics model, forecasting system, surface waves, system of equations.

СИСТЕМА МОРСКОГО ПРОГНОЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ ДЛЯ ГРУЗИНСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ

Деметрашвили Д.И.

Реферат

В статье обсуждается региональная система морского прогноза и перспективы ее дальнейшего развития и совершенствования для грузинского сектора Черного моря. Региональная система прогнозирования, разработанная в рамках международных научно-технических проектов Евросоюза ARENA и ECOOP и являющаяся одной из компонентов системы диагноза и прогноза Черного моря в бассейновом масштабе, обеспечивает трехдневный прогноз основных гидрофизических полей - течения, температуры и солености с пространственным разрешением 1 км, а в чрезвычайных ситуациях - прогноз распространения нефти и других примесей в море. Дальнейшее развитие системы регионального прогноза связано с разработкой подсистемы прогнозирования с очень высоким разрешением для прибрежной зоны Аджария-Поти-Анаклия и включением модели прогноза ветровых поверхностных волн в подсистему. Новая версия Морской региональной системы прогнозирования станет важным шагом вперед для экологической и навигационной безопасности прибрежной зоны Грузии.

Ключевые слова: модель динамики моря, система прогнозирования, поверхностное волнение, система уравнений.