

დ. დემეტრაშვილი

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

უკ 551.465:551.509

### **ბუნებრივ გარემოში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების მოდელირების ზოგიერთი შედეგები**

ბუნებრივი გარემო, რომელშიც ცხოვრება და სამეურნეო საქმიანობა უხდება ადამიანს, ბოლო ათეულ წლებში სწრაფ ცვლილებებს განიცდის. ეს ცვლილებები გამოწვეულია ადამიანის გაზრდილი სამეურნეო საქმიანობითა და მასთან დაკავშირებული გარემოზე ინტენსიური ანთროპოგენური ზემოქმედებით. სწორედ ეს ჰქონდათ მხედველობაში ამერიკელ გეოფიზიკოსებს რ. რეველსა და გ. სუესს, რომლებმაც ჯერ კიდევ 1957 წელს შენიშნეს, რომ კაცობრიობა ატარებს “დიდმასშტაბიან გეოფიზიკურ ექსპერიმენტს”, ატარებს მას არა ლაბორატორიაში ან კომპიუტერზე, არამედ საკუთარ პლანეტაზე [1]. ასეთ პირობებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბუნებრივი რესურსების რაციონალურად ათვისებასა და ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის ოპტიმალურად წარმართვას, რაც თავის მხრივ აუცილებელსა ხდის ბუნებრივი გარემოს მდგომარეობისა და მისი შესაძლო ცვლილებების შესახებ ოპერატიული ინფორმაციის მიღების საჭიროებას. ეს გარემოება დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა წინაშე წარმოშობს ისეთი მათემატიკური მოდელების შექმნის აუცილებლობას, რომლებიც რეალურთან მაქსიმალური მიახლოებითა და მაღალი გარჩევისუნარიანობით აღწერენ ბუნებრივი გარემოს ობიექტებში მიმდინარე დინამიკურ და ეკოლოგიურ პროცესებს.

წინამდებარე სტატია, რომელიც მიმოხილვით ხასიათს ატარებს, შეეხება ავტორის უშუალო მონაწილეობით ბოლო წლებში შემუშავებული შავი ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკისა და შავ ზღვაში მინარევების გავრცელების მათემატიკური მოდელების რეალიზაციის ზოგიერთ შედეგს.

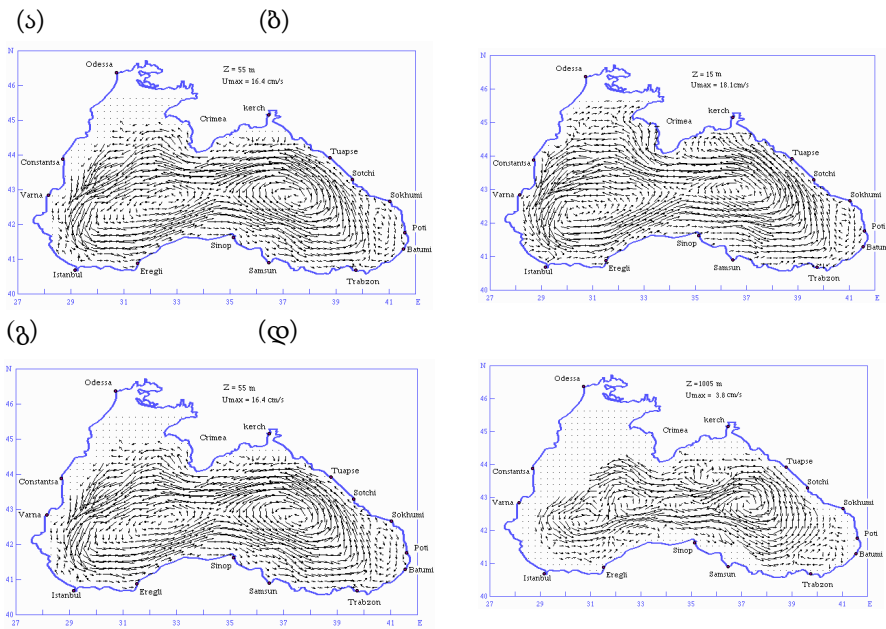
ამჟამად ჩვენს მიერ შემუშავებულია შავი ზღვის დინამიკის ბაროკლინური პროგნოსტიკული მოდელი, რომელსაც საფუძვლად უდევს ზღვის ჰიდროთერმოდინამიკის დიფერენციალურ განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში შესაბამისი სასაზღვრო და საწყისი პირობებით. განტოლებათა სისტემა ჩაწერილია დეკარტის მართკუთხოვან კოორდინატთა სისტემაში და განხილულია თერმოდინამიკური სიდიდეების – ტემპერატურის, წნევისა და სიმკვრივის გადახრებისათვის მათი სტანდარტული ვერტიკალური განაწილებებიდან. ეს მოდელი წარმოადგენს სრულყოფას გასული საუკუნის 70-იან წლებში პირველად შემუშავებული შავი ზღვის დინამიკის პროგნოსტიკული მოდელისა, რომელიც დაფუძნებულია ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრულ სისტემაზე [2-4]. მისგან განსხვავებით, ჩვენი მოდელი ითვალისწინებს შავი და მარმარილოს ზღვების წყლების გაცვლას ბოსფორის სრუტის მეშვეობით, მდ.დუნაის ჩამონადენს, მზის ჯამური რადიაციის შთანთქმას ზღვის ზედაპირული წყლების მიერ, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების ცვლილებას დროსა და სივრცეში, შავი ზღვის აქვატორიის ზემოთ განვითარებული ატმოსფერული ცირკულაციური ტიპების მონაცვლეობას; გარდა ამისა, მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა სათვლელი ზადის გარჩევისუნარიანობა, როგორც ჰორიზონტალზე (ჰორიზონტალური ბიჯი 5 კმ), ასევე ვერტიკალზე (32 სათვლელი დონე). ატმოსფერული ზემოქმედება ზღვის ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე გათვალისწინებულია სასაზღვრო პირობებით ზღვის ზედაპირზე, სადაც მოიცემა ქარის ხახუნის ტანგენციალური დამაბულობის ვექტორის კომპონენტები, ტემპერატურა და მარილიანობა (ან სითბოს ნაკადები, ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება), როგორც ცნობილი ფუნქციები. ზღვის ფსკერთან დინების სიჩქარის სამივე კომპონენტი და სითბოსა და მარილიანობის ნაკადები მიღებულია ნულის ტოლად. გვერდით საზღვარზე, რომელიც ზღვის აკვატორიას გამოჰყოფს ხმელეთისაგან, განხილულია სიჩქარის ჰორიზონტალური კომპონენტებისა და სითბოსა და მარილიანობის ნაკადების ნულთან ტოლობა. მოდელის განტოლებათა სისტემის ამოხსნას საფუძვლად უდევს გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდი ფიზიკური პროცესების, ვერტიკალური საკოორდინატო სიბრტყეებისა და კოორდინატების მიხედვით [5].

შავი ზღვის დინამიკის მოდელის რეალიზაციისას გამოიყენებოდა სხვადასხვა გარჩევისუნარიანობის სათვლელი ზადეები შესაბამისად 37, 10 და 5 კმ ჰორიზონტალური ბიჯებით. ჩატარებულმა მრავალრიცხოვანმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ მოდელი რეალურად ასახავს შავი ზღვის ცირკულაციისა და თერმოჰალინური ველების ძირითად თავისებურებებს. კერძოდ, გამოთვლების შედეგად მიღებულია შავი ზღვის ძირითადი დინება, რომელიც პერიფერიებში გამავალი ციკლონური რგოლის სახით გარს უვლის ზღვის აუზს და ძირითადი ციკლონური წრებრუნვები ზღვის დასავლეთ და აღმოსავლეთ შიდა ნაწილებში. გარდა ამისა, მოდელი კარგად აღწერს დაკვირვებებიდან ცნობილ სანაპირო ანტიციკლონური ხასიათის გრიგალებს, მაგალითად ე. წ. ბათუმის ანტიციკლონს ზღვის აქვატორიის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, სტამბოლის ანტიციკლონურ გრიგალს და სხვ.

ნახ.1-ზე ილუსტრაციის მიზნით წარმოდგენილია მოდელის საფუძველზე გათვლილი შავი ზღვის ცირკულაციის ველი საშუალო წლიური კლიმატური მონაცემების მიხედვით სხვადასხვა სიღრმეებზე [6].

შეფასებულია ცალკეული ფიზიკური ფაქტორების როლი შავი ზღვის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ჩამოყალიბებაში, მათ შორის მზის ჯამური რადიაციის შთანთქმისა შავი ზღვის ზედა ფენის თერმული რეჟიმის

ფორმირებაში. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ მზის ჯამური მოკლეტალღოვანი რადიაციის შთანთქმა იწვევს ზღვის წყლის ტემპერატურის მცირე დღელამურ რხევებს  $0.2 - 0.3^{\circ}\text{C}$  ამპლიტუდით ზედა 10-15 მ სისქის ფენაში. მიუხედავად ტემპერატურის მცირე ცვლილებისა, დიდი მოცულობითი სითბოტევადობის გამო შავი ზღვის ზედა ფენები ახდენენ სითბოს მნიშვნელოვანი რაოდენობის აკუმულირებას. რადიაციის შთანთქმით გამოწვეულმა ზედა ფენის თბომემცველობის ნაზრდის შიდაწლიური მსვლელობის ანალიზმა აჩვენა, რომ მზის რადიაციის ენერგეტიკული გავლენა ყველაზე მეტად მქდავდება აგვისტოში და ამ პერიოდში შავი ზღვის ზედა ფენას რადიაციის შთანთქმით შეუძლია შეიძინოს სითბური ენერჯის ისეთი მარაგი, რომელიც საკმარისი იქნებოდა შავი ზღვის აუზის ზემოთ მდებარე დაახლოებით 600 მ სისქის ჰაერის ფენის გასათბობად  $10^{\circ}\text{C}$  –ით [7].



ნახ.1. გამოთვლილი შავი ზღვის დინების ველი საშუალო წლიური მონაცემების მიხედვით სხვადასხვა სიღრმეებზე: (ა) --- 5 მ, (ბ)--- 15 მ, (გ) --- 55 მ, (დ) --- 1005 მ.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია შავი ზღვის ცირკულაციაზე ატმოსფერული ზემოქმედების გავლენის შესწავლა ზღვის აუზის ტერიტორიაზე განვითარებული ატმოსფერული ცირკულაციური ტიპების უწყვეტი მონაცვლეობის პირობებში [8]. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია შავი ზღვის ცირკულაციის მთელი რიგი თავისებურებანი ატმოსფერული ზემოქმედების ძლიერი არასტაციონარულობის პირობებში.

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ შემუშავებული მოდელი ამჟამად გამოყენებას პოულობს შავი ზღვის შესწავლის საერთაშორისო პროექტებით გათვალისწინებულ სამუშაოებში, რომელთა მიზანია შავი ზღვის ოპერატიული პროგნოზული სისტემის შექმნა.

ზღვის დინამიკის მოდელის რეალიზაციამ შავი ზღვის აუზისათვის საშუალება მოგვცა შეგვემუშაებინა ეკოლოგიური პროცესების მოდელები, რომლებიც დაკავშირებულია შავი ზღვის ზედაპირზე ავარიულად დაღვრილი ნავთობისა და შავი ზღვის ღრმა ფენებში მდებარე Dდაჭუჭყიანების წყაროდან არაკონსერვატიული მინარევის გავრცელებასთან [9]. მოდელები დაფუძნებულია სუბსტანციის გადატანა-დიფუზიის ორ და სამგანზომილებიან განტოლებათა ამოხსნაზე, ხოლო განტოლებებში შემავალი ზღვის დინების კომპონენტებად გამოიყენება ზღვის ბაროტროპული და ბაროკლინური მოდელების საფუძველზე მიღებული მნიშვნელობები.

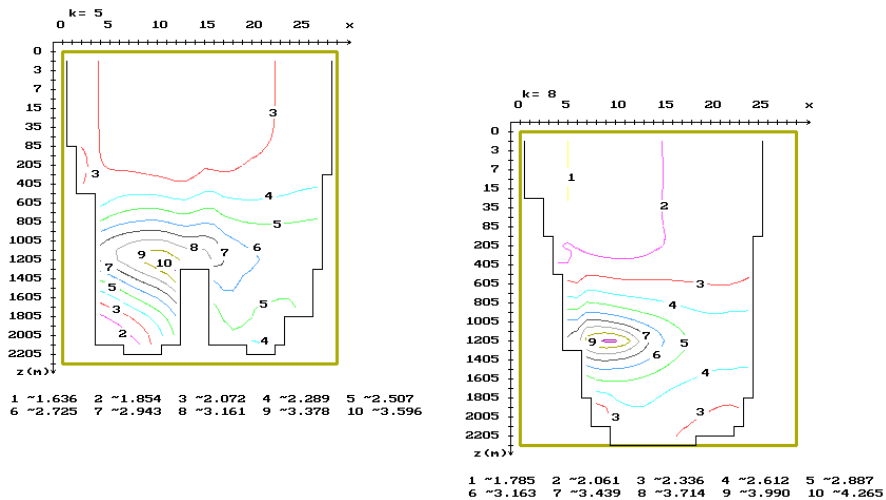
ნავთობის ჩაღვრის ადგილი ზღვაში განიხილებოდა როგორც წერტილოვანი წყარო. რიცხვითი ექსპერიმენტები ჩატარებული იყო წყაროს სხვადასხვა მდებარეობის შემთხვევებში, როცა ნავთობის ავარიული ჩადინება ტოლი იყო 10000 ან 100000 ტ-ისა. ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტების ანალიზის შედეგების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შავ ზღვაში ნავთობის დიდი რაოდენობით ჩაღვრისას ზღვის საშუალო წლიური ცირკულაციის პირობებში ადგილი აქვს ნავთობის კონცენტრაციების გავრცელების შემდეგ კანონზომიერებებს:

- შავი ზღვის ზედაპირული წყლების ციკლონური ხასიათი და სახელდობრ, შავი ზღვის ძირითადი დინება მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს ნავთობის გაჭუჭყიანების სივრცით-დროითი განაწილების ძირითად თავისებურებებს.

- ნავთობის ზღვაში ავარიულად ჩაღვრიდან რამოდენიმე ათეული დღის განმავლობაში ნავთობის კონცენტრაციების გავრცელების ხასიათი და მასშტაბი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული იმ ფაქტთან თუ ზღვის რომელ რაიონში მოხდა ავარიული ჩაღვრა. ავარიულად ჩაღვრიდან დაახლოებით 1,5-2 თვის შემდეგ ნავთობის კონცენტრაციების გავრცელების პროცესი პრაქტიკულად აღარაა დამოკიდებული ნავთობის წყაროს ადგილმდებარეობაზე.

მინარევების გავრცელების სივრცითი მოდელის რეალიზაციისას რადიოაქტიური მინარევი სტრონციუმ-90 ( $S_r^{90}$ ) გამოიყოფოდა ზღვის გარემოში წერტილოვანი ჰიპოთეზური წყაროდან უწყვეტად მთელი ინტეგრების დროის განმავლობაში 2000 კიური რაოდენობით წელიწადში. განტოლების ინტეგრება ხდებოდა დინამიკური წონასწორობის დამყარებამდე. (ასეთი მდგომარეობა მიიღწეოდა დაახლოებით 39 მოდელური წლის შემდეგ).

ნახ.2-ზე ნაჩვენებია ერთ-ერთ რიცხვით ექსპერიმენტში გათვლილი  $S_r^{90}$ -ის კონცენტრაციის ველი 39 მოდელური წლის შემდეგ, როდესაც წყარო მდებარეობდა 1805 მ სიღრმეზე. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის ფსკერის გამოყენება ტოქსიკურ და რადიოაქტიურ ნივთიერებათა სამარხად დაუშვებელია (როგორც ცნობილია, შავი ზღვა დრო და დრო გამოიყენებოდა ასეთ ნივთიერებათა სამარხად).



ნახ. 2. მინარევის კონცენტრაციის იზოწირები წყაროს მახლობელ ვერტიკალურ კვეთებში, როდესაც წყარო მდებარეობდა 1805 მ სიღრმეზე.

მნიშვნელოვანი პრაქტიკული ღირებულება გააჩნია ზღვის აუზში დაჭუჭყიანების წყაროს მდებარეობის დადგენის თეორიულ მეთოდს ზღვის ზედა ფენის ცალკეულ წერტილებში მინარევის ცნობილი კონცენტრაციების მიხედვით, რომელსაც საფუძვლად უდევს გადატანა-დიფუზიის შეუღლებულ განტოლებათა ამოხსნა [10]. მეთოდი აპრობირებულია იმ შემთხვევებში, როცა წყარო მდებარეობდა შავი ზღვის ღრმა ფენებში (3 განზომილებიანი ამოცანა) და ზღვის ზედაპირზე (ნავთობის დაღვრის შემთხვევა, ორგანოზომილებიანი ამოცანა). გამოკვლეულია მეთოდის მგრძობიარობა ამოცანაში შემავალი პარამეტრების მიმართ.

ატმოსფერული პროცესების შესწავლის მიზნით ჩატარებულ ჩვენს კვლევებში ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია მეზომასშტაბური პროცესების რიცხვითი მოდელების შემუშავებასა და მათ რეალიზაციაზე საქართველოს ტერიტორიისათვის. ასეთი მოდელების შემუშავება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საქართველოსათვის, რადგან მისი რელიეფი მკვეთრად გამოხატული სხვადასხვა მასშტაბისა და ორიენტაციის მქონე ოროგრაფიული ელემენტების სიუხვით მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს მეზომასშტაბური ცირკულაციური სისტემების ჩამოყალიბებასა და ევოლუციას. ეს უკანასკნელნი ვითარდებიან სინოპტიკური პროცესების ფონზე და მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ საქართველოს ტერიტორიაზე ამინდის განმსაზღვრელი პარამეტრების სივრცით-დროით განაწილებაში. ჩვენს მიერ შემუშავებულია პლანეტარული სასაზღვრო ფენა-ნიადგის ქვაზიერთგვაროვანი ჰიდროთერმოდინამიკური მოდელი [11] და ლოკალური პროცესების არასტაციონარული სივრცითი მოდელი ჰიდროსტატიკურ მიხლოებაში [12]. პირველი მოდელი საშუალებას იძლევა მივიღოთ ცალკეულ პუნქტებში მეტეოროლოგიურ სიდიდეთა ვერტიკალური პროფილები მათი დღე-ღამური მსვლელობის გათვალისწინებით, ხოლო მეორე მოდელით მიიღება მეტეოროლოგიური ველების სივრცით-დროითი განაწილება მთელ ტროპოსფეროში ოროგრაფიულად და თერმულად არაერთგვაროვანი ქვეფენილი ზედაპირის ზემოთ. ამასთანავე, გარდა იმისა, რომ პირველ მოდელს დამოუკიდებელი მნიშვნელობა გააჩნია, იგი ცალკეული ბლოკის სახით შემადგენელი ნაწილია მეორე – უფრო ზოგადი მოდელისა. ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია პირველი მოდელით გათვლილი მიწისპირა ტემპერატურის პროგნოზი ქ. თბილისისათვის 1986 წლის 17-18, 18-19 და 20-21 ივნისს. პროგნოზის გათვლისათვის საჭირო ინფორმაცია

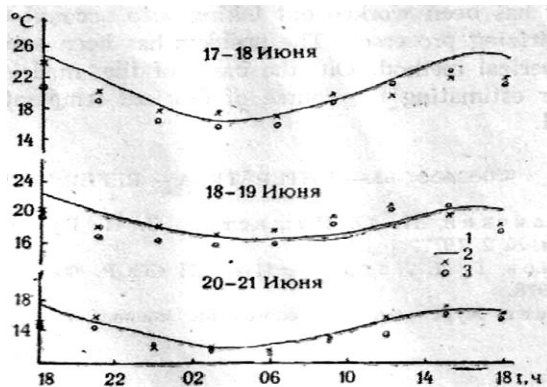
ფონური პროცესების მახასიათებლების შესახებ მიიღებოდა საქართველოს ჰიდრომეტცენტრში ოპერატიულ რეჟიმში მომუშავე ამინდის მოკლევადიანი პროგნოზის ქვაზიერთგვაროვანი რიცხვითი სქემიდან.

ნახ.3. მიწისპირა ტემპერატურის ( $z=2m$ ) დღე-ღამური მსვლელობა ქ.თბილისისათვის (1986წ). 1 – პროგნოზი, 2 -- დილომის მეტსადგურის მონაცემებით, 3 --- აეროპორტის მეტსადგურის მონაცემებით.

დასასრულს შეიძლება ითქვას, რომ შემდგომი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები ბუნებრივ გარემოში მიმდინარე დინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების მოდელირების დარგში მიმართული იქნება აღნიშნული მოდელების სრულყოფისა და მათი პრაქტიკული გამოყენებისაკენ ამ პროცესების საიმედო პროგნოზის მეთოდების შემუშავების მიზნით. ასეთ სამუშაოთა ნუსხაში მეცნიერული და პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით მეტად მნიშვნელოვანია ისეთი მოდელების შემუშავება, რომლებშიც ბუნებრივი გარემო განიხილება ერთიანობაში გარემოს ობიექტებს შორის (ატმოსფერო, ჰიდროსფერო, ნიადაგის აქტიური ფენა) ურთიერთქმედების გათვალისწინებით.

### ლიტერატურა- REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Шнайдер С. Г. Меняющийся климат. - В Мире науки, М., Мир, 1989, N.11, с. 26-35.
2. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А., Скиба Ю. Н. Расчёт основных гидрологических полей Чёрного моря на основе метода расщепления. - Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. 1975, Т.11, N 4, с.379--393.
3. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А., Залесный В. Б. Проблема математического моделирования морских и океанических течений. В кн.: Дифференциальные и интегральные уравнения. Краевые задачи. Тбилиси, 1979, с.99-151.
4. Кордзадзе А. А. Математическое моделирование динамики морских течений (теория, алгоритмы, численные эксперименты). М., ОВМ АН СССР, 1989, 218 с.
5. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л., Гидрометеоиздат, 1974, 303 с.
6. Demetrashvili D. Modeling of hydrophysical fields in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., v.8b, 2003, pp.19-27.
7. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Численные эксперименты по модели динамики Черного моря, учитывающей



поглощение солнечной радиации. Вычислительная математика и математическое моделирование. Труды международной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука и 20-летию основания Института Вычислительной математики Российской АН. М., 2000, Т. 1, с.125-134.

8. Kordzadze A., Demetrashvili D. Results of numerical experiment on modeling of inner-annual hydrological regime of the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., v.8b, 2003, pp. 3-18.
9. Demetrashvili D., Kordzadze A. Numerical modeling of distribution of pollution substances in the Black Sea. Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics. vol. 17, N 3, 2002, pp. 44-57.
10. Demetrashvili D., Kordzadze A. Determination of the pollution source location in the Black Sea on the basis of conjugate equations theory. Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics. vol. 17, N 3, 2002, pp. 58-70.
11. Деметрашвили Д. И. Нестационарная квазиодномерная модель планетарного пограничного слоя.- Тр. ЗакНИИ, М., Гидрометеоиздат, 1989, вып. 91 (98). с. 84-93.
12. დემეტრაშვილი დ. ლოკალური ატმოსფერული პროცესების ჰიდროდინამიკური მოდელირების შესახებ. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2007 (იხ., წინამდებარე კრებული).

შპს 551.465:551.509

ბუნებრივ გარემოში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური და ზოგიერთი ეკოლოგიური პროცესის მოდელირების ზოგიერთი შედეგები. /დ.დემეტრაშვილი/. ჰმი-ს შრომათა კრებული-2007.-ტ.114.-გვ.85-96.- ქართ.; რუზ. ქართ., ინგლ., რუს. მიმოხილულია ავტორის უშუალო მონაწილეობით ბოლო წლებში შემუშავებული შავი ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკისა და შავ ზღვაში მინარევების გავრცელების მათემატიკური მოდელების რეალიზაციის ზოგიერთი შედეგი.

UDC 551.465:551.509

Some results of modelling of hydrothermodynamic and ecological processes in the natural environment./D. Demetrashvili/. Transactions of the Georgian Institute of Hydrometeorology. -2007. - ტ.114. - პ. 85-96 - Georg.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

=====

The review of some results of realization of mathematical models of dynamics of the Black Sea and atmosphere and distribution of impurity in the black Sea, developed in last years at direct participation of the author, is given.

УДК 551.465:551.509

**Некоторые результаты моделирования гидротермодинамических и экологических процессов в природной среде.** / Д. И. Деметрашвили / . Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузии.–2007.–т. 114.–с. 85-96.–Груз.; рез. Груз., Англ., Русск.

Даётся обзор некоторых результатов реализации математических моделей динамики Чёрного моря и атмосферы и распространения примесей в чёрном море, разработанных в последние годы при непосредственном участии автора.