

**მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და
ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში
2011-2023 წწ.-ში ჩატარებული კვლევები და პერსპექტივები**

დემეტრაშვილი დ.

*ოსუ მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
demetr_48@yahoo.com*

იმ უდიდეს გამოწვევებს შორის, რომელთა გადაჭრა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს თანამედროვე ცივილიზაციის მომავალსა და მდგრად განვითარებას, ბუნებრივი გარემოს (ზღვა, ატმოსფერო, ნიადაგი) დაბინძურება ცოცხალი სამყაროსათვის საშიში სხვადასხვა ანთროპოგენური წარმოშობის მინარევებით ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხია. ჩვენი პლანეტის თხევად გარსში (ატმოსფეროს, ჰიდროსფერო) მინარევების გავრცელების პროცესის კანონზომიერებათა გამოკვლევა და პროგნოზი კომპლექსური ამოცანაა და პირველ რიგში მოითხოვს ატმოსფეროსა და ზღვაში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების კვლევასა და პროგნოზს. აღნიშნული ამოცანების გადაჭრის ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა მათემატიკური მოდელირების მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა რაოდენობრივად შევაფასოთ ცალკეული ფაქტორის როლი შესასწავლი პროცესის ან მოვლენის განვითარებაში და, ბოლოს, განვახორციელოთ მათი პროგნოზი.

ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში სამ ათეულ წელიწადზე მეტია მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები აღნიშნული მიმართულებით. უნდა აღინიშნოს, რომ სექტორში ჩატარებულმა კვლევებმა საფუძველი დაუდო ინსტიტუტისათვის შედარებით ახალ მიმართულებას – შავი ზღვისა და ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების შესწავლას მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

მოცემულ სტატიაში, რომელიც არის მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების 90 წლისთავისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო კონფერენციაზე წარმოდგენილი პრეზენტაციის [1] გაფართოებული ვერსია, მოცემულია მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს მოდელირების სექტორში 2011-2023 წწ.-ში შესრულებულ სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მიმოხილვა.

2011-2023 წწ.-ში სექტორში მიმდინარეობდა სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით:

- შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების შესწავლა მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე;

- შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემის განვითარება და სრულყოფა;
- კავკასიის რეგიონის ატმოსფეროში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების შესწავლა მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე;
- შავ ზღვაში, ატმოსფეროში, ნიადაგსა და ზედაპირულ წყლებში სხვადასხვა მინარეველების გავრცელების კანონზომიერებათა შესწავლა მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

შავი ზღვის ჰიდროდინამიკური პროცესების მოდელირებისა და პროგნოზის მიზნით, სექტორში შემუშავებულია შავი ზღვის დინამიკის მოდელის ორი ვერსია: ზღვის აუზის მასშტაბის მოდელი 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით [2-4] და მაღალი გარჩევისუნარიანი რეგიონული მოდელი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით [5-7]. რეგიონული მოდელი მიღებულია აუზის მასშტაბის მოდელის ადაპტირების გზით შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილისათვის, რომელიც მოიცავს შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას 39°05' მერიდიანზე გამავალი პირობითი საზღვრით. ორივე მოდელს საფუძველად უდევს ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა, რომლის ამოხსნა ხორციელდება დიფერენციალურ განტოლებათა სასრულ-სხვაობითი მეთოდების გამოყენებით, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდით ფიზიკური პროცესების, საკოორდინატო ვერტიკალური სიბრტყეებისა და წრფეების მიხედვით, რაც საშუალებას იძლევა რთული სივრცითი არასტაციონარული ამოცანები დაყვანილ იქნას შედარებით მარტივ ორ და ერთგანზომილებიან ამოცანებად [8, 9].

მოდელებში გათვალისწინებულია შემდეგი ძირითადი ფაქტორები: 1. ატმოსფერული ქარისმიერი და თერმული ზემოქმედება, 2. ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან, 3. მზის მოკლელტალღოვანი რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენის მიერ, 4. ზღვის ფსკერის რელიეფი და ნაპირების კონფიგურაცია, 5. ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების სივრცით-დროითი ცვალებადობა. 6. აუზის მასშტაბის მოდელში ბოსფორის ზედა და ქვედა დინება, მდ. დნეპრის შემოდინება, ხოლო რეგიონულ მოდელში საქართველოს ძირითადი მდინარეების – ბზიფის, კოდორის, ერისწყალის, ენგურის, რიონის, ხობის შემოდინება.

აუზის მასშტაბის ზღვის დინამიკის მოდელის საფუძველზე კლიმატური მონაცემების გამოყენებით ჩატარებული გამოთვლითი ექსპერიმენტები შეეხებოდა სხვადასხვა ფიზიკური ფაქტორების წვლილის შეფასებას ზღვის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ჩამოყალიბებაში. ამ გამოკვლევებს შორის მნიშვნელოვანია შავი ზღვის ცირკულაციის ცვალებადობის შესწავლა შავი ზღვის აუზის ზემოთ მოქმედი კლიმატური ქარის ტიპების მონაცვლეობის პირობებში [2, 3]. ატმოსფერული ზემოქმედება დაიყვანებოდა ატმოსფერული კლიმატური ქარის 24 ტიპის მონაცვლეობაზე შავი ზღვის აუზის ზემოთ. რიცხვითმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ არასტაციონარული ატმოსფერული ზემოქმედების პირობებში შავი ზღვის ზედა ფენის ცირკულაცია განიცდის მუდმივ თვისებრივ და რაოდენობრივ ცვლილებებს.

აუზის მასშტაბის ზღვის დინამიკის მოდელი გამოიყენებოდა აგრეთვე ზღვის ზედა ტურბულენტური შერევის ფენაში ჰიდროლოგიური ველების ვერტიკალური სტრუქტურის შესასწავლად [10-12]. ესაა ფენა, სადაც ინტენსიური ტურბულენტური შერევის გამო ძირითადი ჰიდროლოგიური პარამეტრები განაწილებულია ერთგვაროვნად ვეტიკალზე. ამ ფენის სისქე განიცდის სეზონურ ცვლილებებს ფართო დიაპაზონში და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ზღვა-ატმოსფეროს ურთიერთქმედებაში. გარდა ამისა, ზღვის ეკოსისტე-

მის მდგომარეობა მჭიდროდაა დაკავშირებული ზედა შერეულ ფენასთან. ამ თვალსაზრისით ზედა შერეული ფენის ჰიდროლოგიური სტრუქტურისა და მისი ცვალებადობის შესწავლას მნიშვნელოვან მეცნიერული ღირებულება გააჩნია. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადგენილია შერეული ფენის ზოგიერთი ჰიდროლოგიური თავისებურება წლის სხვადასხვა სეზონებისათვის. კერძოდ, დაფიქსირდა თერმოჰალინური ზემოქმედების ძირითადი როლი შავი ზღვის ვერტიკალური ცირკულაციის ფორმირებაში 100 მ სისქის ზედა ფენაში გარდამავალი სეზონის – გაზაფხულის კლიმატური პირობების შესაბამისად, დაზუსტებულია შავი ზღვის ზედა შერეული ტურბულენტური ფენის სისქე და ფიზიკური თავისებურებები ზამთრის ცივ სეზონში (თებერვლის შუა რიცხვებში) და ა. შ.

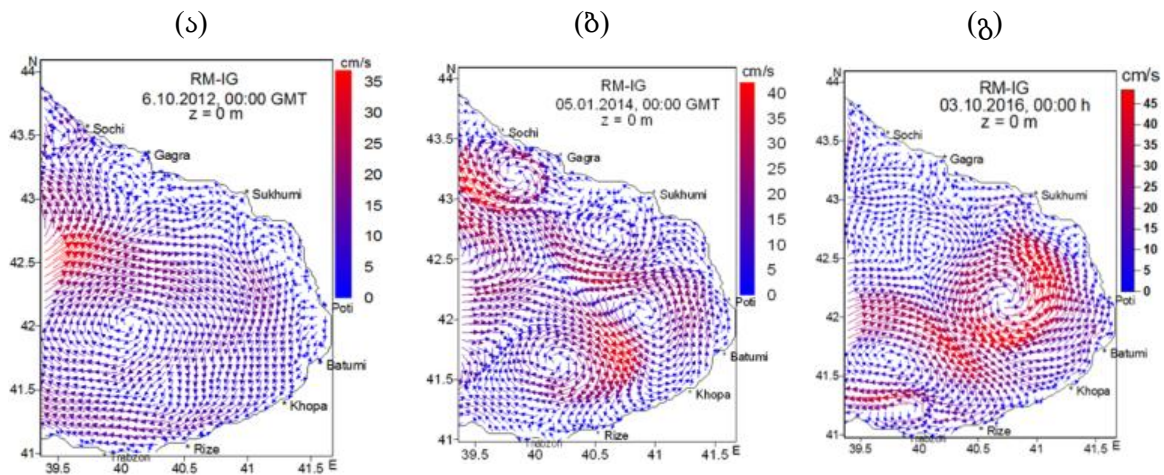
სექტორის სამეცნიერო საქმიანობაში მნიშვნელოვანი ეტაპი იყო სექტორის მონაწილეობა ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ პროექტებში ARENA (2003-2010) და ECOOP (2007-2010), რის შედეგადაც შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში პირველად შეიქმნა შავი ზღვის დიაგნოზისა და მოკლევადიანი პროგნოზის სისტემა [13, 14]. ამ სისტემის შემადგენელი ნაწილი გახდა შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილის რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომლის ძირითადი ბირთვია სექტორში შემუშავებული მაღალი გარჩევისუნარიანი შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი [5-7]. აღნიშნული პროექტების ფარგლებში რეგიონული მოდელის სათვლელი ბადე ჩადგმული იქნა ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ქ. სევასტოპოლი, უკრაინა) ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელის სათვლელ ბადეში 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით. ატმოსფერული ზემოქმედება გაითვალისწინებოდა ატმოსფეროს დინამიკის რეგიონული მოდელის ALADIN-ის მეშვეობით, რომელიც ფუნქციონირებდა რუმინეთის მეტეოროლოგიურ სამსახურში (ქ. ბუქარესტი).

შემდგომში, სექტორის მონაწილეობის შედეგად შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებულ პროექტში (2013-2015), განხორციელდა რეგიონული პროგნოზის სისტემის გაფართოება მინარევების გავრცელების ორი და სამ-განზომილებიანი რიცხვითი მოდელების ჩართვით, რომელთა შეწყველება მოხდა ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელთან. რეგიონულ მოდელში შემავალი რეალური მონაცემების შემთხვევაში, შესაძლებელი გახდა ძირითადი სამგანზომილებიანი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობის 3 დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით შავი ზღვის საქართველოს სექტორში, ხოლო საგანგებო სიტუაციების შემთხვევაში – ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროგნოზიც. რეგიონული პროგნოზული სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი ველების შედარებამ ჩვენთვის ხელმისაწვდომ თანამგზავრულ მონაცემებთან აჩვენა კარგი დამთხვევა პროგნოზულ და დაკვირვებულ ველებს შორის [6, 15-17].

სექტორის მონაწილეობამ ევროკავშირის საერთაშორისო პროექტებში შესაძლებელი გახდა შეგვექმნა ჰიდროფიზიკური (დინება, ტემპერატურა, მარილიანობა) და მეტეოროლოგიური ველების (ქარის ხახუნის ტანგენციალური დამაბულობა, ტურბულენტური სითბოს ნაკადი, ატმოსფერული ნალექები, აორთქლება) მონაცემთა ბაზა 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელია განვახორციელოთ შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში ზღვის დინამიკური პროცესების მოდელირება 2010-2021 წწ.-ის ნებისმიერი დღისათვის. აღნიშნული ბაზის გამოყენებით ჩატარებულმა გამოთვლებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის საქართველოს სექტორი ხასიათდება დინამიკური პროცესების მნიშვნელოვანი სეზონური და წლიური ცვალებადობით,

სადაც მუდმივად ადგილი აქვს მეზომასშტაბური და სუბმეზომასშტაბური, ციკლონური და ანტიციკლონური გრიგალური წარმონაქმნების გენერირებას, ევოლუციას და დისიპაციას [18-23]. ასეთ გრიგალურ მოძრაობებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ ტემპერატურისა და მარილიანობის ველების სივრცით-დროით განაწილებაში, რომელთა მიმართ ძალზედ მგრძობიარეა ზღვის ცოცხალი ორგანიზმების გარკვეული სახეობანი. ასევე, მნიშვნელოვანია გრიგალების წვლილი ზღვაში მოხვედრილი ნავთობპროდუქტებისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროცესში. ასეთ გრიგალურ წარმონაქმნებს შორის მნიშვნელოვანია ლიტერატურაში კარგად ცნობილი ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ინტენსივობითა და კვაზისტაციონარულობით, განსაკუთრებით წლის თბილ სეზონში.

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ.1-ზე მოყვანილია გამოთვლილი ზღვის ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები სხვადასხვა წლებსა და თვეებში საქართველოს სანაპირო ზონასა და მიმდებარე აკვატორიაში 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. ნახ.1ა-დან კარგად ჩანს, ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც 2012 წლის ოქტომბერში მოიცავდა საქართველოსა და მიმდებარე აკვატორიას.



ნახ. 1. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2012 წლის 6 ოქტომბერს (ა), 2014 წლის 5 იანვარს (ბ) და 2016 წლის 3 ოქტომბერს (გ).

ამჟამად, შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის ფარგლებში (2023-2026 წწ.) მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები, რომელთა მიზანია არსებული რეგიონული პროგნოზული სისტემის განვითარება და სრულყოფა პროგნოზული სისტემის გაცილებით უფრო მაღალი გარჩევისუნარიანი ვერსიის შემუშავების გზით აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო აკვატორიისათვის (სივრცითი ბიჯით 200 მ). ეს ვერსია ჩაირთვება არსებულ რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში ქვესისტემის სახით. ამგვარად, შეიქმნება კომპლექსური ოპერატიული რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც გააერთიანებს 1 კმ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ სისტემას და პროგნოზულ ქვესისტემას აჭარის სანაპირო ზონისა და აჭარა-ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის 200 მ გარჩევისუნარიანობით. სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემაში ჩაირთვება ქარისმიერი ზედაპირული ტალღების მოდელი, რომელიც დაფუძნებული იქნება სპექტრალური ტალღური ენერჯის ბალანსის განტოლებაზე. ამგვარად, რეგიონული პროგნოზული სისტემის

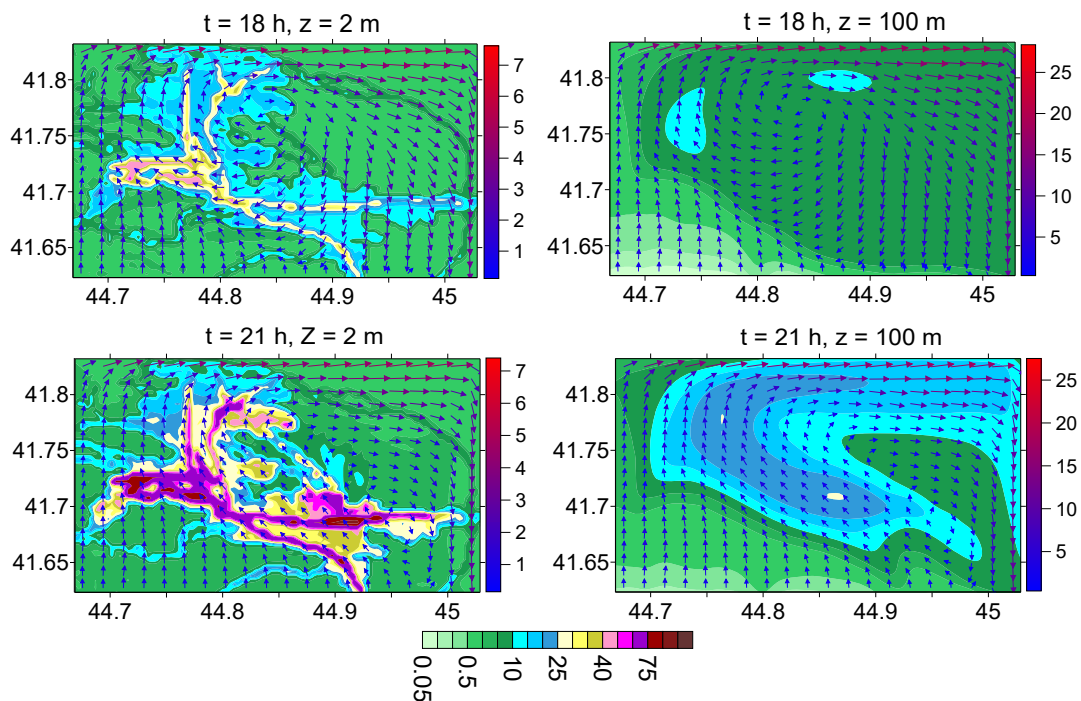
ახალი გაუმჯობესებული ვერსია საშუალებას მოგვცემს განვახორციელოთ ზედაპირული ტალღების პროგნოზიც, რაც უთუოდ აამაღლებს რეგიონული პროგნოზული სისტემის პრაქტიკულ ღირებულებას.

სექტორში ინტენსიურად მიმდინარეობს კვლევები კავკასიის ტერიტორიაზე ატმოსფეროს დინამიკისა და მავნე მინარევების გავრცელების შესწავლის მიზნით. ამ მიზნით, შემუშავებულია ატმოსფეროს დინამიკის არასტაციონარული სივრცითი მოდელები [24-26], რომელთაც საფუძვლად უდევს ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში. მოდელებში ამოხსნის არის ზედა საზღვარი მოდელირებულია თავისუფალი ზედაპირის სახით, ხოლო რელიეფის გათვალისწინების მიზნით განტოლებები ჩაწერილია რელიეფის მიმყოფ კოორდინატთა სისტემაში. [25-26]-ში გათვალისწინებულია ისეთი ძირითადი ფიზიკური ფაქტორები, როგორც კონდენსაციური და ღრუბელთა წარმოქმნის პროცესები, დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის დინამიკური და თერმული ურთიერთქმედება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის პარამეტრიზაციის გათვალისწინებით და სხვ. ატმოსფეროში მინარევების გავრცელების მოდელირების მიზნით, განტოლებათა სისტემებში ჩართულია მინარევების გადატანა-დიფუზიის განტოლება. აღნიშნული რიცხვითი მოდელების საფუძველზე შეისწავლებოდა რეგიონული და მეზომასშტაბური ატმოსფერული პროცესების დინამიკა. მაგალითად, [24]-ში მოდელირებულია ჰაერის მოძრაობა მასაში საქართველოს რელიეფით გამოწვეული ოროგრაფიული შემფოთებები არასტაციონარული ფონური (შეუშფოთებელი) დინების პირობებში „მშრალი ატმოსფეროს“ მიახლოებაში. [25] -ში რიცხვითი მოდელირების საშუალებით შეისწავლებოდა ქალაქების ფოთის, ბაქოს, მეწამორის მიდამოებში მდებარე ინდუსტრიული ობიექტების ჰიპოთეტური ავარიის შემთხვევებში ატმოსფეროში ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერებების შესაძლო გავრცელების კანონზომიერებანი. მოდელირებამ აჩვენა, სამხრეთ კავკასიის რელიეფის მნიშვნელოვანი გავლენა დაბინძურების ღრუბლების გავრცელების ტრანსპორტირებაზე. რიცხვითი მოდელირებით შესწავლილია კავკასიისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფეროში ავარიულად ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერების ტრანსსასაზღვრო გავრცელების ტრანსპორტირება. ნაჩვენებია, რომ მთავარი კავკასიონის და მცირე კავკასიონის ქედები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელების მიმართულებაზე. კერძოდ, სუსტი და საშუალო სიდიდის დასავლეთის ქარების შემთხვევაში, ქალაქების ფოთის და ბათუმის მიდამოებში ავარიულად ამოფრქვეული მავნე ნივთიერების ღრუბელი რელიეფის გავლენით იყოფა ორ ნაწილად. ერთი ნაწილი, ფორმირებული ლოკალური ქარის საშუალებით, გარს შემოუვლის მთავარი კავკასიონის ქედს სამხრეთ-დასავლეთის მხრიდან, გადაედინება მთავარი კავკასიონის ქედის დასავლეთ ნაწილზე და ვრცელდება კრასნოდარის მხარეში. მეორე ნაწილი – კოლხეთის დაბლობისა და სურამის ქედის გავლით ვრცელდება აღმოსავლეთ საქართველოში და გურიის ქედის გავლენით – გურიისა და აჭარის ტერიტორიაზე. შესწავლილია ასევე კავკასიონის სამხრეთ და სამხრეთ აღმოსავლეთ ნაწილებში ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერებათა გადაადგილების მიმართულებები, ქვეფენილ ზედაპირზე მათი დალექვის არეები და სიჩქარეები.

[26]-ში ჩატარებული გამოთვლითი ექსპერიმენტების საფუძველზე შესწავლილია ატმოსფერული ცირკულაცია შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ აკვატორიის ზემოთ დასავლეთ კავკასიის რთული რელიეფის გათვალისწინებით.

ცნობილია, რომ ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებისაგან დაცვა თანამედროვეობის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. ეს პრობლემა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დიდი ქალაქებისათვის, სადაც დამაბინძურებელ ინგრედიენტებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია მტვრის $PM_{2.5}$ და PM_{10} ნაწილაკებს. $PM_{2.5}$ და PM_{10} – მყარი და თხევადი ნაწილაკებია, რომელთა ზომები მერყეობს 1-დან 10 მკმ -ს შორის. ისინი შედგებიან: ჭვარტლის, ასფალტის, საბურავების, მინერალური მარილების, ბიოლოგიური დამაბინძურებლების, მჟავების და სხვა მყარი თუ თხევადი უმცირესი ნაწილაკებისაგან.

უკანასკნელ 3-4 წელიწადში სექტორის თემატიკაში მნიშვნელოვანი ადგილი დაიკავა $PM_{2.5}$ და PM_{10} ნაწილაკების სივრცით-დროითი განაწილების შესწავლამ ქ. თბილისისა და მიმდებარე რაიონის ატმოსფეროში. პრობლემა შესწავლილია კომპლექსურად. რიცხვითი მოდელირების, ექსპერიმენტული გაზომვებისა და ნატურალური მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე შესწავლილია ქ. თბილისისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის დაბინძურება $PM_{2.5}$ და PM_{10} მიკროაეროზოლებით, რომელთა წყაროა ავტოტრანსპორტი [28, 29]. გამოკვლეულია ტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად ქ. თბილისის ატმოსფეროში ფორმირებული მტვრის, $PM_{2.5}$ და PM_{10} -ის კონცენტრაციების სივრცული განაწილება სხვადასხვა მიმართულებისა და სიდიდის ქარის შემთხვევაში.



ნახ. 2. მოდელირებით მიღებული ქარის სიჩქარის (მ/წმ) და PM_{10} კონცენტრაცია (მკგ/წმ) ზამთარში ქ. თბილისის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დღის 18 და 21 სთ [28] სამხრეთის სუსტი ფონური ქარის დროს.

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ.2-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული ქარის სიჩქარის ვექტორული ველი და PM_{10} ნაწილაკების კონცენტრაცია ზამთარში ქ. თბილისის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დღე-ღამის 18 და 21 სთ მომენტებისათვის.

სექტორში გამოკვლევათა მნიშვნელოვანი ნაწილი მიძღვნილია ნიადაგსა და ზედაპირულ წყლებში მიმდინარე პროცესების შესწავლისადმი. ნიადაგში თხევადი ნივთიერების

ინფილტრაციის განტოლების გამოყენებით დამუშავებულია სხვადასხვა ტიპის ნიადაგში გახსნილი ნივთიერების გავრცელების მათემატიკური მოდელი. შემუშავებულია მოდელის რიცხვითი რეალიზაციის ალგორითმი და გამოთვლების კომპიუტერული პროგრამა პერსონალური კომპიუტერებისათვის. ჩატარებული გამოთვლებით დადგენილია ინფილტრაციის პროცესის მიმდინარეობა და ზოგადი თავისებურება. კახეთის დამლაშებული ბიციობიანი ნიადაგისათვის მოდელირებული და შესწავლილია მარილიანობის ცვლილება მასში შეტანილი სორბენტის საშუალებით [30, 31].

ზედაპირულ წყლებში გადატანა – დიფუზიის განტოლების გამოყენებით დამუშავებულია საქართველოს მდინარეებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების სამგანზომილებიანი მათემატიკური მოდელი, მისი რიცხვითი რეალიზაციის ალგორითმი და თვლის კომპიუტერული პროგრამა. მოდელის საშუალებით, სხვადასხვა ჰიდროლოგიურ პირობებში, გამოკვლეულია მდ მტკვარში და მტკვრის ქ. თბილისის მონაკვეთზე ამონიუმის იონისა და ნავთობის გავრცელება, შესაბამისად. შესწავლილია მდ. ცხენისწყალისა და მდ. ლუხუნის გარკვეულ უბანზე დარიშხანის განაწილება [32], მისი ცვლილება დროში და ინგრედიენტის ფსკერზე დალექვის სიჩქარე. გამოკვლეულია მდ. ხრამში და მის ფსკერულ დანალექში მძიმე მეტალების განაწილება, განხორციელებულია მდ, ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის შემცველობის დროში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება. მოდელირების შედეგები შეფასებულია სავსე და ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემების საშუალებით.

სექტორის შემდგომი სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობა დაკავშირებული იქნება არსებული შავი ზღვისა და ატმოსფეროს მოდელირების სისტემების განვითარებასა და სრულყოფასთან. კერძოდ, როგორც უკვე ითქვა, შემუშავდება კომპლექსური საზღვაო პროგნოზული სისტემა საქართველოს შავი ზღვის სექტორისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველები ყველაზე დიდი ანთროპოგენური დატვირთვის მქონე აჭარა-ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანობით; გამოკვლეული იქნება ქ. თბილისის ცალკეული რაიონებისათვის და, ასევე, საქართველოს ცალკეული ქალაქებისა და რეგიონებისათვის ატმოსფეროში მტვრის გავრცელების კანონზომიერებები გარჩევისუნარიანობის ხარისხის გაზრდით. იგეგმება შავი ზღვა-ატმოსფეროს ჰიდროდინამიკური რეგიონული მოდელის შემუშავება, სადაც შავი ზღვა და ატმოსფერო განიხილება როგორც ერთიანი ჰიდროდინამიკური სისტემა.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] დემეტრაშვილი დ. მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში ჩატარებული კვლევების შესახებ (2011-2023). საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „დედამიწასა და მის გარსებში მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესები“ შრომათა კრებული. თბილისი, საქართველო, 16-17 ნოემბერი, 2023 წ.
- [2] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. О реакции гидрологического режима Чёрного моря на изменчивость атмосферных процессов. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, Украина, вып. 10, 2004, с. 265-277.
- [3] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование гидрофизических полей Чёрного моря в условиях чередования атмосферных циркуляционных процессов. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, т.44, N 2, 2008, с. 227-238.

- [4] Demetrashvili D. I, Kvaratskhelia D. U, Gvelesiani A. On the vortical motions in the Black Sea by the 3-D hydrothermodynamical numerical model. *Advances in Geosciences*, 14, 2008, pp. 295-299. www.adv-geosci.net/14/295/2008/
- [5] Кордзадзе А., Деметрашвили Д. Некоторые примеры численного прогноза гидрофизических полей в Грузинском секторе Черного моря. *Труды Инст. геофизики им. М. З. Нодия*, Т.LXII, 2010, с. 82-104.
- [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. www.ocean-sci.net/7/793/2011/, doi: 10.5194/os-7-793-2011.
- [7] Kordzadze A. A, Demetrashvili D. I. Coastal forecasting system for the easternmost part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 12, 2012, pp. 471-477. www.trjfas.org .
- [8] Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
- [9] Кордзадзе А. А. Математическое моделирование динамики морских течений (теория, алгоритмы, численные эксперименты). Москва, ОБМ АН СССР, 1989, 128 с.
- [10] Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D.U. Numerical Study of the Vertical Hydrological Structure of the Black Sea under Transitive Climatic Forcing Conditions. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 6(2), 2012, pp. 83-88.
- [11] Kvaratskhelia D. U., Chargazia Kh. Z., Demetrashvili D. I. Numerical Investigation of the Upper Biologically acting turbulent layer of the Black Sea. *Proceedings of the International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology”*, 21-22 September, 2018. Kutaisi, Georgia, pp. 51-55.
- [12] Kvaratskhelia D., Demetrashvili D., Elbakidze K., 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.
- [13] 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*, 7, 2011, pp. 629-649.
- [14] 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.
- [15] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. Easternmost Black Sea regional forecasting system. *Proceed. of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment – MEDCOAST 2015*, 6-10 October 2015, Varna, Bulgaria. vol.2, 2015, pp.769-780.
- [16] 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, pp.1215-1224.
- [17] Demetrashvili D., Kukhalashvili V. High-resolving modeling and forecast of regional dynamic and transport processes in the easternmost Black Sea basin. *Proceed. of the 1st International Multi-disciplinary Scientific Conference GEOLINKS*. Athens, Greece, 26-29 March 2019, Book 3, vol.1, pp. 97-105.
- [18] 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. Нодия*. т. LXIV, 2013, с. 117-130.
- [19] 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.
- [20] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Чёрного моря. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, т.49, № 6, 2013, с. 733-745.
- [21] კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2017, 187 გვ.
- [22] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Pollution of the Black Sea by oil products. Its monitoring and forecasting. *J. Georgian Geophysical Society*, v.21b, №2, 2018, pp. 40-53.

- [23] Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G., Application of Coastal Forecasting System to simulate spread of polluting substances in the Georgian Black Sea Coastal area. Proceed. of International Scientific Conference “Modern problems of Ecology”. 21-22 September, 2018, Kutaisi, Georgia, pp. 47-50.
- [24] 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, t. 7, № 2, 2013, pp. 57-65.
- [25] კორძაძე ა., სურმავა ა. შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო ზონებში დამაბინძურებელი ნივთიერების ავარიული ამოფრქვევის შემთხვევებში ჰაერის შესაძლო დაბინძურების სივრცითი მოდელირება. მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენციის შრომები. 2013, გვ. 3-10.
- [26] Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное моделирование формирования мезомасштабных гидродинамических полей атмосферы в окрестностях юго-восточной части Черного моря. Труды Института геофизики им. М. Нодиа, т. LXIV, 2013, с. 131-139.
- [27] Surmava A., Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Gigauri N. Numerical modeling of dust distribution in the atmosphere of a city with a complex relief. Proceed. of International Conference on Geosciences GEOLINKS-2020, Plovdiv, Bulgaria, 23-26 March 2020. Book 1., vol.2, 2020, pp.39-46.
- [28] სურმავა ა., ინჭკირველი ლ., გიგაური ნ. კუხალაშვილი ვ. PM2.5 და PM10 მიკროაეროზოლები ქ. თბილისის ატმოსფეროში. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა. თბილისი, 2021, 92 გვ.
- [29] Kukhalashvili v., Surmava A., Gigauri N., Intskirveli L., Demetrashvili D. Numerical and experimental investigation of particulate matters 2.5 and 10 distribution in Tbilisi city atmosphere. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. t. 16, №3, 2022, pp. 60-67.
- [30] შუბლაძე ე. შ., სურმავა ა. ა., ერისთავი დ. ვ., ბუაჩიძე ნ. ს. ნიადაგში ტყვიის სულფატის ინფილტრაციის რიცხვითი მოდელირება. საქართველოს საიჟინრო სიახლენი, No. 3, ნაწ. 94, 2021.
- [31] Surmava A. Numerical Simulation of Soil Salinity Reduction Caused by Means of Irrigation and Introduction of Sorbent. Georgian Academy Press; Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, v. 7, № 1, 2013, pp. 50-54.
- [32] ბაგრატიონი ნ., გვერდწითელი ლ., სურმავა ა., გვახარია ვ. მდ. ცხენისწყლის ფსკერულ დანალექებში დარბზხანის განაწილების რიცხვითი მოდელირება. პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. თბილისი, საქართველო. 2019, 11-12 ნოემბერი. შრომები, 2020, გვ. 143-145.

**მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს
დინამიკის მოდელირების სექტორში 2011-2023 წწ.-ში
ჩატარებული კვლევები და პერსპექტივები**

**დემეტრაშვილი დ.
რეზიუმე**

სტატიაში წარმოდგენილია ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში 2011-2013 წწ.-ში შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა. კვლევის ძირითადი მიმართულებები დაკავშირებულია შავ ზღვასა და ატმოსფეროში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური და მინარეების გავრცელების პროცესების მათემატიკურ მოდელირებასთან. კვლევების გარკვეული ნაწილი დაკავშირებულია ზედაპირულ წყლე-

ბსა და ნიადაგში სხვადასხვა მინარევების გავრცელების თავისებურებათა შესწავლასთან მათე-მატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით. განიხილება სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების შემდგომი განვითარების გზები.

საკვანძო სიტყვები: პროგნოზული სისტემა, რიცხვითი მოდელირება, განტოლებათა სისტემა, მინარევების გავრცელება

**RESEARCH CONDUCTED IN THE SECTOR OF MODELING THE SEA
AND ATMOSPHERIC DYNAMICS OF M. NODIA INSTITUTE
OF GEOPHYSICS IN 2011-2023 AND PERSPECTIVES**

Demetrashvili D.

Abstract

The article presents a brief overview of the scientific-research works performed in 2011-2013 in the Sector of Modeling the Sea and Atmospheric Dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University. The main directions of the research are related to the mathematical modeling of the hydrodynamic and impurity dispersion processes in the Black Sea and the atmosphere. A certain part of the research is related to the study of the characteristics of the distribution of various impurities in surface waters and soil using the method of mathematical modeling. Ways of further development of scientific-research works are discussed.

Key words: forecasting system, numerical modeling, system of equations, impurities' dispersion.

**ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ В СЕКТОРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ МОРЯ И АТМОСФЕРЫ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ
ИМ. М. НОДИА В 2011-2023 ГГ. И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Деметрашвили Д.

Реферат

В статье представлен краткий обзор научно-исследовательских работ, выполненных в 2011-2013 гг. в секторе моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Иване Джавахишвили. Основные направления исследований связаны с математическим моделированием гидродинамических процессов и распространения примесей в Черном море и атмосфере. Определенная часть исследований связана с изучением особенностей распределения различных примесей в поверхностных водах и почве методом математического моделирования. Обсуждаются пути дальнейшего развития научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: прогностическая система, численное моделирование, система уравнений, распространение примесей.