

ავთანდილ კორძაძე
დემურ დემეტრაშვილი

**შავი ზღვის ოკეანობრათია
ნარსულში და თანამედროვე ეთაპზე**



**შავი ზღვის ოკეანობრაცია
წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე**

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS

AVTANDIL KORDZADZE, DEMUR DEMETRASHVILI

The Black Sea Oceanography in the Past and at Current Stage

Tbilisi - 2016

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხედვით ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

ავთანდილ კორძაძე, დემურ დემეტრაშვილი

**შავი ზღვის ოკეანოგრაფია
წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე**



**უნივერსიტეტის
გამომცემლობა**

ნიგნი ეძღვნება შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის განვითარების ძირითად ეტაპებს შუა საუკუნეებიდან დღემდე და ამ უნიკალური ზღვის აუზის ჰიდროლოგიის არსებით თავისებურებებს. მნიშვნელოვანი ყურადღება აქვს დათმობილი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის თანამედროვე მიმართულებას – ოპერატიულ ოკეანოგრაფიას და მოკლედ ააღწერილი ავტორთა საკუთარი კვლევის შედეგები ამ სფეროში, კერძოდ, აღმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზული სისტემა, რომელიც ემყარება მათემატიკური მოდელირების მეტოდების გამოყენებას.

ნიგნით მკითხველთა დაინტერესებას, უდავოდ, გაზრდის ისტორიული ცნობები შავი ზღვის შესახებ ანტიკური დროიდან დღემდე, რომელთაგან მსოფლიოში ცნობილი მითი არგონავტების შესახებ უშუალოდ უკავშირდება შავ ზღვასა და საქართველოს.

ნიგნი საინტერესო იქნება არა მარტო ოკეანოლოგებისათვის, არამედ შავი ზღვისა და ბუნებრივი გარემოს საკითხებით დაინტერესებული პირებისათვის. ის, ასევე, გარკვეულ სარგებლობას გაუნეცს სტუდენტებს, მაგისტრანტებსა და დოქტორანტებს, რომლებიც სპეციალიზირდებიან ჰიდროლოგიასა და ბუნებრივი გარემოს ეკოლოგიაში.

In this book the main stages of the history of the Black Sea oceanography from middle centuries to present and the basic peculiarities of hydrology of this unique sea basin are presented. Considerable attention is paid to modern direction of the Black Sea oceanography - the operative oceanography and the own research results of the authors in this sphere are briefly described, in particular, the easternmost Black Sea regional forecasting system using mathematical modeling methods.

Historical facts about the Black Sea since ancient times to the present including the world-famous myth of the Argonauts directly connected with the Black Sea and Georgia, will undoubtedly enhance the reader's interest in the book.

The book will be interesting not only for oceanographers, but also to people interested in the Black Sea and natural environment problems. The book will be also useful for students, undergraduates and doctoral candidates, who specialize in the hydrology and ecology of the natural environment.

რეცენზენტები: ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფ. ზ. ხვედელიძე
გეოგრაფიულ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფ. გ. მეტრეველი

Reviewers: Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, professor Z. Khvedelidze
Doctor of Geographical Sciences, professor G. Metreveli

© ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2017

ISBN 978-9941-13-583-5

შინაარსი

შესავალი9

თავი 1

ზოგიერთი ცნობები შავი ზღვის შესახებ	14
1.1. შავი ზღვის მორფომეტრია და რელიეფი.....	17
1.2. შავი ზღვის გეოლოგიური წარსული	21
1.3. შავი ზღვა ძველ ისტორიულ წყაროებში, ხელოვნებასა და ლიტერატურაში.....	26
1.4. შავი ზღვა და საქართველო	29

თავი 2

შავი ზღვის შესწავლა წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე	33
2.1. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია XVII-XX საუკუნეებში.....	33
2.2. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია თანამედროვე ეტაპზე	46
2.3. ოპერატიული ოკეანოგრაფია – ახალი ეტაპი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში.....	54

თავი 3

შავი ზღვის ჰიდროლოგიური რეჟიმის თავისებურებები	58
3.1. ზღვის დაჭუჭყიანება გოგირდწყალბადით	58
3.2. ზღვის ცირკულაცია	61
3.3. ზღვის თერმობალინური რეჟიმი	64
3.4. ზღვის კლიმატი. სითბური და წყლის ბალანსი.....	75
3.5. შავი ზღვის დაჭუჭყიანება ანთროპოგენური მინარევებით	79
3.5.1. ზღვის ნავთობპროდუქტებით დაჭუჭყიანება	83
3.5.2. თანამგზავრული რადიოლოკაცია და ნავთობით დაჭუჭყიანების მონიტორინგი.....	88
3.5.3. ზღვის დაჭუჭყიანება მძიმე მეტალებითა და პესტიციდებით	90
3.5.4. ეკოლოგიური პრობლემები და იხტიოფაუნა.....	93
3.5.5. შავი ზღვის დაჭუჭყიანება საყოფაცხოვრებო ნაგავით.....	96
3.5.6. ევტროფიკაცია.....	97
3.5.7. რადიოაქტიურ და ტოქსიკურ ნივთიერებათა ნამარხები	101
3.5.8. რადიოაქტიური დაჭუჭყიანება.....	102

3.5.9. საერთაშორისო თანამშრომლობა შავი ზღვის ეკოლოგიური უსაფრთხოების მიზნით.....	105
---	-----

თავი 4

აღმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემა	108
4.1. პროგნოზული სისტემის სტრუქტურა და თეორიული საფუძვლები.....	109
4.2. დინამიკური ველების პროგნოზის მაგალითები	113
4.3. მინარევების გავრცელების მათემატიკური მოდელირება	138
4.4. რეგიონული პროგნოზის სისტემის განვითარების პერსპექტივები	149

დანართი

დანართი 1

ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის განტოლებათა სისტემა. სასაზღვრო და სანყისი პირობები	153
---	-----

დანართი 2

ტურბულენტური ველის პარამეტრიზაცია.....	157
--	-----

დანართი 3

მინარევის გავრცელების დიფუზიური მოდელი. განტოლება, სასაზღვრო და სანყისი პირობები	158
---	-----

ლიტერატურა	160
------------------	-----

შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე (რეზიუმე ინგლისურ ენაზე).....	176
---	-----

Contents

Introduction.....	9
-------------------	---

Chapter 1

Some Information on the Black Sea	14
1.1. Morphometry and relief of the Black Sea.....	17
1.2. Geological history of the Black Sea.....	21
1.3. Black Sea in antique historical documents, the art and literature.....	26
1.4. The Black Sea and Georgia.....	29

Chapter 2

Study of the Black Sea in the Past and at Current Stage	33
2.1. Black Sea oceanography in XVII-XX centuries.....	33
2.2. Black Sea oceanography at current stage	46
2.3. Operative oceanography - a new stage in the Black Sea Oceanography.....	54

Chapter 3

Specific Features of the Black Sea Hydrology	58
3.1. Pollution of the Sea by hydrogen sulfide.....	58
3.2. Sea circulation.....	61
3.3. Thermohaline mode of the sea.....	64
3.4. Climate of the sea. Water and heat balance.....	75
3.5. Pollution of the Black Sea by anthropogenic admixtures.....	79
3.5.1. Pollution by oil products.....	83
3.5.2. Satellite radar-location and oil pollution monitoring.....	88
3.5.3. Pollution by heavy metals and pesticides.....	90
3.5.4. Ecological problems and ichthyofauna.....	93
3.5.5. Pollution by marine litter.....	96
3.5.6. Eutrophication.....	97
3.5.7. Dumping of radioactive and toxic substances.....	101
3.5.8. Radioactive contamination.....	102
3.5.9. International cooperation with purpose of ecological security of the Black Sea.....	105

Chapter 4

Easternmost Black Sea Regional Forecasting System	108
4.1. The structure and theoretical foundation of the forecasting system...	109

4.2. Examples of forecast of dynamic fields.....	113
4.3. Results of mathematical modeling of pollution spreading.....	138
4.4. Perspectives of development of the regional forecasting System.....	149

Appendixes

Appendix 1

The equation system of the regional model of sea dynamics. Boundary and initial conditions.....	153
--	-----

Appendix 2

Parameterization of the turbulent field.....	157
--	-----

Appendix 3

Diffusion model of admixture spreading. The equation, boundary and initial conditions.....	158
---	-----

References.....	160
-----------------	-----

The Black Sea Oceanography in the Past and at Current Stage (Summary in English.).....	176
---	-----

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

შავი ზღვა უნიკალური შიგამატერიკული წყალსატევია, რომელიც მხოლოდ ბოსფორის ვიწრო სრუტით უკავშირდება მსოფლიო ოკეანეს. იგი მნიშვნელოვნად განსხვავდება სხვა შიგა ზღვებისაგან სპეციფიკური ჰიდროლოგიური რეჟიმით და ვრცელი ანაერობული ზონის არსებობით 100-150 მ სიღრმის ქვემოთ, რომლის წყლები შეიცავს მომწამლაგ აირს – გოგირდწყალბადს.

საქართველოსათვის, ისევე როგორც ყველა შავიზღვისპირა ქვეყნისათვის, ძალზედ აქტუალურია შავი ზღვის ეკოლოგიური უსაფრთხოება და მისი ეკოსისტემის შენარჩუნება, ვინაიდან შავ ზღვას დიდი სოციალურ-ეკონომიკური მნიშვნელობა გააჩნია ჩვენი ქვეყნისათვის. გარდა იმისა, რომ შავი ზღვა ბიოლოგიური და მინერალური რესურსების მნიშვნელოვანი წყაროა, მას დიდი სატრანსპორტო და რეკრეაციული ფუნქცია გააჩნია. აქ მდებარეობს ბათუმისა და ფოთის პორტები, რომლებიც ევროპა-კავკასია-აზიის სატრანსპორტო დერეფნის მნიშვნელოვან რგოლს წარმოადგენენ. მათი მეშვეობით ხორციელდება ინტენსიური საპორტო ოპერაციები და საზღვაო სატრანსპორტო გადაზიდვები.

დღეისათვის, შავი ზღვა აქტიურად ასრულებს სატრანსპორტო დერეფნის როლს ნავთობისა და სხვა პროდუქტების გადატანისას აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით, ხოლო ახლო მომავალში მოსალოდნელია შავი ზღვის სატრანსპორტო ფუნქციის კიდევ უფრო გაზრდა ანაკლიის ღრმანწყლოვანი საზღვაო პორტის ფუნქციონირების შემდეგ. ანაკლიის საზღვაო პორტის აშენება ასევე გაზრდის საქართველოს, როგორც ტრანზიტული და სავაჭრო-ეკონომიკური თვალსაზრისით სტრატეგიული სახელმწიფოს მნიშვნელობას.

ევროპა-აზიის სატრანსპორტო დერეფნის სრული ამოქმედება და საქართველოს ეკონომიკური განვითარება დიდადაა დამოკიდებული შავი ზღვის უნიკალურ რესურსებზე, მისი სანაპირო ზოლის დაცვასა და გამოყენებაზე.

მნიშვნელოვანია შავი ზღვის როლი რეგიონული კლიმატისა და ამინდის ფორმირებაში. ისევე როგორც ოკეანე და ატმოსფერო, შავი ზღვა და ატმოსფერო ქმნიან ერთიან ჰიდროთერმოდინამიკურ სისტემას, სადაც უწყვეტად მიმდინარეობს ენერგიებისა და სხვადასხვა ნივთიერებათა გაცვლის პროცესები ზღვა-ატმოსფეროს გამყოფ საზღვარზე.

შავი ზღვა ძველთაგანვე თამაშობდა დამაკავშირებელ როლს დასავლეთსა და აღმოსავლეთს შორის და ბევრჯერ გამხდარა ყურადღების ობიექტი არა მარტო მკვლევარ-ოკეანოლოგებისათვის, არამედ საზოგადოების ფართო ფენებისათვის. დღეისათვის, შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდ-

როფიზიკური და ბიოქიმიური პროცესები კარგადაა შესწავლილი, რაც ნაკარნახევია სუფთა სამეცნიერო და პრაქტიკული ინტერესებით. შავი ზღვისადმი ასეულობით სტატია და მონოგრაფიაა მიძღვნილი, XIX საუკუნიდან დღემდე მრავალი სამეცნიერო ექსპედიციაა განხორციელებული. თანამედროვე ცოდნა შავი ზღვის შესახებ მრავალ მკვლევართა დაუღალავი შრომის შედეგად ყალიბდებოდა რამდენიმე ასეული წლის განმავლობაში, მაგრამ შავი ზღვის ოკეანოგრაფიამ განსაკუთრებით დიდი აღმავლობა განიცადა ბოლო ათწლეულებში, დაწყებული გასული საუკუნის 80-90-იან წლებიდან, რაც სწრაფი სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესის შედეგია. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია შევიდა თავისი განვითარების ახალ ეტაპზე, როდესაც ფართო გამოყენებას პოულობს თანამგზავრული დისტანციური და თანამედროვე კონტაქტური დაკვირვების სისტემები და ზღვის ჰიდროფიზიკური პროცესების აღმწერი მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე მათემატიკური მოდელები. განვითარდა ახალი მიმართულება – შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფია, რომლის დიდი მიღწევაა შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება [46-48, 50, 51, 190]. მისი ფუნქციონირება ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში საშუალებას გვაძლევს დროულად მივიღოთ მიმდინარე და მომავალი მდგომარეობების ამსახველი რაოდენობრივი ინფორმაცია.

სამწუხაროდ, მრავალ ექსპერტთა შეფასებით თანამედროვე შავი ზღვის დაბინძურების დონე ნავთობის ნახშირწყალბადებით, ბიოგენური ელემენტებით, მძიმე მეტალებითა და სხვა ანთროპოგენური მინარევებით საკმაოდ მაღალია, რაც უარყოფითად აისახება შავი ზღვის ეკოსისტემაზე [54, 57, 88, 169]. სხვადასხვა ანთროპოგენურ მინარევებს, რომლებიც ხვდებიან ზღვებსა და ოკეანეებში, შეუძლიათ შეუქცევადი ცვლილებები გამოიწვიონ ჰიდრობიოსფეროში და უარყოფითი გავლენა იქონიონ მსოფლიო ოკეანის რესურსებზე, საბოლოო ჯამში, კი მოახდინონ ნეგატიური ზემოქმედება ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

საგანგამოა შავი ზღვის საქართველოს სანაპირო ზოლის ეროზიული პროცესების გააქტიურება ბოლო წლებში, რაც უარყოფითი ეკოლოგიური შედეგებით მთავრდება, მიმდინარეობს აჭარის სანაპირო ინფრასტრუქტურების ნგრევა და ხმელეთის სიღრმეში ზღვის შემოსვლა [6, 60].

ცხადია, აღნიშნული ფაქტორები კიდევ უფრო აქტიუალურს ხდის შავ ზღვაში მიმდინარე პროცესების შესწავლას და მათ პროგნოზირებას.

წინამდებარე წიგნი პირველი მცდელობაა გააცნოს მკითხველს მთავარი ფაქტები და ისტორიული ცნობები, რაც დაკავშირებულია შავ ზღვასთან, მისი სპეციფიკური თავისებურებები და შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის განვითარების ძირითადი ეტაპები თანამედროვე ოპერატიული

ოკეანოგრაფიის მიღწევების ჩათვლით, რაც ეფუძნება ახალი ინფორმაციულ-გამოთვლითი ტექნოლოგიების განვითარებას.

მკითხველთა აუდიტორიის გაზრდის მიზნით, შევეცადეთ მრავალი პრობლემის გაშუქებისას გადმოცემის სტილი ისეთი ყოფილიყო, რაც ადვილად გასაგები იქნებოდა არაპროფესიონალი მკითხველისათვის. ამ მიზნით მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ, რომ წიგნის ძირითად ნაწილში მათემატიკური აპარატი პრაქტიკულად არ ყოფილიყო, ძირითადი განტოლებები მოყვანილია დანართებში და ისიც შეზღუდული რაოდენობით.

ბუნებრივია, რომ წიგნი ვერ მოიცავდა შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის ყველა პრობლემას. ამიტომ განხილვის გარეშე დარჩა ისეთი აქტუალური საკითხები, როგორცაა შავი ზღვა-ატმოსფეროს ურთიერთქმედება, ტალღური პროცესები, ნაპირთა ეროზია და სხვ.

პირველ თავში მოცემულია ინფორმაცია შავი ზღვის მორფომეტრიისა და მისი რთული გეოლოგიური ევოლუციის შესახებ. იგი ბევრჯერ იყო ტბაც და ზღვაც, შესაბამისად იცვლებოდა მისი ჰიდროლოგიური რეჟიმი, ფლორა და ფაუნა. მოყვანილია გასული საუკუნის 90-იან წლებში ამერიკელი გეოლოგების მიერ შემოთავაზებული ჰიპოთეზა შავი ზღვის ბიბლიურ წარდენასთან კავშირის შესახებ.

აღნიშნულია, რომ ისტორიულად შავი ზღვის თემატიკას მნიშვნელოვანი ადგილი ეკავა ხელოვნებასა და ლიტერატურაში. გარკვეული ყურადღება გამახვილებულია იმ ფაქტზე, რომ შავი ზღვა თავისი გეოგრაფიული მდებარეობის გამო, ძველთაგანვე უდიდეს როლს თამაშობდა დასავლეთსა და აღმოსავლეთს შორის საგარეო-ეკონომიკურ ურთიერთობებში. შავი ზღვა იყო ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რგოლი “დიდი აბრეშუმის გზისა” და არსებით როლს ასრულებდა ძველი საქართველოს სავაჭრო და ეკონომიკურ კონტაქტებში ბერძნულ სამყაროსთან და სხვა ქვეყნებთან, რაც ლეგენდარული ფორმით აისახა მითში არგონავტების მოგზაურობის შესახებ ძველ კოლხეთში.

მეორე თავი ეთმობა შავი ზღვის შესწავლის ძირითად ეტაპებს, დანყებულს შუა საუკუნეებიდან დღემდე, ექსპერიმენტული და თეორიული მეთოდების გამოყენებით. შავი ზღვის მეცნიერული შესწავლა განსაკუთრებით ინტენსიური გახდა მე-19 საუკუნის მეორე ნახევრიდან, როდესაც დაიწყო დიდი სამეცნიერო ექსპედიციების განხორციელება. განხილულია თანამედროვე შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის მიღწევები, რომელთა შორის ძალზედ მნიშვნელოვანია შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება ბოლო ათწლეულში. ამ სისტემის ერთ-ერთი კომპონენტია აღმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც მოიცავს შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას.

მესამე თავი ეძღვნება შავი ზღვის სპეციფიკურ თავისებურებებს, რომელთა შორის ძალზედ მნიშვნელოვანია ზღვის ღრმა ფენების დაჭუჭყიანება გოგირდწყალბადით, რაც გამოარჩევს შავ ზღვას მსოფლიო ოკეანის სხვა რეგიონებისაგან. მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა შავი ზღვის თერმოხალხურ და ცირკულაციურ თავისებურებებს და შავი ზღვისათვის (საერთოდ, მსოფლიო ოკეანისათვის) ისეთ აქტუალურ პრობლემას, როგორცაა მისი წყლების დაჭუჭყიანება ანთროპოგენური მინარევებით, განსაკუთრებით კი ნავთობპროდუქტებითა და ბიოგენური ელემენტებით. ცხადია, რომ შავი ზღვის სატრანსპორტო ფუნქციის გაზრდა მომავალში მნიშვნელოვნად გაზრდის ანთროპოგენურ დატვირთვას ზღვის ეკოსისტემაზე, რაც აქტუალურს ხდის შავი ზღვის წყლების მდგომარეობის მონიტორინგისა და პროგნოზის განხორციელებას.

მეოთხე თავში აღწერილია აღმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზული სისტემის სტრუქტურა და მისი ფუნქციონირების ძირითადი პრინციპები, რომლებიც დაფუძნებულია მათემატიკური მოდელირების მეთოდების გამოყენებაზე. მოყვანილია საზღვაო პროგნოზის გამოთვლების შედეგად მიღებული ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველები და თანამგზავრულ მონაცემებთან შედარების შედეგები. ილუსტრირებულია ზღვაში ჰიპოთეტურად ჩაღვრილი ნავთობისა და სხვა დამაჭუჭყიანებელი მინარევების გავრცელების მოდელირების შედეგები ზღვის რეალური არასტაციონარული დინებების პირობებში.

რეგიონული პროგნოზული სისტემა, რომელიც შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთი შემადგენელი კომპონენტია, ფუნქციონირებს რეალურთან მიახლოებულ რეჟიმში და საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3 დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით სხვადასხვა ჰორიზონტებზე ზღვის ზედაპირიდან ფსკერამდე, ხოლო საგანგებო სიტუაციების დროს ვინინასწარმეტყველოთ ზღვაში ჩაღვრილი ნავთობისა და სხვა ანთროპოგენური მინარევების გავრცელების არეები და კონცენტრაციები [37-44, 150-152].

დანართებში მოცემულია ის ძირითადი განტოლებები, რომლებიც საფუძვლად უდევს რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში შემავალ მათემატიკურ მოდელს, საწყისი და სასაზღვრო პირობები.

ავტორები, დიდად მადლობელნი იქნებიან და ყურადღებით მიიღებენ მკითხველთა ნებისმიერ შენიშვნას, რაც მიმართული იქნება ნიგნის გაუმჯობესებისა და სრულყოფისაკენ.

ავტორები გულითად მადლობას უხდებიან ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ქ. სევასტოპოლი) თანამშრომლებს, უკრაინის ეროვნული

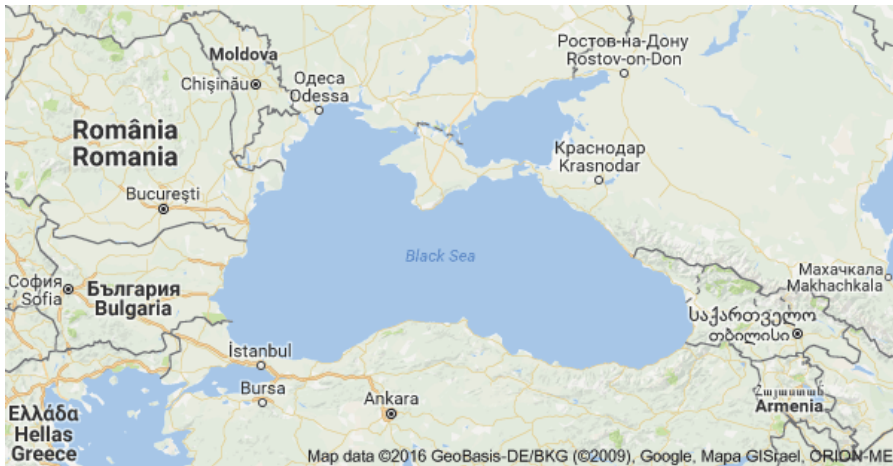
მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტს, პროფ. გ. კოროტაევს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს ა. კუბრიაკოვს, რომლებთანაც მრავალწლიანმა, მჭიდრო მეცნიერულმა და კოლეგიალურმა თანამშრომლობამ NATO-სა და ევროკავშირის სამეცნიერო პროექტების ფარგლებში დიდად შეუწყო ხელი წინამდებარე წიგნში წარმოდგენილი კვლევების ჩატარებას. ასევე, ავტორებს სასიამოვნო მოვალეობად მიაჩნიათ მაღლობა გადაუხადონ ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტთან არსებული საქალაქო სემინარის „გეოფიზიკური და ეკოლოგიური პროცესების მათემატიკური მოდელირება“ მონაწილეებს, რომლებთანაც წლების განმავლობაში მეცნიერულმა თანამშრომლობამ და სასარგებლო რჩევებმა დადებითი გავლენა იქონია წიგნის მომზადებისას. აღსანიშნავია, რომ წიგნის ძირითადი ნაწილი ავტორების მიერ მრავალჯერ იყო მოხსენებული და განხილული აღნიშნულ სემინარზე.

ავტორები დიდად მაღლიერნი არიან გეოფიზიკის ინსტიტუტის ყველა იმ თანამშრომლისა, რომელთა კეთილგანწყობამ და ძალისხმევამ მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა, რათა წიგნი გამოცემულიყო.

თავი 1

ზოგიერთი ცნობები შავი ზღვის შესახებ

შავი ზღვა, რომელიც ევროპისა და აზიის გზაჯვარედინზე მდებარეობს და დიდი სატრანზიტო ფუნქცია აკისრია, ატლანტის ოკეანის აუზის ტიპური შიგაკონტინენტური წყალსატევია (ნახ. 1.1). იგი მდებარეობს ჩ. გ. $40^{\circ} 51' - 46^{\circ} 35'$ და ა. გ. $27^{\circ} 28' - 41^{\circ} 46'$ შორის და 6 ქვეყნის – ბულგარეთის, თურქეთის, რუმინეთის, რუსეთის, საქართველოსა და უკრაინის საერთო ზღვას წარმოადგენს.



ნახ. 1.1. შავი ზღვის რეგიონი

ინტერესი შავი ზღვისადმი გამომწვეულია არა მარტო ზღვის სტრატეგიული მდებარეობითა და მისი მდიდარი რესურსებით, არამედ დიდი საერთაშორისო ეკონომიკური მნიშვნელობით. მას განსაკუთრებით დიდი სოციალურ-ეკონომიკური მნიშვნელობა გააჩნია შავი ზღვისპირა ქვეყნებისათვის. შავი ზღვის ეკონომიკურ როლს მნიშვნელოვნად განაპირობებს მისი მზარდი სატრანსპორტო ფუნქცია. შავი ზღვა არის დამაკავშირებელი ხიდი დასავლეთსა და აღმოსავლეთს შორის ნავთობისა და სხვა ტვირთების გადაზიდვის თვალსაზრისით. შავ ზღვაზე გადის საერთაშორისო სატრანსპორტო კორიდორი „ტრასეკა“ (TRACECA - Transport Corridor Europe-Caucasus-Asia) [29].

გეოგრაფიული თვალსაზრისით, იგი ჩაკეტილი ზღვის სტატუსს მიეკუთვნება და წარმოადგენს მსოფლიოს ერთ-ერთ უდიდეს შიგა ზღვას. შა-

ვი ზღვა ატლანტის ოკეანეს მარმარილოს, ეგეოსის და ხმელთაშუა ზღვე-
ბისა და ბოსფორის, დარდანელის და გიბრალტარის ვინრო სრუტეების
გრძელი ჯაჭვით უკავშირდება. შავი ზღვა შედარებით მარტივი სანაპირო
ხაზით ხასიათდება დიდი ყურეებისა და კუნძულების გარეშე. ერთადერ-
თი მნიშვნელოვანი ყირიმის ნახევარკუნძული ზღვის ღრმანწყლოვან ნა-
წილს ორ თითქმის სიმეტრიულ ნაწილებად ყოფს. შავ ზღვაში მხოლოდ
რამდენიმე პატარა კუნძულია, რომელთა შორის ყველაზე დიდია კუნძუ-
ლი ჯარილგაჩი, რომელიც კარკინატის ყურეში მდებარეობს და ეკუთვნის
უკრაინას. კუნძული დაუსახლებელია და მისი ფართობი დაახლოებით 56
კმ²-ია. კუნძულზე მდებარეობს ჯარილგაჩის ეროვნული ბუნებრივი პარ-
კი, რომელიც 2009 წელს დაარსდა. ასევე, უკრაინის ტერიტორიულ
წყლებშია კუნძულები ბერეზანი (0,5 კმ²) და ზმეინი (0,2 კმ²). კუნძული ბე-
რეზანი უკაცრიელია, მაგრამ იგი წარმოადგენს უკრაინის ეროვნული
მეცნიერებათა აკადემიის ერთ-ერთ ისტორიულ-არქეოლოგიური ნაკრძა-
ლის ნაწილს, სადაც პერიოდულად მიმდინარეობს არქეოლოგიური სამუ-
შაოები. მკვლევართა ვერსიით სავარაუდოა, რომ ანტიკურ ხანაში კუნძუ-
ლი ბერეზანი ნახევარკუნძული იყო, სადაც არსებობდა ძველი ბერძნული
დასახლება.

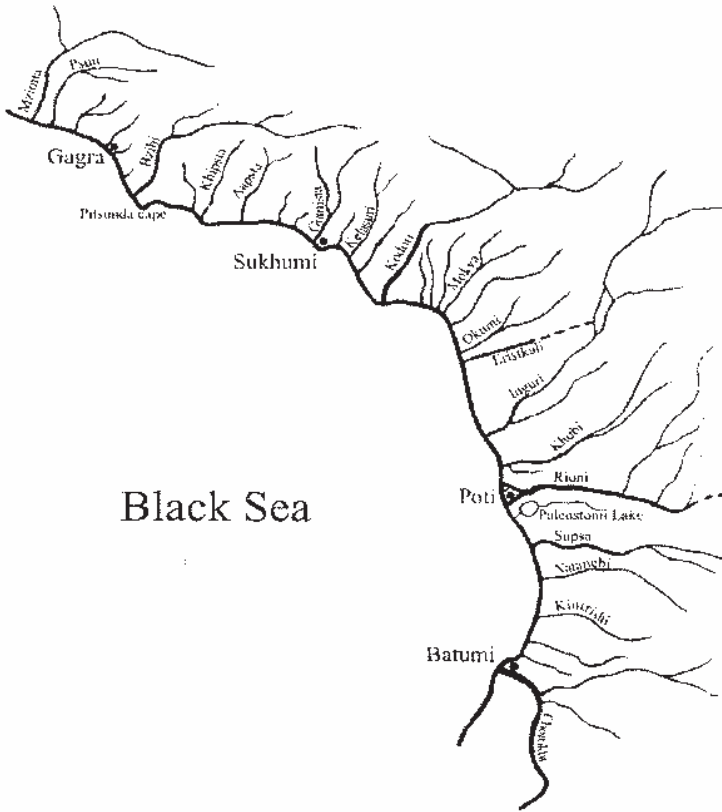
ბოსფორის სრუტის აღმოსავლეთით, დაახლოებით 90 კმ-ის დაშორე-
ბით არის კეფკენის კუნძული. რამდენიმე მცირე კუნძულია ბურგასის ყუ-
რეში (ბულგარეთი).

დასავლეთით შავი ზღვის წყლებს ეკვრის ბალკანეთის ნახევარკუნ-
ძულის აღმოსავლეთი ნაპირი, ჩრდილოეთით შემოსაზღვრულია აღმოსავ-
ლეთ ევროპის ვაკით, აღმოსავლეთით კავკასიის სანაპიროთი და კოლხე-
თის დაბლობით, ხოლო სამხრეთით – მცირე აზიის სანაპიროთი. ვინრო და
წყალმარჩხი ქერჩის სრუტე შავ ზღვას აზოვის ზღვასთან აკავშირებს.

შავი ზღვის თანამედროვე სახელწოდება „შავი ზღვა“ (ბულგ. Черно
more, თურქ. Karadeniz, რუმინ. Marea Neagra, რუს. Черное море, უკრ. Чорне
more), რომელიც მოიხსენიება უკვე XIII საუკუნის ადრეულ წყაროებში
(ქართულ წყაროებში პირველად XVI საუკუნეშია მოხსენიებული), არ ნიშ-
ნავს ზღვის შეფერილობას, ისევე როგორც სხვა სახელწოდებები „წითე-
ლი ზღვა“, „ყვითელი ზღვა“, „თეთრი ზღვა“ არ ახასიათებენ ზღვების
ფერს [120]. თუმცა, ზოგიერთი მკვლევარის აზრით ეს სახელწოდება და-
კავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ შტორმების დროს ზღვის წყალი ძლიერ
მუქდება. ასევე, არსებობს მოსაზრება, რომ შუა საუკუნეების თურქულ
ენაში ფერები აღნიშნავდნენ გეოგრაფიულ მიმართულებებს, ხოლო „შა-
ვი“ აღნიშნავდა „ჩრდილოეთს“. ცნობილია ასეთი მოსაზრებაც, რომ
წყალში 150 მ სიღრმის ქვემოთ ჩაშვებული მეტალის საგნები იღებდნენ
შავ ფერს გოგირდწყალბადის ზემოქმედების გამო და ამიტომ ზღვამაც

მიიღო სახელწოდება „შავი ზღვა“. არსებობს სხვა ჰიპოტეზებიც შავი ზღვის ამ სახელწოდებასთან დაკავშირებით [135, 136].

X-XVI საუკუნეების ძველ რუსულ წყაროებში გვხვდება სახელწოდებაც „რუსული ზღვა“, ხოლო ზოგიერთ წყაროში “სკვითების ზღვა“. ანტიკურ წყაროებში ზღვის სახელწოდებაა „პონტოს აქსინოს“ (Pontos Axeinos), მოგვიანებით კი „პონტოს ევქსინოს“ (Pontos Evxeinos). I საუკუნის გამოჩენილი ბერძენი ისტორიკოსისა და გეოგრაფის სტრაბონის (დაახ., ძვ. წ. 64 წ – ახ. წ. 23 წ) „გეოგრაფიაში“ [221] ზღვა მოიხსენიება როგორც პონტოს აქსინოს, რაც ნიშნავს არასტუმართმოყვარე ზღვას. როგორც სტრაბონი ვარაუდობს, ასეთი სახელწოდება დაკავშირებული იყო ზღვაზე ნავიგაციის სირთულეებთან და აგრეთვე იმ ფაქტთან, რომ ზღვის სანაპიროსთან მობინადრე ტომები მძაფრ წინააღმდეგობას უწევდნენ ბერძენებს. მოგვიანებით, როცა ბერძენების მიერ ათვისებული იქნა შავი ზღვის ნაპირები და დაარსებული იქნა კოლონიები, ზღვამ მიიღო



ნახ. 1.2. შავი ზღვის საქართველოს სექტორში ჩამდინარე მდინარეები [107]

სახელწოდება „პონტოს ევქსინოს“, რაც ნიშნავდა სტუმართმოყვარე ზღვას. უფრო ხშირად მას პონტოსს უწოდებდნენ. შუა საუკუნეებში სახელწოდება „პონტოს ევქსინოსი“ თანდათან განდევნა „შავი ზღვის“ სახელწოდებამ, რომელიც ამჟამად საყოველთაო ხმარებაშია. უძველეს წარსულში მას „სპერის ზღვასაც“ უწოდებდნენ, რადგან სპერები – ქართული ტომები შავი ზღვის მიმდებარე ტერიტორიაზე ცხოვრობდნენ.

ყველაზე დიდი მდინარეები, რომლებიც შავ ზღვას ერთვის, არის დუნაი, დნეპრი, დნესტრი, სამხრეთ ბუგი, კოდორი, ენგური, რიონი, კიზილ-ირმაკი, ემილ-ირმაკი და სხვ. მხოლოდ საქართველოს სანაპიროს მხრიდან შავ ზღვაში ჩაედინება 150-მდე დიდი, საშუალო და პატარა მდინარე (ნახ. 1.2) [107]. მათ შორის დაახლოებით 50 მდინარეს სანაპირო ზონაში შემოაქვს მყარი ნატანი, რომელიც უდიდეს როლს ასრულებს ზღვის სანაპირო ხაზის დინამიკაზე და პლაჟნარმომქმნელ პროცესებზე. მისი დეფიციტი უარყოფითად აისახება ნაპირთა სტაბილურობაზე და იწვევს ეროზიულ პროცესებს, რაც სამწუხაროდ, აშკარად დაიკვირვება საქართველოს სანაპირო ზოლში ბოლო ათეულ წლებში [5, 6, 60, 108]. მყარი ნატანის უდიდეს მნიშვნელობაზე ნაპირთა სტაბილური განვითარებისთვის ხაზგასმულია ზღვების სანაპირო ხაზის დინამიკის ცნობილი მკვლევარის ვ. პ. ზენკევიჩის ფუნდამენტურ მონოგრაფიებში [126-128].

1.1. შავი ზღვის მორფომეტრია და რელიეფი

შავი ზღვის აუზის მორფომეტრია და რელიეფი ერთ-ერთი ძირითადი ოკეანოგრაფიული მახასიათებლებია, რომლებიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ წყლების ცირკულაციურ თავისებურებებს და თერმობალინურ სტრუქტურას. სხვადასხვა წყაროებში შავი ზღვის მორფომეტრიული პარამეტრები გარკვეულწილად განსხვავდება ერთმანეთისაგან [94, 132, 202, 218]. [132]-ის თანახმად, შავი ზღვის ზედაპირის ფართობი არის 416790 კმ², ხოლო მოცულობა – 535430 კმ³. ზღვის საშუალო სიღრმე, როგორც ზღვის მოცულობის განაყოფი ზედაპირის ფართობზე, 1284 მ-ია [132]. სხვა ავტორთა მონაცემებით აღნიშნული პარამეტრები ასეთია: [202]-ის მიხედვით ზღვის ზედაპირის ფართობი არის 423000 კმ², [218]-ის მიხედვით – 420000 კმ², [94]-ის მიხედვით 406680-423000 კმ² დიაპაზონშია. [94]-ის თანახმად, შავი ზღვის წყლების მოცულობა სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით 537000-555000 კმ³-ია. საშუალო სიღრმე [202]-ის მიხედვით 1197 მ-ია, [218]-ის მიხედვით, 1300 მ-ია, ხოლო [94]-ის თანახმად, სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით, 1270-1315 მ შუალედშია.

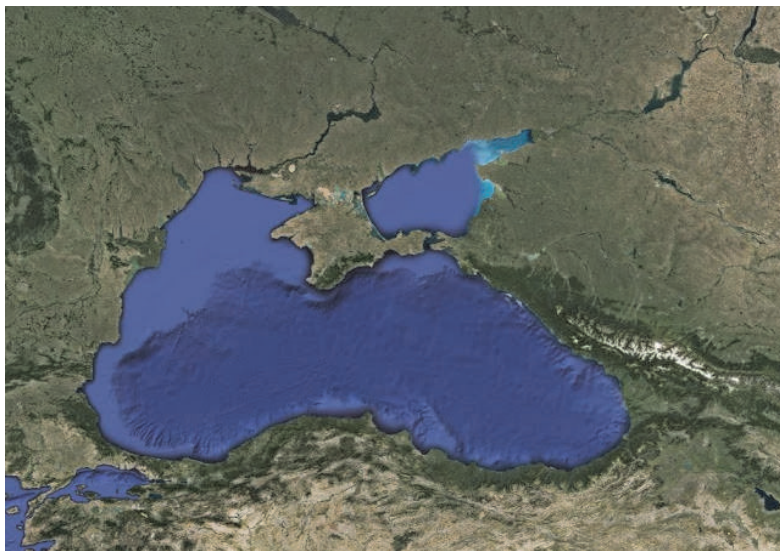
ექოლოგიით გაზომვის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე განსაზღვრული ზღვის მაქსიმალური სიღრმე სხვადასხვა წყაროების მიხედ-

ვით 2210-2258 მ დიაპაზონში მერყეობს [132]. ამასთანავე, 160 მ სიღრმემდე უანგბადით მდიდარი წყლის ფენის მოცულობა შეადგენს მთელი მოცულობის დაახლოებით 10%-ს, ხოლო დანარჩენი 90% მოცულობა უკავია უუანგბადო, გოგირდწყალბადით მონამლულ სიღრმისეულ წყლებს.

[132]-ის თანახმად, შავი ზღვის მაქსიმალური სიგრძე განედური მიმართულებით (ბურგასის ყურის წვეროდან ქ. ქობულეთამდე) არის 1180 კმ, მაქსიმალური სიგანე მერიდიანული მიმართულებით 615 კმ, ხოლო მინიმალური სიგანე - 264 კმ. [94]-ის თანახმად, სანაპირო ხაზის სიგრძე 3400-4100 კმ დიაპაზონშია. [107, 132]-ის მიხედვით შავი ზღვის სანაპირო ხაზის სიგრძე 4125 კმ-ია. აქედან, საქართველოს სანაპირო ხაზი დაახლოებით 313 კმ შეადგენს.

ისევე როგორც ოკეანეთა ფსკერის რელიეფში, შავი ზღვის რელიეფში მკვეთრად გამოირჩევა სამი ძირითადი სტრუქტურა: შელფი, კონტინენტური ფერდობი და სიღრმული ქვაბული (აბისალური ვაკე).

შელფი არის ხმელეთის ზედაპირის გაგრძელება, რომელიც წყლით არის დაფარული. შავი ზღვის შელფური ზონა იკავებს ფსკერის საერთო ფართობის 25%-მდე და საშუალოდ ხასიათდება 100-120 მ სიღრმით. შელფური ზონა ყველაზე ფართოა ზღვის მეჩხერწყლოვან ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში, სადაც შელფის სიგანე დაახლოებით 200 კმ-ს აღწევს, ხოლო მინიმალური სიგანე, ე. ი. ყველაზე ციცაბო შელფი აღინიშნება კავკასიისა და ჩრდილოეთ თურქეთის სანაპიროებთან. საქართველოს სანაპირო ზონაში შელფის სიგანე დაახლოებით 15-20 კმ-ია.



ნახ. 1.3. შავი ზღვის თანამგზავრული ფოტო (NASA)

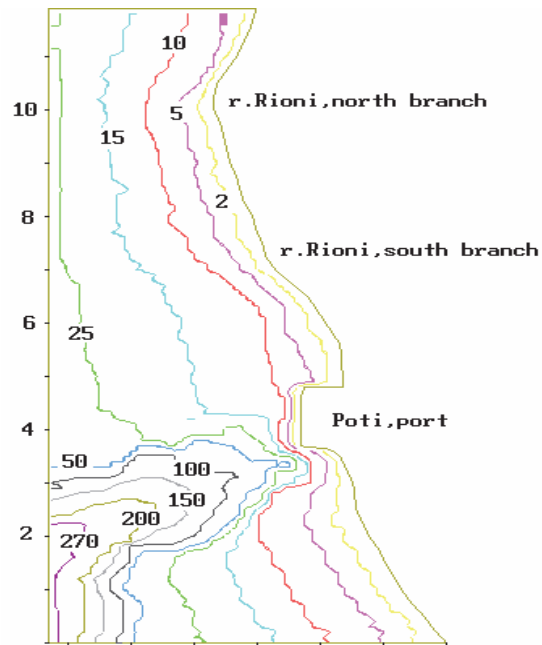
ნახ. 1.3-ზე გამოსახულ შავი ზღვის თანამგზავრულ სურათზე მკაფიოდ ჩანს ზღვის შელფური ზონა. ნახ. 1.4-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის ფსკერის სტრუქტურის სქემატური სურათი. კონტინენტური ფერდობი, რომელიც იკავებს დაახლოებით 40%-მდე ფართობს, ეშვება დაახლოებით 2000 მ სიღრმემდე. აბისალური ვაკე (35%) ძირითადად ბრტყელია მნიშვნელოვანი რელიეფური ნარმონაქმნების გარეშე, ხოლო კალთები ციცაბო, რომელთა საშუალო დახრილობა 6-8⁰ აღწევს. მხოლოდ, სინოპსა და სამსუნს შორის ნაპირისადმი თითქმის პარალელურად გადაჭიმულია წყალქვეშა ქედების სისტემა სიგრძით დაახლოებით 150 კმ. ყველაზე დიდი წყალქვეშა ქედი დაცილებულია ნაპირიდან 60-75 კმ-ზე და გამოყოფილია მისგან ცალკეული ჩალრმავეებით [202].



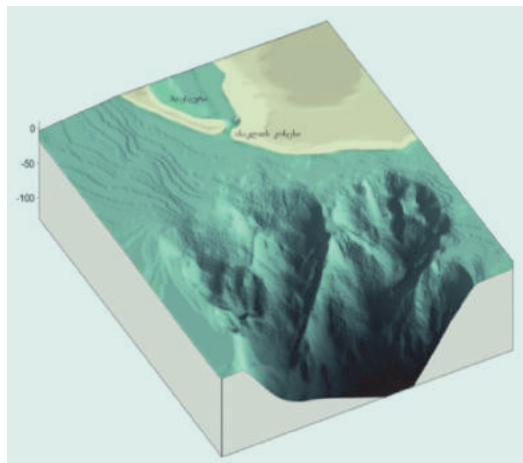
ნახ. 1.4. შავი ზღვის ფსკერის სტრუქტურა [202].

საქართველოს სანაპიროსთან მიმდებარე ზღვის ფსკერი საკმაოდ რთული რელიეფით ხასიათდება და ზღვის შელფში შეჭრილი წყალქვეშა კანიონების სიმრავლით გამოირჩევა, რომლებიც ძირითადად პალეოხეობებს, ანუ თანამედროვე მდინარეების გაგრძელებებს წარმოადგენენ. სწორედ ეს განაპირობებს ზღვის სანაპიროს ზოგიერთ მონაკვეთზე საპორტო მშენებლობისათვის შედარებით ხელსაყრელ პირობებს. მაქსიმალური სიღრმე ამ კანიონებში დაახლოებით 250 მეტრია. ასეთი კანიონებია მდინარეების ენგურის, რიონის, სუფსის, ბზიფის, კოდორის, ჭოროხის შესართავებთან, აგრეთვე ბათუმის კონცხთან [107]. ნახ. 1.5-ზე ნაჩვენებია იზობათები, რომლებიც აგებულია 2003 წელს ჩატარებული აგეგმვის საფუძველზე, კარგად ასახავენ ზღვის ფსკერის რელიეფის თავისებურებებს ქ. ფოთის პორტის აკვატორიაში მდებარე კანიონით [34]. ნახ. 1.6-ზე

ნაჩვენებია ენგურის წყალქვეშა კანიონის სივრცითი სურათი [1]. წყალქვეშა კანიონების არსებობა დაიკვირვება შავი ზღვის თურქეთის სექტორშიც.

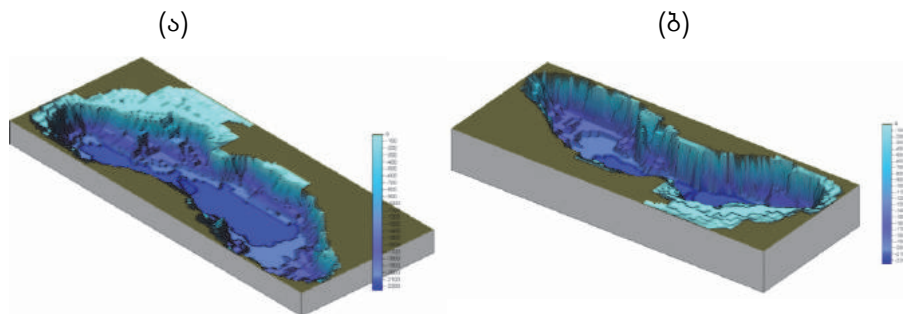


ნახ. 1.5. იზობათები (მეტრებში) და კანიონი ქ. ფოთის აკვატორიაში [34]



ნახ. 1.6. მდ. ენგურის წყალქვეშა კანიონი [1]

ნახ. 1.7-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის ფსკერის რელიეფის სივრცითი გამოსახულება ანატოლიის სანაპიროდან და ჩრდილოეთის მხრიდან. ეს გამოსახულებები აგებულია ავტორთა მიერ შავი ზღვის ნავიგაციური რუკიდან აღებული მონაცემების საფუძველზე.



ნახ. 1.7. შავი ზღვის ფსკერის სივრცითი გამოსახულებები სამხრეთ (ანატოლიის) (ა) და ჩრდილოეთ სანაპიროდან (ბ)

შავი ზღვის სანაპირო ხაზი სუსტად არის შეჭრილ-შემოჭრილი. შედარებით მეტადაა დანაწევრებული ჩრდილო-დასავლეთის და ჩრდილოეთის ნაპირები, სადაც მდებარეობს ოდესისა და კარკინიტის ყურეები. დასავლეთ სანაპიროზე მნიშვნელოვანია ბურგასის ყურე, თურქეთის სანაპიროზე – სინოპის ყურე, კავკასიის სანაპიროზე – ნოვოროსიისკის უბე. საქართველოს სანაპირო ხაზიც თითქმის სწორხაზოვნებით გამოირჩევა, მხოლოდ, ბიჭვინთის, სოხუმის, კოდორისა და ბათუმის კონცხები იჭრებიან რამდენადმე ზღვაში და წარმოქმნიან ფართოდ გაშლილ უბეებს.

1.2. შავი ზღვის გეოლოგიური წარსული

შავი ზღვა ყოველთვის არ იყო ისეთი, როგორიც ამჟამადაა. ამ რეგიონმა, სადაც ამჟამად შავი ზღვა მდებარეობს, არსებითი გეოლოგიური ევოლუცია განიცადა. შავი ზღვის თანამედროვე კონფიგურაცია და მორფომეტრიული პარამეტრები ჩამოყალიბდა დაახლოებით 7000-8000 წლის წინათ. მილიონი წლების განმავლობაში ის არაერთხელ იცვლიდა თავის სახეს, იყო ტბაც და უერთდებოდა მსოფლიო ოკეანეს.

ჰიდროსფერო, რომელიც კლიმატური სისტემის ერთ-ერთი კომპონენტია, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დედამიწის კლიმატზე. ასევე, ზღვები და ოკეანეები თავის მხრივ არანაკლებ გავლენას ახდენენ ატმოსფერულ პროცესებზე. წარსული გეოლოგიური ეპოქების განმავლობაში დედამიწაზე დათბობისა და აცივების პერიოდები ერთმანეთს ენაცვლე-

ბოდა [11] და ეს ფაქტორი (სხვა ფაქტორებთან ერთად) მნიშვნელოვნად აისახებოდა ჰიდროსფეროზე და მათ შორის შავი ზღვის ევოლუციაზე.

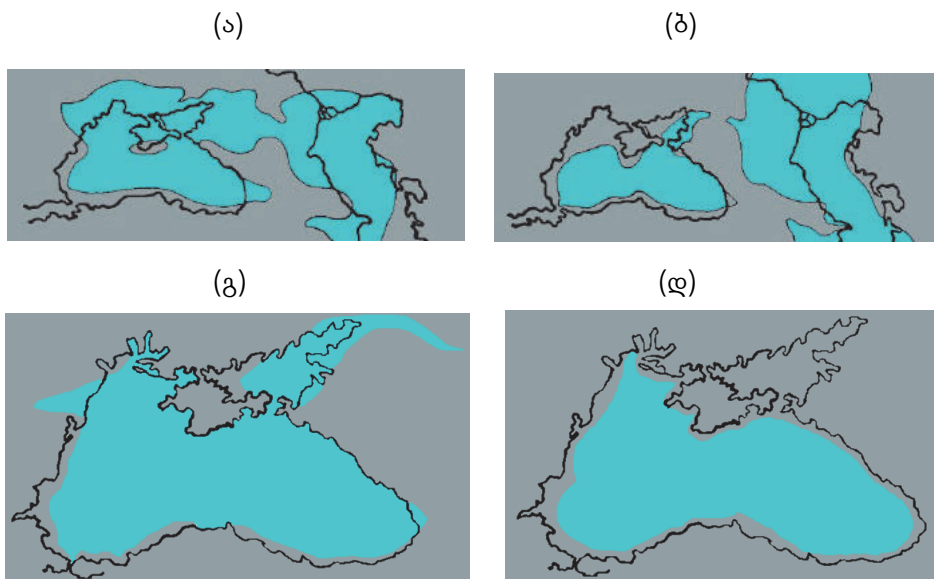
ბოსფორის გეოლოგიური ევოლუციის გამოკვლევები, რომლებიც განხორციელებულია მისი ფსკერის ბურღვის გზით, გვიჩვენებს, რომ ბოსფორი მრავალჯერ დამშრალა და ავსებულა წყლით სეისმური პროცესების შედეგად და შავი ზღვის დონის ცვალებადობის გამო გამყინვარებისა და დათბობის პერიოდების მონაცვლეობის გავლენით [218]. დღეისათვის არ არსებობს შავი ზღვის გეოლოგიური ტრანსფორმაციის სრული და დასრულებული თეორია, მაგრამ მისი ისტორიული ევოლუციის ზოგადი სურათის მიღება ძირითადი ეტაპების ჩათვლით შესაძლებელია [10, 136, 138, 218].



ნახ. 1.8. სარმატიის ზღვა-ტბა (5-7 მლნ წლის წინ)

გეოლოგიური გამოკვლევების თანახმად, 40-60 მილიონი წლის წინათ და უფრო ადრეც დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, სამხრეთ ევროპისა და შუა აზიის ტერიტორიების ჩართვით, გადაჭიმული იყო დიდი ოკეანის აუზი – მარილიანი ტეთისის ზღვა, რომელიც დასავლეთით ატლანტის ოკეანეს უერთდებოდა, ხოლო აღმოსავლეთით – წყნარ ოკეანეს. შემდგომში, დედამიწის ქერქის ამოზიდვის შედეგად ტეთისის ზღვა თანდათან მოწყდა ატლანტისა და წყნარ ოკეანეებს. ტექტონიკური პროცესები განსაკუთრებით აქტიურად მიმდინარეობდა მიოცენის პერიოდში, 5-7 მილიონი წლის წინათ, როცა გაჩნდა მთათა სისტემები – ალპები, კარპატები, ბალკანები და კავკასიონი. ამ პროცესების შედეგად, ტეთისის ზღვა შემცირდა და მომლამო წყალსატევებად დანაწევრდა. ერთ-ერთი ასეთი წყალსატევი იყო სარმატიის ზღვა-ტბა, რომელიც ცენტრალური ევროპიდან ცენტრალურ აზიამდე იყო გადაჭიმული და დღევანდელი შავი, აზოვის, კასპიისა და არალის ზღვებს მოიცავდა (ნახ.1.8). მასში კავკასიონი კუნძულის სახით იყო. მდინარეთა ჩადინების შედეგად ოკეანეს მოწყვეტილი სარმატიის ზღვა ძლიერ გამტკნარებულ ტბად იქცა. სარმატიის

ზღვამ 2-5 მილიონი წელი იარსება და ამ პერიოდში ჩამოყალიბდა მტკნარი წყალსატევის შესაბამისი ფლორა და ფაუნა, რომელთა ნაშთები ჩვენს დრომდე შემოინახა [134].



ნახ. 1.9. შავი ზღვის ისტორიული ევოლუციის ეტაპები [134, 202]:

(ა) – პონტოს ზღვა-ტბა 1,5 მილიონი წლის წინათ, (ბ) - ჩაუდინის ზღვა-ტბა 1 მლნ-ზე ნაკლები წლის წინათ, (გ) - ძველევქსინური ზღვა (400-500 ათასი წლის წინათ), (დ) - ახალევქსინური ზღვა-ტბა 18-20 ათასი წლის წინათ.

2-3 მილიონი წლის წინათ სარმატიის ზღვის შემცირების გამო წარმოიქმნა მეოტიის ზღვა. ამ პერიოდში კვლავ დამყარდა კავშირი ოკეანესთან, ზღვის მარილიანობამ იმატა და გაჩნდა ზღვის გარემოს შესაბამისი ფლორა და ფაუნა. დღევანდელი სამხრეთ კავკასიის ტერიტორიის მნიშვნელოვან ნაწილზე გაჩნდა ხმელეთი.

ნახ. 1.9 მიახლოებით ასახავს შავი ზღვის შემდგომი ევოლუციის ცალკეულ ეტაპებს, დაწყებულს დაახლოებით 1,5-2 მილიონი წლის წინათ. არსებული გეოლოგიური გამოკვლევები მიგვითითებენ, რომ პლიოცენში, დაახლოებით 1,5-2 მილიონი წლის წინათ, კვლავ გაჩნდა კავშირი ოკეანესთან და დღევანდელი კავკასიის, შავი და კასპიის ზღვების ტერიტორიაზე ჩამოყალიბდა თითქმის მტკნარი ზღვა – ტბა (პონტოს ზღვა, ნახ. 1.9ა). მომავალი შავი და კასპიის ზღვები ერთდებოდა იმ ადგილას, სადაც დღეისათვის ჩრდილო კავკასიაა. ამ პერიოდში პონტოს ზღვა-ტბაში ქრება ზღვის ფაუნა და ყალიბდება მცირე მარილიანობის მქონე წყალსატევის შესაბამისი ფაუნა. ამ დროის ფაუნა კარგადაა შემონახული გამტკნარებულ კასპიის ზღვაში.

პონტოს პერიოდის დასასრულს, ჩრდილოეთ კავკასიის რეგიონში დედამიწის ქერქის ამოწვევის შედეგად თანდათან მოხდა კასპიისა და შავი ზღვების განცალკევება. ამ დროიდან, კასპიისა და შავი ზღვების ევოლუცია დამოუკიდებელი გზებით წარიმართა, თუმცა დროდადრო მათ შორის კავშირი კვლავ აღდგებოდა ხოლმე.

შემდგომში, გამყინვარების პერიოდის დადგომასთან ერთად (ერთ მილიონზე ნაკლები წლის წინათ) პონტოს ტბა-ზღვა ზომებში თანდათან მცირდებოდა, ასევე იცვლებოდა მისი მარილიანობა და ფაუნა. შავი ზღვის ტერიტორიაზე იყო ძლიერად გამტკნარებული ტბა, იზოლირებული მსოფლიო ოკეანიდან (ჩაუდინის ზღვა-ტბა, ნახ. 1.9ბ) და დასახლებული პონტოს ტიპის ფაუნით.

გამყინვარების დასასრულს, ყინულების დნობის შედეგად (დაახლოებით 400-500 ათასი წლის წინ) ჩაუდინის ზღვა-ტბა გარდაიქმნება ძველექსინურ ზღვად, რომელიც ნაპირების მოხაზულობით თანდათან უახლოვდება შავი და აზოვის ზღვების თანამედროვე კონფიგურაციას (ნახ. 1.9გ). ჩრდილო-აღმოსავლეთით ის უერთდებოდა კასპიის ზღვას, ხოლო სამხრეთ-დასავლეთის მხრიდან ბოსფორით – მარმარილოს ზღვას, რომელიც ამ დროს გამოყოფილი იყო ხმელთაშუა ზღვიდან და განიცდიდა დიდ გამტკნარების პროცესს. ძველექსინური ზღვის ფაუნა იყო პონტოს ტიპის.

შუაგამყინვარების ეპოქაში (100-150 ათასი წლის წინათ) შავი ზღვის ისტორიაში დგება ახალი ეტაპი – დარდანელის სრუტის წარმოქმნის შედეგად მომავალი შავი ზღვა უკავშირდება მსოფლიო ოკეანეს ხმელთაშუა ზღვის მეშვეობით. ამიტომ ზღვის მარილიანობა მნიშვნელოვნად იზრდება და მისი ფაუნა და ფლორა უფრო მრავალფეროვანი ხდება.

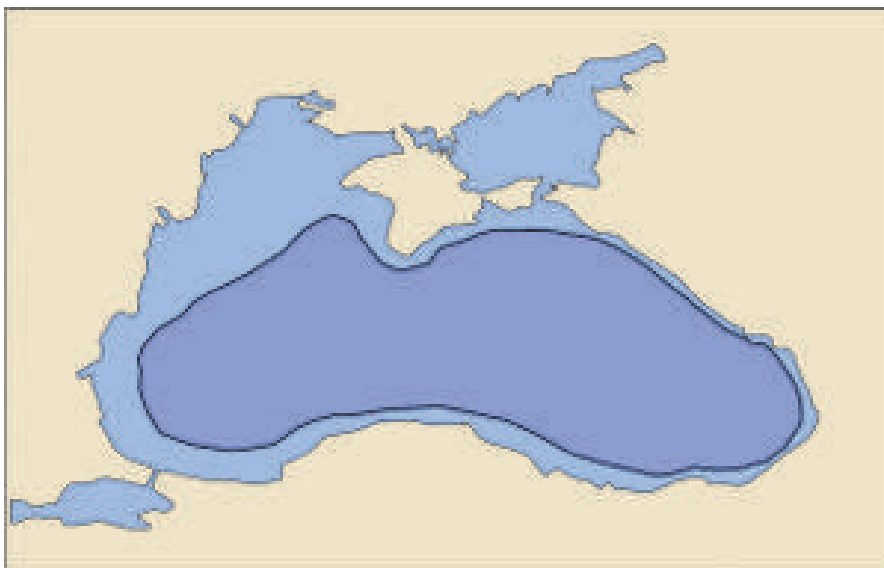
ამის შემდეგ შავი ზღვა კვლავ განიცდიდა ცვლილებებს და კვლავ განყდა კავშირი ოკეანესთან, წარმოიშვა ახალექსინური ზღვა-ტბა. ნახ. 1.9დ-ზე გამოსახული შავი ზღვის კონფიგურაცია შეესაბამება 18-20 ათასი წლის წინანდელ პერიოდს, როცა იგი ახალექსინურ ზღვა-ტბას წარმოადგენდა.

დაახლოებით 7000-8000 წლის წინათ კვლავ აღსდგა კავშირი ხმელთაშუა ზღვასთან და მსოფლიო ოკეანესთან ბოსფორისა და დარდანელის მეშვეობით. დაიწყო ზღვის წყლის გამარილიანების პროცესი და შეიქმნა ხელსაყრელი პირობები ზღვის თანამედროვე ფლორისა და ფაუნის ჩამოყალიბებისათვის.

ზოგიერთ სპეციალისტთა აზრით ბოსფორთან შეერთება შესაძლოა მომხდარიყო უეცრად, რაც დიდ კატასტროფას გამოიწვევდა [62, 63, 111, 112]. შავ ზღვას უკავშირდება ლეგენდა ბიბლიური წარღვნის შესახებ. გასული საუკუნის 90-იან წლებში კოლუმბიის უნივერსიტეტის გეოლოგების უ. რაიანისა (Ryan) და უ. პიტმანის (Pitman) მიერ წამოყენებული იქნა ჰი-

პოთეზა იმის შესახებ, რომ ბიბლიური წარღვნის არენა იყო თანამედროვე შავი ზღვის ტერიტორია [9, 62, 63]. ამ ფაქტმა დიდი ინტერესი გამოიწვია სამეცნიერო წრეებში. ამ ჰიპოთეზის თანახმად, დაახლოებით 5600 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე ადგილი ქონდა წყლის დონის დიდმასშტაბურ კატასტროფულ აწევას შავ ზღვაში. შავი ზღვის დონე დაახლოებით 140 მ-ით აინია, რის შედეგადაც შავი ზღვის ფართობი 1,5-ჯერ გაიზარდა. ამ ფაქტმა საფუძველი დაუდო ბიბლიურ ლეგენდას მსოფლიო წარღვნის შესახებ. წყლის მასშტაბური აწევის მიზეზი გახდა წყლების კატასტროფული შემოდინება ხმელთაშუა ზღვიდან შავ ზღვაში, რომელიც მაშინ ტბას წარმოადგენდა და მისი დონე მსოფლიო ოკეანის, და მათ შორის ხმელთაშუა ზღვის, დონეზე დაბლა იყო.

ძვ. წ. 5600 წლისათვის კლიმატის დათბობისა და ყინულების მასიური დნობის შედეგად ხმელთაშუა ზღვის დონე მნიშვნელოვნად გაიზარდა. როგორც რაიანი და პიტმანი ვარაუდობენ, აწეული ხმელთაშუა ზღვა საბოლოოდ ბოსფორის ფუძის კლდოვან ბარიერს არღვევს და წარმოუდგენელი სისწრაფით შავ ზღვაში იღვრება. მათი შეფასებით, ამ მოვლენამ 155000 კმ² ფართობი მინა დატბორა და მნიშვნელოვნად გააფართოვა შავი ზღვის სანაპირო ზოლი, განსაკუთრებით, ჩრდილოეთითა და დასავლეთით. რაიანისა და პიტმანის მტკიცებით 42 კმ³ წყალი იღვრებოდა ყოველდღიურად, რაც 200-ჯერ აღემატება ნიაგარას ჩანჩქერზე გადმოღვრილი



ნახ. 1.10. შავი ზღვის კონფიგურაცია: თანამედროვე და მე-6 ათასწლეულის დასაწყისში (მუქი ლურჯი ფერით) ჩვენს ერამდე რაიან-პიტმანის ჰიპოთეზის მიხედვით.

წყლის მოცულობას. ბოსფორზე წარმოქმნილ სრუტეზე წყალი ღრიალით მიექანებოდა წარმოუდგენელი სიჩქარით არანაკლებ 300 დღის განმავლობაში. მაშინ შავი ზღვის სანაპირო დასახლებული იყო და ხალხი მიწათმოქმედებას მისდევდა. ზღვის დონის უეცარმა აწევამ დიდი მსხვერპლი გამოიწვია, ხოლო გადარჩენილებმა დატოვეს სანაპირო ზონა. ჰიპოთეზის ავტორები ამ მოვლენას უკავშირებენ ხალხთა გადასახლებას. ვარაუდობენ, რომ ეს მოვლენა გახდა ნოეს წარღვნის ლეგენდის საფუძველი. ნახ. 1.10-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის კონფიგურაცია თანამედროვე ეტაპზე და მე-6 ათასწლეულის დასაწყისში ჩვენს ერამდე, ანუ წარღვნამდე.

არქეოლოგთა ჯგუფმა ცნობილი ამერიკელი ოკეანოგრაფისა და წყალქვეშა არქეოლოგის რობერტ ბალარდის ხელმძღვანელობით ჩაატარა ჩრდილოეთ თურქეთის შავი ზღვის სანაპიროზე გამოკვლევები, რომელთა შედეგები მიუთითებენ რაიან-პიტმანის ჰიპოთეზის რეალურობას [14]. აღნიშნულმა ჯგუფმა წყალქვეშა რობოტების საშუალებით დაადგინა უძველესი სანაპირო ხაზის მოხაზულობა შავი ზღვის თანამედროვე სანაპიროდან დაახლოებით 20 კმ დაშორებით 100-150 მ სიღრმეზე მტკნარი წყლის ლოკოკინათა ნიჟარების, ჩაძირულ მდინარეთა ხეობების, ნამოსახლარების, ადამიანის მიერ შექმნილი სტრუქტურების და სხვ. აღმოჩენის მიხედვით. მტკნარი წყლის მოლუსკების ასაკის რადიოკარბონატულმა დათარიღებამ აჩვენა, რომ მათი ასაკი დაახლოებით 7000 წელი უნდა იყოს [9]. შავი ზღვის ფსკერის დანალექის გამოკვლევა და სხვა გამოკვლევები მიუთითებენ რაიან-პიტმანის დასკვნების რეალობას [111, 112]. ეს ჰიპოთეზა დღემდე აქტიური განხილვისა და დებატების საგანია არქეოლოგთა შორის, რომელსაც ყავს მოწინააღმდეგენიც.

შავი ზღვის ისტორიული ევოლუციის ანალიზს მივყავართ იმ დასკვნამდე, რომ თანამედროვე შავი ზღვის სახე თავისი კონფიგურაციით, მორფომეტრიული პარამეტრებით, ფლორითა და ფაუნით მხოლოდ გარკვეული ეტაპია ზღვის აუზის ევოლუციურ გარდაქმნათა გრძელ ჯაჭვში.

1.3. შავი ზღვა ძველ ისტორიულ წყაროებში, ხელოვნებასა და ლიტერატურაში

მსოფლიოში ბევრი არ მოიძებნება ზღვა, რომელსაც ხელოვნებაში, სამეცნიერო და მხატვრულ ლიტერატურაში ანტიკური ხანიდან მოყოლებული დღემდე ისეთი ყურადღება რგებოდა, როგორც შავ ზღვას. შავი ზღვის თემატიკამ გამოხატულება პოვა მთელი რიგი მხატვრების, მწერლებისა და პოეტების შემოქმედებაში. მაგალითად, საყოველთაოდ ცნობილია XIX საუკუნის რუსეთის გამოჩენილი მხატვარ-პეიზაჟისტის ი. კ. აი-

ვაზოვსკის ფერწერული ტილოები, რომლებიც მან შავ ზღვას მიუძღვნა. ნახ. 1.11-ზე გამოსახულია აივაზოვსკის ერთ-ერთი ფერწერული ნამუშევარი.



ნახ. 1.11. ი. კ. აივაზოვსკი. შავი ზღვა. 1881 წ.



ერატოსფენე
(დაახლ. ძვ. წ. 275–195)

ძველი ბერძნები საკმაოდ კარგად იცნობდნენ შავ ზღვას და საქართველოს, რაც ასახულია მათ მიტეხსა და წერილობით ტექსტებში (ჰომეროსი, ჰეროდოტე, სტრაბონი, არიანე და სხვ.). ძველმა ბერძენმა ისტორიკოსმა „ისტორიის მამად“ აღიარებულმა ჰეროდოტემ (ძვ. წ. 484–425) მოინახულა ჩრდილოეთი შავიზღვისპირეთი, იგი იყო პირველი მოგზაური რომელმაც ცოტად თუ ბევრად მოგვანოდა კონკრეტული ცნობები შავი ზღვის შესახებ თავის ცნობილ ნაშრომში „ისტორიანი“.

ნახ. 1.12-ზე ნაჩვენებია გამოჩენილი ბერძენი მათემატიკოსის, ასტრონომისა და გეოგრაფის ერატოსფენეს (დაახლ. ძვ.

ნ. 275–195) მიერ შედგენილი დედამიწის რუკა, სადაც კარგად ჩანს შავი ზღვის კონფიგურაცია და ბოსფორის სრუტით მისი კავშირი ხმელთაშუა ზღვასთან. რუკაზე გამოსახული შავი ზღვის კონფიგურაცია უახლოვდება შავი ზღვის თანამედროვე კონფიგურაციას, იგივე შეიძლება ითქვას ხმელთაშუა ზღვის შესახებ. ძველ ბერძნებს მცდარად მიაჩნდათ რომ კასპიის ზღვა ჩრდილოეთ ოკეანის ყურეა, რაც ასახულია ამ რუკაზე. ერატოსფენე თვლიდა, რომ შავი ზღვა მეტად პატარაა, რომელსაც ერთვის მრავალი მდინარე, რომლებსაც მასში შლამი ჩააქვთ. ამითვე ხსნიდა იგი შავი ზღვის წყლების დაბალ მარილიანობას. უნდა აღინიშნოს, რომ მის მიერ შავი ზღვის დაბალი მარილიანობის ასეთი ახსნა კარგ თანხვედრაშია თანამედროვე შეხედულებებთან.



ნახ. 1.12. ერატოსფენეს მიერ შედგენილი დედამიწის რუკა (მე-3 საუკუნე ჩვ. წ.-მდე)

ერატოსფენეს რუკა იყო პირველი რუკა იმ დროისათვის, რომელიც შედგენილი იყო დედამიწის სფეროსებური ფორმის გათვალისწინებით. ამ რუკით ხელმძღვანელობდნენ ჩვ. წ. I საუკუნემდე [93]. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ერატოსფენე იყო პირველი, ვინც შემოიღო პარალელები და მერიდიანები კარტოგრაფიაში, იგი თავისი რუკის აგებისას სარგებლობდა პარარელებისა და მერიდიანების ბადით. ასევე, ერატოსფენეს დიდი დამსახურებაა პირველად დედამიწის რადიუსის გამოთვლა, რაც საკმაოდ ახლოს აღმოჩნდა თანამედროვე მონაცემებთან.

ბერძენმა ისტორიკოსმა, გეოგრაფმა და ფილოსოფოსმა ფლავიუს არიანემ (Arrianus Flavius) (დაახლ. ახ. წ. 95-175), რომელიც 131-137 წწ-ში კაპადოკიის მმართველი იყო, რომის იმპერატორ ადრიანეს დავალებით 131 წელს მოიარა აღმოსავლეთ შავი ზღვის სანაპირო, კერძოდ, ტრაპიზონიდან დიოსკურიამდე მთელი სანაპირო ხაზი. არიანეს ევალეზოდა შავი ზღვის აღმოსავლეთ სანაპიროს შესახებ დაწვრილებითი ანგარიშის შედგენა და ამ სანაპიროზე არსებული მოსახლეობის რომის მიმართ განწყობილების შესახებ მოხსენება. მან თავისი მოგზაურობის შედეგები აღწერა იმპერატორისათვის გაგზავნილ ოფიციალურ ანგარიშში, შემდეგ ეს მოხსენება ლიტერატურულად გადაამუშავა და უწოდა „*მოგზაურობა შავი ზღვის გარშემო*“ (*Periplus Pontou Euxeinu*) [2].

საინტერესოა, არიანეს მიერ წიგნში მოყვანილი მდ. რიონისა (მდ. ფასისის) და შავი ზღვის წყლების დახასიათება მათი მარილიანობისა და სხვა თვისებების მიხედვით. თავის წიგნში ფლავიუს არიანე წერს: „*ფასისს აქვს მეტად მსუბუქი წყალი, ერთვის ზღვას და ერევა ზღვის წყალს. თუ ზემოდან ამოიხაპება წყალი მეტად მტკნარია, თუ ვინმე ჭურჭელს სიღრმეში ჩაუშვებს მარილიანი. თუმცა მთელი პონტოს წყალი უფრო მტკნარია, ვიდრე გარეშე ზღვისა [ხმელთაშუა ზღვისა]. ამის მიზეზია მდინარეები, რომელთა რაოდენობის და სიდიდის განსაზღვრა არ შეიძლება. სიმტკნარის საბუთი (თუ კი საბუთი გრძნობათათვის ცხად საგნებსაც ესაჭიროებათ) არის ის, რომ მცხოვრებთ საქონელი მიყავთ ზღვასთან და იქ ასმევენ წყალს. საქონელი აშკარა სიამოვნებით სვამს წყალს. ამბობენ, რომ ეს სასმელი საქონლისათვის მტკნარ წყალზე უფრო სასარგებლოა. ფერი ფასისისა თავისებურია, გავს ტყვიით და კალით შეღებილ წყალს. დაყენების შემდეგ კი ის მეტისმეტად ინმინდება. ამიტომ არაა მიღებული, რომ ფასისში ზღვიდან შემსვლელმა წყალი თან მოიტანოს არამედ, როდესაც მოგზაური მდინარის კალაპოტში შევლენ, გაიცემა ბრძანება ხომალდზე არსებული მთელი წყალი გადაღვარონ. წინააღმდეგ შემთხვევაში გადმოცემის მიხედვით, მოგზაურობა არ იქნება ბედნიერი. ფაზისის წყალი არ შმორდება, არამედ 10 წელზე მეტად გაუფუჭებელი რჩება, ის უფრო მეტად ტკბება“.*

ფლავიუს არიანეს წიგნი მნიშვნელოვანი წყაროა II საუკუნის კოლხეთის ეთნიკური შემადგენლობის, სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობის, ისტორიის და სხვ. საკითხების შესასწავლად.

1.4. შავი ზღვა და საქართველო

მთელი თავისი ისტორიის მანძილზე საქართველოს საგარეო-ეკონომიკურ ურთიერთობებში შავი ზღვა უდიდეს როლს თამაშობდა [4, 13, 78]. ძვ. წ. XIII-XII საუკუნეებით თარიღდება უძველესი ქართული სახელმწი-

ფოს – კოლხეთის სამეფოს (თანამედროვე დასავლეთ საქართველოს ტერიტორია) პირველი საზღვაო-სავაჭრო კონტაქტები შავი ზღვის მეშვეობით ბერძნულ სამყაროსთან, რომელიც ლეგენდარული ფორმით აისახა მითში არგონავტების კოლხეთში მოგზაურობის შესახებ. საყოველთაოდ ცნობილია მითი იაზონის მეთაურობით ხმელთაშუა და შავი ზღვით არგონავტების კოლხეთში მოგზაურობის შესახებ, საიდანაც მათ მიაქვთ ოქროს სანმისი და მიჰყავთ კოლხთა მეფის აიეტის ასული მედეა. ოქროს სანმისი და მედეა, რომლებიც დღესაც აღელვებს მოაზროვნე კაცობრიობას, მრავალი ხელოვნებისა და ლიტერატურის ნაწარმოების მთავარ ობი-



არგონავტების ლაშქრობა

ექტად იქცა, მათ შორის მსოფლიოში ცნობილი ევრიპიდეს ტრაგედიისა „მედეა“, აპოლონ როდოსელის პოემისა „არგონავტიკა“ და სხვ. აღსანიშნავია, რომ აპოლონ როდოსელის „არგონავტიკაში“ პირველადაა მოხსენიებული მსოფლიოს ერთ-ერთი უძველესი ქალაქი კუტაია (ქუთაისი). კოლხთა მეფის ასული მედეა – ბერძნულ მითებში საყოველთაოდ ცნობილი „მსოფლიოს უდიდესი ჯადოქარი“, ბალახთა და წამალთა მესაიდუმლე – მედიცინის დედამთავრად მიიჩნევა. სწორედ მისი სახელი დაედო საფუძვლად სიტყვას „მედიცინა“.

ბერძენთა განსაკუთრებით დიდი დაინტერესება შავი ზღვით უკავშირდება VII საუკუნეს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, როდესაც დაიწყო ბერძნული კოლონიების დაარსება შავი ზღვის სანაპიროებზე. აღსანიშნავია, რომ ძვ. წ. VII საუკუნემდე ბერძნების აზრით კოლხეთი მათთვის ნაცნობი მსოფლიოს უკიდურეს მიჯნაზე მდებარეობდა.

შავი ზღვის აღმოსავლეთ სანაპიროს გასწვრივ ბერძნებმა დაარსეს სავაჭრო ცენტრები – სინოპი (თანამედროვე თურქეთის ტერიტორია), ფაზისი მდ. რიონის შესართავთან, დიოსკურია თანამედროვე სოხუმის მიმდებარე ტერიტორიაზე. დიოსკურია, რომელიც ძვ. წ. VI საუკუნეში გაშენდა, ახ. წ. II საუკუნეში, რომაელების ეპოქაში, სებასტოპოლის სახელით გახდა ცნობილი. აქედან ხდებოდა ხე-ტყის, სელის ქსოვილისა და სხვა პროდუქციის ექსპორტირება საბერძნეთში. ამავდროულად ქალაქი რეგიონში მონებით ვაჭრობის ცენტრსაც წარმოადგენდა.

ძვ. წ. III-II საუკუნეებში, ელინისტურ ეპოქაში საქართველოს საზღვაო ვაჭრობის მოცულობა საკმაოდ ინტენსიური გახდა. ამ საუკუნეებში კოლხეთის სამეფოს ნავსადგურებში საზღვაო გემებზე ადგილობრივ ნაწარმთან ერთად სპარსეთის, აღმოსავლეთ აზიის ქვეყნების საქონელიც იტვირთებოდა. ჩინეთისა და ინდოეთის ნაწარმი საქართველოს ზღვისპირეთში „დიდი აბრეშუმის გზის“ იმ განშტოებით ჩამოჰქონდათ, რომელიც ჩრდილოეთ ინდოეთზე, ცენტრალურ აზიაზე და სამხრეთ კავკასიაზე გადიოდა. უკან, აღმოსავლეთის ვაჭრებს აზიის შორეულ ქვეყნებში საქართველოს ნავსადგურებში ზღვით ჩამოტანილი ბერძნული სამყაროს პროდუქცია მიჰქონდათ [4].

ძველი და ახალი ერების მიჯნაზე შავი ზღვა და საერთოდ შავი ზღვისპირეთი რომის იმპერიის შემადგენელ ნაწილად იქცა. ახ. წ. III-IV საუკუნეებში საქართველოს შავი ზღვით სავაჭრო-ეკონომიკური ურთიერთობა რომის იმპერიის დასავლეთ ხმელთაშუა ზღვისპირეთის პროვინციებთანაც ჰქონდა.

ძველი ბერძნული სამყაროს ექსპორტის უმთავრეს საგანს ძვირფასი კერამიკა წარმოადგენდა, რომელიც ზღვით დიდი რაოდენობით საქართველოში შემოდიოდა. ამ ხანაში დასავლეთ საქართველოში საზღვაო იმპორტის ერთ-ერთ უმთავრეს საგანს მარილი წარმოადგენდა, რომელიც ყირიმიდან შემოჰქონდათ. საქართველოში მარილი მხოლოდ ზღვით შემოდიოდა როგორც ანტიკურ ხანაში, ასევე შუა საუკუნეებშიც.

VI-XII საუკუნეებში საქართველოს მთავარ საზღვაო პარტნიორს ბიზანტიის იმპერია წარმოადგენდა. საქართველოდან ბიზანტიაში ზღვით ძირითადად ხე-ტყე, აბრეშუმი და სხვა ადგილობრივი ნედლეული გაჰქონდათ, ხოლო XI-XII საუკუნეებში ბიზანტიაში საქართველოს საზღვაო ექსპორტში მნიშვნელოვანი ადგილი დაიკავა აგრეთვე ხელოსნურმა ნაწარ-

მმა. ამ პერიოდში ბიზანტიაში განსაკუთრებით დიდი მონონებით სარგებლობდა ქართული აბრეშუმის ქსოვილები და ამ აბრეშუმიდანვე საქართველოში დამზადებული სამოსელი, რომელსაც ბიზანტიის სამეფო კარი ატარებდა [4].

XI-XII საუკუნეებში საქართველო შავი ზღვით კიევის რუსეთთანაც იყო დაკავშირებული.

ცნობილია, რომ XIII-XV საუკუნეებში შავი ზღვით საქართველოს სავაჭრო ურთიერთობა ქონდა იტალიის ქალაქ-სახელმწიფოებთან – გენუასა და ვენეციასთან.

XIII-XV საუკუნეებში საქართველოს ნავსადგურები მსოფლიო სატრანზიტო ვაჭრობაში დიდ როლს ასრულებდნენ. ამ ნავსადგურებში სახმელეთო გზებით ჩამოჰქონდათ ჩრდილოეთ სპარსეთისა და დასავლეთ კასპისპირეთის აბრეშუმი, რომელიც შემდეგ კონსტანტინოპოლის გავლით დასავლეთ ევროპაში მიჰქონდათ.

ქართული და უცხოენოვანი საისტორიო წყაროების მონაცემებით, XVI-XVIII საუკუნეებში საქართველოდან შავი ზღვით აბრეშუმი, ცვილი, ბენვეული და სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა პროდუქცია გაჰქონდათ, ხოლო საქართველოში მანუფაქტურული ნაწარმი, მარილი, ცივი და ცეცხლსასროლი იარაღი, თოფის ნაძალი და ფუფუნების საგნები შემოჰქონდათ [4, 78].

XIX საუკუნის ბოლოს ვაჭრობა შავი ზღვის რეგიონში აღმავლობის გზას დაადგა, რასაც ხელი შეუწყო შავი ზღვის აღმოსავლეთით, კასპიის ზღვის რეგიონში, ნავთობის აღმოჩენამ. ბათუმისა და ფოთის პორტების დაარსება მე-19 საუკუნის მეორე ნახევარში დიდი მოვლენა იყო, რამაც საქართველოს როგორც ტრანზიტული ქვეყნის როლი განსაზღვრა. კასპიის ნავთობისათვის მთავარი საექსპორტო მარშრუტი იწყებოდა ბაქოდან, მისი მოპოვების ადგილიდან, შემდგომ იგი რკინიგზით ბათუმში გადაჰქონდათ, ბოლოს კი ფოთის პორტიდან ხდებოდა მისი გემებით ექსპორტირება.

XX საუკუნის დასასრულსა და XXI საუკუნის დასაწყისში შავი ზღვის რეგიონი კვლავ ევროპასა და აზიას შორის სატრანზიტო-ეკონომიკურ დერეფნად იქცა, რაც მნიშვნელოვნად განაპირობა საბჭოთა კავშირის დაშლამ და პოსტსაბჭოთა სივრცეში დამოუკიდებელ სახელმწიფოთა ჩამოყალიბებამ.

თავი 2

შავი ზღვის შესწავლა წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე

ის ცოდნა, რაც დღეს მეცნიერებას მოეპოვება შავი ზღვის თავისებურებებისა და მასში მიმდინარე ჰიდროლოგიური, ბიოლოგიური და ქიმიური პროცესების შესახებ, ყალიბდებოდა, ძირითადად, ბოლო რამდენიმე ასეული წლის განმავლობაში მრავალი მეცნიერის დაუღალავი შრომის შედეგად.

2.1. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია XVII-XX საუკუნეებში

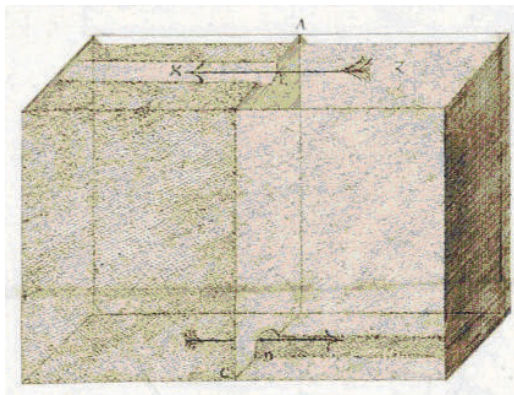
შავი ზღვა, რომელიც ტიპიურ შიგამატერიკულ წყალსატევს წარმოადგენს, ძველთაგანვე იქცევდა გეოგრაფთა და მოგზაურთა ყურადღებას, მაგრამ მისი სისტემატური და ინტენსიური მეცნიერული შესწავლა მე-19 საუკუნეს უკავშირდება. თუმცა, მანამდეც იყო ეპიზოდური გამოკვლევები, რომელთა შორის ძალზედ მნიშვნელოვანია ცნობილი იტალიელი დიპლომატის, სამხედრო მოღვაწისა და მეცნიერის ლუიჯი ფერდინანდო მარსილის მიერ 1679 წელს აღმოჩენილი ბოსფორის ქვედა და ზედა დინებები მისი მოგზაურობის პერიოდში ვენეციიდან კონსტანტინეპოლამდე [58, 59, 61, 64, 170]. შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის ისტორიაში ეს იყო პირველი უმნიშვნელოვანესი გამოკვლევა, რომელიც მარსილიმ განახორციელა ზღვაზე ჩატარებული პირდაპირი გაზომვებით. მან ზღვის წყლის სიმკვრივეთა უშუალო გაზომვით და მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე დაადგინა წყლის მასების ორმხრივი გაცვლა ბოსფორის მეშვეობით შავ და მარმარილოს ზღვებს შორის.

თავისი აღმოჩენის გამყარების მიზნით მარსილიმ განახორციელა ბოსფორის ორმხრივი დინების ლაბორატორული იმიტირება [64, 170]. ამ მიზნით მან გამოიყენა ყუთი (ნახ. 2.1), რომელიც გაყოფილი იყო ტიხრით ორ ნაწილად, ყუთს ფსკერთან და ზედაპირთან გაკეთებული ქონდა ხვრელები. ყუთის ერთ ნაწილში მარსილმა ჩაასხა შავი ზღვის შედარებით მსუბუქი წყალი, ხოლო მეორე ნაწილში – მარმარილოს ზღვის მკვრივი წყალი, რომელსაც ის იღებდა ბოსფორის ქვედა დინებიდან. ქვედა ხვრელის გახსნის შემდეგ, მარმარილოს ზღვის წყალმა მოძრაობა დაიწყო ხვრელის მეშვეობით შავი ზღვის წყლისაკენ წნევათა სხვაობის გავლენით, ხოლო დონის აწევის გამო ზედა ხვრელის მეშვეობით შავი ზღვის წყალი ამოძ-

რავდა მარმარილოს ზღვისაკენ. ეს იყო პირველი მნიშვნელოვანი გამოკვლევა შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში. შემდგომმა გამოკვლევებმა აჩვენა ბოსფორის ორმხრივი დინების უმნიშვნელოვანესი როლი შავი ზღვის ჰიდროლოგიური სტრუქტურის ფორმირებაში. 1681 წელს მარსილიმ იტალიურ ენაზე გამოაქვეყნა წიგნი ბოსფორის ორფენოვანი დინებაზე დაკვირვებისა და ლაბორატორიული ექსპერიმენტის შესახებ [61].



ლუიჯი ფერდინანდო მარსილი
(1658-1730)



ნახ. 2.1. მარსილის ექსპერიმენტული
დანადგარი (მარსილისი ყუთი)

1699 წელს პეტრე I-ის ბრძანებით ქერჩიდან ბოსფორისაკენ გაემართა რუსეთის გემი „კრეპოსტ“, რომელმაც მნიშვნელოვანი და ღირებული გაზომვები ჩაატარა მიმავალ გზაზე. ამ მონაცემებით შედგენილ იქნა ზღვის რუკა და სიღრმის ნიშნულები. გემ „კრეპოსტ“-ზე განხორციელებული დაკვირვებების საფუძველზე, რომელმაც სათავე დაუდო ჰიდროგრაფიულ კვლევებს, 1703 წელს გამოიცა შავი და აზოვის ზღვების ატლასი [8].

XVIII საუკუნეში რუსმა სამხედრო მეზღვაურებმა დაიწყეს აზოვის ზღვის ჰიდროგრაფიული აღწერა, ხოლო საუკუნის დასასრულს – შავი ზღვისაც [133]. ეს სამუშაოები გრძელდებოდა მე-19 საუკუნეშიც. 1820 წელს ფრანკო-რუსულმა ექსპედიციამ აღწერა შავი ზღვის სანაპირო. 1825-1836 წწ-ში რუსეთის სამხედრო ოფიცრისა და ჰიდროგრაფის ე. პ. მანგანარის (1796-1868) მიერ ორგანიზებულ ექსპედიციის დროს ჩატარდა შავი და აზოვის ზღვების სანაპიროთა დეტალური კარტირება, რის შედეგადაც 1842 წელს გამოიცა შავი ზღვის ატლასი [133]. ატლასი აქტუალური იყო XX საუკუნის დასაწყისამდე (სხვა ჰიდროგრაფების მიერ შეტანილი მცირე შესწორებებით).

XIX საუკუნეში დაიწყო მეტეოროლოგიური დაკვირვებები შავი ზღვის სანაპიროზე, კერძოდ, ქალაქებში ნიკოლაევში, ოდესაში, სევასტოპოლში და სხვ. საუკუნის ბოლოს უკვე რამდენიმე ათეული სანაპირო მეტეოროლოგიური სადგური არსებობდა.

შავი ზღვის ინტენსიური მეცნიერული შესწავლის დასაწყისად უნდა მივიჩნიოთ XIX საუკუნის მეორე ნახევარი [94, 229]. როგორც დ. მ. ფილიპოვი აღნიშნავს თავის ცნობილ მონოგრაფიაში [229], ცნობილი რუსი ოკეანოგრაფის ნ. ი. ჩიგირინის ხელნაწერ შრომებში მითითებულია სამი ეტაპი შავი ზღვის შესწავლის ისტორიაში. პირველი ეტაპი – XIX საუკუნის შუა წლებიდან 1890 წლამდე ხასიათდება რუსეთის შავი ზღვის ფლოტის ოფიცრების მიერ ჩატარებული შემთხვევითი ჰიდროლოგიური დაკვირვებებით. მეორე ეტაპის დასაწყისად უნდა მივიჩნიოთ პირველი შავი ზღვის ღრმამზომი ექსპედიცია 1890-1891 წლებში, რომელიც განხორციელდა ი. ბ. შპინდლერისა და ფ. ფ. ვრანგელის მიერ. მესამე ეტაპი იწყება 1922 წლიდან, როდესაც ორგანიზებულ იქნა აზოვი-შავი ზღვის სამეცნიერო-სარეწი ექსპედიცია ნ. მ. კნიპოვიჩის ხელმძღვანელობით. ერთდროულად დაიწყო მრავალწლიანი ოკეანოგრაფიული ექსპედიცია ი. მ. შოკალსკის ხელმძღვანელობით. მეოთხე ეტაპი, როგორც ფილიპოვი თვლის, დაიწყო 1951 წლიდან, როდესაც ჩატარდა პირველი სინქრონული კომპლექსური გადაღებები. თანამედროვე ეტაპის დასაწყისად შავი ზღვის შესწავლაში შეიძლება მივიჩნიოთ XX საუკუნის 70-80-იანი წლები [94]. ამ ეტაპის დამახასიათებელი თავისებურება, რითაც იგი მკვეთრად განსხვავდება წინა ეტაპებისაგან, ჩვენი აზრით, მდგომარეობს მათემატიკური მოდელებისა და გამოთვლითი ტექნიკის ფართო გამოყენებაში შავი ზღვის ჰიდროფიზიკური პროცესების შესწავლის მიზნით და თანამედროვე დისტანციური (თანამგზავრული) და კონტაქტური გაზომვის მეთოდების განვითარებაში.

შავი ზღვის კვლევის პირველ ეტაპზე ფ. ფ. ვრანგელის (1879 წ.), ე. ვ. მაიდელის (1884 წ.), ს. ო. მაკაროვისა (1885 წ.) და სხვათა შრომების შედეგად შეიქმნა გარკვეული წარმოდგენები შავი ზღვის ზედაპირულ დინებათა შესახებ, მაგრამ ამავე დროს ჩამოყალიბდა არაზუსტი შეხედულება მდინარეთა დიდი როლის შესახებ ზღვის ზედაპირულ ცირკულაციაში. ამ მკვლევართა აზრით ზღვის ცირკულაციის აღძვრის ძირითადი მიზეზია მდინარეთა შენაკადები, ხოლო ქარისა და ადგილობრივი გეომორფოლოგიური თავისებურებების გავლენით დინებამ შეიძლება შეიცვალოს მართულეობა.

ამ პერიოდის დიდი მიღწევაა რუსეთის ფლოტის ვიცე-ადმირალისა და ოკეანოგრაფის ს. ო. მაკაროვის მიერ 1985 წელს გამოქვეყნებული ცნობილი ნაშრომი „შავი და ხმელთაშუა ზღვების წყლების გაცვლის შესახებ“ [174, 175], რაც რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის პრემიით დაჯილდოვდა. თუმცა, ბოსფორის ზედა და ქვედა დინებებები ცნობილი იყო

მარსილის მიერ ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად, მაკაროვის დამსახურებად უნდა ჩაითვალოს ბოსფორის დინებათა დეტალური ჰიდროლოგიური შესწავლა და იმ ფიზიკური ჰიპოთეზის დასაბუთება, რომელიც



ს. ო. მაკაროვი
(1849-1904)

დაკავშირებულია ბოსფორის ორფენოვანი დინების არსებობასთან. მაკაროვმა თავისი გამოკვლევებისათვის გამოიყენა თურქეთში რუსეთის საელჩოს განკარგულებაში მყოფი სამხედრო გემი „ტამანი“, რომლის უფროსადაც იყო დანიშნული. მან განახორციელა დაკვირვებები წყლის ტემპერატურაზე, მარილიანობაზე, დინების სიჩქარესა და მიმართულებაზე ბოსფორის სრუტეში და დაკვირვებათა ანალიზის საფუძველზე დამაჯერებლად დაასაბუთა ორფენოვანი დინების არსებობა. აღსანიშნავია, რომ ბოსფორის დინებათა შესასწავლად მაკაროვი საოცრად მარტივ და მახვილგონიერ ხერხს მიმართავდა – ნავიდან ტროსით ჩამვებულ წყლით სავსე ხუთვედროიან კასრს უშვებდა. „ტამანის“ კანჯო, საიდანაც მეზღვა-

ურები კასრს უშვებდნენ, ტალღებზე ნელა ირხეოდა და მარმარილოს ზღვის მიმართულებით იწყებდა ცურვას, მაგრამ როცა კასრი დიდ სიღრმეს აღწევდა, ტროსი იჭიმებოდა და კასრი კანჯოს უკვე სანინაალმდეგო მიმართულებით მიათრევდა.

ამგვარად, მარსილისა და მაკაროვის გამოკვლევები მნიშვნელოვანი მოვლენაა შავი ზღვის ჰიდროლოგიის კვლევის ისტორიაში, რომლებმაც საბოლოოდ აჩვენეს ისეთი საინტერესო და შავი ზღვის ჰიდროლოგიისთვის მნიშვნელოვანი ფენომენის არსებობა, როგორცაა ბოსფორის ზედა და ქვედა დინებები. აღნიშნული გამოკვლევების შედეგად ცნობილი გახდა, რომ ბოსფორის ზედაპირული დინებით შავი ზღვიდან მარმარილოს ზღვაში შედის ნაკლებად მარილიანი ჭარბი წყალი, რომლის სიჭარბე გამოწვეულია მდინარეთა მტკნარი წყლის შენაკადებით შავ ზღვაში და აგრეთვე ატმოსფერული ნალექების მეტობით აორთქლებასთან შედარებით. ქვედა ბოსფორის დინებით შავ ზღვაში შემოდის ხმელთაშუა ზღვის უფრო თბილი და მარილიანი წყლები.

ზღვის ფიზიკური და ქიმიური თავისებურებების შესწავლის პარარელურად, დაიწყო შავი ზღვის ბიოლოგიური გამოკვლევები. შავი ზღვის ცოცხალი სამყაროს შესწავლაში დიდი მოვლენა იყო 1871 წელს გამოჩენილი მოგზაურის, ეთნოგრაფისა და გეოგრაფის ნ. ნ. მიკლუხო მაკლაის (1846-1888) ინიციატივით მსოფლიოში პირველი ბიოლოგიური სადგურის

დაარსება ქ. ოდესაში, რომელიც გარკვეული დროის შემდეგ გადატანილ იქნა ქ. სევასტოპოლში [79, 133]. XIX საუკუნის დასასრულს სევასტოპოლის ბიოლოგიური სადგური შევიდა რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის შემადგენლობაში. ბიოლოგიური სადგურის თანამშრომელთა მიერ ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე XX საუკუნის დასაწყისში შეიქმნა ძირითადი წარმოდგენები შავი ზღვის ორგანული სამყაროს შესახებ, მათ შორის გამოირკვა სიცოცხლის არარსებობა გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანებულ შავი ზღვის ღრმა ფენებში. 1963 წელს სევასტოპოლის ბიოლოგიური სადგურისა და სხვა ანალოგიური დანესებულებების ბაზაზე დაარსდა სამხრეთ ზღვების ბიოლოგიის ინსტიტუტი, რომელიც შევიდა უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის შემადგენლობაში. აღნიშნულმა ინსტიტუტმა უდიდესი წვლილი შეიტანა არა მარტო შავი ზღვის ბიოლოგიაში, არამედ სხვა ზღვებისა (ხმელთაშუა, ნითელი ზღვები და სხვ.) და მსოფლიო ოკეანის ცალკეული რეგიონების ბიოლოგიური პროცესების გამოკვლევებში. ამ გამოკვლევებმა საფუძველი ჩაუყარა ზღვის რადიოეკოლოგიას და ზღვის მეცნიერებათა სხვა მიმართულებებს.

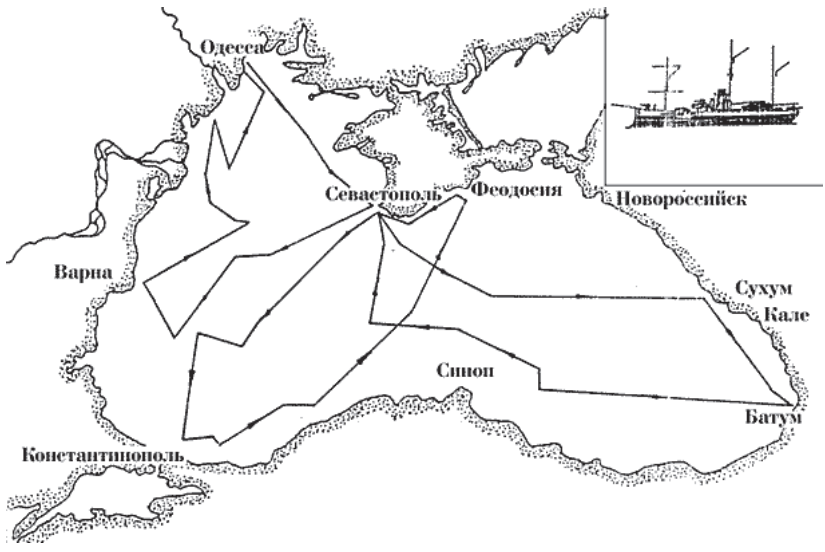
შავი ზღვის ჰიდროლოგიის კვლევაში მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯი იყო რუსეთის გეოგრაფიული საზოგადოების ინიციატივითა და ცნობილი ოკეანოგრაფისა და მეტეოროლოგის ი. ბ. შპინდლერის ხელმძღვანელობით 1890-1891 წწ-ში განხორციელებული კომპლექსური ოკეანოგრაფიული ღრმამზომი ექსპედიცია გემებით – „ჩერნომორეცი“, „დონეცი“ და „ზაპოროჟეცი“ [98, 99, 133]. ექსპედიციაში მონაწილეობას იღებდა ჰიდროგრაფი ფ. ფ. ვრანგელი, გეოლოგი ნ. ი. ანდრუსოვი, ქიმიკოსი ა. ა. ლეხედინცევი.

ნახ. 2.2-ზე ნაჩვენებია ექსპედიციის მარშრუტი შავ ზღვაზე. ექსპედიცია დაგვირგვინდა დიდი ოკეანოგრაფიული აღმოჩენებით. კერძოდ, აღმოჩენილი იქნა ცივი შუალედური ფენა 8°C-ზე ნაკლები ტემპერატურით, მოულოდნელად აღმოჩნდა ასევე, 200 მ სიღრმის ქვემოთ შავი ზღვის ღრმა ფენების გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანება და ცოცხალი ორგანიზმების არარსებობა. ბოსფორის შესასვლელთან აღმოჩენილ იქნა მაღალი მარილიანობის წყალი (34‰), რომელიც შავ ზღვაში შემოდის



ი. ბ. შპინდლერი (1848-1919)

ღრმა დინებით მარმარილოს ზღვიდან. ამით დასაბუთდა, რომ შავი ზღვის ღრმა წყლები წარმოადგენს მარმარილოს ზღვისა და ადგილობრივი წყლების ნარევეს [133]. როგორც [99]-შია აღნიშნული, ეს არ იყო გოგირდწყალბადით შავი ზღვის დაჭუჭყიანების პირველი აღმოჩენა. 1868 წელს რუსეთის საზღვაო სამინისტროს ჰიდროგრაფიული დეპარტამენტის მიერ ორგანიზებული ექსპედიციის დროს, რომლის მიზანი იყო სატელეგრაფო კაბელის ტრასის გამოკვლევა ფეოდოსია-სოხუმის უბანზე, შემჩნეული იქნა განსხვავება შავი ზღვის ზედაპირულ და ღრმა წყლებს შორის, რაც გამონეული იყო გოგირდწყალბადის არსებობით. შპინდლერის ხელმძღვანელობით განხორციელებული ექსპედიციის დიდი დამსახურებაა, რომ პირველად საფუძვლიანად და დიდი დამაჯერებლობით იქნა გამოკვლეული ღრმა ფენების გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანება მთლიანად შავი ზღვის აუზში.



ნახ. 2.2. შპინდლერის ექსპედიციის მარშრუტი (1890-1891) შავ ზღვაში [131]

1890-1891 წწ-ის ექსპედიციის დამსახურებაა აგრეთვე შავი ზღვის ტოპოგრაფიული თავისებურებების დადგენა. აღმოჩნდა, რომ შავი ზღვა წარმოადგენს ქვაბულს ბრტყელი ფსკერით და 2245 მ-მდე მაქსიმალური სიღრმით. აღმოჩნდა აგრეთვე, რომ წყლის ტემპერატურა 200 მ სიღრმიდან ფსკერამდე ერთგვაროვანია, დაახლოებით 9°C; მარილიანობა ამ სიღრმეებზე იზრდება 17‰-დან 22‰-მდე. აღსანიშნავია რომ ეს შედეგები საოცარ თანხვედრაშია თანამედროვე მონაცემებთან.

ექსპედიციის განმავლობაში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად შპინდლერი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის მთავარი მიზეზი ქარია. ამავე პერიოდს განეკუთვნება რუდოვიცევის მიერ შედგენილი შავი ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის პირველი სქემა (იხ., [94]). ექსპედიციის პერიოდში მოპოვებულ მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე შპინდლერმა გამოიტანა დასკვნა, რომ შავი ზღვა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ორი ნაწილისაგან – ზედაპირული და ღრმა ფენებისაგან შემდგარი წყალსატევი, რომელთა შორის არ ხორციელდება წყალგაცვლა და შავი ზღვის ღრმა ფენები მდგარ მდგომარეობაშია. ასეთი აზრი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში არსებობდა XX საუკუნის 30-40-იან წლებამდე. შემდგომმა გამოკვლევებმა აჩვენა ამ შეხედულების მცდარობა და აღმოჩნდა, რომ შავი ზღვა წარმოადგენს ერთ მთლიან სისტემას, სადაც ადგილი აქვს ცირკულაციას მთელ ვერტიკალურ ფენაში ზედაპირიდან ფსკერამდე. ამასთან დაკავშირებით მნიშვნელოვანია გასული საუკუნის 40-იან წლებში ცნობილი ზღვის ბიოლოგის ვ. ა. ვოდიანიცკის მიერ გამოქვეყნებული შრომა, სადაც ბიოლოგიური და ჰიდრობიოლოგიური დაკვირვებების საფუძველზე ჩამოყალიბებულია შავი ზღვის ზოგადი ცირკულაციის ვერტიკალური სტრუქტურის სქემა [133]. ავტორის ძირითადი დებულებაა ის, რომ შავი ზღვის წყლების მთელი სისქე წარმოადგენს ერთ მთლიანს, სადაც მიმდინარეობს ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მოძრაობები ზედაპირიდან ფსკერამდე, თუმცა ზედაპირულ და ღრმა ფენებს შორის წყლის გაცვლა მიმდინარეობს ნელა.

შპინდლერის ხელმძღვანელობით განხორციელებული ექსპედიციები 1890-1891 წლებში იყო შავი ზღვის ჰიდროლოგიის სისტემატიური შესწავლის დასაწყისი, რამაც არსებითად გაამდიდრა ცოდნა შავი ზღვის შესახებ და უდიდესი წვლილი შეიტანა შავი ზღვის ზოგადი ჰიდროლოგიის შესწავლაში. აღსანიშნავია, რომ წარმატებით განხორციელებული ექსპედიციებისა და შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში შეტანილი უდიდესი წვლილისათვის 1892 წელს რუსეთის გეოგრაფიულმა საზოგადოებამ შპინდლერი და ვრანგელი დააჯილდოვა მცირე ოქროს მედლებით [99, 216].

XX საუკუნის 20-იანი წლებამდე დიდმასშტაბიანი კომპლექსური ოკეანოგრაფიული კვლევები აღარ ჩატარებულა, მაგრამ ამ პერიოდში იყო ცალკეული მცირე მასშტაბის ექსპერიმენტული გამოკვლევები. მაგალითად, 1892 წელს ა. ა. ლებედინცევის მიერ ჩატარებული იქნა ოდესიდან ბათუმამდე კვეთაში ჰიდრობიოლოგიური და ჰიდროლოგიური გამოკვლევები; ლ. ანტონოვის მიერ შესწავლილი იყო დინებები ქ. ბათუმის აკვატორიასა და ქერჩის სრუტეში და სხვ [99, 171].

XX საუკუნის 20-იანი წლებიდან შავი ზღვის წყლების სტრუქტურისა და დინამიკის კვლევები განაკუთრებით ფართოდ განვითარდა. ამ პერიოდში

დის კვლევები დაკავშირებულია ნ. მ. კნიპოვიჩის, ო. მ. შოკალსკის, ნ. ი. ჩიგირინის, ვ. ა. ვოდინიკის, ვ. ვ. შულეიკინის და სხვათა სახელებთან. აღნიშნულ პერიოდში ჩატარდა მრავალი სამეცნიერო-სარეწაო, ჰიდროლოგიურ-ჰიდროგრაფიული და სხვა ექსპედიცია.



ო. მ. შოკალსკი (1856-1940)

1923 წელს დაიწყო დიდი ოკეანოგრაფიული ექსპედიცია შოკალსკის, ხოლო შემდგომ 1928 წლიდან შოკალსკის მონაფის, ვ. ა. სნეჟინსკის ხელმძღვანელობით, რომელიც 1935 წლამდე გრძელდებოდა. ექსპედიციურ სამუშაოთა პროგრამა ვრცელი იყო და იგი მოიცავდა სტანდარტულ ჰიდროლოგიურ გამოკვლევებს დიდ სიღრმეებამდე, ფსკერისა და ფსკერული ნალექების შესწავლას, ჰიდროქიმიურ გამოკვლევებს, პლანქტონისა და ბენტოსის ბიოლოგიურ გამოკვლევებს, ბაქტერიოლოგიურ სამუშაოებს.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ 1927 წელს შოკალსკი მონაშე გავდა იალტის დიდი მინისძვრისა, რომლის ეპიცენტრი იმყოფებოდა შავ ზღვაში იალტასთან ახლოს. მიუხედავად იმისა, რომ იგი არ იყო

სეისმოლოგი, მან მოგვცა მინისძვრის დეტალური აღწერა და უფრო სრული წარმოდგენა შეგვიქმნა ამ მოვლენის შესახებ [98, 234]. 1932 წლიდან ექსპედიციას სათავეში ჩაუდგა ვ. ვ. შულეიკინი, რომლის ინიციატივითაც მიღებული იქნა გადაწყვეტილება შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილშიც დაწყებულიყო კომპლექსური ოკეანოგრაფიული გამოკვლევები წლის ყველა სეზონისათვის [98].

ექსპედიციის ფუნქციონირების მთელი დროის განმავლობაში (1923-1935) განხორციელდა 53 რეისი სხვადასხვა გემებზე, მოეწყო 1600 ჰიდროლოგიური სადგური და 2000-მდე ბიოლოგიური და გეოლოგიური სადგურები. დაკვირვებათა უმრავლესობა ხორციელდებოდა ზღვის მაქსიმალურ სიღრმეებამდე (2000-2200 მ) [98, 130]. ექსპედიციამ შეადგინა შავი ზღვის ფსკერის რელიეფის პირველი რუკა. დადგინდა ზღვის ზოგადი ციკლონური ხასიათი, დადასტურდა წინა გამოკვლევებში მოპოვებული შედეგების სამართლიანობა შავი ზღვის ღრმა ფენების გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანებისა და ცოცხალი ორგანიზმების არარსებობის შესახებ. ქიმიური ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა გამოტანილიყო დასკვნა, რომ ღრმა ფენებში არსებული გოგირდწყალბადის წარმოქმნა

ხდება ზღვის წყლის სულფატების აღდგენის გზით ორგანულ ნივთიერებათა ნახშირბადით ბაქტერიათა მონაწილეობით. ბიოლოგიურმა გამოკვლევებმა აჩვენა პლანქტონის სეზონური ცვლილება და ბენტოსის სიღრმეზე განაწილების თავისებურებები.

ექსპედიციის განმავლობაში აღებული ზღვის ფსკერის გრუნტის ნიმუშები გახდა მნიშვნელოვანი საფუძველი გეოლოგებისათვის შავი ზღვის ქვაბულის აგებულებისა და განვითარების ისტორიის შესასწავლად [133, 72]. ვერტიკალური ჰიდროლოგიური სტრუქტურის კვლევამ აჩვენა, რომ ზედა ჟანგბადის შემცველი და ქვედა გოგირდწყალბადის შემცველ ფენებს შორის შერევის პროცესი მიმდინარეობს, თუმცა მცირე ინტენსივობით. ამგვარად, უარყოფილი იქნა ჰიპოთეზა ზღვის ღრმა ფენებში მდგარი ზონის არსებობის შესახებ. გამოირკვა, რომ ზღვის ღრმა აკვატორიაში გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანებული ფენა 125 მ სიღრმემდეა, ხოლო ნაპირებთან - 200 მ სიღრმემდე.

1923-1935 წწ-ში განხორციელებულ ექსპედიციებს დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის შესწავლაში და უნდა აღინიშნოს რომ ექსპედიციის ფარგლებში გათვალისწინებული სამუშაოები შევიდა მეორე საერთაშორისო პოლარული წლის (1932-1933 წწ.) სამეცნიერო პროგრამაში [98].

თითქმის ერთდროულად, 1922-1928 წწ-ში განხორციელდა შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის ისტორიაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი აზოვ-შავი ზღვის სამეცნიერო-სარენაო ექსპედიცია ნ. მ. კნიპოვიჩის ხელმძღვანელობით. ამ ექსპედიციის ძირითადი ამოცანები ბიოლოგიური ხასიათისა იყო, კერძოდ, უნდა შესწავლილიყო სარენაო თევზის სახეობათა არსებობის პირობები, მაგრამ ექსპედიციის გეგმაში შედიოდა ჰიდროლოგიური დაკვირვებებიც [205]. ექსპედიციის კვლევითი-ექსპერიმენტული სამუშაოების არეალი მოიცავდა აზოვის ზღვას, ქერჩის სრუტეს და შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის სანაპირო წყლებს.



ნ. მ. კნიპოვიჩი (1862-1939)

ექსპედიციის მიერ მოპოვებული იქნა მეტად ფართო მასალა, რომელიც მოიცავდა ფსკერის რელიეფს, ზღვის წყლის ტემპერატურას, მარილიანობას და გაზურ რეჟიმს, პლანქტონისა და ბენტოსის შემადგენლობასა და განაწილებას [98]. კნიპოვიჩს ეკუთვნის პირველი მონოგრაფია შავი ზღვის ჰიდროლოგიაში, სადაც ასახვა ჰპოვა ექსპედიციის შედეგებმა

[141]. მონოგრაფიაში მოყვანილია შავი ზღვის ზედაპირული დინებების სქემა, რომლის თანახმადაც შავი ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის მთავარი ელემენტებია ორი ციკლონური წრებრუნვა (ე. წ. „კნიპოვიჩის სათვალე“) ზღვის აკვატორიის ღია ნაწილში, რომლებიც განაპირობებენ სიმკვრივისა და მარილიანობის ველების გუმბათოვან ფორმას ციკლონური წრებრუნვის ცენტრებში. შემდგომმა გამოკვლევებმა მართლაც დაადასტურა ჰიდროფიზიკური ველების განაწილების ასეთი ხასიათი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად ნ. მ. კნიპოვიჩის უდიდესი დამსახურებისა შავი ზღვის დინამიკის შესწავლაში, მას მცდარად მიაჩნდა, რომ ზღვის ღრმა ფენებში (250 მ სიღრმის ქვემოთ) ვერტიკალური ცირკულაცია არ არსებობს. ივარაუდებოდა, რომ შავი ზღვის წყლები ორი ფენისაგან შედგება, რომლებიც, ფაქტობრივად, იზოლირებულნი არიან ერთმანეთისაგან. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, შემდგომმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის მთელი სისქე ერთ მთლიანობას წარმოადგენს და მასში უწყვეტად მიმდინარეობს წყლების შერევა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით ზედაპირიდან ფსკერამდე.

უნდა აღინიშნოს, რომ XIX საუკუნის ბოლოსა და XX საუკუნის 20-30-იან წლებში ჩატარებული ექსპედიციების მუშაობის შედეგად შავი ზღვა მსოფლიო ზღვებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ღრმად და მრავალმხრივად შესწავლილ ზღვად იქცა.

აღნიშნული პერიოდის გამოკვლევებში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია აკადემიკოს ვ. ვ. შულეიკინის მიერ 1929 წელს ქაციველში (ყირიმი) დაარსებულ შავი ზღვის ჰიდროფიზიკურ სადგურში განხორციელებულ სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს. შემდგომში, ამ სადგურის ბაზაზე შეიქ-



აკადემიკოსი ვ. ვ. შულეიკინი
(1895-1979)

მნა ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი, ხოლო თვით სადგური გახდა ამ ინსტიტუტის ექსპერიმენტული განყოფილება. ამჟამად, ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი (ქ. სევასტოპოლი) წარმოადგენს საერთაშორისო მნიშვნელობის მქონე, მაღალი დონის სამეცნიერო-კვლევით დაწესებულებას, სადაც აქტიურად მიმდინარეობს შავი ზღვის ოკეანოგრაფიული გამოკვლევები თანამედროვე თეორიული და ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით.

ვ. ვ. შულეიკინის ხელმძღვანელობით წარმოებული გამოკვლევები ჰიდროფიზიკურ სადგურზე მოიცავდა ზღვის ოკეანოგრაფიულ ამოცანათა მეტად ფართო

სპექტრს. ეს ამოცანები იყო: ზღვის დინებათა დინამიკა, მოქცევითი ტალღების დინამიკა, ზედაპირული და შინაგანი ტალღების დინამიკა, ზღვის თერმიკა, კლიმატისა და ამინდის ფიზიკური საფუძვლები, ზღვის ოპტიკა, ზღვის აკუსტიკა და სხვ [98]. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ 1938 წელს შულეიკინმა შეიმუშავა მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლეოდა ლაბორატორიულ პირობებში აეროდინამიკურ წრიულ არხში განხორციელებულიყო ქარისმიერი ტალღების გენერირებისა და განვითარების ფიზიკური მოდელირება. ვ. ვ. შულეიკინმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა შავი ზღვის სითბური ბალანსის კვლევაში, რითაც საფუძველი ჩაეყარა ზღვისა და ოკეანეების სითბური ბალანსის თანამედროვე თეორიას [98].

ჰიდროფიზიკური სადგურის დაახლოებით ათწლიანი ფუნქციონირების პერიოდში მოპოვებული სამეცნიერო შედეგებით საფუძველი ჩაეყარა ზღვის ფიზიკას. სადგურის მუშაობის პირველი ათწლეულის განმავლობაში მოპოვებული შედეგები განზოგადებულია შულეიკინის ცნობილ, ფუნდამენტურ მონოგრაფიაში „ზღვის ფიზიკა“, რომელიც მრავალჯერ გამოიცა ყოფილ საბჭოთა კავშირში [235]. აკადემიკოს ვ. ვ. შულეიკინის ხელმძღვანელობით მიღებულმა სამეცნიერო შედეგებმა დიდი აღიარება მოიპოვა, რაც დადასტურდა იმ ფაქტით, რომ 1942 წელს ოკეანოგრაფიაში შეტანილი დიდი წვლილისათვის აკადემიკოს შულეიკინს სტალინური პრემიის ლაურეატის ნოდება მიენიჭა.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში წამყვან როლს შავი ზღვის შესწავლაში თამაშობდა ქ. სევასტოპოლში მყოფი სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტები – ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი და სამხრეთ ზღვების ბიოლოგიის ინსტიტუტი, რომლებიც აღჭურვილნი იყვნენ სამეცნიერო-კვლევითი გემებით „მიხეილ ლომონოსოვი“, „აკადემიკოსი ვერნადსკი“, „პროფესორი ვოდინიკი“ და სხვ. ასევე, მნიშვნელოვან სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს ახორციელებდნენ სახელმწიფო ოკეანოგრაფიული ინსტიტუტი (ქ. მოსკოვი) და მ. ლომონოსოვის სახელობის მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, რომელთა სამეცნიერო-კვლევითი გემები ბაზირებდნენ ქ. სევასტოპოლში. ქ. გელენჯიკში ფუნქციონირებდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის შირშოვის სახ. ოკეანოლოგიის ინსტიტუტის სამხრეთ განყოფილება, რომლებიც ახორციელებდნენ ექსპედიციებს სამეცნიერო-კვლევით გემებზე „აკადემიკოსი შირშოვი“ და აკადემიკოსი „ს. ვავილოვი“ შავი ზღვის შელფისა და ქვაბულის გეოლოგიური აღწავლის შესასწავლად [133]. ამ გამოკვლევების შედეგად შედგენილი იქნა შავი ზღვის უფრო ზუსტი ბათიმეტრიული, გეოფიზიკური და გეომორფოლოგიური რუკები.

XX საუკუნის 60-იანი წლებისათვის დაგროვილი ცოდნა შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში ასახულია ა. კ. ლეონოვის „რეგიონულ ოკეანოგრაფი-

აში“ [171] და დ. მ. ფილიპოვის მონოგრაფიაში „შავი ზღვის წყლების ცირკულაცია და სტრუქტურა“ [229].

გასული საუკუნის 50-60-იანი წლებიდან შავი ზღვის შესწავლამ უფრო ღრმა და ყოველმხრივი ხასიათი მიიღო. 1957-1959 წწ-ში საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის პროგრამის ფარგლებში ყოფილ საბჭოთა კავშირში განხორციელდა ოკეანოგრაფიული ექსპედიციები, სადაც პირველად ჩატარდა დაკვირვებები პოლიგონებზე. ამან შესაძლებელი გახადა შავი ზღვის თერმობალინური სტრუქტურისა და დინებების მეზომასშტაბური ცვალებადობის შესწავლა [133].

1976-1978 წწ.-ში ყოფილ სსრკ-ში განხორციელდა შავი ზღვის კომპლექსური გამოკვლევების ერთობლივი პროგრამა (СКОИЧ). აღნიშნული პროგრამის ფარგლებში შეგროვილი მდიდარი სამეცნიერო მასალის დამუშავების, ანალიზისა და თეორიული განზოგადების შედეგები გამოქვეყნებულია მთელ რიგ პუბლიკაციებში. მათ შორის პირველ რიგში უნდა მოვიხსენიოთ ა. ს. ბლატოვის, ნ. პ. ბულგაკოვისა და სხვ. ავტორთა მონოგრაფია [80], სადაც განხილულია შავი ზღვის ჰიდროფიზიკური პროცესების ფართო სპექტრი. აქ პირველადაა გაანალიზებული ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების – ტემპერატურის, მარილიანობის, სიმკვრივისა და დინებათა ველის საშუალო მრავალწლიური სეზონური ცვლილების თავისებურებანი.

მნიშვნელოვანია ბულგარელ მეცნიერთა მიერ შეტანილი წვლილი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის კვლევაში, რაც მიმდინარეობს ძირითადად ქ. ვარნაში თევზის რესურსების ინსტიტუტსა და ბულგარეთის მეცნიერებათა აკადემიის ოკეანოლოგიის ინსტიტუტში. გამოკვლევები ძირითადად ფოკუსირებულია ზღვის დასავლეთ ნაწილისა და ბოსფორის რაიონის ოკეანოგრაფიაზე. მოპოვებული შედეგები ასახულია ბულგარელ მეცნიერთა კოლექტიურ ნაშრომში [231].

რუმინეთში შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში კვლევებს ძირითადად ახორციელებს გრიგოლ ანტიპას ზღვის კვლევების ინსტიტუტი ქ. კონსტანტაში. ძირითადი ყურადღება ექცევა შელფურ ზონას და მდ დუნაის დელტას აკვატორიას.

შავი ზღვის ანატოლიის სანაპიროს ჰიდროლოგიასა და ზღვის ეკოსისტემის კვლევაში დიდი როლი ეკუთვნის თურქეთის ისეთ სამეცნიერო და სასწავლო ცენტრებს, როგორებიცაა ზღვის მეცნიერებათა და ტექნოლოგიების ცენტრი (ქ. იზმირი), შუა აღმოსავლეთის ტექნიკური უნივერსიტეტი (ქ. ანკარა) და სხვ.

დიდია ამერიკელ მეცნიერთა დაინტერესება შავი ზღვით. გასული საუკუნის 60-იანი წლების ბოლოს და 70-80-იან წლებში მათ მიერ განხორციელდა მთელი რიგი ოკეანოგრაფიული ექსპერიმენტები შავ ზღვაზე,

რომლებიც ძირითადად შავი ზღვის გეოლოგიურ პრობლემებს უკავშირდებოდა [133].

ცხადია, რომ მხოლოდ დაკვირვებათა გზით შეუძლებელია მივიღოთ დინებათა რაოდენობრივი მახასიათებლები მთელი შავი ზღვის აუზისათვის ზედაპირიდან ფსკერამდე. ამ შემთხვევაში აუცილებელია მივმართოთ თეორიული ანალიზის მეთოდებს. გასული საუკუნის 40-50-იანი წლებიდან დაიწყო ფიზიკა-მათემატიკური მეთოდების გამოყენება შავი ზღვის დინამიკის შესწავლაში, ხოლო გამოთვლითი ტექნიკის სწრაფმა განვითარებამ 60-70-იანი წლებიდან მნიშვნელოვანი ბიძგი მისცა შავი ზღვის ფიზიკური პროცესების რიცხვით მოდელირებას. ამ საკითხისადმი მიძღვნილია მრავალრიცხოვანი შრომები (მაგ., [91, 96, 101, 110, 123, 145, 146, 185-189, 193, 214, 225, 227]). პირველ ეტაპზე, ფართო გამოყენება პოვეს დინებათა გათვლის დინამიკურმა მეთოდებმა, რომლებიც იყენებენ დაკვირვებათა მონაცემებს ჰიდროფიზიკური ველების შესახებ. ამ მეთოდის გამოყენება მოითხოვს ნულოვანი ათვლის ზედაპირის მოცემას გარკვეულ სიღრმეზე, რაც აშკარად ამცირებს შედეგების საიმედოობას და ზღუდავს მეთოდის შესაძლებლობებს. დინამიკური მეთოდით შავი ზღვის დინებათა პირველი რუკა მიღებული იყო ა. დ. დობროვოლსკის მიერ შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილისათვის [113]. ამ მიზნით გამოიყენებოდა ოკეანოგრაფიული ექსპედიციის შედეგები, ხოლო ათვლის ზედაპირი 200 მ სიღრმეზე მოიცემოდა. გამოთვლის შედეგებმა დაადასტურა ციკლონური მოძრაობის არსებობა ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის ზედაპირულ ფენაში.

ნეიმანმა 1942 წელს, გამოიყენა რა დინამიკური მეთოდი და 20-30-იანი წლების ექსპედიციის მონაცემები, მიიღო შავი ზღვის ცირკულაციის შემდეგი სურათი [220]: ნყლების ციკლონური მოძრაობა ზედა ფენაში იცვლებოდა ანტიციკლონური მოძრაობით სიღრმის მიხედვით, მაქსიმალურ სიჩქარეს აღწევდა 1000 მ სიღრმეზე, ხოლო უფრო ქვემოთ სუსტდებოდა და ფსკერთან მიახლოებისას სიჩქარე ნული ხდებოდა. დ. მ. ფილიპოვმა თავის მონოგრაფიაში [229] გააკრიტიკა ნეიმანის მიერ მიღებული შავი ზღვის ცირკულაციის ასეთი სურათი, რადგან ეჭვს იწვევს ნეიმანის მეთოდში გამოყენებული ნულოვანი ზედაპირის განსაზღვრის საიმედოობა და ღრმა ფენებში სიმკვრივის ველის განაწილების სურათი, რადგანაც გამოიყენებოდა სხვადასხვა წლების დაკვირვებათა ცალკეული მონაცემები. უნდა აღვნიშნოთ, რომ შემდგომმა გამოკვლევებმა მართლაც დაადასტურა ნეიმანის დასკვნების მცდარობა. დინამიკური მეთოდი შავი ზღვის დინებათა სისტემის განსასაზღვრავად გამოიყენებოდა სხვა ავტორების მიერაც [82, 94].

შავი ზღვის კვლევის საქმეში დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა კომპლექსური სინქრონული გადაღებების დაწყებას, რომლებმაც შესაძლებელი გახა-

და უაღრესად მოკლე დროის პერიოდში (არაუმეტეს 5 დღე-ღამისა) შესრულებულიყო ჰიდროლოგიური დაკვირვებები ზღვის მთელ აქვატორიაზე [94]. ასევე, მეტად მნიშვნელოვანია დ. მ. ფილიპოვის მონოგრაფია [229], რომელშიც მრავალრიცხოვანი დაკვირვების მონაცემთა საფუძველზე (1922-1957) და დინამიკური მეთოდის გამოყენებით განსაზღვრული იყო შავი ზღვის ნყლების ცირკულაციის ძირითადი თავისებურებანი. მთელი ზღვის აკვატორიისათვის აგებული იყო შავი ზღვის ზედაპირისა და 100 მ ჰორიზონტის საშუალო წლიური რუკები და სეზონური რუკები იგივე ზედაპირებისათვის კავკასიის სანაპიროს მიმდებარე აკვატორიისათვის. ათვლის ზედაპირი აღებული იყო 300 მ ჰორიზონტზე. უნდა აღინიშნოს, რომ მონოგრაფიაში მიღებულმა საშუალო წლიური ცირკულაციის რუკამ დაადასტურა ზედაპირულ დინებათა სქემა, რომელიც აგებული იყო კნიპოვიჩის მიერ. საინტერესოა აგრეთვე დასკვნა იმის შესახებ, რომ სიმკვრივის ჰორიზონტალური გრადიენტები მცირდება სიღრმის მიხედვით, ხოლო 1000 მ სიღრმეზე და ქვემოთ სიმკვრივე ჰორიზონტალურად ერთგვაროვანია. ზედაპირული ცირკულაციის სურათის ერთ-ერთ თავისებურებად აღინიშნება მერიდიანული დინების არსებობა ყირიმისა და ანატოლიის სანაპიროებს შორის. ჩვენთვის მეტად საინტერესოა დასკვნა იმის შესახებ, რომ შავი ზღვის ძირითადი დინება ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში მიემართება ნაპირიდან შორს, რაც გამომწვეულია ამ რაიონში ლოკალური ანტიციკლონური გრიგალის ფორმირებით. როგორც უკვე იყო აღნიშნული, ფილიპოვის მიერ დამაჯერებლად იქნა უკუგდებული ჰიპოთეზა ანტიციკლონური მოძრაობის შესახებ შავი ზღვის ღრმა ფენებში.

2.2. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია თანამედროვე ეტაპზე

შავი ზღვის შესწავლის თანამედროვე ეტაპი, რომლის დასაწყისად გასული საუკუნის 70-80-იანი წლები შეიძლება მივიჩნიოთ, გამოირჩევა ექსპერიმენტულ მეთოდებთან ერთად თეორიული მეთოდების ფართო გამოყენებით. შავი ზღვის ფიზიკური პროცესების რიცხვითი მოდელირება, რომელიც დაფუძნებული იყო ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრულ სისტემაზე, ძირითადად დაიწყო 70-იან წლებში ყოფილ სსრკ-ში, კერძოდ, საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ციმბირის განყოფილების გამოთვლით ცენტრში (ქ. ნოვოსიბირსკი).

მათემატიკური მოდელირების მეთოდი გულისხმობს შესასწავლი ობიექტის ან პროცესის აღწერას დიფერენციალურ განტოლებათა საშუალებით, რომელთა ამოხსნა შესაბამისი სასაზღვრო და საწყისი პირობების გამოყენებით შესაძლებლობას იძლევა მოვახდინოთ ბუნებაში მიმდინარე პროცესებისა და მოვლენების იმიტირება (გამოთვლითი ექსპერიმენტი

პერსონალურ კომპიუტერზე), შევაფასოთ სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა შესასწავლი მოვლენის განვითარებაზე, და ბოლოს, განვახორციელოთ მისი პროგნოზირებაც.

შავ ზღვაში ფიზიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირებისადმი მიძღვნილია მთელი რიგი გამოკვლევები, რომელთა მიმოხილვა და ანალიზი მოცემულია [148, 220] მონოგრაფიებში. [148, 220] ასახავს აღნიშნული პრობლემის მდგომარეობას გასული საუკუნის 80-იანი წლები-სათვის. ამ გამოკვლევებში მკაფიოდ გამოირჩევა ორი სახის მოდელები: დიაგნოსტიკური და პროგნოსტიკული. მათ შორის შედარებით მარტივია დიაგნოსტიკური მოდელები, რომლებშიც სიმკვრივის ველი განისაზღვრება დაკვირვების მონაცემთა საფუძველზე. ეს განტოლებათა სისტემის გამარტივების საშუალებას იძლევა, რადგანაც გამოირიცხება სითბოსა და მარილიანობის გადატანის განტოლებათა განხილვის საჭიროება. მოდელში შემავალი მონაცემების სახით გამოიყენებოდა საშუალო მრავალწრიული სეზონური სიმკვრივის ველები ზღვაში და ატმოსფერული წნევა ზღვის ზემოთ. დინამიკური მეთოდისაგან განსხვავებით, დიაგნოსტიკური მოდელის განტოლებათა სისტემა არ მოითხოვს ათვლის ზედაპირის მოცემას. რელიეფისა და ქარის ფაქტორის გათვალისწინებით მოდელი ფიზიკურად უფრო სრულყოფილი და რეალურ პირობებთან უფრო მიახლოებული ხდება. პირველი გათვლები დიაგნოსტიკური მოდელის გამოყენებით ჩატარებული იყო შავი ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილისათვის სტაციონარული ბაროტროპული მოდელის საფუძველზე [225]. დიაგნოსტიკური მოდელის გამოყენებით შესრულებული გამოთვლები შავი ზღვის მთელი აუზისათვის წარმოდგენილია აგრეთვე [74, 91, 92, 110] შრომებში. ა. ს. სარქისიანის მონოგრაფიაში [213] მოცემულია ასეთი სახის მოდელების მიმოხილვა და ანალიზი. დიაგნოსტიკური მეთოდით ჩატარებულმა გამოთვლებმა აჩვენა, რომ ზღვის დინებები არ შემოისაზღვრება მხოლოდ ზედა 300 მეტრიანი ფენით და შავი ზღვა მოძრაობაშია ზედაპირიდან ფსკერამდე. ვერტიკალური სიჩქარის გამოთვლებმა უწყვეტობის განტოლების საფუძველზე აჩვენა წყლის მასების ამოსვლა ზემოთ ზღვის ცენტრალურ რაიონებში და ქვემოთ დაშვება ზღვის პერიფერიულ ნაწილში 10^{-4} სმ/წმ რიგის სიჩქარით [74].

მიუხედავად იმისა, რომ დიაგნოსტიკურმა მოდელებმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს შავი ზღვის კანონზომიერებათა შესწავლაში, მათი სამეცნიერო და პრაქტიკული ღირებულება გარკვეულწილად შეზღუდულია. დიაგნოსტიკური მოდელების ძირითადი ნაკლია მათში შემავალი მონაცემების, ქარის ტანგენციალური დაძაბულობისა და ზღვის ფსკერის რელიეფის დაუბალანსებლობა სიმკვრივის ველთან. ამ მხრივ გაცილებით პერსპექტიულია პროგნოსტიკული მოდელები, რომლებშიც სიმკვრივის

ველი მოიცემა არა დაკვირვების მონაცემებით, არამედ გამოითვლება მოდელის განტოლებათა ინტეგრირების პროცესში.

პროგნოსტიკული მოდელები იყოფიან ერთკომპონენტური და ორკომპონენტური მოდელებად. ერთკომპონენტური მოდელები შემოთავაზებული იყო [96, 109, 122, 149] შრომებში. [109]-ში სითბოსა და მარილიანობის გადატანის განტოლებათა ნაცვლად გამოიყენებოდა განტოლება სიმკვრივისათვის, ხოლო [96, 122, 149]-ში სიმკვრივე განისაზღვრებოდა მხოლოდ ტემპერატურის ველით. შავი ზღვის პირობებში ასეთი დაშვება საკმაოდ უხეშია, რადგან, როგორც ცნობილია, სიმკვრივის ველი შავ ზღვაში ძირითადად მარილიანობის განაწილების გავლენით ფორმირდება. ერთკომპონენტური პროგნოსტიკული მოდელები წარმოადგენს პირველ მიხლოებას ჰიდროფიზიკური ველების კვლევაში.

სრულყოფილების თვალსაზრისით გაცილებით მნიშვნელოვანია ორკომპონენტური პროგნოსტიკული მოდელები, რომლებსაც საფუძვლად უდევს ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა. ამ შემთხვევაში სიმკვრივის ველი განისაზღვრება ტემპერატურისა და მარილიანობის ველებით. პირველი შრომები ამ მიმართულებით შესრულებული იყო ყოფილ საბჭოთა კავშირში, სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ციმბირის განყოფილების გამოთვლით ცენტრში (ქ. ნოვოსიბირსკი, აკადემიქალაქი) გ. მარჩუკის, ა. კორძაძის, ა. სკიბას [188], ა. კორძაძისა და ი. ნ. სკიბას [156], გ. მარჩუკის, ა. კორძაძის, ვ. ზალესნის [187], გ. მარჩუკისა და ა. კორძაძის [186], ა. კორძაძის [148] მიერ. აღნიშნულ შრომებში შემოთავაზებული მოდელის განტოლებათა სისტემა ფორმულირებულია თერმოდინამიკური სიდიდეების გადახრებისათვის სტანდარტული ვერტიკალური განაწილებიდან, ხოლო განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად გამოყენებულია აკად. გ. ი. მარჩუკის მიერ ოკეანის და ატმოსფეროს დინამიკისა და ეკოლოგიურ ამოცანათა ამოსახსნელად შემოთავაზებული გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდი როგორც ფიზიკური პროცესების, ასევე საკოორდინატო ვერტიკალური სიბრტყეებისა და წრფეების მიხედვით. ეს იყო ოკეანის დინამიკის განტოლებათა სრულ სისტემაზე დაფუძნებული შავი ზღვის დინამიკის პირველი პროგნოსტიკული მოდელი, რომლის შედეგებმაც კვლავ დაადასტურა შავი ზღვის ცირკულაციის ზოგადი ციკლონური ხასიათი და აჩვენა რელიეფის მნიშვნელოვანი როლი ცირკულაციის ჩამოყალიბებაში, განსაკუთრებით შავი ზღვის ჩრდილო და დასავლეთ ნაწილებში. მარილიანობის მაქსიმალური კონცენტრაცია მიიღებოდა ზღვის ცენტრალურ ნაწილში, ხოლო პერიფერიებში შედარებით მცირე, რაც მოწმობს მარილიანი ღრმა წყლების ამოსვლას ციკლონური ბრუნვის ცენტრალურ არეებში. გამოირკვა, რომ დინების ციკლონური ხასიათი ზღვის ღრმა ფენებშიც შენარჩუნებულია. ნაჩვენები იქნა აგრეთვე,

რომ შავ ზღვაში სიმკვრივისა და მარილიანობის ველები კარგ კორელაცი-
აშია ერთმანეთთან, ხოლო დინების ველი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს
აღნიშნული ველების თავისებურებებს.

მათემატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება ბუნების ამა თუ
იმ პროცესის შესწავლისა და პროგნოზის მიზნით, კერძოდ, ზღვის დინა-
მიკის ამოცანათა გადასაჭრელად, მოითხოვს მოდელის მათემატიკურ და-
საბუთებას, რაც პირველ რიგში გულისხმობს ამოცანის არსებობისა და
ერთადერთობის საკითხის განხილვას. ზღვის დინამიკის არასტაციონარ-
ულ და სტაციონარულ ამოცანათა ამონახსნის (როგორც წრფივი, ასევე
არაწრფივი დასმით) არსებობისა და ერთადერთობის თეორემების დამ-
ტკიცებისადმი მიძღვნილია მ. ა. ბუბნოვის [86], მ. ა. ბუბნოვისა და ა. ბ. კა-
ჟიხოვის [87] და ა. ა. კორძაძის [147] შრომები.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ
გახლეჩის მეთოდების გამოყენება მა-
თემატიკური ფიზიკის არასტაციონარ-
ული ამოცანების ამოხსნის მეტად
ეფექტური საშუალებაა. აკადემიკოს გ.
ი. მარჩუკისა და მისი მოწაფეების შრო-
მებში ამ მეთოდმა უდიდესი გამოყენე-
ბა ჰპოვა, რამაც შესაძლებელი გახადა
შემუშავებული და რეალიზებული ყო-
ფილიყო ოკეანის, ზღვისა და ატმოს-
ფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის რთუ-
ლი არასტაციონარული მოდელები
[184, 215]. გახლეჩის მეთოდი საშუალე-
ბას იძლევა თითოეულ ფიქსირებულ
დროით ინტერვალზე რთული არასტა-
ციონარული სამგანზომილებიანი ამო-
ცანის ამოხსნა დაყვანილ იქნას შედარებით მარტივ ორ და ერთგანზომი-
ლებიან ამოცანათა სიმრავლის ამოხსნებამდე [181-183]. ამასთანავე გახ-
ლეჩის შედეგად ცალკეულ ეტაპზე მიღებული ამოცანები შეიძლება გან-
ხილულ იქნას, როგორც დამოუკიდებელი მოდელები.



აკადემიკოსი გ. ი. მარჩუკი
(1925-2013)

გასული საუკუნის 70-იანი წლების გამოთვლითი ტექნიკის დონე არ
იდლეოდა არასტაციონარული სივრცითი ამოცანების რეალიზაციას სა-
სურველი გარჩევისუნარიანობით. ამიტომ, შავი ზღვის დინამიკის პროგ-
ნოსტიკული ბაროკლინური მოდელი რეალიზებული იყო შავი ზღვის აუ-
ზისათვის საკმაოდ უხემ ბადეზე 37 კმ ჰორიზონტალური ბიჯით, ხოლო
ვერტიკალზე ზედაპირიდან ფსკერამდე აღებული იყო 13 სათვლელი დო-
ნე არათანაბარი ვერტიკალური ბიჯებით [148].

შემდგომში, XX საუკუნის 80-ანი წლებიდან, საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდიუმის გამოთვლითი მათემატიკის განყოფილებაში (ამჟამად, რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის გამოთვლითი მათემატიკის ინსტიტუტი, ქ. მოსკოვი), ხოლო 90-ანი წლებიდან კი მ. ნოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში განხორციელდა ამ მოდელის სრულყოფა ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გათვალისწინების გზით და ერთდროულად მოდელის სივრცითი გარჩევისუნარიანობის გაზრდით როგორც ჰორიზონტალური (5 კმ ჰორიზონტალური ბიჯით), ასევე ვერტიკალური მიმართულებით (32 სათვლელი დონე). მოდელის თანამედროვე ვერსია [36, 153-155] ითვალისწინებს შემდეგ ძირითად ფაქტორებს:

- ფსკერის კვაზირეალური რელიეფი და ზღვის აუზის კონფიგურაცია,
- ატმოსფერული ქარისა და თერმობალინური ზემოქმედება,
- მზის მოკლელტალღოვანი რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენის მიერ,
- წყლის გაცვლა მარმარილოს ზღვასთან ბოსფორის დინებათა მეშვეობით,
- მდ. დუნაის ჩამონადენი,
- ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების ცვლილება დროსა და სივრცეში.

[36, 153-155]-ში მოდელის საფუძველზე ჩატარებულმა გამოთვლითმა ექსპერიმენტებმა შავი ზღვის აუზისათვის დამახასიათებელი კლიმატური ქარის ტიპების მონაცვლეობის პირობებში [45, 73] აჩვენა, რომ ზედაპირული ცირკულაცია მუდმივ ტრანსფორმაციას განიცდის მთელი წლის განმავლობაში. შავი ზღვის ზემოთ მოქმედი ძლიერი ატმოსფერული ქარები გამაგლუვებელ გავლენას ახდენენ ზღვის ზედაპირულ დინებაზე და გრიგალწარმოქმნის პროცესი ნაკლებად ინტენსიურია. ასეთ შემთხვევებში ზღვის დინების სიჩქარემ შეიძლება გადააჭარბოს 100 სმ/წმ.

შავი ზღვის დინამიკის ორკომპონენტიანი პროგნოსტიკული მოდელი შემოთავაზებული იყო [219] ნაშრომშიც. მოდელის რეალიზაციისას გამოყენებული იყო ბრაიენის რიცხვითი სქემა [18] და მიღებული იყო ჰიდროფიზიკური მახასიათებლების საშუალო წლიური და სეზონური ველები. მოდელური ველების შედარებამ დაკვირვების მონაცემებთან აჩვენა, რომ მოდელი დამაკმაყოფილებლად ასახავს ჰიდროფიზიკური ველების თავისებურებებს. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ გათვლილი დინების საშუალოწლიურ სურათზე კარგად ჩანს ზღვის წყლების ძირითადი ციკლონური ბრუნვა, მაგრამ შიდა ციკლონური წრებრუნვები პრაქტიკულად არ დაიკვირვება.

შავი ზღვის დინამიკის ბაროკლინური პროგნოსტიკული მოდელი განხილულია აგრეთვე ა. გირგვლიანის შრომებში [24-26]. ისევე როგორც [36, 153-155]-ში, მოდელის განტოლებათა სისტემის ამოხსნა განხორციელებულია გახლენის ორციკლიანი მეთოდის გამოყენებით. მოდელის საფუძველზე ჩატარებული მრავალრიცხოვანი რიცხვითი ექსპერიმენტები მოწმობენ, რომ მოდელი რეალურად ასახავს შავი ზღვის მსხვილმასშტაბიანი ცირკულაციის ზოგად თავისებურებებს.

შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის შესწავლაში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა 1984 წელს გამოქვეყნებულმა მონოგრაფიამ [80], სადაც განხილულია ჰიდროფიზიკური პროცესების ფართო სპექტრი. გაანალიზებულია 25000 სტანდარტული ოკეანოგრაფიული დაკვირვების მონაცემები, რომლებიც შეიცავენ 1974-1977 წწ-ში შავი ზღვის ერთობლივი კომპლექსური ოკეანოგრაფიული კვლევების პროგრამის (СКОИЧ) ფარგლებში მოპოვებულ მასალებსაც. მონოგრაფიაში პირველადაა მოცემული ერთიანი წარმოდგენა ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების: ტემპერატურის, მარილიანობის, სიმკვრივისა და დინების საშუალო მრავალწლიური სეზონური ცვალებადობის შესახებ. შავი ზღვის გეოსტროფიული ცირკულაციის გათვლისათვის ავტორების მიერ გამოიყენება დინამიკური მეთოდი, სადაც ნულოვანი დინამიკური ზედაპირი მოთავსებული იყო 300 მ ჰორიზონტზე. საშუალო წლიური მონაცემებით ჩატარებულმა გამოთვლებმა დამაჯერებლად აჩვენა ციკლონური ცირკულაციის არსებობა ზედა 300 მეტრიან ფენაში მთელი წლის განმავლობაში. იგი შედგება ორი ციკლონური ნრებრუნვისაგან ზღვის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებში. ნაჩვენებია იყო, რომ გაზაფხულზე შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ხდებოდა 75-100 კმ დიამეტრის ანტიციკლონური გრიგალის ფორმირება, ხოლო შავი ზღვის ძირითადი დინება გადიოდა ნაპირებიდან მოშორებით.

გასული საუკუნის 70-80-იან წლებში შავი ზღვის დინამიკის მოდელებში გამოყენებული ბადის ჰორიზონტალური ბიჯი შეადგენს რამდენიმე ათეულ კილომეტრს, რაც არ იძლევა მცირე მასშტაბის გრიგალების აღწერის შესაძლებლობას. თანამედროვე დაკვირვების მონაცემები დამაჯერებლად აჩვენებენ შავი ზღვის სანაპირო წყლებში მეზო და სუბმეზომასშტაბური გრიგალებისა და დინებების არსებობას [23, 125, 207], რომელთა იდენტიფიკაცია მოითხოვს ზღვის დინამიკის მოდელების მაღალ გარჩევისუნარიანობას. გამოთვლითი ტექნიკის განვითარებამ შესაძლებელი გახადა 90-ანი წლებიდან შავი ზღვის დინამიკის მოდელების რეალიზაცია მომხდარიყო გაცილებით მაღალი გარჩევისუნარიანობის ბადეთა გამოყენებით. განსაკუთრებით ინტენსიურად ვითარდება შავი ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელირება უკანასკნელ 20 წელიწადში და ამ სა-

კითხთან დაკავშირებული პუბლიკაციათა რაოდენობა იზრდება (მაგ., [19-21, 31-33, 56, 65-67, 102-105, 121]). ამ პუბლიკაციებიდან შევსებით ზოგიერთ მათგანს.

ს. გ. დიომიშევისა და გ. კ. კოროტაევის შრომაში [105] მოდელირებულია შავი ზღვის სინოპტიკური ცვალებადობის სეზონური სვლა პროგნოსტიკული ბაროკლინური მოდელის საფუძველზე, სადაც გამოყენებული სათვლელი ბადის ჰორიზონტალური ბიჯი შეადგენდა 18 კმ-ს, ხოლო ვერტიკალზე განიხილებოდა 21 დონე არათანაბარი ბიჯებით. ნაჩვენები იქნა, რომ ზოგადი ცირკულაცია განიცდის მნიშვნელოვან სეზონურ ცვლილებებს, მიღებულ იქნა ანტიციკლონური გრიგალები ზღვის აუზის ცალკეულ რაიონებში, რომელთა მდებარეობა კარგად ემთხვევა ინსტრუმენტული გაზომვის შედეგებს.

თ. ოგუზის, პ. მალანოტე-რიზოლისა და დ. აუბრეის შრომაში [56] განხორციელებულია შავი ზღვის ქარისმიერი და თერმობალინური ცირკულაციის მოდელირება საშუალო წლიური კლიმატური მონაცემების გათვალისწინებით პრინსტონის უნივერსიტეტის (აშშ) ოკეანის მოდელის (POM) საფუძველზე. აღნიშნულ მოდელში, რომელიც აღწერილია ა. ფ. ბლუმბერგისა და ჰ. ი. ჰერინგის [15] და ა. ფ. ბლუმბერგისა და გ. ლ. მელორის [16] შრომებში, ზღვის ზედა საზღვარი მოდელირებულია თავისუფალი ზედაპირის სახით და განიხილება ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სისტემა უკუმშვადი სითხისათვის ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში. მოდელში გამოყენებულია რელიეფთან დაკავშირებული σ კოორდინატთა სისტემა და ნაპირის კონტურებთან დაკავშირებული მრუდწირული ორთოგონალური სისტემა. მოდელში გამოყენებული ბადის ჰორიზონტალური ბიჯი ზღვის სამხრეთ ნაპირებთან, სადაც ფსკერის ტოპოგრაფია შედარებით მკვეთრი ცვლილებებით ხასიათდება, შეადგენს 5 კმ-ს, ხოლო აუზის შიდა ნაწილში, სადაც ზღვის ტოპოგრაფია თითქმის ბრტყელია, ჰორიზონტალური ბიჯი აიღება 15 კმ. მოდელის საფუძველზე ჩატარდა საინტერესო გამოკვლევები შავი ზღვის დინამიკაში ცალკეული ფაქტორების (ბოსფორის ქვედა და ზედა დინებები, მდ. დუნაის ჩამონადენი, ატმოსფეროს ქარისმიერი და თერმოჰალინური ზემოქმედება) წვლილის შეფასების მიზნით. მიუხედავად ამისა, უნდა აღინიშნოს მოდელის ზოგიერთი ნაკლოვანებანი. როგორც თვით ავტორები მიუთითებენ, აუზის დასავლეთ ნაწილის ზედა ფენებში ყველა ფაქტორის გათვალისწინებით ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგად მიღებულია არარეალური ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც ინსტრუმენტული გაზომვების შედეგად არ დაიკვირვება. გარდა ამისა, სტატიაში მოყვანილი გამოთვლილი დინების სურათებიდან 100 მ და 300 მ სიღრმეებზე პრაქტიკულად არაა გამოკვეთილი შიდა ციკლონური გრიგალები აუზის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნახევრებში.

კ. ა. კოროტენკოს, დ. ე. დიტრიხისა და მ. ჯ. ბოუმანის ნაშრომში [159], სადაც განიხილება შავი ზღვის ცირკულაციისა და ნავთობის ლაქის გადატანის მოდელირება, ჰიდროდინამიკურ ბლოკს საფუძვლად უდევს შავი ზღვისათვის ადაპტირებული DieCAST მოდელი, რომლის დეტალური აღწერა მოცემულია [22]-ში. [159]-ში ჰორიზონტალური ბიჯი იცვლებოდა განედის მიხედვით 7 კმ-დან 6.4 კმ-მდე. როგორც სტატიის ავტორები აღნიშნავენ, მოდელში გამოყენებულმა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტების ძალიან დაბალმა მნიშვნელობებმა და მე-4 რიგის აპროქსიმაციამ სივრცითი ცვლადების მიმართ უზრუნველყო მოდელის მიერ სანაპირო ანტიციკლონური გრივალების შედარებით ზუსტი აღწერა.

DieCAST მოდელი შავი ზღვის დინამიკის მოდელირების მიზნით რეალიზებული იყო აგრეთვე ი. ვ. სტანევას, დ. ე. დიტრიხის, ე. სტანევისა და მ. ჯ. ბოუმანის მიერ [68] 9.4 კმ ჰორიზონტალური ბიჯით. რიცხვითი ექსპერიმენტების შედეგებმა აჩვენა, რომ მოდელი კარგად აღწერს შავი ზღვის ცირკულაციის ძირითად თავისებურებებს. მაღალი გარჩევისუნარიანი შავი ზღვის დინამიკის მოდელები და მათი რეალიზაციის შედეგები განხილულია აგრეთვე [66, 67] შრომებში. სტანევის სტატიაში [65] მოცემულია მიმდინარე საუკუნის დასაწყისისთვის არსებული შავი ზღვის დინამიკის მოდელების მოკლე მიმოხილვა.

[32]-ში გამოკვლეულია შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის მგრძობიარობა წყლის სიმღვრივის მიმართ ამერიკელ მეცნიერთა მიერ შემუშავებული მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე (სივრცითი ბიჯით -2,3 კმ) შავი ზღვის დინამიკის მოდელის - HYCOM საფუძველზე.

აღსანიშნავია რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის გამოთვლითი მათემატიკის ინსტიტუტში შემუშავებული შავი და აზოვის ზღვების ჰიდროდინამიკის რიცხვითი მოდელი, რომელიც დაფუძნებულია პრიმიტიულ განტოლებათა სისტემაზე კოორდინატთა სისტემაში [121]. ამ კოორდინატებში გადასვლის შემდეგ ამოხსნის არე ზედა თავისუფალი ზედაპირით გადადის ერთეულოვანი სიმაღლის მქონე ცილინდრში, ხოლო ევოლუციური კინემატიკური პირობა ზედა თავისუფალ ზედაპირზე ქრება. მოდელს გააჩნია 4x4 კმ გარჩევისუნარიანობა ჰორიზონტებზე და 40 დონე ვერტიკალზე. მოდელში გამოყენებულია ტემპერატურისა და მარილიანობის ველების 4-განზომილებიანი ვარიაციული ინიციალიზაცია. ინიციალიზაციის ალგორითმი დაფუძნებულია გახლეჩის მეთოდებისა და შეუღლებულ განტოლებათა კომბინაციაზე. ჩატარებულმა პროგნოსტიკულმა გამოთვლებმა 2008 წლის რეალური ატმოსფერული ზემოქმედების გათვალისწინებით აჩვენა შავი ზღვის ძირითადი ჰიდროფიზიკური მახასიათებლების აღწერის ადექვატურობა. მნიშვნელოვანია, რომ როგორც ავ-

ტორები აღნიშნავენ, თერმოჰალინური ველების ვარიაციული ინციალიზაციის ჩართვა აუმჯობესებს მარილიანობისა და თერმული რეჟიმის ვერტიკალური სტრუქტურის აღწერას.

სრულყოფილი და მაღალი გარჩევისუნარიანობის ზღვის დინამიკის მოდელების შემუშავებამ და დაკვირვებათა სისტემების მაღალ დონეზე აყვანამ (ჰიდროფიზიკური ველების დიდმასშტაბიანი კვაზისინქრონული გადაღებები, ზღვის ზედაპირის დისტანციური ზონდირება და სხვ.) გაცილებით სრულყოფილი გახადა ჩვენი ცოდნა შავი ზღვის დინამიკური პროცესების შესახებ და საფუძველი ჩაუყარა ამ პროცესების საიმედო პროგნოზული მეთოდების შემუშავებას.

2.3. ოპერატიული ოკეანოგრაფია –ახალი ეტაპი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში

შეიძლება ითქვას, რომ დაახლოებით გასული საუკუნის ბოლოდან მსოფლიო ოკეანის კვლევაში რადიკალური ცვლილებები განხორციელდა. ამას ხელი შეუწყო იმ მზარდმა სამეცნიერო-ტექნოლოგიურმა პროგრესმა, რაც დაკვირვება ბოლო 2-3 ათეული წლის განმავლობაში. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან დისტანციური ზონდირებისა და კონტაქტური დაკვირვების სისტემების განვითარებამ, მაღალი გარჩევისუნარიანობის ადეკვატური მათემატიკური მოდელებისა და მონაცემთა ასიმილაციის მეთოდების შემუშავებამ, გამოთვლითი ტექნიკის არსებითმა გაუმჯობესებამ, 90-იან წლებში უკვე რეალური გახადა მსოფლიო ოკეანისა და მათ შორის შავი ზღვის უწყვეტი მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემის განვითარება, ისეთი როგორც ამინდის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემებია [70, 190]. ამგვარად, წარმოიშვა ფიზიკური ოკეანოგრაფიის სწრაფად განვითარებადი ახალი მიმართულება – ოპერატიული ოკეანოგრაფია.

ოკეანის თანამგზავრული მონიტორინგისა და ოპერატიული ოკეანოგრაფიის საფუძვლების ჩამოყალიბებასა და განვითარებას ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 80-იან წლებში ჩაეყარა საფუძველი უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტში (ქ. სევასტოპოლი), ხოლო მისი პრაქტიკული განხორციელება დაიწყო 90-იანი წლებიდან. აღსანიშნავია, რომ მსოფლიო ოკეანის მდგომარეობის გლობალური კონტროლის სისტემის პროტოტიპი იქმნებოდა შავი ზღვის მაგალითზე [158, 196]. ოკეანისა და ზღვების მდგომარეობის კონტროლის სისტემის კონცეფცია ემყარებოდა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების დისტანციური ზონდირების მეთოდებისა და ოკეანის დინამიკის მოდელების კომპლექსურ გამოყენებას.

ოპერატიული ოკეანოგრაფიის ერთ-ერთი ძირითადი საფუძველია თანამგზავრული დაკვირვების სისტემის საშუალებით მიღებული ინფორმაცია. ჯერ კიდევ 80-90-იან წლებში, როდესაც ყოფილ საბჭოთა კავშირში ხორციელდებოდა ოკეანოგრაფიული სამეცნიერო პროგრამა „რაზრეზი“ (Разрез), თანამგზავრული დაკვირვებები განიხილებოდა როგორც დაკვირვებითი სისტემის აუცილებელი კომპონენტი [190]. კოსმოსიდან ოკეანის დისტანციური ზონდირება ამჟამად განიხილება როგორც მსოფლიო ოკეანის მდგომარეობისა და მისი ცვალებადობის შესახებ ინფორმაციის უწყვეტი წყარო.

შეიძლება ითქვას, რომ XXI საუკუნეში კაცობრიობის ცხოვრება წარმოუდგენელია თანამგზავრული მეთოდებისა და ტექნოლოგიების გამოყენების გარეშე როგორც მეცნიერებასა და ტექნიკაში, ასევე ყოველდღიურ ცხოვრებაში (ტელევიზია, კავშირგაბმულობა და სხვ.). დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებებში თანამგზავრული ტექნოლოგიების გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა გადავსულიყავით დედამიწის ატმოსფეროში, ზღვებისა და ოკეანეების ზედაპირზე და სიღრმეებში ცალკეული ფრაგმენტული დაკვირვებებიდან პლანეტაზე მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესების ერთ მთლიანობაში შესწავლასა და დაკვირვებებზე გლობალურ მასშტაბებში და პრაქტიკულად რეალურ დროში [190, 209]. დაახლოებით ბოლო ორი ათეული წლის განმავლობაში დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან ზღვის ზედაპირის დაკვირვების დისტანციური მეთოდების განვითარებამ სრულიად ახალ დონეს მიაღწია [75, 95, 160, 168, 172, 197]. ამჟამად, დისტანციური ზონდირების აპარატურა შესაძლებლობას იძლევა განხორციელდეს სხვადასხვა რეგულარული დაკვირვებები მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანობით და დროში მაღალი სიხშირით. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებმა ოკეანოლოგიაში გამოყენება ჰპოვეს აგრეთვე როგორც კავშირგაბმულობის საშუალებებმა. ხელოვნური თანამგზავრების საშუალებით ხდება ოკეანის სხვადასხვა რეგიონებში მცურავი პლათფორმების მემვებით გაზომილი მონაცემების რეტრანსილაცია მონაცემთა შეკრების ცენტრებში რეალური დროის რეჟიმში. ასევე, თანამგზავრების მეშვეობით ფიქსირდება ოკეანეში თავისუფლად მოდრეიფე ბუების კოორდინატები.

შავი ზღვის დაკვირვებითი სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებისა და დინამიკის მოდელის კომპლექსურ გამოყენებაზე, ზღვის დინამიკის უწყვეტი მონიტორინგის განხორციელების საშუალებას იძლევა [27, 190, 209].

საერთაშორისო სამეცნიერო თანამშრომლობის გაღრმავებამ მნიშვნელოვნად შეუწყო ხელი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის მიღწევებს. გასული საუკუნის ბოლოს და XXI საუკუნის დამდეგს შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროფიზიკური და ეკოლოგიური პროცესების შესწავლის საქმეში სულ

უფრო მნიშვნელოვან მასშტაბებს იძენს საერთაშორისო სამეცნიერო თანამშრომლობა, რომელშიც აქტიურად არიან ჩაბმულნი შავი ზღვისპირა ქვეყნების – ბულგარეთის, თურქეთის, რუმინეთის, რუსეთის, საქართველოსა და უკრაინის წამყვანი სამეცნიერო ორგანიზაციები, ასევე ევროპის ზოგიერთი ქვეყნის ოკეანოგრაფიული ცენტრები. ამ თანამშრომლობის შედეგია ბოლო ათწლეულში შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის უდიდესი მიღწევა – შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება, რომელიც ამჟამად ფუნქციონირებს ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში [46-48, 50, 51, 97]. ასეთი სისტემის შექმნას დიდად შეუწყო ხელი ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური პროექტების ARENA (*Regional Capacity Building and Networking Programme to Upgrade Monitoring and Forecasting Activity in the Black Sea Basin*), ASCABOS (*A Supporting Programme for Capacity Building in the Black Sea Region Towards Operational Status of Oceanographic Services*) და ECOOP (*European Coastal-Shelf Sea Operational Observing and Forecasting System*) ფარგლებში შავი ზღვისპირა ქვეყნების წამყვან სამეცნიერო ოკეანოგრაფიულ ცენტრებს შორის თანამშრომლობამ. ეს სამეცნიერო ორგანიზაციებია: ოკეანოლოგიის ინსტიტუტი (ქ. ვარნა, ბულგარეთი), შუა აღმოსავლეთის ტექნიკური უნივერსიტეტის ზღვის მეცნიერებათა ინსტიტუტი (ქ. ერდემლი, თურქეთი), ზღვის კვლევისა და განვითარების ეროვნული ინსტიტუტი „გრიგორ ანტიპა“ (ქ. კონსტანტა, რუმინეთი), სახელმწიფო ოკეანოგრაფიული ინსტიტუტი (ქ. მოსკოვი, რუსეთი), ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდისას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი (ქ. თბილისი, საქართველო), უკრაინის მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი (ქ. სევასტოპოლი, უკრაინა). აღნიშნულ სამუშაოებს კოორდინაციას უწევდა ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი.

შავი ზღვისათვის, ისევე როგორც მსოფლიო ოკეანისთვის, დიდი მნიშვნელობა ქონდა მუდმივმოქმედი გლობალური ოკეანის დაკვირვებითი სისტემის შექმნას და განვითარებას (GOOS – Global Ocean Observing System), რომელიც ფუნქციონირებს იუნესკოს სამთავრობათაშორისო ოკეანოგრაფიული კომისიის (IOC) ეგიდით. მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნების ერთობლივი ძალისხმევით შექმნილია თანამედროვე დაკვირვების სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია თანამგზავრულ და კონტაქტურ დაკვირვებათა კომბინაციაზე და საშუალებას იძლევა განხორციელდეს ოკეანისა და ზღვის ვერტიკალური სტრუქტურისა და ცირკულაციის ოპერატიული მონიტორინგი [190, 196]. სისტემის დანიშნულებაა შეასრულოს ოკეანისა და ზღვის მდგომარეობის შესახებ ფაქტობრივი ინფორმაციის ძირითადი წყაროს როლი. მან უნდა დააკმაყოფილოს მსოფლიო საზოგადოების ინფორმაციული მოთხოვნები ზღვის გარემოს რესურსების უსაფრთხო და

რაციონალურ ათვისებაზე და მათ ოპტიმალურ მართვაზე, ასევე კლიმატური ცვლილებების წინასწარმეტყველებაზე. ოკეანის დაკვირვებითი სისტემის პრიორიტეტული მიზნებია არსებულ დაკვირვებათა ოპტიმიზაცია, მონაცემთა შეკრების საშუალებათა სრულყოფა და მოდელირების სისტემის შემდგომი განვითარება. დაკვირვების პროდუქტთა ეფექტური გამოყენების თვალსაზრისით ძალზედ მნიშვნელოვანია მომხმარებლისთვის დაკვირვების პროდუქციის მიწოდების ეფექტური სისტემის შემუშავება, მომხმარებელზე ორიენტირებული საბოლოო პროდუქციის ასორტიმენტის გაფართოება და სხვ.

გლობალური ოპერატიული დაკვირვების სისტემის მონაცემთა ასიმილაციის მეთოდების შემუშავებას შეეხება საერთაშორისო სამეცნიერო პროექტი GODAE (Global Ocean Dynamic Experiment) [27].

ოპერატიული ოკეანოგრაფიის განვითარებაში ძალზედ მნიშვნელოვანია ევროკომისიის მე-7 ჩარჩო პროგრამის პროექტი “My Ocean”, რომლის ეგიდით ფუნქციონირებს მსოფლიო ოკეანისა და ევროპის შიგა ზღვების პროგნოზის სისტემა ყოველდღიურ რეჟიმში. სისტემის პროდუქცია ხელმისაწვდომია საიტზე www.myocean.eu.

2012 წელს რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიისა და უკრაინის ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის ინიციატივით შავი ზღვის პრობლემების კომპლექსურ შესწავლასთან დაკავშირებით შემუშავდა პროექტი „შავი ზღვა როგორც ოკეანის იმიტაციური მოდელი“. პროექტი ითვალისწინებდა როგორც ექსპერიმენტულ, ასევე თეორიულ გამოკვლევებს მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე. რუსეთის მხრიდან პროექტის ხელმძღვანელი იყო საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის უკანასკნელი პრეზიდენტი, აკადემიკოსი გ. ი. მარჩუკი, უკრაინის მხრიდან – უკრაინის მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის პრეზიდენტი, აკადემიკოსი ბ. პატონი. ამავე პროექტში მონაწილეობის მისაღებად მიწვეული იყო საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, რომლის გადანაცვლებით საქართველოს მხრიდან ხელმძღვანელობა დაევალა ა. კორძაძეს. აღნიშნული პროექტის ფარგლებში ერთობლივი თანამშრომლობის შედეგად მიღებულია მნიშვნელოვანი შედეგები, რამაც საგრძნობლად გააღრმავა ჩვენი ცოდნა და წარმოდგენები შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროფიზიკური და ეკოლოგიური პროცესების შესახებ.

თავი 3

შავი ზღვის ჰიდროლოგიური რეჟიმის თავისებურებები

3.1. ზღვის დაჭუჭყიანება გოგირდწყალბადით

შავი ზღვა გამოირჩევა ზოგიერთი ისეთი სპეციფიკური თავისებურებით, რაც მას მკვეთრად განასხვავებს სხვა შიგამატერიკული ზღვებისაგან. ეს გარემოება თამაშობს არსებით როლს მეცნიერთა დაინტერესებაში შავ ზღვაში მიმდინარე პროცესებით. სპეციფიკურ თავისებურებებს შორის მნიშვნელოვანია შავი ზღვის დაჭუჭყიანება მომწამლავი გაზით – გოგირდწყალბადით (H_2S). ზღვის გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანება იშვიათი მოვლენაა, რაც განასხვავებს შავ ზღვას სხვა ზღვებისა და ოკეანეების აკვატორიებისაგან. გოგირდწყალბადი უფერო, მომწამლავი გაზია სპეციფიკური სუნით, რომელიც კარგად იხსნება წყალში. თანამედროვე მონაცემების თანახმად, შავი ზღვის დაახლოებით 90% შეიცავს გოგირდწყალბადს. 100-150 მეტრი სიღრმის ქვემოთ, გოგირდწყალბადის მაღალი კონცენტრაციებისა და ჟანგბადის არარსებობის გამო (ანაერობული ზონა), უსიცოცხლო გარემოა. არის მხოლოდ ანაერობული მიკროორგანიზმები, რომელთა ცხოველქმედებისათვის ჟანგბადი არაა საჭირო.

გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში აღმოჩენილ იქნა 1890 წლის ივნისში ი. ბ. შპინდლერის ხელმძღვანელობით განხორციელებული ოკეანოგრაფიული ექსპედიციის მიერ [85, 99 194, 211, 229]. ექსპედიციის პერიოდში, რომელიც ორგანიზებული იყო რუსეთის გეოგრაფიული საზოგადოების მიერ ნოვოროსიისკის უნივერსიტეტის პრეზიდენტის ნ. ი. ანდრუსოვის ინიციატივით, 183 მ-ზე მეტი სიღრმიდან აღებული იქნა წყლის სინჯები, რომლებსაც ქონდათ გოგირდწყალბადისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკური სუნი. ზღვის ანაერობულ ზონაში გოგირდწყალბადის პირველი რაოდენობრივი შეფასებები მიღებული იყო ნოვოროსიისკის უნივერსიტეტის ქიმიის ლაბორანტის ა. ა. ლებედინცევის მიერ 1891 წელს. პირველმა გამოკვლევებმა აჩვენა გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია 0,33 მლ/ლ 183 მ ჰორიზონტზე და მისი მატება სიღრმის მიხედვით [211]. თუ მივიღებთ თანამედროვე შეხედულებებს ანაერობული ზონის ზედა საზღვრის შესახებ, სადაც კონცენტრაცია შეადგენს დაახლოებით 0.05 მლ/ლ, შეიძლება დავასკვნათ, რომ 1891-1892 წწ-ში ანაერობული ზონის ზედა საზღვარი იყო 140-190 მ ჰორიზონტებზე [211].

შავი ზღვის ღრმა ფენებში გოგირდწყალბადის აღმოჩენამ მაშინვე მეცნიერთა დიდი ყურადღება მიიპყრო. გოგირდწყალბადის სივრცით-დროითი განაწილების შესწავლასთან დაკავშირებული ინტენსიური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები დაიწყო გასული საუკუნის 20-იან წლებში ნ. მ. კნიპოვიჩისა (აზოვ-შავი ზღვის სამეცნიერო-სარენაო ექსპედიცია) და ი. მ. შოკალსკის ხელმძღვანელობით განხორციელებულ ექსპედიციების დროს [141]. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად ცნობილი გახდა, რომ გოგირდწყალბადის გავრცელების ზედა საზღვარი იმყოფებოდა 150 მ-ის ზემოთ, ხოლო ციკლონური წრებრუნვების ზონაში გოგირდწყალბადის მნიშვნელოვანი კონცენტრაციები დაიკვირვებოდა 125 მ ჰორიზონტზეც. ექსპედიციების პერიოდში მოპოვებული მონაცემთა ანალიზმა აჩვენა, აგრეთვე, რომ გოგირდწყალბადის გავრცელების ზედა საზღვარი არაა მუდმივი და იცვლება დროსა და სივრცეში, რაც განპირობებულია დინებათა სისტემით და წყლების ვერტიკალური ცირკულაციით [141, 211].

თანამედროვე დაკვირვებები მოწმობს, რომ გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია სიღრმის მიხედვით იზრდება 13-14 მლ/ლ-მდე [85]. აქ შესაძლოა არსებობდნენ მხოლოდ ანაერობული ბაქტერიები. ჟანგბადის ზონას უკავია ზღვის ზედა ფენა საშუალოდ 120-150 მ სიღრმემდე, რომლის სიმძლავრე ვარირებს ზღვის სხვადასხვა რაიონებში სეზონების, მეტეოროლოგიური პირობების და დინებების მიხედვით. ანაერობული ზონის ზედა საზღვარი ფართო დიაპაზონში მერყეობს. ზღვის ცენტრალურ ნაწილში ზაფხულის სეზონში იგი წარმოქმნის თავისებურ ამობურცულობას ზღვის ზედაპირიდან 80-100 მ-დე, ხოლო კონტინენტურ ფერდობზე საზღვარი გაცილებით ღრმად, 150-170 მ სიღრმეზე მდებარეობს. ჟანგბადისა და გოგირდწყალბადის ზონებს შორის ფორმირდება გარდამავალი ფენა, რედოქს-ზონა, სადაც ერთობლივად არსებობს ჟანგბადი და გოგირდწყალბადი. რედოქს-ზონაში უწყვეტად მიმდინარეობს გოგირდწყალბადის შენაერთების ქიმიური და ბიოლოგიური დაჟანგვის პროცესები.

თანამედროვე შეხედულებებით, გოგირდწყალბადის არსებობა შავ ზღვაში, ძირითადად, განპირობებულია ორი სახის წყაროს უწყვეტი მოქმედებით: შავი ზღვის ფსკერზე მიწის ქერქის ნაპრალებიდან და ტალახიანი ვულკანის ყელიდან შავ ზღვაში უწყვეტად შემომავალი გოგირდწყალბადის აირით და ანაერობული მიკროორგანიზმების მოქმედებით გამოწვეული ორგანულ ნივთიერებათა დესტრუქციით, რის შედეგადაც სულფატური გოგირდი ანოქსიდურ გარემოში აღდგება სულფიდურ ფორმამდე [85]. საბედნიეროდ, შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის კონცენტრაციები რეგულირდება ბუნებრივი პროცესებით, რაც დაკავშირებულია მის დაჟანგვასთან ზედაპირულ წყლებში [85, 233]. ჟანგბადი, რომელიც გახსნილია ზედაპირულ წყლებში, ქიმიურ რეაქციაში შედის გოგირდწყალბადთან და მიიღება გოგირდმჟავა, რომელიც, თავის მხრივ, რეაქციაში შედის წყალში გახსნილ

მინერალურ მარილებთან და მიიღება სულფატები. ეს პროცესები მიმდინარეობს ერთდროულად, რის შედეგადაც შავ ზღვაში მყარდება დინამიკური ნონასწორობა გოგირდის სულფატურ და სულფიდურ ფორმებს შორის.

ამჟამად, მნიშვნელოვანი ყურდლება ექცევა შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის მრავალნლიური ცვალებადობის შესწავლას და მის ბალანსს, რადგანაც ბოლო ათეულ წლებში დაიკვირვება გოგირდწყალბადის ზრდის გარკვეული ტენდენცია შავ ზღვაში გაძლიერებული ანთროპოგენური დატვირთვის პირობებში [76, 77, 161-163]. [163, 211]-ის თანახმად, მზის აქტივობის მომატების წლებში დაიკვირვება გოგირდწყალბადის კონცენტრაციების ზრდა ცალკეულ ჰორიზონტებზე, ხოლო მზის აქტივობის შემცირების წლებში – კონცენტრაციების შემცირება. საერთოდ, შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის მრავალნლიური ცვალებადობის შესწავლა და ამ ცვალებადობაში ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების დადგენა მოითხოვს შემდგომ გამოკვლევებს და ამ საკითხში მეტი სიცხადის შეტანას. [162]-ში გაანალიზებულია 1924-2001 წწ.-ის სხვადასხვა ჰორიზონტებზე გოგირდწყალბადის კონცენტრაციებზე დაკვირვების მასალები და მიღებულია დასკვნა შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის შემცველობის ზრდის შესახებ, განსაკუთრებით ბოლო ათწლეულებში. გარდა ამისა, გოგირდწყალბადის ბიუჯეტში დომინირებული როლი ეკუთვნის ბუნებრივ ფაქტორებს, კერძოდ, მიკრობიოლოგიურ სულფატრედუქციას და დედამიწის წიაღიდან გოგირდწყალბადის შემოდინებას. როგორც [162] სტატიის ავტორი აღნიშნავს, 1976-2001 წწ.-ში ბუნებრივი მდგენელი 2-3-ჯერ აღემატებოდა ანთროპოგენურს.

ამჟამად, მსოფლიოში აქტიუალურია ეკოლოგიურად უსაფრთხო და ენერჯის განახლებადი წყაროების (ქარის, მზის, გეოთერმული წყლების) გამოყენება. მათ შორის მეტად მნიშვნელოვანია წყალბადის გამოყენება ენერგეტიკული სანვავის სახით, რომელიც ეკოლოგიურად სუფთა ენერგომატარებელია [194]. თანამედროვე ლიტერატურული მონაცემები მოწმობს, რომ შავი ზღვა შეიძლება განვიხილოთ როგორც მსოფლიოში ერთ-ერთი უდიდესი გოგირდწყალბადის საბადო, რომლიდანაც შესაძლებელია წყალბადის მიღება ენერგეტიკისთვის და გოგირდისა – სამრეწველო გამოყენებისათვის. ბოლო ათეულ წლებში გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში განიხილება ერთის მხრივ როგორც საშიშროება ეკოლოგიური უსაფრთხოების თვალსაზრისით, ხოლო მეორე მხრივ, როგორც პრაქტიკულად ამოუწურავი, განახლებადი ენერგეტიკული რესურსი [85, 180].

მეცნიერ-ენერგეტიკოსთა მიერ განიხილება შავი ზღვის გოგირდწყალბადის უტილიზაციის სხვადასხვა მეთოდები, რომელთა მოკლე მიმოხილვა მოყვანილია [85, 194]-ში. გოგირდწყალბადის მოპოვებამ შავი ზღვიდან და მისმა გადამუშავებამ შეიძლება არსებითი წვლილი შეიტანოს

შავიზღვისპირა ქვეყნების ენერგეტიკულ ბალანსში. ამ აირის გამოყენება წყალბადის ენერგეტიკაში დაკავშირებულია წყალბადის გამოყოფასთან აიროვანი გოგირდწყალბადიდან ან პირდაპირ ენერგიის გამოყენებასთან გოგირდწყალბადიდან. პირდაპირ ზღვის წყლიდან გოგირდწყალბადის გამოყოფის და მისი უტილიზაციის მეთოდები საკმაოდ რთულია და დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ენერგოდანახარჯებთან. ამიტომ ამ პრობლემის გადაჭრა მოითხოვს არა მარტო მასთან დაკავშირებული ტექნოლოგიური პროცესების დეტალურ დამუშავებას, არამედ ეკონომიური ეფექტიანობის შეფასებასაც, რაც ძალზედ მნიშვნელოვანია.

აიროვანი გოგირდწყალბადის მიღების მეთოდები შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: გოგირდწყალბადის შემცველი ზღვის წყლის ამოტანა ღრმა ფენებიდან ზედაპირზე ან უშუალოდ ღრმა ფენებში გოგირდწყალბადის გადამუშავება. [85]-ში ავტორები უპირატესობას ანიჭებენ გოგირდწყალბადის გამოყოფის მემბრანულ მეთოდს ადგილზე, ზღვის წყლის ზედაპირზე ამოტანის გარეშე, ხოლო შემდგომ გოგირდწყალბადის ტრანსპორტს ზედაპირზე ღრმა მილსადენის საშუალებით.

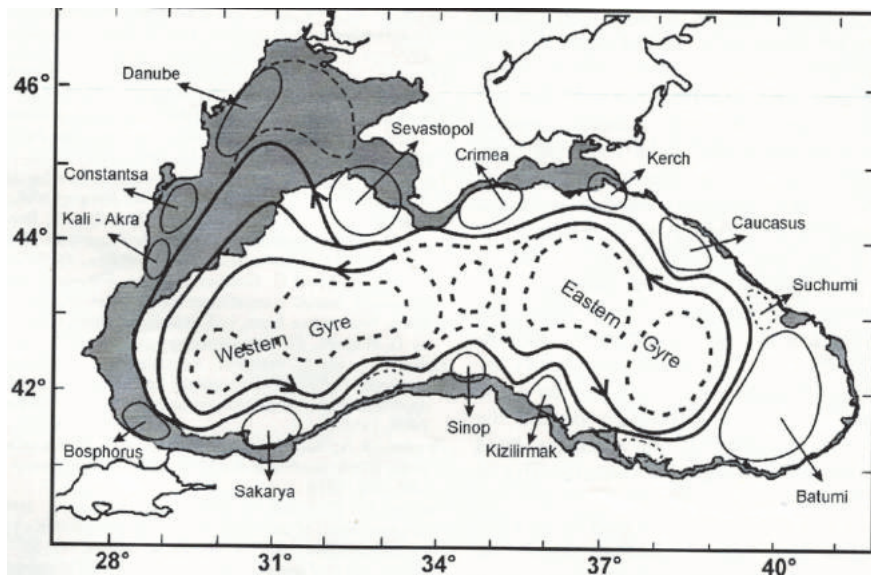
უნდა აღინიშნოს, რომ შავი ზღვის გოგირდწყალბადის უტილიზაციის მცდელობის მრავალწლიანი ისტორიის მიუხედავად, ჯერ კიდევ არ შემუშავებულა პრაქტიკულად განხორციელებადი ტექნოლოგია ზღვის წყლიდან გოგირდწყალბადის გამოსაყოფად.

3.2. ზღვის ცირკულაცია

შავი ზღვის წყლების სტრუქტურისა და ცირკულაციის კვლევებმა ფართო განვითარება ჰპოვა გასული საუკუნის პირველ ნახევარში, რაც დაკავშირებულია ნ. მ. კნიპოვიჩის, ო. მ. შოკალსკის, ნ. ი. ჩიგირინისა და ვ. ა. ვოდინიციკის სახელებთან. ამ პერიოდში, განსაკუთრებით აღსანიშნავია კნიპოვიჩის გამოკვლევები, რომელსაც ეკუთვნის პირველი მონოგრაფია შავი ზღვის ჰიდროლოგიაში [141]. მის მიერ აგებულ შავი ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის სქემას დღესაც არ დაუკარგავს მნიშვნელობა. აღნიშნული სქემის მიხედვით ზღვის მთელ აკვატორიას მოიცავს ციკლონური ხასიათის დინება, რომლის შიგნითაც გამოიყოფა ორი ციკლონური მიმართულების წრებრუნვა ზღვის აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებში. მან პირველმა მიაქცია ყურადღება იმას, რომ ცირკულაციის ასეთი ხასიათი განაპირობებს სიმკვრივისა და მარილიანობის იზოზედაპირების გუმბათოვან ფორმას.

ბოლო ათეულ წლებში, ჰიდროლოგიურმა დაკვირვებებმა [52, 55, 166, 224], მათემატიკური მოდელირების შედეგებმა [55, 56, 65, 105, 158, 190] და თანამგზავრულმა მონაცემებმა [23, 100, 158, 190, 209] მეტი დე-

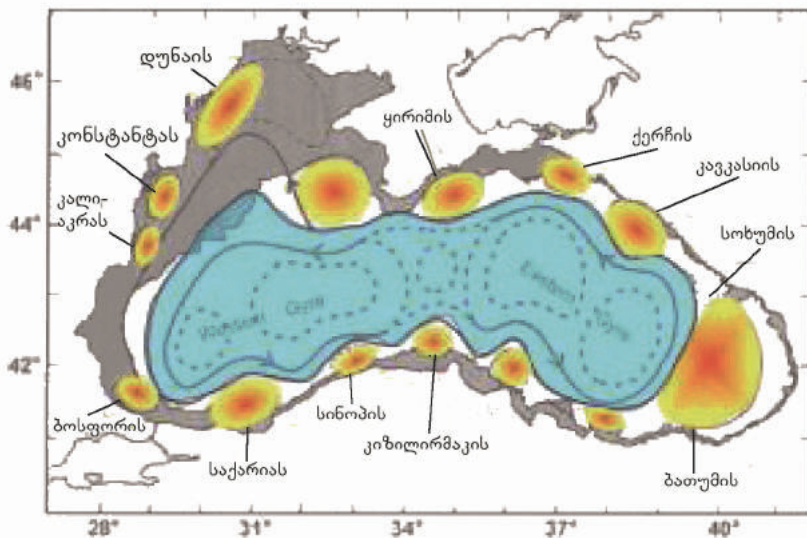
ტალები შესძინეს კნიპოვიჩის მიერ მიღებულ შავი ზღვის ცირკულაციის სურათს და გარკვეულწილად შეცვალეს ტრადიციული შეხედულება შავი ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის შესახებ (ციკლონური ხასიათის შავი ზღვის ძირითადი დინება, რომელიც გარს უვლის შავ ზღვას, და ორი ფართო ციკლონური გრიგალი აუზის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებში). თანამედროვე გამოკვლევების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა შავი ზღვის ცირკულაციის არსებითი თავისებურებების დადგენა. გარდა ძირითადი შიდა ციკლონური ნრებრუნვებისა, რომელთა სტრუქტურა და ინტენსივობა მნიშვნელოვან შიდაწლიურ ცვლილებებს განიცდის, დადგინდა, რომ პერიფერიაში ადგილი აქვს მნიშვნელოვანი კვაზისტაციონარული ანტიციკლონური გრიგალების არსებობას.



ნახ. 3.1 შავი ზღვის ზედაპირულ დინებათა სქემატური სურათი [49]

ნახ. 3.1 ნათელ წარმოდგენას გვიქმნის შავი ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის ხასიათზე, სადაც ნაჩვენებია გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან დაწყებული ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევების შედეგების საფუძველზე აგებული შავი ზღვის ცირკულაციის განზოგადოებული სქემატური სურათი [49]. ნახაზიდან ცხადად ჩანს, რომ შავი ზღვის ცირკულაციას მთლიანობაში ციკლონური ხასიათი აქვს, რომლის დამახასიათებელი თავისებურებაა შავი ზღვის ძირითადი დინება (შზდდ). შზდდ გარს უვლის შავი ზღვის აუზს პერიფერიაზე დაახლოებით კონტინენტური ფერდობის ზემოთ და წარმოადგენს 40-80 კმ სიგანის ჭავლურ

დინებას, სადაც სიჩქარეები დაახლოებით 25-30 სმ/წმ-ია, მაგრამ ძლიერი ატმოსფერული ქარის დროს დინების მაქსიმალურმა სიჩქარემ შესაძლოა 100 სმ/წმ-ს გადააჭარბოს. შზდდ დაიკვირვება მთელი წლის განმავლობაში და ძლიერდება და სტაბილიზირდება შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში. შავი ზღვის ცირკულაციის მნიშვნელოვანი თავისებურებებია აგრეთვე რამდენიმე ციკლონური გრიგალის ფორმირება ზღვის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნახევრების ღრმანწყლოვან ნაწილში. შზდდ ჰიდროდინამიკურად არამდგრადია და რელიეფთან ურთიერთქმედების შედეგად მენდრირებას განიცდის, განსაკუთრებით კი თბილ სეზონში, აპრილიდან ნოემბრამდე, რაც დაკავშირებულია ატმოსფერული ცირკულაციის შესუსტებასთან და შტილური მდგომარეობების სიჭარბესთან შავი ზღვის ზემოთ წლის ამ პერიოდში.



ნახ. 3.2. ანტიციკლონური და ციკლონური გრიგალები [69].

ღია მოყვითალო-მონითალო ფერით ნაჩვენებია სანაპირო ანტიციკლონური გრიგალები, ხოლო ცისფრად – შიგა ციკლონური გრიგალების არე

ზღვის სანაპირო ხაზის მთელ პერიმეტრზე ყველა სეზონის განმავლობაში შზდდ-სა და ნაპირს შორის ფორმირდება სანაპირო ანტიციკლონური გრიგალები, რომელთა განსაკუთრებით ინტენსიური გენერირება დაიკვირვება თბილ სეზონში. ასეთი სანაპირო ანტიციკლონური გრიგალებია სევასტოპოლის, ყირიმის, ბოსფორის, სინოპის და სხვ. როგორც ნახ. 3.1-დან ჩანს, მათ შორის მნიშვნელოვანია ანტიციკლონური გრიგალი შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, რომელიც ლიტერატურაში

ბათუმის გრიგალის სახელწოდებითაა ცნობილი. გარდა ამისა, საქართველოს აკვატორიაში ქ. სოხუმის მახლობლად ნაჩვენებია აგრეთვე მცირე ზომის სანაპირო გრიგალი, რომელიც ხშირად ფორმირდება ამ რაიონში.

მეტი თვალსაჩინოებისათვის, [69]-დან მოყვანილია ნახ. 3.2, სადაც სქემატურად ნაჩვენებია შავი ზღვის ციკლონური და ანტიციკლონური გრიგალური წარმონაქმნები სხვადასხვა ფერებში. ცისფრად ნაჩვენებია ციკლონური წრებრუნვის არე ზღვის ღია ნაწილში, ხოლო ღია მოყვითალო-მონათალო ფერით გამოსახულია სანაპირო ანტიციკლონური გრიგალური წარმონაქმნები შავი ზღვის სანაპიროს მთელ პერიმეტრზე. სანაპირო გრიგალების მახასიათებელი ზომები ფართო დიაპაზონშია, დაახლოებით 20 კმ-დან 200 კმ-დე, რომლებიც მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ სანაპირო წყლების ვენტილაციაში [223].

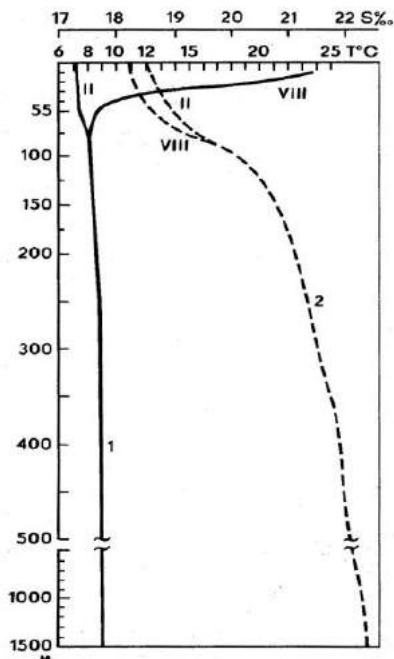
მაშასადამე, შზძდ, რამდენიმე შიდა ციკლონური გრიგალი და სანაპირო ანტიციკლონური გრიგალები ერთობლიობაში განსაზღვრავენ შავი ზღვის ზედაპირული ცირკულაციის რეჟიმს. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ ნახ. 3.1 და ნახ. 3.2-ზე გამოსახული შავი ზღვის სქემატური ცირკულაციური სურათები ზოგადია და დროის გარკვეულ პერიოდებში ზღვის ცირკულაციური ხასიათი შესაძლოა მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს ამ ნახაზებზე გამოსახული სურათებისაგან.

წინამდებარე წიგნის მეოთხე თავში აღწერილმა ჩვენმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორია წარმოადგენს დინამიკურად აქტიურ რაიონს, სადაც ნახ. 3.1 და ნახ. 3.2-ზე ნაჩვენები ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალის გარდა, ადგილი აქვს სხვადასხვა მასშტაბის ციკლონური და ანტიციკლონური გრიგალების მუდმივ ჩასახვას, ევოლუციასა და დისიპაციას მთელი წლის განმავლობაში.

3.3. ზღვის თერმობალინური რეჟიმი

შავი ზღვის კიდევ ერთი თავისებურებაა სპეციფიკური თერმობალინური რეჟიმი, რომელიც ტემპერატურის, მარილიანობისა და სიმკვრივის თავისებურ სივრცით განაწილებაში მდგომარეობს. ეს საკითხი მრავალი სამეცნიერო პუბლიკაციის შესწავლის ობიექტია [80-84, 106, 132, 142, 143, 165, 171, 177, 198, 199, 212, 220, 228]. შავი ზღვის წყლის მასების ვერტიკალური თერმობალინური სტრუქტურისათვის დამახასიათებელია მარილიანობისა და სიმკვრივის სწრაფი ზრდა სიღრმის მიხედვით [218]. ეს გამოწვეულია, ერთი მხრივ, ზედაპირული წყლების მუდმივი გამტკნარებით მდინარეთა მტკნარი წყლებისა და აზოვის ზღვის ნაკლებად მარილიანი წყლების შემოდინების გამო შავ ზღვაში და მეორეს მხრივ, მარმარილოს ზღვის ძალიან მარილიანი წყლების შემოსვლით შავი ზღვის ღრმა ფენებში.

შავი ზღვა წარმოადგენს წყალსატევს მკვეთრად გამოხატული ფენობრივი სტრუქტურით, რომელიც ვერტიკალზე შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად ფენებად: ზედა კვაზიერთგვაროვანი შერევის ფენა, სეზონური თერმოკლინი, ცივი შუალედური ფენა, მუდმივი ჰალოკლინი, ღრმა ფენა. ნახ. 3.3-ზე გამოსახულია ტემპერატურისა და მარილიანობის საშუალო კლიმატური ვერტიკალური განაწილებები შავ ზღვაში აგვისტოსა და თებერვალში, სადაც ჩანს ამ სიდიდეთა ფენობრივი სტრუქტურა.



ზედა შერევის ფენის სისქე საშუალოდ რამდენიმე მეტრია და მერყეობს სეზონების მიხედვით. ამ ფენაში ინტენსიურად მიმდინარეობს ატმოსფეროსთან იმპულსის, სითბოსა და ტენიის გაცვლის პროცესები. ინტენსიური ტურბულენტური ვერტიკალური დიფუზიის გამო ვერტიკალური გრადიენტები მცირეა. ესაა დინამიკურად ყველაზე აქტიური ფენა, რომლის სისქე და ძირითადი ჰიდროფიზიკური პარამეტრები მნიშვნელოვან სივრცით-დროით ცვლილებებს განიცდის [31, 220].

ნახ. 3.3. ტემპერატურისა (1) და მარილიანობის (2) კლიმატური პროფილები აგვისტოსა და თებერვალში შავი ზღვის ცენტრალურ ნაწილში [120]

შავ ზღვაში ტემპერატურის ვერტიკალური განაწილების თავისებურებაა სეზონური თერმოკლინის ფორმირება ცივი შუალედური ფენის ზემოთ თბილ სეზონში. ესაა ფენა, რომელიც ხასიათდება დიდი ვერტიკალური ტემპერატურული გრადიენტებით. სეზონური თერმოკლინის ფორმირების პროცესი იწყება მარტ-აპრილში, ხოლო შუა აპრილში იგი მოიცავს უკვე მთელ აუზს. მაისში ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი აჭარბებს $0.5^{\circ}\text{C}/\text{მ-ს}$ [94]. თერმოკლინი ყველაზე მეტად გამოკვეთილია ზაფხულის სეზონში, რაც ნახ. 3.3-ზე კარგად დაიკვირვება. მაგალითად, ზაფხულში ტემპერატურის ვარდნა ვერტიკალზე ამ ფენაში საშუალოდ შეადგენს $15^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{C}$ 50 მ სისქეში [80, 218].

ცივი შუალედური ფენის არსებობა შავ ზღვაში ტემპერატურული სტრატოფიკაციის ერთ-ერთი ძირითადი თავისებურებაა. ეს ფენა ფორმირდება დაახლოებით 50-80 მ სიღრმეზე და მოიცავს თითქმის ზღვის

მთელ აუზს. ცივი შუალედური ფენა განისაზღვრება როგორც მინიმალური ტემპერატურების ფენა, რომელიც ზემოდან და ქვემოდან შემოსაზღვრულია 8°C იზოთერმით. აღნიშული ფენის არსებობა დაიკვირვება მაშინ, როცა ზღვის ზედა ფენის ტემპერატურა აჭარბებს $8^{\circ}\text{--}9^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურას, ამიტომ ზამთრის სეზონში ცივი შუალედური ფენა არ დაიკვირვება.

ცივი შუალედური ფენის ფორმირება კიდევ ერთი უნიკალური თვისებაა, რაც განასხვავებს შავ ზღვას მსოფლიო ოკეანის სხვა რეგიონებისაგან. ამ ფენის ფორმირების ფიზიკური მექანიზმის შესწავლისადმი მიძღვნილია მრავალი შრომა (მაგ., [84, 106, 142, 143, 198, 212]). გასული საუკუნის 50-იან წლებამდე დომინირებდა კონვექციური ჰიპოთეზა, რომლის თანახმადაც ცივი შუალედური ფენის წყლები ფორმირდებიან ზამთრის კონვექციის შედეგად მთელ აუზში. 1953 წელს ა. გ. კოლესნიკოვმა გამოთქვა ვარაუდი ცივი შუალედური ფენის ადვექციური წარმოშობის შესახებ [143]. ამ შეხედულების თანახმად ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში ზამთრის კონვექციის შედეგად ხდება ცივი წყლის მასების ფორმირება, რომლებიც ზღვის დინებათა სისტემის მეშვეობით ვრცელდებიან მთელი აუზის მასშტაბით. შემდგომმა ექსპერიმენტულმა და თეორიულმა გამოკვლევებმა აჩვენა ამ კონვექციურ-ადვექციური მექანიზმის მართებულობა [84, 148, 229]. ცივი შუალედური ფენის წარმოშობა შავ ზღვაში განპირობებულია ზღვის აუზის ჩრდილო-დასავლეთ თავთხელ შელფურ ნაწილში ზამთრის კონვექციური პროცესებით და ცივი წყლის მასების ადვექციური გადატანით ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილიდან ცენტრალურ და აღმოსავლეთ აკვატორიებში. ზამთარში შავი ზღვის წყლები ყველაზე მეტად ცივდება ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ შელფურ ნაწილში დაახლოებით $2^{\circ}\text{--}3^{\circ}\text{C}$ გრადუსამდე (ზოგჯერ იყინება კიდევ). კონვექციური პროცესების განვითარების შედეგად ზღვის ამ ნაწილში ცივი წყალი ეშვება ქვემოთ დაახლოებით 60 მ სიღრმეზე, ხოლო შემდგომ შავი ზღვის ზოგადი ციკლონური ხასიათი განაპირობებს ამ ცივი წყლების ადვექციურ გავრცელებას ზღვის დანარჩენ ნაწილებში.

შავი ზღვა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც წყალსატევი შემდგარი ჰიდროლოგიური თვისებებით მნიშვნელოვნად განსხვავებული ზედაპირული და ღრმა ფენებისაგან, რომელთა შორის მდებარეობს მუდმივი ჰალოკლინი. ესაა ფენა მარილიანობის დიდი ვერტიკალური გრადიენტებით. ამ ფენის სისქე გარკვეულ სივრცით-დროით ცვლილებებს განიცდის. მისი მდებარეობის სიღრმე დამოკიდებულია ვერტიკალური ტურბულენტური გაცვლის პროცესებზე და იზრდება ზღვის ღია აკვატორიიდან პერიფერიებისაკენ [220]: მარილიანობა ამ ფენაში იზრდება დაახლოებით 17,5%-დან 18,3%-მდე, გარდა ზღვის ჩრდილო-დასავლეთი ნაწილისა, სადაც და-

იკვირვება მარილიანობის ანომალურად დაბალი მნიშვნელობები დიდ მდინარეთა მტკნარი წყლების შემოდინების გამო.

ზედაპირული ფენა, დაახლოებით 100-150 მ სიღრმემდე, ხასიათდება შედარებით გამტკნარებული (დაბალი მარილიანობით, დაახლოებით 17-18‰) წყლებით და ჟანგბადის მაღალი შემცველობით. ღრმა ფენისათვის დამახასიათებელია ჟანგბადის არარსებობა (ანაერობული ზონა), უფრო მარილიანი და მკვრივი წყლები და მუდმივი ტემპერატურა.

ცივი შუალედური ფენის ქვემოთ დაახლოებით 100 მ სიღრმიდან ფსკერამდე ადგილი აქვს ტემპერატურის ძალიან მცირე მატებას, ხოლო ზღვის ღრმა ფსკერთან ტემპერატურა შავ ზღვაში დაახლოებით 9°C შეადგენს. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მსოფლიო ოკეანეში ფსკერთან წყლის ტემპერატურა დაახლოებით 5°C-ია. ცხადია, რომ შავი ზღვის ღრმა წყლების ტემპერატურის შედარებით მაღალი მნიშვნელობა გარკვეულ კითხვებს ბადებს, რაც მომავალი კვლევის საგანი შეიძლება გახდეს. შესაძლებელია ეს გამონეუული იყოს ზღვის ფსკერთან გარკვეული სითბოს ნაკადების არსებობით ან ხმელთაშუა ზღვის თბილი და მარილიანი წყლების შემოდინებით შავ ზღვაში ბოსფორის სრუტის მეშვეობით.

ჰალოკლინის ქვემოთ წყლის მარილიანობა მცირედ, მონოტონურად იმატებს და ღრმა ფენებში დაახლოებით 22,4‰ აღწევს. მარილიანობის მატებასთან ერთად წყლის სიმკვრივეც მატულობს, რადგანაც შავი ზღვის სიმკვრივე კარგ კორელაციაშია მარილიანობასთან [35, 148, 220]. რადგანაც ზედაპირული და ღრმა ფენები განსხვავდებიან სიმკვრივით, ამიტომ ამ ფენების შერევა სუსტია, თუმცა ეს პროცესი მაინც მიმდინარეობს. [88]-ში მოყვანილი შეფასებების თანახმად ყოველწლიურად 3000 კმ³ წყალი ღრმა ფენებიდან ადის ზედაპირამდე.

იმ დროს როდესაც ოკეანისა და ზღვების უმეტესობას აქვს თითქმის ერთნაირი და ძალიან მაღალი მარილიანობა (35‰), შავ ზღვაში ეს მაჩვენებელი 2-ჯერ დაბალია ზღვის ზედაპირულ ფენაში (17-18‰), ხოლო ღრმა ფენებში არის დაახლოებით 22,4‰. ყოველივე ეს აიხსნება წყალსატევის ჰიდროლოგიური თავისებურებებით, წყლის მასების ფორმირებით, სტრუქტურითა და დინამიკით. კერძოდ, შავი ზღვის სუსტი კავშირი მსოფლიო ოკეანესთან, მდინარეთა უხვი შენაკადი, სუსტი წყალგაცვლა ზედა და ქვედა ფენებს შორის აყალიბებს წყლების სპეციფიკურ ქიმიურ შემადგენლობას და მათ შორის მარილიანობის ველის თავისებურ რეჟიმს.

მიუხედავად იმისა, რომ ბოსფორის სრუტე წარმოადგენს საკმაოდ ვიწრო, მეჩხერწყლიან სრუტეს, შავი ზღვის წყლების გაცვლა მსოფლიო ოკეანესთან ამ სრუტის მეშვეობით დიდ გავლენას ახდენს შავი ზღვის ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური რეჟიმის ჩამოყალიბებაში. ნახ. 3.4 -

ზე ნაჩვენებია ბოსფორის სრუტის თანამგზავრული სურათი. ბოსფორის სრუტის სიგრძე დაახლოებით 31 კმ-ია, მაქსიმალური სიგანეა 3,6 კმ, ხოლო მინიმალური – 730 მ. საშუალო სიღრმეა 65 მ, მაქსიმალური სიღრმე – 92 მ. ამჟამად, შავი ზღვის დონე რამდენადმე აჭარბებს მსოფლიო ოკეანის დონეს და შესაბამისად ხმელთაშუა ზღვის დონესაც. ამიტომ, შავი ზღვის



ნახ. 3.4. ბოსფორის სრუტის თანამგზავრული სურათი

ზედაპირული წყლები ბოსფორში დახრილია მარმარილოს ზღვის მხარეს. სიმაღლეთა სხვაობა დაახლოებით 35 სმ-ია [218]. ეს დახრილობა ხელს უწყობს ბოსფორის ზედაპირული დინების აღძვრას, რის მეშვეობითაც შავი ზღვის ნაკლებად მარილიანი წყალი გაედინება მარმარილოს ზღვაში. ზედაპირული დინების სიღრმე ბოსფორის სრუტეში იცვლება წლის სხვადასხვა დროში და სრუტის სხვადასხვა ნაწილში 20-40 მეტრის ფარგლებშია. ზედაპირული დინების საკომპენსაციო დინებას წარმოადგენს ბოსფორის ქვედა დინება, რომელსაც მარმარილოს მარილიანი წყალი (დაახლოებით 36‰) შემოაქვს შავ ზღვაში. ამ დინების არსებობა გამოწვეულია მნიშვნელოვანი განსხვავებით ბოსფორისა და შავი ზღვის წყლების მარილიანობაში, რაც თავის მხრივ განაპირობებს განსხვავებას სიმკვრივეში. ეს კი ჩრდილოეთით მიმართული წნევის გრადიენტის ძალების აღძვრის მიზეზი ხდება. [218]-ის თანახმად, ნორმალურ მეტეოროლოგიურ პირობებში ზედა და ქვედა დინებათა სიჩქარე დაახლოებით 55 სმ/წმ-ია. წყლის მასების გაცვლის დინამიკა შავ და მარმარილოს ზღვებს შორის მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული წლის პერიოდებზე. წლის პირველ ნახევარში, როდესაც საგ-

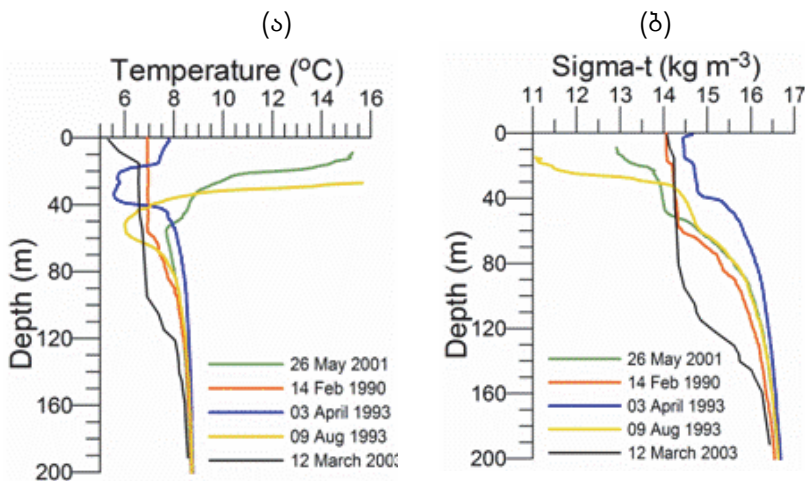
რძნობლად იზრდება შავ ზღვაში მდინარეთა ჩამონადენი და ზღვის დონე საგრძნობლად მაღლა იწევს, მარილიანი წყლების შემოსვლა შავ ზღვაში ბოსფორის მეშვეობით მცირდება. წლის მეორე ნახევარში, როდესაც შავი ზღვის დონე დაბლა იწევს, შავი ზღვის ნაკლებად მარილიანი წყლების გადინების ინტენსივობა მარმარილოს ზღვაში ზედა ბოსფორის დინებით მცირდება. [179]-ში მოყვანილია ა. კ. ბოგდანოვას მიერ შეკრებილი და ინტერპრეტირებული რაოდენობრივი მონაცემები, რომლებიც ახასიათებენ ქვედა ბოსფორის დინების გავლენის ხარისხს შავი ზღვის ღრმა წყლების თერმობალინური ველების ფორმირებაზე [83]. [83]-ში გაკეთებულ დასკვნებს საფუძვლად უდევს 1958, 1960 და 1961 წლებში შავი ზღვის ბოსფორისპირა რაიონში ჩატარებული სპეციალური დაკვირვების შედეგები.

საინტერესოა [179]-ში მოყვანილი დასკვნა ხმელთაშუა ზღვის მარილიანი წყლების ტრანსფორმაციის შესახებ, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს. დარდანელის სრუტის შესასვლელთან ეგეოსის ზღვაში, წყლების მარილიანობა დაახლოებით არის 38‰, ხოლო შავი ზღვიდან გამომავალი ზედა ბოსფორის დინებასთან შერევის შედეგად მარილიანობა თანდათან კლებულობს და ბოსფორიდან გამოსვლისას მცირდება 31‰-მდე. მარილიანობის შემდგომი შემცირება შავ ზღვაში 22,4‰-მდე გამოწვეულია შემოსული წყლების შერევით ცივი შუალედური ფენის წყლებთან, რომელთა მარილიანობა დაახლოებით 18,5‰-ია. ხმელთაშუა ზღვის წყლების ტრანსფორმაციის შედეგია აგრეთვე ტემპერატურის თანდათანობითი შემცირება 14,5°C -დან ეგეოსის ზღვაში 12°C -მდე ბოსფორის შესართავთან შავ ზღვაში. შემდგომში, შავ ზღვაში ცივი შუალედური წყლების შერევით, სადაც ტემპერატურა დაახლოებით 7,5°C -ია, და ღრმა ფენებში მყარდება დაახლოებით 8,9°C ტემპერატურა. [179]-ში მოყვანილი დასკვნის თანახმად, შავი ზღვის ღრმა წყლები არის ნარევი ორი განსხვავებული წყლის ფენისა, სადაც 20% ხმელთაშუა ზღვის წყლებია, ხოლო 80% ცივი შუალედური ფენის წყლები.

წყალგაცვლა ბოსფორის საშუალებით გავლენას ახდენს არა მარტო შავი ზღვის წყლების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე, აგრეთვე მის პლანქტონურ სახეობათა შემადგენლობაზე. პლანქტონური ორგანიზმების სახეობათა მნიშვნელოვანი რაოდენობა შემოდის შავ ზღვაში ბოსფორის ქვედა დინებით. დადგენილია, რომ ამ დინებით შავ ზღვაში შემოდის ხმელთაშუა ზღვის ზოოპლანქტონის დაახლოებით 20 სახეობა. როგორც ბიოლოგიური გამოკვლევებიდან ირკვევა, შემოსულ სახეობათაგან ზოგიერთი კარგად ეგუება შავი ზღვის გარემოს და აქ მრავლდებიან კიდევ, რადგანაც ისინი აღმოჩენილია ბოსფორის სრუტიდან შორს შავი ზღვის ზედაპირულ ფენაში, მაგალითად, ყირიმის ნაპირებთან [203]. მეორე მხრივ, მარმარილოს ზღვის პლანქტონური ორგანიზმების შემადგენლობაზე გავლენას ახდენს

პლანქტონის შემოსვლა შავი ზღვიდან მარმარილოს ზღვაში ბოსფორის ზედა დინების საშუალებით.

შავ ზღვაში სიმკვრივის ვერტიკალურ განაწილებაში მთავარი თავისებურებაა მუდმივი პიკნოკლინის არსებობა, რომელიც 100-200 მ-ზე მდებარეობს. ამ ფენისათვის დამახასიათებელია სიმკვრივის მაღალი ვერტიკალური გრადიენტები. ამ ფენის ქვემოთ სიმკვრივე მცირედ იზრდება



ნახ. 3.5. ტემპერატურისა – (ა) და სიმკვრივის – (ბ) პროფილები შავი ზღვის ღია აკვატორიაში მდებარე წერტილებში სხვადასხვა წლებსა და თვეებში [69]

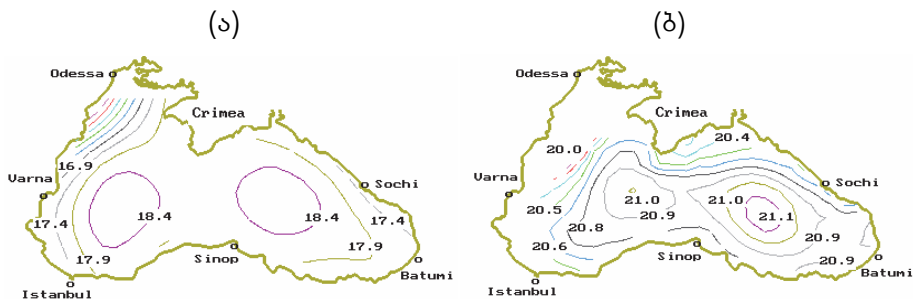
ფსკერამდე. სიმკვრივის ვერტიკალური განაწილება, ფაქტობრივად, იმეორებს მარილიანობის ვერტიკალური განაწილების თავისებურებებს და პიკნოკლინის მდებარეობა ემთხვევა ჰალოკლინის მდებარეობას.

თვალსაჩინოების მიზნით ნახ. 3.5-ზე მოყვანილია გაზომილი ტემპერატურისა და პირობითი სიმკვრივის ვერტიკალური განაწილებები შავი ზღვის ღია აკვატორიის წერტილებში სხვადასხვა წლის გარკვეულ დღეებში [69]. პრაქტიკული თვალსაზრისით ხშირად სარგებლობენ პირობითი სიმკვრივის ცნებით, რომელიც ჩვეულებრივ ρ წყლის სიმკვრივესთან ასეთ დამოკიდებულებაშია:

$$\sigma = [\rho(T, S, P) - 1000] \text{ (კგ/მ}^3\text{)}.$$

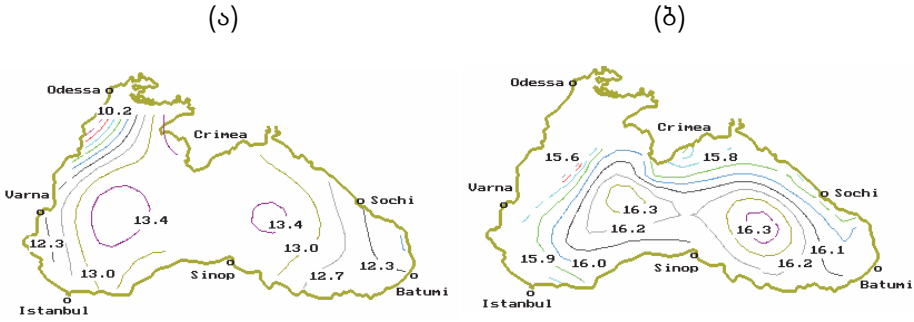
შავი ზღვის ცირკულაციური ხასიათი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს თერმოხალინური ველების სივრცითი განაწილების თავისებურებებსაც. შავ ზღვაში მარილიანობის სივრცითი განაწილების ერთ-ერთი თავისებურებაა იზოჰალინური ზედაპირების თაღოვანი ფორმა და მარილიანობის

შემცირება ზღვის ცენტრალური ნაწილებიდან პერიფერიებისაკენ. ეს გამოწვეულია ციკლონური გრიგალების ფორმირებით, რომლებიც განაპირობებენ აღმავალ დინებებს და შესაბამისად უფრო მარილიანი წყლების ამოსვლას ღრმა ფენებიდან ზედაპირულ წყლებში. როგორც მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მონაცემები მოწმობს, ასეთი თაღოვანი ფორმა, რომელსაც ხელს უწყობს ციკლონური ცირკულაცია, დამახასიათებელია 1000 მ სიღრმემდე [94]. ასეთი სივრცითი სტრუქტურა თვისებრივად მდგრადია მთელი წლის განმავლობაში, ხოლო მარილიანობის რაოდენობრივი ცვლილებები დაკავშირებულია მტკნარი და მარილიანი წყლების ბიუჯეტზე, ვერტიკალური ტურბულენტური გაცვლისა და ციკლონური ცირკულაციის ინტენსივობაზე. ყველაზე დაბალი მარილიანობით გამოირჩევა ზღვის ჩრდილო-დასავლეთის შელფური ნაწილი, სადაც დიდ მდინარეთა შენაკადები (დნეპრი, დუნაი, დნესტრი) გამამტკნარებელ გავლენას ახდენენ ზღვის წყალზე. მარილიანობის ველის ეს თავისებურებები კარგად ჩანს ნახ. 3.6-ზე, სადაც ნაჩვენებია [35]-ში მათემატიკური მოდელირების შედეგად საშუალო წლიური კლიმატური მონაცემების გამოყენებით გამოთვლილი მარილიანობის ველის განაწილების სურათები 1 მ და 85 მ სიღრმეებზე.



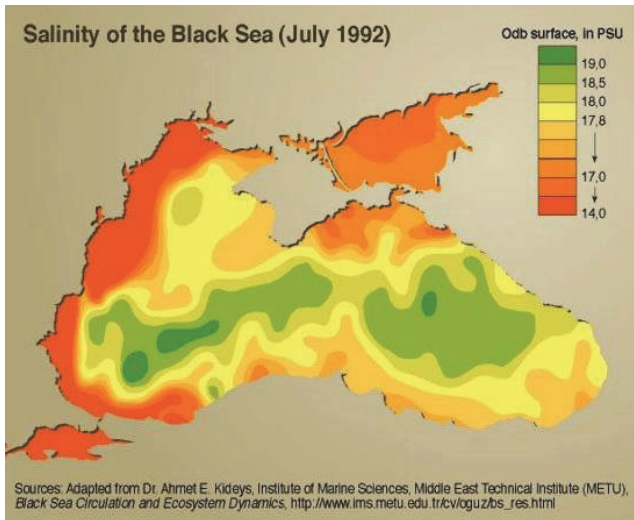
ნახ. 3.6. გამოთვლილი მარილიანობის საშუალო წლიური ველი 1 მ (ა) და 85 მ (ბ) სიღრმეებზე [35]

ნახ. 3.6-ზე კარგად ჩანს მარილიანობის ველის გუმბათისებური ხასიათი ზღვის ღრმა აკვატორიაში, რაც კარგად შეესაბამება შიდა ციკლონური გრიგალების მდებარეობას. ყველაზე დიდი მარილიანობა დაიკვირვება დასავლეთ და აღმოსავლეთ ციკლონების წრებრუნვის ცენტრებში – 18,4‰ ზღვის ზედაპირზე, ხოლო 21,0-21,1 – 85 მ სიღრმეებზე. ყველაზე დაბალი მარილიანობით გამოირჩევა ზღვის ჩრდილო-დასავლეთი ნაწილი დუნაის შესართავთან, სადაც მდინარის მტკნარი წყლების გავლენა ყველაზე მეტად იგრძნობა.



ნახ. 3.7. გამოთვლილი პირობითი სიმკვრივის საშუალო წლიური ველი 1 მ (ა) და 85 მ (ბ) სიღრმეებზე [35].

ნახ. 3.7-ზე ნაჩვენებია იმავე მათემატიკური მოდელის [35] საფუძველზე გამოთვლილი პირობითი სიმკვრივის საშუალო წლიური ველი 1 მ და 85 მ ჰორიზონტებზე. როგორც ცნობილია, შავ ზღვაში სიმკვრივის ველის ფორმირება ძირითადად განისაზღვრება მარილიანობის ველით [148, 220]. სწორედ ეს ფაქტი განაპირობებს იმას, რომ სიმკვრივის ველის ჰორიზონტალური განაწილება, ფაქტობრივად, იმეორებს მარილიანობის ველის განაწილების თავისებურებებს. ამ შემთხვევაშიც იზოპიკნიკურ ზედაპირებს აქვთ გუმბათისებური ფორმა და მათი მდებარეობა პრაქტიკულად ისეთივეა, როგორც ნახ. 3.6-ზე ნაჩვენები იზოჰალინური ზედაპირებისთვის.

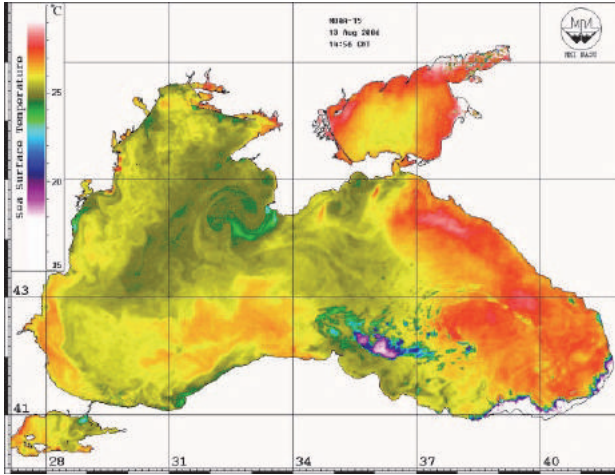


ნახ. 3.8. შავი ზღვის მარილიანობის ველი 1992 წლის ივლისში

მარილიანობის ველის ჰორიზონტალური განაწილების ხასიათზე ნათელ წარმოდგენას გვიქმნის აგრეთვე ნახ. 3.8, სადაც წარმოდგენილია 1992 წლის ივლისის შესაბამისი შავი ზღვის ზედაპირის მარილიანობის ველი. ეს სურათი მოპოვებულია ინტერნეტიდან და მიღებულია შუა აღმოსავლეთის ტექნიკური უნივერსიტეტის ზღვის მეცნიერებათა ინსტიტუტის მონაცემთა ბაზიდან (ქ. ერდემლი, თურქეთი). ნახაზზე გამოსახული მარილიანობის ველის მიხედვით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ შავი ზღვის ზოგადი ცირკულაციის ხასიათზეც, რადგანაც ცირკულაციის ხასიათი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მარილიანობის განაწილების სურათს: ციკლონური ნრებრუნვის არეებში განვითარებულ აღმავალ დინებას ღრმა ფენებში მყოფი უფრო მარილიანი წყალი ამოაქვს ზედა ფენებში, ხოლო ანტიციკლონური ნრებრუნვის ცენტრებში განვითარებული დაღმავალ დინებას ნაკლებად მარილიანი წყალი ჩააქვს ქვედა დონეებზე. ამგვარად, ნახ. 3.8-ზე მაღალი მარილიანობის არეებს ზღვის ღია ნაწილში (18,5-19‰) შეესაბამება ციკლონური გრივალური წარმონაქმნები, რაც კარგ თანხმობაშია შავი ზღვის ზოგადი ცირკულაციის ხასიათთან. როგორც ნახ. 3.8-დან ჩანს, ზღვის საქართველოს სექტორი შედარებით დაბალი მარილიანობით ხასიათდება (დაახლოებით 17,5-18‰), რაც შესაძლოა მიუთითებდეს ანტიციკლონური მოძრაობის არსებობას აკვატორიის ამ ნაწილში. ნახაზზე კარგად დაიკვირვება ყველაზე დაბალი მარილიანობის წყლები აუზის ჩრდილო-დასავლეთ და დასავლეთ ნაწილებში, რაც გამომწვეულია დიდ მდინარეთა მტკნარი წყლის ჩამონადენით.

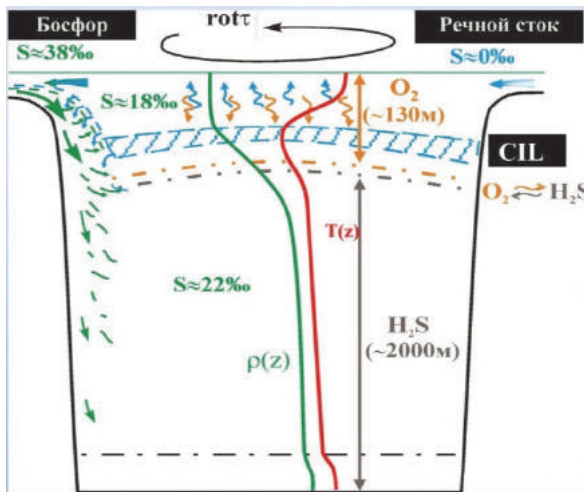
ზედაპირულ ფენაში ტემპერატურული ველის ფორმირებას მნიშვნელოვნად განაპირობებს სითბოცვლა ზღვასა და ატმოსფეროს შორის და ამ შემთხვევაში ადვექციური ფაქტორების როლი მეორეხარისხოვანია. ზამთრობით ზღვის ჩრდილო-დასავლეთი და ჩრდილო-აღმოსავლეთი რაიონების წყლები ზოგჯერ ცივდება 0° -მდე და ქვემოთაც და შელფის თხელწყლოვან უბნებში ჩნდება ყინულის საფარი. ზღვის ღრმანწყლოვან რაიონებში ზამთარში ტემპერატურა 5° - 9°C -ია. ზაფხულში ზღვის ზედაპირი თბება 24°C - 27°C -მდე ნაპირებთან და 21° - 23°C -მდე – ღრმანწყლოვან რაიონებში.

ბოლო ათეულ წლებში თანამგზავრული დაკვირვების სისტემის განვითარებამ დიდად შეუწყო ხელი ოკეანეების და ზღვების ზედაპირულ ტემპერატურათა შესახებ სრული ინფორმაციის მიღებას. ნახ. 3.9-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული სურათი 2006 წლის აგვისტოში, რაც საკმაოდ ნათელ წარმოდგენას გვიქმნის შავი ზღვის ტემპერატურული ველის განაწილებაზე. როგორც თანამგზავრული სურათიდან ჩანს, 2006 წლის ზაფხულში უფრო მაღალი ტემპერატურები აღინიშნებოდა ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში დასავლეთ აკვატორიასთან შედარებით, რაც საერთოდ დამახასიათებელია შავი ზღვისათვის.



ნახ. 3.9. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული სურათი 2006 წლის 13 აგვისტოს. მიღებულია NOAA თანამგზავრიდან

ნახ. 3.10-ზე წარმოდგენილია შავი ზღვის ზოგადი ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური ვერტიკალური სტრუქტურა სქემატურად, რაც გარკვეულ წარმოდგენას გვიქმნის შავი ზღვის ვერტიკალურ სურათზე ზოგადად [124]. ნახაზზე წარმოდგენილ ტემპერატურისა და სიმკვრივის პროფილებში კარგად ჩანს ზედა შერევის ფენა, თერმოკლინი და ცივი შუალედური ფენა ტემპერატურის განაწილების მრუდზე და პიკნოკლინი, ანუ სიმკვრივის დიდი ვერტიკალური გრადიენტების ფენა სიმკვრივის მრუდზე. ნახაზზე სქემატურად ნაჩვენებია რედოქს-ზონაც, სადაც ერთდროულად დაიკვირვება ჟანგბადი და გოგირდწყალბადი. რედოქს-ზონის ქვემოთ გოგირდწყალბადის შემცველი წყლებია, ხოლო ზემოთ ჟანგბადით მდიდარი წყლები.



ნახ. 3.10 შავი ზღვის ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური რეჟიმის ვერტიკალური სტრუქტურა [124]

აჭარბებს დაახლოებით 10 სმ-ს, რადგანაც ხმელთაშუა ზღვის მოქცევის ტალღები მიიღევა დარდნელისა და ბოსფორის სრუტეებში, ხოლო შავი ზღვის მცირე სივრცითი განფენილობა ხელს უშლის ძლიერი მიქცევა--მოქცევის განვითარებას.

3.4. ზღვის კლიმატი. სითბური და წყლის ბალანსი

შავ ზღვის დინამიკური პროცესების თავისებურებანი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ზღვის ზემოთ განვითარებული ატმოსფერული პროცესების ხასიათზე, შავი ზღვის მიმდებარე ხმელეთის ოროგრაფიულ თავისებურებებზე და ზღვის სანაპირო ხაზის კონფიგურაციასა და მორფომეტრიულ პარამეტრებზე. ატმოსფერული ცირკულაცია შავი ზღვის ზემოთ წარმოადგენს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში განვითარებული ცირკულაციური პროცესების შემადგენელ ნაწილს. შავი ზღვის კლიმატის ძირითადი თავისებურებები, მთლიანობაში, ფორმირდება მაკროცირკულაციური პროცესების გავლენით. კლიმატისა და ამინდის ფორმირებას შავი ზღვის ტერიტორიაზე მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს ატმოსფეროს ბარიული ცენტრების მოქმედება. კერძოდ, ასეთებია: აზორის მაქსიმუმი მთელი წლის განმავლობაში და რამდენიმე ბარიული და თერმული წარმონაქმნი, როგორებიცაა ზამთარში ციმბირის ანტიციკლონი და ხმელთაშუა ზღვის დეპრესია, ხოლო ზაფხულში თერმული დეპრესია ჩრდილო აფრიკისა და წინა აზიის ზემოთ. გარდა ამისა, შავი ზღვა განიცდის ციკლონების შემოქმედებას, რომლებიც პერიოდულად გადაადგილდებიან ზღვის აკვატორიის ზემოთ, და ინვევენ შედარებით მცირე დროითი მასშტაბის რხევებს. აღნიშნული მეტეოროლოგიური პროცესები აყალიბებენ გარკვეულ ქარის რეჟიმს შავი ზღვის ზემოთ, რომელიც თავის მხრივ არსებით გავლენას ახდენს შავი ზღვის ცირკულაციაზე. ზღვის ზედაპირზე ქარის ხახუნის ტანგენციალური დამბულობის შემოქმედებით ფორმირდება ძირითადად ზღვის ზედაპირული დინების სურათი. დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მთელი წლის განმავლობაში შავი ზღვის ზემოთ ადგილი აქვს ატმოსფერული ცირკულაციური რეჟიმების უწყვეტ მონაცვლეობას [73], რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ზღვის ზედაპირული დინების ტრანსფორმაციაზე [153, 154].

ადგილობრივი ფიზიკო-გეოგრაფიული თავისებურებები, ძირითადად ოროგრაფია და სანაპიროს ზოგიერთი მონაკვეთის მოხაზულობა, ქმნის მნიშვნელოვან კლიმატურ განსხვავებას შავი ზღვის ცალკეულ რეგიონებს შორის. შავი ზღვის ტერიტორიის დიდ ნაწილში შავი ზღვის კლიმატი მსგავსია ხმელთაშუა ზღვის კლიმატისა (თბილი ნოტიო ზამთარი, ცხელი და მშრალი ზაფხული). ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთი ნაწილი

(აჭარის სანაპიროს ჩათვლით), რომელიც გარშემორტყმულია ქედებით, ხასიათდება თბილი სუბტროპიკების კლიმატით (ნალექების სიუხვე, თბილი ზამთარი, ცხელი ზაფხული). შავი ზღვა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სამხრეთ კავკასიის ტერიტორიაზე ატმოსფერული პროცესების ფორმირებაში და გარკვეულწილად განსაზღვრავს რეგიონული კლიმატისა და ამინდის ფორმირებას აღნიშნულ რეგიონში [140, 204, 217].

შავი ზღვა სითბოსა და ტენის ამოუნწურავი წყაროა. კავკასია უპირატესად მთიანი რეგიონია, რომლის მთავარი ოროგრაფიული ელემენტი - კავკასიის მთავარი ქედი იცავს საქართველოს ჩრდილოეთიდან შემოჭრილი ცივი ჰაერის მასებისაგან. ჰაერის მასები ძირითადად შემოუვლიან ქედს დასავლეთიდან და აღმოსავლეთიდან, ხოლო შავი ზღვის თბილი წყლების ზემოქმედებით საქართველოს ტერიტორიაზე შემოდიან ნაკლებად ცივი და ნოტიო ჰაერის მასები. ის ფარული და ცხადი სითბო, რასაც ატმოსფერო იღებს შავი ზღვიდან, წარმოადგენს მნიშვნელოვან ფიზიკურ ფაქტორს ატმოსფერული პროცესების ფორმირებაში სამხრეთ კავკასიისა და მათ შორის საქართველოს ტერიტორიაზე. ზღვის საშუალო ზედაპირული ტემპერატურა საქართველოს სანაპიროს ფარგლებში 14°C - 15°C -ია. შემოდგომით საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროზე წყლის ტემპერატურა 7°C - 8°C -ით აჭარბებს გაზაფხულზე წყლის ტემპერატურას და ტემპერატურული სხვაობა ჰაერისა და ზღვის ტემპერატურებს შორის შემოდგომაზეა ყველაზე მეტი (საშუალოდ 4° - 5°C), ამიტომ, ზღვიდან ატმოსფერო მეტ სითბოს ღებულობს შემოდგომით სხვა სეზონებთან შედარებით.

ყველაზე ტენიანია აჭარის სანაპირო ზონა, სადაც ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა 4000 მმ-ს უტოლდება [12, 140]. ასეთი უხვი ნალექების არსებობას განაპირობებს აჭარის შავიზღვისპირეთის მთიანი რელიეფი, რომელიც უშუალოდ ზღვისპირას ეშვება და განაპირობებს დასავლეთიდან მოსული ტენით გამდიდრებული ჰაერის მასების აღმავალ დინებებს. ეს კი თავის მხრივ განაპირობებს წყლის ორთქლის კონდენსაციას და ღრუბელწარმოქმნელი პროცესების ინტენსივობას.

შავი ზღვის ჰიდროლოგიური სტრუქტურის ჩამოყალიბებაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყლის ბალანსს. შავი ზღვის წყლის ბალანსის ძირითადი კომპონენტებია:

- ატმოსფერული ნალექები P,
- მდინარეთა ჩამონადენი R,
- აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან E,
- წყლის შემოდინება აზოვის ზღვიდან,
- წყლის შემოდინება ქვედა ბოსფორის დინებით,
- წყლის გადინება ზედა ბოსფორის დინებით.

შავი ზღვის წყლის ბალანსი მრავალი ნაშრომის კვლევის ობიექტია, მაგრამ ლიტერატურაში მოყვანილი ზღვის წყლის ბალანსის ცალკეული კომპონენტების რაოდენობრივი შეფასებები გარკვეულწილად განსხვავებულია. როგორც [132]-შია აღნიშნული, ეს შეფასებები კეთდებოდა არა მარტო სხვადასხვა მეთოდებით, არამედ სხვადასხვა დროით პერიოდებში. შავი ზღვის წყლის ბალანსის უფრო სრული შეფასებები მოცემულია [94]-ში.

ხმელთაშუა ზღვისაგან განსხვავებით, შავ ზღვაში მთლიანობაში დადებითი მტკნარი ბალანსია, ე. ი. მტკნარი წყლის ჩადინება ატმოსფერული ნალექებისა და მდინარეთა ჩანადენების ხარჯზე ჭარბობს აორთქლებას. ეს ფაქტორი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს აუზის საერთო მარილიანობის შემცველობას და წყლების გადინების უპირატეს მიმართულებას სრუტეების მეშვეობით.

შავი ზღვის მტკნარი წყლის ბალანსში მნიშვნელოვანი წილი ეკუთვნის მდინარეთა ჩანადენს, განსაკუთრებით გაზაფხულისა და ზაფხულის პერიოდში. შავ ზღვაში დაახლოებით 1000 მდინარე ჩაედინება, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება წყლიანობით და აუზების სიდიდით. მათ შორის უმრავლესობა მცირე მდინარეა და დაახლოებით მხოლოდ 500 მდინარის სიგრძე აჭარბებს 10 კმ [107]. მდინარეთა მტკნარი წყლის ჯამური ჩამონადენი შავ ზღვაში, არსებული მონაცემებით მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან და მერყეობს დიაპაზონში 294 - 474 კმ³ წელიწადში. [107]-ის თანახმად, შავი ზღვაში ყოველწლიურად მდინარეთა მიერ ჩაედინება 348 კმ³ მტკნარი წყალი. აქედან დაახლოებით 80% მოდის ზღვის აუზის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილზე, სადაც ჩაედინებიან ყველაზე დიდი მდინარეები: დუნაი (200 კმ³/წ), დნეპრი (50 კმ³/წ), დნესტრი (10 კმ³/წ). საქართველოს სანაპიროს გასწვრივ ზღვაში ჩაედინება 150-ზე მეტი მცირე, საშუალო და დიდი მდინარე, რომელთაგან მნიშვნელოვანია რიონი (13,37 კმ³/წ), ჭოროხი (8,71 კმ³/წ), კოდორი (4,17 კმ³/წ), ბზიფი (3,79 კმ³/წ), ერისწყალი (3,15 კმ³/წ). საქართველოს ტერიტორიიდან შავ ზღვაში მდინარეთა წყლების ჩამონადენის ჯამური რაოდენობაა 46 კმ³ წელიწადში.

[107]-ში აღნიშნულია, რომ შავი ზღვის მტკნარი წყლების ბალანსში გათვალისწინებული უნდა იქნას გრუნტის წყლების ჩამონადენი, რის შესახებაც ზუსტი მონაცემები არ მოიპოვება. ავტორის აზრით, მინისქვეშა გზით შავ ზღვაში ჩაედინება ზედაპირული წყლების ჩამონადენის დაახლოებით 5%, და მისი მოცულობა შეადგენს დაახლოებით 17 კმ³ წელიწადში.

[132]-ის თანახმად, თუ ლიტერატურაში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით ვიმსჯელებთ, წყლის ბალანსის კომპონენტების საშუალო მნიშვნელობები შემდეგნაირად გამოიყურება. მდინარეთა მტკნარი წყლის ჩამონადენი $R=355$ კმ³ წელიწადში დაახლოებით ტოლია აორთქლებით წყლის და-

ნაკარგზე $E=-355$ კმ³ წელიწადში. ატმოსფერული ნალექებით მტკნარი წყლის შევსება არის $P=220$ კმ³ წელიწადში. წყლის შემოდინება სრუტეების მეშვეობით არის 255 კმ³ წელიწადში, აქედან ბოსფორის სრუტით წყლის შემოდინებაა 200 კმ³. წყლების გადინება შავი ზღვიდან სრუტეების მეშვეობით შეადგენს -460 კმ³ წელიწადში (მხოლოდ ბოსფორით – -420კმ³). საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ამ მონაცემებით შეფასებული წყლების განახლება შავ ზღვაში შეადგენს 700 წელიწადს [132]. ეს ციფრი მიღებულია ზღვის აუზის მოცულობის შეფარდებით შემოსული წყლების რაოდენობასთან, რაც საშუალოდ შეადგენს 800 კმ³/წ.

[132] -ის თანახმად შავი ზღვის მტკნარი წყლის ბალანსი ხასიათდება მნიშვნელოვნად გამოხატული შიგანლიური ცვალებადობით, რაც ორ პერიოდად შეიძლება დაიყოს: ივლისიდან ოქტომბრის ჩათვლით ბალანსი უარყოფითია ($(R + P) < E$), რაც გამოწვეულია ინტენსიური აორთქლებით ზაფხულ-შემოდგომის პერიოდში; ნოემბრიდან ივნისის ჩათვლით ბალანსი დადებითია ($(R + P) > E$) და მაქსიმუმი მოდის აპრილ-მაისში. გაზაფხულის მაქსიმუმი გამოწვეულია მდინარეთა ადიდებით და მინიმალური აორთქლებით. აორთქლების სივრცითი განაწილება შავი ზღვის ტერიტორიაზე გამოირჩევა არაერთგვაროვნებით, მაქსიმალური აორთქლების არეები იმყოფება ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ და ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში და შეესაბამებინ მაქსიმალური ქარების ზონას.

ნალექების სივრცითი განაწილებისათვის ზოგადად დამახასიათებელია მათი ზრდა სანაპირო ზონებში ზღვის ღია აკვატორიასთან შედარებით [140]. მოსული ნალექების მაქსიმალური რაოდენობით გამოირჩევა ანატოლიისა და საქართველოს სანაპიროები, განსაკუთრებით კი აჭარის სანაპირო ზონა, რასაც ხელს უწყობს სანაპიროსთან მიმდებარე ოროგრაფია. აორთქლება აჭარბებს ნალექებს შავი ზღვის აკვატორიის დიდ ნაწილზე, გარდა საქართველოსა და აღმოსავლეთ თურქეთის სანაპიროებზე.

[218]-ის თანახმად, ქერჩის სრუტის მეშვეობით აზოვის ზღვიდან შავ ზღვაში შედის 53 კმ³ დაბალი მარილიანობის წყალი, ხოლო ქვედა დინებით შავი ზღვიდან გადის 30 კმ³ უფრო მარილიანი წყალი. ბოსფორის ზედა დინებით შავი ზღვიდან მარმარილოს ზღვაში გაედინება 340 კმ³ ნაკლებად მარილიანი წყალი, ხოლო ქვედა დინებით შავ ზღვაში შემოდის 180 კმ³ გაცილებით დიდი მარილიანობის წყალი. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ წყლის მასების გაცვლა ბოსფორის მეშვეობით გავლენას ახდენს არა მარტო შავი ზღვის ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლებზე, არამედ პლანქტონის შემადგენლობაზეც. ბოსფორის ქვედა დინების მეშვეობით პლანქტონური ორგანიზმების მნიშვნელოვანი ნაწილი შემოდის შავ ზღვაში, რომლებიც კარგად ეგუებიან შავი ზღვის გარემოს და მრავლდებიან კიდევ [203].

შავი ზღვის სითბური ბალანსი განხილულია მთელ რიგ შრომებში (მაგ. [94, 132, 202, 218]), მაგრამ ამ შემთხვევაშიც, ისევე როგორც წყლის ბალანსის განხილვისას, მისი შემადგენელი კომპონენტების რაოდენობრივი შეფასებები გარკვეულწილად განსხვავებულია. [132]-ში ცალკეულ შრომებში წარმოდგენილი სითბური ბალანსის კომპონენტების ანალიზის საფუძველზე შეფასებულია ცალკეული კომპონენტების საშუალო მნიშვნელობები: რადიაციული ბალანსი, რომელიც წარმოადგენს მოსული მზის რადიაციისა და ეფექტური გრძელტალღოვანი გამოსხივების სხვაობას, $R=100$ ვტ/მ², ცხადი სითბოს ტურბულენტური ნაკადი $H=13$ ვტ/მ², ფარული სითბოს ტურბულენტური ნაკადი $LE=64$ ვტ/მ². რადიაციული ბალანსი მაქსიმალურია ივნისში [94], ხოლო ზოგიერთი წყაროს მიხედვით ივლისში [117], მინიმალურია დეკემბერში. მარტი-აგვისტოს პერიოდში ზღვა ატმოსფეროსაგან იღებს სითბოს ($H+LE$), ხოლო სექტემბრიდან თებერვლის ჩათვლით ზღვა გადასცემს სითბოს ატმოსფეროს. ზღვიდან ატმოსფეროში სითბოს გადაცემა ყველაზე მეტია შემოდგომაზე. როგორც [132]-შია აღნიშნული, სხვადასხვა ავტორების მიერ გაკეთებული შეფასებები შავი ზღვის აკვატორიაზე სითბური ბალანსის კომპონენტების სივრცითი განაწილების შესახებ განსხვავებულია. ზღვის აკვატორიაზე ჯამური სითბური ბალანსის განაწილების ასეთივე განსხვავებული შეფასებებია გაკეთებული ლიტერატურაში, თუმცა, განაწილების ზოგადი სურათი თითქმის ერთნაირია – ზღვა საშუალოდ წელიწადში იღებს სითბოს ზღვის სამხრეთ ნაწილში და გასცემს ჩრდილოეთ ნაწილში. [94]-ის თანახმად, სითბური ბალანსის ნიშნის შეცვლის საზღვარი გადის ჩ. გ. 44⁰-ზე, რომელიც ზღვას დახლოებით ორ ტოლ ნაწილად ყოფს, თუმცა, ლიტერატურაში აქაც არ არის ერთიანი აზრი.

3.5 შავი ზღვის დაჭუჭყიანება ანთროპოგენური მინარევებით

ცივილიზაციის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე გარემოს დაბინძურებამ გლობალური ხასიათი მიიღო. ზღვებსა და ოკეანეებში ბუნებრივი და ანთროპოგენური წარმოშობის მინარევების გავრცელების შესწავლას დიდი მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია და თანამედროვე ოკეანოლოგიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. აღნიშნული პრობლემისადმი ინტერესი განსაკუთრებით გაძლიერდა გასული საუკუნის მეორე ნახევრიდან, რაც დაკავშირებულია მსოფლიო ოკეანის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებასთან.

განსაკუთრებულ ეკოლოგიურ დატვირთვას განიცდიან ოკეანეებისა და ზღვების სანაპირო ზონები, სადაც მსოფლიოს მოსახლეობის დაახლო-

ებით 60% ცხოვრობს ამ ტერიტორიებზე. სანაპირო ზონა წარმოადგენს მატერიკების ვიწრო წაგრძელებულ ნაწილს, რომელიც მოიცავს ზღვის დონიდან 200 მ ზემოთ და 200 მ ქვემოთ მდებარე ზოლს [158]. სანაპირო შელფურ ზონებშია თავმოყრილი ბიოლოგიური, ენერგეტიკული და მინერალური რესურსების ძირითადი ნაწილი.

ამჟამად, ყოველწლიურად ასეეულობით ტონა სხვადასხვა საყოფაცხოვრებო, სასოფლო-სამეურნეო და სამრეწველო ნარჩენი ხვდება ზღვებსა და ოკეანეებში უშუალოდ ან ატმოსფეროდან. დამაჭუჭყიანებელ ნივთიერებათა შორის ძალზედ დიდია ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების წილი [57, 100]. [100]-ში მოყვანილი მონაცემების თანახმად, ნავთობის ყოველწლიური მოპოვება 2002 წლისათვის შეადგენდა 3 მილიარდ 47 მილიონ ტონას, რომელთაგან 3/5 მოდიოდა საზღვაო გადაზიდვებზე ტანკერების მეშვეობით, ხოლო 2/5 – მილსადენებით ტრანსპორტირებაზე, ე. ი. 2 მილიარდ 84 მილიონ ტონაზე მეტი გადაიზიდებოდა ზღვით და იტვირთებოდა ტერმინალებში. ზღვების საერთო დაჭუჭყიანების 12% მოდიოდა ნავთობით დაჭუჭყიანებაზე მისი ტრანსპორტირების, ტერმინალებში გადმოტვირთვისას და ავარიების დროს.

მრავალი შეფასებით მსოფლიო ოკეანეში ყოველწლიურდ ხვდება 30 ათასზე მეტი სხვადასხვა ქიმიური ნაერთი, რომელთა საერთო მასა შეადგენს დაახლოებით 1,2 მილიარდ ტონას. გარდა ნავთობპროდუქტებისა, ძალზედ საშიში ტოქსიკური დამაბინძურებელი ნივთიერებებია პესტიციდები, მძიმე მეტალები, განსაკუთრებით, ვერცხლისწყალი [119]. ქიმიური დაჭუჭყიანება სერიოზულ საშიშროებას წარმოადგენს არა მარტო ზღვების ეკოსისტემისათვის, არამედ ადამიანთათვის, რომლებიც გამოიყენებენ ზღვის ბიოლოგიურ, მინერალურ და რეკრეაციულ რესურსებს.

ოკეანესა ან ზღვაში მოხვედრილი ნებისმიერი წარმოშობის მქონე (ბუნებრივი ან ანთროპოგენური) მინარევის კონცენტრაციის ველის ფორმირება და ევოლუცია რთული პროცესია და ზოგადად იგი განპირობებულია ერთდროულად რამდენიმე ფაქტორის მოქმედებით. ეს ფაქტორებია: ფიზიკური (სხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში გადასვლა, კოაგულაცია, ადსორბცია, რადიოაქტიური დაშლა და სხვ.), ქიმიური (ქიმიური დაშლა, ქიმიურ რეაქციაში შესვლა სხვა ნივთიერებასთან და სხვ.), ბიოლოგიური (აკუმულაცია და ნივთიერების გადატანა ცოცხალი ორგანიზმების მიერ) და ჰიდროდინამიკური. ჰიდროდინამიკურ ფაქტორებს განეკუთვნება ზედაპირული ტალღები, ნივთიერების გადატანა დინების მიერ (ადვექცია) და დიფუზია, განპირობებული ტურბულენტური გრიგალების არსებობით.

ზღვის გარემოში მოხვედრილი სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მქონე მინარევი სერიოზულ საფრთხეს უქმნის ზღვის ეკოსისტემას [54, 57, 88, 100, 208]; მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ შეუქცევადი პროცესები

ჰიდრობიოსფეროში და უარყოფითი გავლენა იქონიონ ზღვის რესურსებზე, საბოლოო ჯამში კი ადამიანთა ჯანმრთელობაზე. გარდა ამისა, ზღვის ზედაპირის ინტენსიურმა დაჭუჭყიანებამ შეიძლება გამოიწვიოს ოკეანესა და ატმოსფეროს შორის ურთიერთქმედების შესუსტება, რამაც შესაძლებელია გარკვეული ცვლილება შეიტანოს ატმოსფერული პროცესების ბუნებრივ განვითარებაში [206]. ცნობილია, რომ ზღვის ან ოკეანის ზედაპირზე ყოველთვის არის კონტინენტებიდან მოტანილი მტვერი და ნავთობის აფსკები, რომელთა არსებობა ხშირ შემთხვევაში განპირობებულია ანთროპოგენური ფაქტორებით. გამოკვლეულია, რომ ნავთობის აფსკი ზღვის ზედაპირზე ამცირებს აორთქლებას და ზღვის მარილის ნაწილაკების მოხვედრას ატმოსფეროში [164], რომლებიც თავის მხრივ თამაშობენ კრისტალიზაციის ცენტრების როლს ღრუბელთა წარმოქმნის პროცესებში. ამგვარად, ზღვების და ოკეანეების ზედაპირების დაჭუჭყიანებამ სერიოზული ცვლილებები შეიძლება შეიტანოს ატმოსფერული ტენის ბალანსში და ბუნებრივი ჰიდროლოგიური ციკლის დარღვევა გამოიწვიოს. ამ ცვლილებათა რაოდენობრივი შეფასება და პროგნოზი სერიოზული და საკმაოდ რთული მეცნიერული პრობლემაა, რომლის გადაწყვეტაც დაკავშირებულია ერთის მხრივ დაჭუჭყიანების კონცენტრაციების და მათი ოკეანის ზედაპირზე განაწილების ზუსტ ცოდნასთან, ხოლო მეორეს მხრივ, ატმოსფეროს ჰიდრო და თერმოდინამიკური პროცესების დიდი სიზუსტით აღწერასთან ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის მათემატიკური მოდელების საშუალებით.

მინარევების გავრცელება შავ ზღვასა და მსოფლიო ოკეანის სხვა რეგიონებში შეისწავლებოდა და შეისწავლება ექსპერიმენტული და თეორიული მეთოდების გამოყენებით. ამ საკითხისადმი მიძღვნილია ვ. ა. კაგანისა და ვ. ა. რიაზჩენკოს [137], გ. ი. მარჩუკის [181], რ. ვ. ოზმიდოვის [200], ა. ს. მონინისა და რ. ვ. ოზმიდოვის [192], ბ. ა. ნელეპოს [195] ცნობილი მონოგრაფიები.

შავი ზღვისადმი ინტერესი განსაკუთრებით გაიზარდა ბოლო ათეულ წლებში, რომლის ერთ-ერთი მიზეზია შავი ზღვის წყლების მზარდი დაჭუჭყიანება სხვადასხვა ანთროპოგენური მინარევებით. მრავალ ექსპერტთა შეფასებით, შავი ზღვის ეკოლოგიური მდგომარეობა საგანგაშოა და მისი დაჭუჭყიანების დონე თანდათან იზრდება. კარგადაა ცნობილი, რომ შავი ზღვა მსოფლიო ოკეანის ერთ-ერთი ყველაზე დაბინძურებული აუზია [100, 159, 169]. ეს გამოწვეულია არსებული ანთროპოგენური დატვირთვით და ზღვის აუზის სპეციფიკური ჰიდროლოგიური თავისებურებებით. შავი ზღვა მეტად მგრძნობიარეა გარეშე ანთროპოგენური დატვირთვების მიმართ, რადგან იგი თითქმის ჩაკეტილი წყალსატევია და მხოლოდ ბოსფორის ვიწრო სრუტით უკავშირდება მსოფლიო ოკეანეს. დამატუჭიანებელ წყაროებს შორის მნიშვნელოვანია დიდი მდინარეების მიერ ზღვაში შემო-

ტანილი სხვადასხვა ანთროპოგენური ინგრედიენტი. შავ ზღვაში ჩამდინარე მდინარეთა აუზები 22 ქვეყნის მიწებს აერთიანებს. ამიტომ ამ ქვეყნების სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენები მდინარეთა მეშვეობით ძლიერ აბინძურებს ზღვას. ევროპის უამრავი ქვეყანა უშვებს თავის ნარჩენებს შავ ზღვაში მდინარეების დუნაის, პრუტის და დნეპრის მეშვეობით, განსაკუთრებით დიდი დატვირთვა მოდის ზღვის აუზის ჩრდილო-დასავლეთ მეჩხერწყლოვან შელფურ ნაწილზე, სადაც შავი ზღვის ცოცხალი ორგანიზმების დაახლოებით 65% -ია.

ევროპის საპარლამენტო ასამბლეის მიერ მომზადებულ ერთ-ერთ დოკუმენტში [54] მოყვანილია მონაცემები, რომლის თანახმადაც 2008 წლის მდგომარეობით მხოლოდ მდ. დუნაის ყოველწლიურად შავ ზღვაში ჩაჰქონდა 280 ტ კადმიუმი, 60 ტ ვერცხლისწყალი, 900 ტ სპილენძი, 6000 ტ ცინკი, 1000 ტ ქრომი, 50000 ტ ნახშირწყალბადები და სხვ. დანარჩენ მდინარეებს, რომლებიც შავ ზღვას ერთვიან, ზღვაში ყოველწლიურად ჩაჰქონდათ 87 ტ. კადმიუმი, 1500 ტ. სპილენძი, 2600 ტ. ცინკი. გამაჭუჭყიანებელ მინარევებს შეუძლიათ გამოუსწორებელი ზიანი მიაყენონ ზღვის ფლორასა და ფაუნას, ამიტომ შავი ზღვის წყლების მდგომარეობის კონტროლი და პროგნოზი შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანი ამოცანაა.

განსაკუთრებული პრესის ქვეშაა შავი ზღვის სანაპირო ზონა, სადაც ადამიანის საყოფაცხოვრებო და სამეურნეო საქმიანობა გარკვეულ საშიშროებას უქადის ზღვის სანაპირო ეკოსისტემას. სანაპირო ზონის შესწავლის აუცილებლობა დაკავშირებულია აქტიურ ნაოსნობასთან, სხვადასხვა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა და ტექნოლოგიურ პლატფორმათა მშენებლობასთან, ნავთობის, ბუნებრივი აირის და სხვა ბუნებრივი რესურსების მოპოვებასთან, მაღალ ბიოლოგიურ პროდუქტიულობასთან, სანაპირო ზონის რეკრეაციულ ფუნქციასთან და სხვ. უკანასკნელ წლებში მნიშვნელოვნად გააქტიურდა ადამიანის სამეურნეო-ყოფითი საქმიანობა საქართველოს სანაპირო ზონაში, სადაც ყოველწლიურად მატულობს ტურისტთა ნაკადი და სანაპირო ზონის რეკრეაციული ფუნქცია სულ უფრო აქტიუალური ხდება ქვეყნისათვის; იზრდება შესაბამისი სანაპირო ინფრასტრუქტურაც. აქ მდებარეობს აღმოსავლეთ შავი ზღვისპირეთის ერთ-ერთი უდიდესი ბათუმისა და ფოთის პორტები, რომლებიც არსებით როლს თამაშობენ ქვეყნის საგარეო-სავაჭრო კავშირებში. ქვეყნის უდიდესი პორტის – ანაკლიის ღრმანწყლოვანი პორტის აშენების შემთხვევაში, კიდევ უფრო გაიზრდება შავი ზღვის სატრანზიტო მნიშვნელობა ქვეყნისათვის. სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურება საგრძნობლად ზრდის საქართველოს ზღვის სანაპირო ზონის დაბინძურების საშიშროებას ნავთობპროდუქტებითა და სხვა ტოქსიკური ელემენტებით.

3.5.1. ზღვის ნავთობპროდუქტებით დაჭუჭყიანება

შავი ზღვისათვის, ისევე როგორც მსოფლიო ოკეანისათვის, ნავთობი და ნავთობპროდუქტები ყველაზე გავრცელებული და საშიში ინგრედიენტებია ზღვის ეკოსისტემისათვის. ამჟამად, მსოფლიო ოკეანეში თითქმის არ მოიძებნება ისეთი რეგიონი, რომელიც არ განიცდიდეს წყლების ნავთობპროდუქტებით დაჭუჭყიანების გავლენას. თანამედროვე შეფასებებით მსოფლიო ოკეანეში სხვადასხვა წყაროებიდან ყოველწლიურად 1,7-8,8 მილიონი ტონა ნავთობი ხვდება [167].

ნავთობი წარმოადგენს ბლანტ ზეთოვან სითხეს, რომელიც მუქი ყავისფერია და დამახასიათებელი სუნი აქვს. ნედლი ნავთობი სხვადასხვა ნივთიერებათა რთული ნარევი, რომლის ძირითადი კომპონენტებია ნახშირწყალბადები (80-90%). ნავთობი ზღვაში შეიძლება მოხვდეს როგორც ბუნებრივი (მაგ., ზღვის ფსკერზე ტალახის ვულკანების ამოფრქვევები), ასევე ხელოვნური (ნავთობის მოპოვება, საზღვაო გადაზიდვები, მდინარეთა ჩანადენი) გზით.

ნავთობის ლაქების გავრცელება ზღვაში რთული პროცესია და ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ეს ფაქტორებია როგორც გარემოს მდგომარეობა, ასევე თვით ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. ნავთობის გავრცელებისა და კონცენტრაციების ცვლილების მექანიზმი ზღვის გარემოში საკმაოდ დეტალურადაა აღწერილი [89, 118, 159]-ში. ზღვის ზედაპირზე ნავთობის დაღვრის შემდეგ, გრავიტაციული, სიბლანტისა და ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების გავლენით ფორმირდება ნავთობის აფსკი, რომლის სისქე დაახლოებით 20-30 მკმ აღწევს [89], თუმცა ლიტერატურაში სხვა შეფასებებიც არის. განირთხმება რა ზღვის ზედაპირზე, ნავთობის აფსკი იწყებს დრეიფს, იცვლის ზომებს და კონფიგურაციას ქარის, დინების, ტალღებისა და ტურბულენტური დიფუზიური პროცესების გავლენით. ამავე დროს ნავთობის კონცენტრაციები იცვლება სხვადასხვა ფიზიკური და ბიოქიმიური ფაქტორების გავლენით. ეს ფაქტორებია ნავთობის აორთქლება, დისპერგირება, ემულგირება, ბიოდეგრადაცია, სედიმენტაცია და სხვ.

აორთქლების სიჩქარე ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრია ნებისმიერი სახეობის ნავთობისთვის და იგი დამოკიდებულია როგორც ნავთობის ფრაქციულ შემადგენლობაზე და ზედაპირზე განღვრილი ნავთობის ფართობზე, ასევე გარეშე პირობებზე – ზღვის ტემპერატურასა და ქარის სიჩქარეზე. ნავთობი წარმოადგენს ნახშირწყალბადური შენაერთების ნარევს და მისი დაღვრის შემდეგ დაბალი დუღილის ტემპერატურის მქონე აქროლადი კომპონენტები სწრაფად აორთქლდება. ამიტომ, რომ აორთქლების ინტენსივობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნავთობის შე-

მადგენლობაზე. [89]-ის თანახმად, საშუალოდ, აორთქლების შედეგად ნავთობის მასის 1/3-დან 2/3-მდე იკარგება ნავთობის ჩალვრიდან რამდენიმე საათიდან 24 სთ-მდე დროის პერიოდში.

დისპერგირება წარმოადგენს წყლის ზედაპირიდან ნავთობის მოცილების პროცესს და ნავთობის მცირე წვეთების გაჩენას წყლის სისქეში ზედაპირული ტალღებისა და ტურბულენტური დიფუზიის ზემოქმედებით. რაც უფრო დიდია ტალღური ენერჯია, მით მეტია დისპერსიის სიჩქარე. დისპერსიის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ნავთობის სიბლანტე, რომელიც მცირდება ნავთობის მაღალი სიბლანტის შემთხვევაში. დისპერგირებული ნავთობი წყლის სისქეში არსებობს მცირე წვეთების სახით, რომელთა დიამეტრი 1-50 მიკრომეტრ დიაპაზონში იცვლება. მათი ვერტიკალური განაწილება, გარდა ტურბულენტური დიფუზიისა, განისაზღვრება ნავთობის წვეთების ზომებითა და სიმკვრივით.

ემულგირება დისპერგირების საინინალმდეგო პროცესია, როდესაც ტალღების მექანიკური ზემოქმედების შედეგად წყლის წვეთები ერევა ნავთობის ლაქას და წარმოიქმნება ემულსია „წყალი ნავთობში“. ემულგირების პროცესს, ისევე როგორც აორთქლებას, თან ახლავს ნავთობის სიბლანტის გაზრდა. ნავთობის აფსკი ემულგირებულ მდგომარეობაში შეიძლება შეიცავდეს 70%-მდე წყალს, ხოლო მისმა სიმკვრივემ შესაძლოა 100 და 1000-ჯერ გადააჭარბოს საწყისი ნავთობის სიმკვრივეს [89].

ნავთობის ზოგიერთი კომპონენტი კარგად იხსნება წყალში და ხდება ზღვის წყლის ნაწილი, მაგრამ ეს უნდა განვასხვავოთ დისპერგირებისაგან, როდესაც ხდება ნავთობის წვეთების წარმოქმნა წყალში.

ბიოდეგრადაცია ნელი პროცესია, როდესაც წარმოებს ნავთობის ნახშირწყალბადების დაშლა სხვადასხვა მიკროორგანიზმების გავლენით.

ფოტოდაჟანგვა მნიშვნელოვანი პროცესია, რომელიც იწვევს ნავთობის აფსკის ეროზიას და ცვლის მის თვისებებს ნავთობის დაჟანგვის შედეგად წარმოშობილი პროდუქტების გავლენით.

ნავთობის *სედიმენტაცია* იწყება მაშინ, როდესაც აორთქლებისა და ემულგირების შედეგად ნავთობის სიმკვრივე წყლის სიმკვრივეზე მეტი ხდება და ხდება ნავთობის დალექვა ზღვის ფსკერზე.

აორთქლება, დისპერგირება, ემულგირება და ნავთობის გახსნა წყალში ხდება ნავთობის ჩალვრიდან პირველ დღეებისა და კვირების განმავლობაში, და მნიშვნელოვნად ცვლის ნავთობის ფიზიკურ თვისებებს (სიბლანტე, სიმკვრივე). ბიოდეგრადაცია, ფოტო და თვითდაჟანგვა, სედიმენტაცია უფრო ხანგრძლივი დროის შემდეგაა შესამჩნევი და ნავთობის ჩალვრიდან პირველ ხანებში მათი წვლილი ნავთობის ტრანსფორმაციის პროცესში უმნიშვნელოა.

გარდა იმისა, რომ ზღვის ზედაპირის დაფარვა ნავთობის ლაქებით მნიშვნელოვნად მოქმედებს ზღვა-ატმოსფეროს ურთიერთქმედების და-

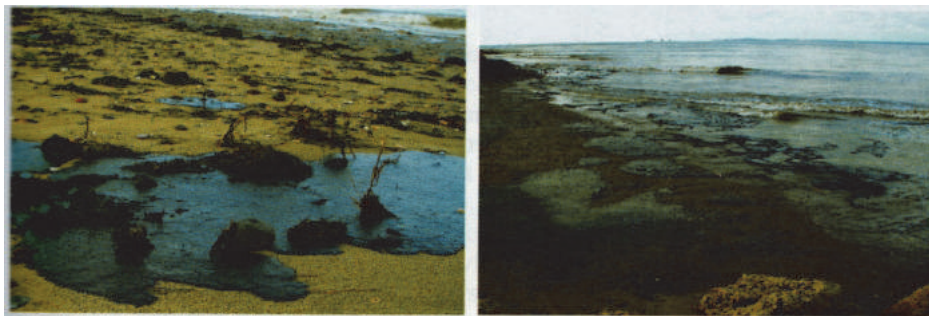
მახასიათებელ პარამეტრებზე, ნავთობით დაჭუჭყიანება არსებით გავლენას ახდენს მთელ რიგ ჰიდროქიმიურ და ჰიდრობიოლოგიურ პროცესებზე ზღვებსა და ოკეანეებში. ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 70-80-იან წლებში ნოვოროსიისკის ბიოლოგიურ სადგურში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ნოვოროსიისკის ყურის ნავთობით დაჭუჭყიანებამ გამოიწვია გარკვეული ცვლილებები ზღვის მცენარეთა და ცხოველთა სახეობების განაწილებაში [100]. მაგალითად, წყალმცენარეთა სახეობებმა ზოსტერამ და ცისტოზერამ, რომლებიც დიდი რაოდენობით ვითარდებოდნენ ზღვის ყველაზე მეჩხერწყლოვან ნაწილში, დაიხიეს სიღრმეში რამდენიმე ასეული მეტრით. მიდიებმა, რომლებიც მრავლად იყო უბის შუა ნაწილში, გადაინაცვლეს ზღვის ღია, ღრმა ნაწილში, სადაც წყალი ნაკლებად დაჭუჭყიანებულია. ნავთობპროდუქტები არსებით გავლენას ახდენენ შავი ზღვის ზოოპლანქტონზე. გამორკვეულია, რომ 2 მგ/ლ ნავთობის კონცენტრაციის დროს გარკვეული სახეობის ზღვის კიბოების ლიფსიტები ილუპებიან დაახლოებით 4 დღე-ღამის განმავლობაში. მოლუსკი 10 მგ/ლ კონცენტრაციის დროს 2 დღე-ღამის შემდეგ ილუპება, ხოლო 5 მგ/ლ კონცენტრაციის დროს – 13 დღე-ღამის შემდეგ [100]. თევზები, რომლებიც ცხოვრობენ წყალში, რომელიც შეიცავს 0,6 მგ/კგ-ზე მეტ ნავთობპროდუქტს, იღებენ ნავთობის სპეციფიკურ სუნს. ნავთობის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია თევზებისათვის არის წყალში ნავთობის შემცველობა პროპორციით 1:10000.

[159]-ში მოყვანილი მონაცემების თანახმად ნავთობის ყოველწლიური ჩადინება შავ ზღვაში 2003 წლისათვის შეადგენდა 110000 ტ-ს. ნავთობპროდუქტებით ზღვის გარემოს დაჭუჭყიანების ძირითადი წყაროებია მდინარეთა, საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ჩანადენები, საპორტო ოპერაციები შავი ზღვის პორტებში, ტანკერების მოსალოდნელი ავარიები და არასანქცირებული ჩაღვრები, ნავთობის გადინება ტერმინალებიდან, საიდანაც ხდება გემების დატვირთვა ნავთობპროდუქტებით. გარდა ნავთობის გადაზიდვის ტრადიციული მეთოდებისა, მომავალში მოსალოდნელია შავი ზღვის ფსკერზე ნავთობის მილსადენების გაყვანა, რაც ეკონომიკურად მომგებიანია და თითქოს უსაფრთხოც, მაგრამ არა არის გამორიცხული ნავთობის ავარიული გადინება ამ შემთხვევაშიც.

უკანასკნელ წლებში შავ ზღვაში მომხდარ ნავთობის ჩაღვრის მაგალითებს შორის შეიძლება დავასახელოთ 1999 წლის ნოემბერში ქ. ნოვოროსიისკთან მომხდარი ავარიული ჩაღვრა, როდესაც ტერმინალის დაზიანების გამო 39 ტ ნავთობი ჩაიღვარა ზღვაში [159].

განსაკუთრებით დიდი მასშტაბის ავარიულ ჩაღვრას ქონდა ადგილი 2007 წლის 10 და 11 ნოემბერს ქერჩის სრუტეში, სადაც შტორმის შედეგად დაზიანდა და ჩაიძირა მრავალი გემი, დაილუპნენ ადამიანები და ზღვაში

ჩაიღვარა დიდი რაოდენობით ნავთობი [57, 114]. ამ დროს ქარის სიჩქარემ 30 მ/წმ-ს გადააჭარბა, ხოლო ზღვის ტალღების სიმაღლე 4 მ აღწარებდა. ეს შემთხვევა დეტალურადაა აღწერილი შავი ზღვის დაჭუჭყიანებისაგან დაცვის კომისიის (Commission for the Protection of the Black Sea Against Pollution) მიერ მომზადებულ წიგნში [57]. ეს იყო უპრეცედენტო შემთხვევა შავი და აზოვის ზღვებისათვის, რომლის დროსაც ერთ დღეში 4 გემი ჩაიძირა, კიდევ 6 გემი მეჩქრს შეეჯახა, დაზიანება მიიღო ორმა ტანკერმა. მათ შორის, დაზიანებული ტანკერიდან „ვოლგონეფტ-139“ ზღვაში ჩაიღვარა 2000 ტონაზე მეტი მასუთი, ხოლო ჩაძირულ ხომალდებზე იმყოფებოდა 7000 ტ გოგირდი.



ნახ. 3.11. ნავთობის ლაქები ქერჩის სანაპიროზე (ტუზლას ნახევარკუნძული). 12 ნოემბერი 2007 წ [57]

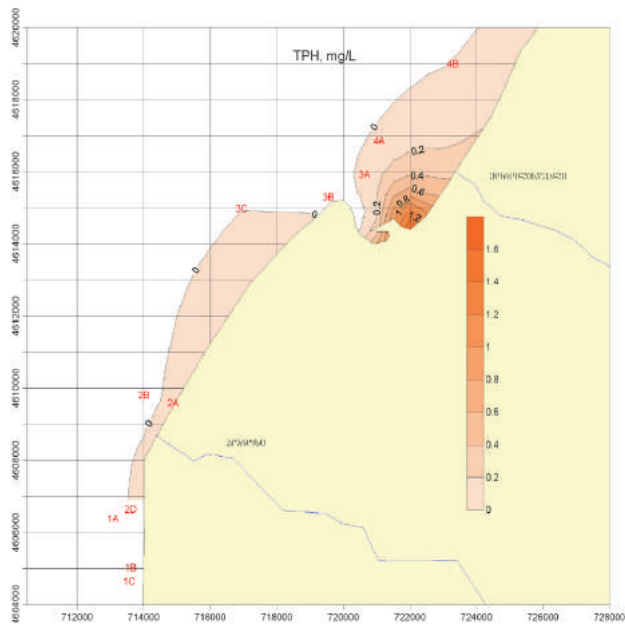
დიდი ზარალი მიადგა ფლორასა და ფაუნას. დაახლოებით 2000 ფრინველი დაიღუპა მაშინვე, ხოლო 30000 ფრინველი სრულიად დაისვარა ნავთობით, რაც უმრავლეს შემთხვევაში ფრინველთა დაღუპვით მთავრდება. ეკონომიკურმა ზარალმა, ოფიციალური მონაცემებით შეადგინა 6,5 მილიარდი რუბლი. მხოლოდ ფრინველებითა და თევზების დაღუპვით გამოწვეული ზარალი შეფასდა დაახლოებით 4 მილიარდი რუბლით. ნახ.



3.11 და 3.12-ზე ნაჩვენებია 2007 წლის 12 ნოემბერს ნავთობით დაჭუჭყიანებული ქერჩის სანაპიროები [57].

ნახ. 3.12. ფრინველი ნავთობით დაჭუჭყიანებულ სანაპიროზე პორტ კავკაზთან [57]

უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში შავ ზღვასა და განსაკუთრებით ბოსფორის სრუტეში მოხდა გაცილებით დიდი მასშტაბის ნავთობის ავარიული ჩაღვრები, ვიდრე ეს იყო 2007 წლის ნოემბერში ქერჩის სრუტეში. 1960 წლის დეკემბერში საბერძნეთისა და იუგოსლავიის გემების შეჯახებისას ბოსფორის სრუტეში 18000 ტ ნავთობი ჩაიღვარა; 1977 წლის ოქტომბერში ბოსფორის სრუტეში საბჭოთა კავშირის ტანკერის დაზიანებისას 20000 ტ ნავთობის ჩაღვრა მოხდა. ყველაზე მასშტაბური იყო 64000 ტ ნავთობის ჩაღვრა ბოსფორის სრუტეში რუმინეთისა და საბერძნეთის ტანკერების შეჯახებისას 1979 წლის ნოემბერში [57]. შედარებით მცირე მასშტაბის ავარიულ ჩაღვრებს ქონდათ ადგილი ბოლო 20 წელიწადში ბულგარეთის, რუმინეთის, რუსეთისა და უკრაინის სანაპირო წყლებში გემების ავარიისას.



ნახ. 3.13. ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობა ზღვის წყალში გონიო-ნატანების მონაკვეთზე (2009 წ.) [3]

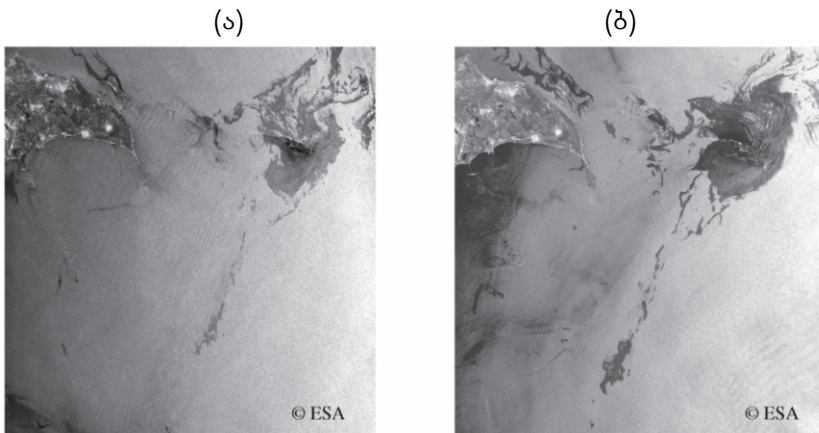
2008-2009 წლებში შავი ზღვის საქართველოს სექტორის აკვატორიაში, კერძოდ, ბათუმი-გონიოს მონაკვეთზე ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობა 0,04-1,74 მგ/ლ დიაპაზონში იცვლებოდა [3]. მაქსიმალური მნიშვნელობა 1,74 მგ/ლ მდ. ბარცხანას ზღვასთან შესართავის რაიონში აღინიშნა. ბათუმის პორტის შიდა აკვატორიაში დაფიქსირდა 0,52 მგ/ლ. მიღებული მონაცემების სა-

ფუძველზე შედგენილი ნავთობის ნახშირწყალბადების განაწილება ნაჩვენებია ნახ. 3.13-ზე.

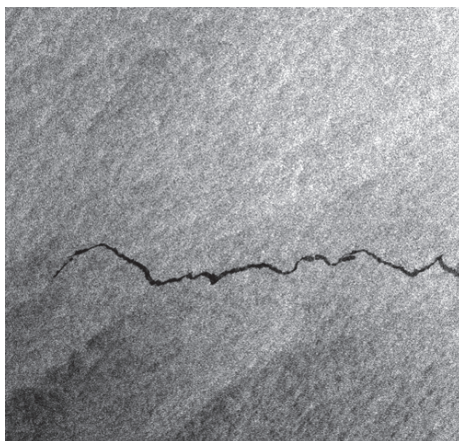
[3]-ში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა ასევე, რომ გამოკვლევულ მდინარეთა შორის ნავთობის ნახშირწყალბადებით ზღვის ძირითადი დამაბინძურებლებია: ბარცხანა, ყოროლისწყალი, სუფსა და ხობი. 2009 წლის მონაცემებით მდ. ყოროლისწყალში ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია 161-ჯერ აღემატებოდა დასაშვებ ნორმას – 0.3 მგ/ლ-ს.

3.5.2. თანამგზავრული რადიოლოკაცია და ნავთობით დაჭუჭყიანების მონიტორინგი

შავი ზღვის ეკოსისტემა განიცდის მზარდ ანთროპოგენურ ზემოქმედებას, რაც მნიშვნელოვნადაა დაკავშირებული ნავთობის ტრანსპორტირებასთან, ამიტომაც შავი ზღვის ეკოლოგიური მონიტორინგის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა (ისევე როგორც სხვა ზღვებისათვის) თანამგზავრული რადიოლოკაციური მონიტორინგის სისტემის განხორციელება, რაც ოპერატიულად მოახდენს დაჭუჭყიანების არეებისა და შესაბამისად წყაროების იდენტიფიკაციას მთელი აუზის მასშტაბით. ამ მიზნით თანამედროვე კოსმოსური რადიოლოკაცია წარმოადგენს მეტად ეფექტურ საშუალებას, რადგანაც მას ისეთი მნიშვნელოვანი დადებითი მხარეები გააჩნია, როგორცა მაღალი გარჩევისუნარიანობა, დიდ ფართობზე მონიტორინგის ერთდროული განხორციელება ნებისმიერი ამინდის პირობებში და სხვ. ზედაპირზე დაღვრილი ნავთობის მიერ წარმოქმნილი აფსკი (ისევე როგორც სხვადასხვა ზეთებისა და ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა მიერ წარმოქმნილი აფსკები) ახშობს ქარით ინდუცირებულ ზედაპირული ტალღების მოკლე მასშტაბიან კომპონენტებს და წარმოქმნის გაგლუვებულ არეებს (slicks), ლაქების ან ზოლების სახით, რომლებიც ვიზუალურს ხდის ნავთობით დაჭუჭყიანებულ ზღვის ზედაპირებს. რადიოლოკაციურ გამოსახულებებზე ეს გლუვი ზედაპირები მუქი ტონით ჩანს. ამასთანავე, უნდა აღინიშნოს, რომ თანამგზავრული რადიოლოკაციის გამოყენება ზღვის დაჭუჭყიანების მონიტორინგის მიზნით ეფექტურია ქარის სიჩქარის 3-8 მ/წმ დიაპაზონში [169]. სუსტი ქარის დროს (1-2 მ/წმ) ნავთობის ლაქები არ განირჩევა მუქი ზღვის ზედაპირის ფონზე, ხოლო ძლიერი ქარის დროს (10-12 მ/წმ), ნავთობის აფსკი ზღვის ზედაპირზე ქრება ინტენსიური ტალღური შერევის გამო. ნახ. 3.14-ზე წარმოდგენილია კასპიის ზღვის აკვატორიის თანამგზავრული რადიოლოკაციური სურათი, სადაც მუქი ფერით კარგად ჩანს ნავთობის ლაქები ზღვის ზედაპირზე [169]. ნახ. 3.15-ზე გამოსახულია თანამგზავრიდან დაფიქსირებული გემის მოძრაობის ტრაექტორიის გასწვრივ ნავთობის ჩაღვრის კვალი.



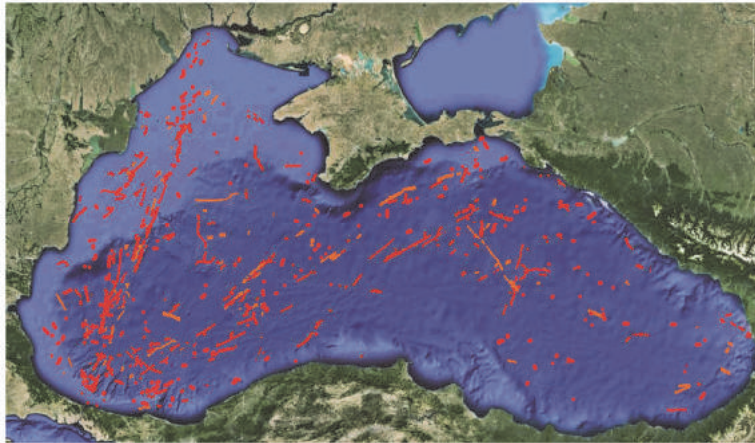
ნახ. 3.14. ნავთობის ლაქების რადიოლოკაციური გამოსახულებები (კასპიის ზღვა) თანამგზავრებიდან –ERS-1 12 მაისს (ა) და ERS-2 13 მაისს, 1996 წ (ბ) [169]



ნახ. 3.15. გემის მოძრაობის ტრაექტორიის გასწვრივ ნავთობის ჩაღვრის კვალი თანამგზავრ ERS-1-იდან მიღებულ რადიოლოკაციურ გამოსახულებაზე (20.05.1994, 14:20 UTC) [197]

შავი ზღვის აკვატორიის თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად 2009-2011 წწ-ში გამოვლინდა ზღვის ზედაპირის ნავთობით დაჭუჭყიანების 600-ზე მეტი შემთხვევა გემების მიერ განხორციელებული ჩაღვრების შედეგად. ნახ. 3.16-ზე ნაჩვენებია [191]-ში მოყვანილი განზოგადოებული რუკა-სქემა შავი ზღვის აკვატორიაში დაფიქსირებული გემებიდან ნავთობის ჩაღვრებით გამოწვეული დაჭუჭყიანებული ადგილებისა, რომლებიც მიღებულია თანამგზავრული რადიოლოკაციური მონაცემების დამუ-

შავების გზით. როგორც მოსალოდნელი იყო, გემებიდან ჩაღვრები კონცენტრირებულია ძირითადი სანავიგაციო ტრასების გასწვრივ: სტამბული-ნოვოროსიისკი, სტამბული-ოდესა, და სტამბული-ტუაფსე.



ნახ. 3.16. 2009-2011 წწ-ში თანამგზავრული რადიოლოკაციის მონაცემების საფუძველზე აღმოჩენილი გემების მიერ შავ ზღვაში განხორციელებული ნავთობმემცველი ჩაღვრების განზოგადოებული რუკა [191]

ამჟამად, ოპერატიული თანამგზავრული მონიტორინგის სისტემა წარმატებით მუშაობს მსოფლიო ოკეანის სხვადასხვა რეგიონებში, მათ შორის შავი ზღვის რუსეთის სექტორში, ბალტიის ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, კასპიის ზღვის ჩრდილოეთ ნაწილში და სხვ [75, 160, 167, 168, 172].

3.5.3. ზღვის დაჭუჭყიანება მძიმე მეტალებითა და პესტიციდებით

ტოქსიკოლოგიური შეფასებებით მძიმე მეტალები იკავებს მეორე ადგილს დამაჭუჭყიანებელ ნივთიერებებს შორის პესტიციდების შემდეგ [176]. მძიმე მეტალები არის ქიმიური ელემენტების ჯგუფი 50-ზე მეტი ატომური მასით, რომლებსაც გარკვეული კონცენტრაციის დროს შეიძლება ქონდეთ ტოქსიკური მოქმედება. მძიმე მეტალებს მიეკუთვნება დაახლოებით 40 ქიმიური ელემენტი, რომელთაგან ყველაზე საშიშია ვერცხლისწყალი (Hg), ტყვია (Pb), კადმიუმი (Cd), კობალტი (Co), ნიკელი (Ni), ვანადიუმი (V), დარიშხანი (As), ცინკი (Zn). მათი მოხვედრა ბიოსფეროში დაკავშირებულია ტექნოლოგიურ პროცესებთან; ესაა შავი და ფერადი

მეტალურგიის მაღალტექნოლოგიური ტექნოლოგიები, მინერალური საწვავის წვა, პესტიციდების მაღალი დოზის შემცველი მინერალური სასუქების გამოყენება, მეტალურგიულ საწარმოთა ნარჩენების ჩამონარეცხი. შედეგად, ხდება ნიადაგისა და წყლის ობიექტების დაჭუჭყიანება მრავალ ასეულ კილომეტრებზე [90]. მძიმე მეტალები ხვდება ატმოსფეროშიც და გადაიტანება ჰაერის დინებების მიერ შორ მანძილებზე. ისინი დიდ საფრთხეს წარმოადგენს ზღვის ფლორასა და ფაუნისათვის და, ცხადია, ადამიანისთვისაც.

წყლის ორგანიზმები კარგი ბიონდიკატორებია ზღვის მძიმე მეტალებით დაჭუჭყიანების შესასწავლად, მათ შორის ზღვის წყალმცენარეები და მოლუსკები ყველაზე ხშირად გამოყენებადი ინდიკატორებია [30]. ეს ორგანიზმები ბიოფილტრებია, რომლებიც ახდენენ წყლიდან მცირე ნაწილაკების აკუმულირებას და ამიტომ მათ ქსოვილებში დამაჭუჭყიანებელი ინგრედიენტების შემცველობა ზღვის გარემოს დაჭუჭყიანების მაჩვენებელია. მძიმე მეტალების ბიოაკუმულაცია მნიშვნელოვანი ფაქტორია კვებით ჯაჭვში. თევზები, რომლებიც მნიშვნელოვანი კვების წყაროა ადამიანთათვის, კვებით ჯაჭვში ბოლო საფეხურზე დგანან. ასე რომ, საბოლოოდ მძიმე მეტალები ადამიანის ორგანიზმში ხვდება.

გამოკვლევები აჩვენებს, რომ შავი ზღვის დაჭუჭყიანება მძიმე მეტალებით საგანგაშოა [30, 71]. მძიმე მეტალები შავ ზღვაში ხვდებიან დიდ მდინარეთა მეშვეობით, ატმოსფეროდან და სამრეწველო ნარჩენების პირდაპირ ზღვაში ჩაშვებით. გარდა ამისა, [226]-ში აღნიშნულია, რომ შავი ზღვის დასავლეთ აკვატორიის დანაგვიანება ქიმიური ნარჩენებით ხდება გემების მიერ ქიმიური ნივთიერებათა ზღვაში ჩაღვრით. დაჭუჭყიანების ძირითადი წყარო მდინარეებია. [71]-ში მოყვანილი შეფასებების თანახმად, 1992 წლისათვის ყოველწლიურად შავ ზღვაში ჩადიოდა 90000 ტ რკინა, 12000 ტ ცინკი, 45000 ტ ტყვია, 80 ტ ვერცხლისწყალი, 2800 ტ სპილენძი და 1500 ტ ქრომი. ბულგარეთის სანაპიროზე 17 მდინარესა და 3 ტბას მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს შავი ზღვის დაჭუჭყიანებასა და ევტროფიკაციაში [53]. შავი ზღვის ეკოსისტემის მძიმე მეტალებით დაჭუჭყიანების შეფასება ხდება მძიმე მეტალების შემცველობის განსაზღვრით დანალექებში, ზღვის წყალსა და ორგანიზმებში [30]. ფსკერულ დანალექებში მეტალების შემცველობა შავ ზღვაში საკმაოდ მაღალია და ეს მნიშვნელოვან საშიშროებას წარმოადგენს ზღვის ცოცხალი სამყაროსათვის; მეტალები დანალექებიდან კვლავ ზღვის წყლის ფენებში ბრუნდებიან და ამგვარად ფსკერული დანალექები „მეორეული“ დაჭუჭყიანების წყაროს როლში გამოდის. ზღვის ცოცხალ ორგანიზმებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციების შესწავლა საიმედო ინფორმაციას გვაძლევს ზღვის გარემოს მძიმე მეტალებით დაბინძურების შესახებ.

რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის შირშოვის სახელობის ოკეანოლოგიის ინსტიტუტის მეცნიერთა მიერ 2013 წელს ჩატარებული კვლევების შედეგად გამოიკვია, რომ შავი ზღვის რეგიონებში ზღვის ზედაპირი დაფარულია აფსკით, რომელიც შეიცავს მძიმე მეტალების დიდ კონცენტრაციებს. თანაც, დაიკვირვება აფსკის ზრდის ტენდენციები. როგორც გამოიკვია ასეთ აფსკში ტყვიის კონცენტრაცია 100-ჯერ მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივ ზღვის წყალში [90].

[226]-ში შავი ზღვის თურქეთის აკვატორიაში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად გამოიკვია, რომ აკვატორიის დასავლეთ ნაწილის ზემოთ ატმოსფეროში მრავალი ქიმიური ელემენტის კონცენტრაცია 2-ჯერ მეტი იყო ვიდრე აღმოსავლეთ აკვატორიის ზემოთ ატმოსფეროში. გამოკვლევებმა აგრეთვე აჩვენა, რომ შავი ზღვის ზემოთ ატმოსფეროში ანთროპოგენური მეტალებით დაჭუჭყიანების მთავარი წყაროა ევროპის ქვეყნები. დროთა განმავლობაში ქიმიური ნივთიერებები ატმოსფეროდან ხვდებიან ზღვის აკვატორიაში.

შავი ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში 1981-1985 წწ-ში განხორციელებული მონიტორინგის შედეგებმა აჩვენა მძიმე მეტალების შემდეგი კონცენტრაციები სანაპირო დანალექებში: ვერცხლისწყლის – 30-160 ნგ/გ, კადმიუმის – 0.04-31,8 მგ/გ, ტყვიის – 2,3-60 მგ/გ. უფრო მაღალი კონცენტრაციები დაიკვირვებოდა მდ. დუნაის მიმდებარე აკვატორიაში და ბოსფორთან, შედარებით დაბალი კონცენტრაციები დაიკვირვებოდა სპილენძისათვის – 2-49 მგ/გ.

მრავალჯერადი გამოკვლევები აჩვენებს, რომ შავი ზღვა მდიდარია კადმიუმით, კობალტით, სპილენძით და ნიკელით [30], ისევე როგორც სხვა რეგიონული ზღვები.

[3]-ში ჩატარებულია შავი ზღვის საქართველოს სექტორის აკვატორიის და მასში შემავალ მდინარეთა საკმაოდ დეტალური ეკოლოგიურ-გეოქიმიური კვლევა, რამაც მნიშვნელოვანი წარმოდგენა შეგვიქმნა ფსკერულ ნალექებში სხვადასხვა ლითონთა შემცველობის შესახებ. კვლევის შედეგები იძლევიან საფუძველს დავასკვნათ, რომ მდ. რიონის ფსკერულ ნალექებში ლითონთა შემცველობა სტაბილურია. გამონაკლისია თუთია, რომელიც საყოფაცხოვრებო დაბინძურების ერთ-ერთი ინდიკატორია. მას ახასიათებს მიგრაციის მაღალი უნარი და შესაბამისად, კონცენტრაციის ფართო დიაპაზონი.

მდ. რიონის ნატანში და მისი შესართავის მიმდებარე ზღვის ფსკერულ ნალექებში არსებული მანგანუმის და დარიშხანის ანთროპოგენურ წყაროს წარმოდგენს სასარგებლო წიაღისეულის საბადოები, გადამამუშავებელი სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატები და მეტალურგიური საწარმოები. მანგანუმი და დარიშხანი ზღვის შესართავში აღწევს გახსნილი

ფორმით, შეტივნარებული მასალის და ფსკერული ნალექის სახით. მდ. რიონის ფსკერული და შეტივნარებული ნატანი მანგანუმს დაახლოებით ერთნაირი რაოდენობით შეიცავს, ხოლო დარიშხანის რაოდენობა შეტივნარებულ ნივთიერებებში ორჯერ მეტია, ფსკერულ ნალექებში მის შემცველობასთან შედარებით.

მდ. ჭოროხის შესართავისა და ქ. ბათუმის აკვატორიის ფსკერული ნალექები გამოირჩევა სპილენძის, თუთიისა და დარიშხანის გაზრდილი მაჩვენებლებით.

პესტიციდები მცენარეული სამყაროს მავნებლებისა და ავადმყოფობისაგან დაცვის ქიმიურ და ბიოლოგიურ საშუალებათა საერთო სახელწოდებაა. წყლის გარემო ბინძურდება პესტიციდების შემდეგი სახეობებით: ფუგიციდებით, ჰერბიციდებით და განსაკუთრებით ინსექტიციდებით. მართალია პესტიციდების გამოყენება სოფლის მეურნეობაში დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა, მაგრამ მათი გამოყენება უსაფრთხოების წესების დაცვის გარეშე ინვესტს გარემოს, მათ შორის წყალსატევების, დაბინძურებას და საბოლოო ჯამში, ადამიანის ჯანმრთელობის დაზიანებას. კვებით ჯაჭვში მოხვედრილი პესტიციდები განაპირობებენ ადამიანის ორგანიზმზე ხანგრძლივ ზემოქმედებას და ზრდიან მრავალი დაავადების განვითარების რისკს. პესტიციდების ზეგავლენით ხდება ბუნებაში ცოცხალი ორგანიზმების პოპულაციების შემცირება და ეკოსისტემების მთლიანობის დარღვევა. თურქი მეცნიერების მიერ ჩატარებულმა გამოკვლევებმა შავი ზღვის თურქეთის აკვატორიაში აჩვენა, რომ პესტიციდების შემცველობა აკვატორიის აღმოსავლეთ ნაწილში მეტია, ვიდრე დასავლეთ ნაწილში. ეს აიხსნება ამ რეგიონის მოსახლეობის მიერ პესტიციდების აქტიური გამოყენებით სოფლის მეურნეობაში. ერთ-ერთი გამოკვლევისას (1974-1975 წწ.) პესტიციდები აღმოჩენილი იქნა შავი ზღვის სხვადასხვა სახეობის თევზების ქსოვილებში [226].

3.5.4. ეკოლოგიური პრობლემები და იხტიოფაუნა

სანაპირო ზღვის ეკოსისტემები არ არიან მუდმივ, მდგრად მდგომარეობაში, მათი პროდუქტიულობა და სახეობითი შემადგენლობა უწყვეტად იცვლება და დამოკიდებულია მრავალ გარეშე ფაქტორზე, როგორც ბუნებრივზე ასევე ანთროპოგენურზე. დღეისათვის, საზოგადოებისათვის ეჭვს არ იწვევს ის ფაქტი, რომ ზღვის რესურსები და, საერთოდ, ბუნებრივი რესურსები არ არის ამოუწურავი და მათი ექსპლუატაცია და საზოგადოებისათვის სასიკეთოდ გამოყენება გონივრულ საფუძველს უნდა ემყარებოდეს. რაციონალური ბუნებათსარგებლობა მოითხოვს ბუნებრივი რესურსების მოხმარების ოპტიმიზაციას როგორც ეკონომიკური, ასევე ეკოლო-

გიური კრიტერიუმების გათვალისწინებით. ცნობილია, რომ მეცნიერულად დაუსაბუთებელ და არაგონივრულ ურთიერთქმედებას სხვადასხვა ეკოსისტემებთან საზოგადოების მხრიდან, ხშირად მივყავართ ასეთი სისტემების ბუნებრივი ნონასწორული მდგომარეობის დარღვევისაკენ და მათი პირვანდელი მდგომარეობის აღდგენა მნიშვნელოვან დანახარჯებთან არის დაკავშირებული [230].

ბიომრავალფეროვნების თვალსაზრისით შავი ზღვა, ხმელთაშუა ზღვასთან შედარებით, მწირია. ამას განაპირობებს ისეთი ფაქტორები, როგორებიცაა შავი ზღვის წყლების დაბალი სიმლაშე, წყლის შედარებით დაბალი ტემპერატურა და უჟანგბადო, მომწამლავი გოგირდწყალბადით დაჭუჭყიანებული 100-150 მ სიღრმის ქვემოთ მდებარე ფენები. ამიტომ, სითბოს მოყვარული და წყლის მაღალ მარილიანობასთან შეგუებული ღრმა წყლის ორგანიზმები, რომლებიც მრავლადაა ხმელთაშუა ზღვაში, შავ ზღვაში არ გვხვდება.

დაახლოებით გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან ადამიანის სამეურნეო საქმიანობამ და მდინარეებმა შავი ზღვის ბიომრავალფეროვნებას სერიოზული საფრთხე შეუქმნა. ზღვის პოპულაციები საგრძნობლად შემცირდა გადამეტებული თევზჭერის, არამკვიდრი ორგანიზმების შემოჭრის და დაბინძურების გამო.

შავი ზღვის სარენაო მნიშვნელობა განისაზღვრება როგორც თევზების, ისე სხვა ბიოლოგიური რესურსებითაც: წყალმცენარეებით, მოლუსკებით, კიბოსნაირებით და სხვ. ყველა შავი ზღვისპირა ქვეყნისათვის ზღვის ბუნებრივი რესურსები და მათ შორის თევზჭერა სანაპირო ზონის განვითარების მნიშვნელოვანი მხარეა და დიდი სოციალურ-ეკონომიკური მნიშვნელობა გააჩნია ამ ქვეყნებისათვის. ინტენსიურმა თევზჭერამ კრიზისულ მარევენებელს მიაღწია მსოფლიო ოკენის ბევრ რეგიონში. ცნობილია, რომ გადაჭარბებული თევზჭერა ქმნის ეკოლოგიური სიტუაციის გამწვავების მაღალ რისკს. ზღვის სანაპირო ეკოსისტემების პროდუქტიულობა და სახეობითი შემადგენლობა შესაძლოა ძალიან მგრძნობიარე აღმოჩნდეს ადამიანის მხრიდან ზღვის ბიოლოგიური რესურსების გადამეტებული ექსპლუატაციისადმი. ერთ-ერთი ძირეული საკითხი თევზის მარაგის წარმატებული და მდგრადი ექსპლუატაციისათვის არის რესურსების მოხმარების მართვა ისეთი სახით, რომ შენარჩუნებული იყოს გონივრული ბალანსი რესურსების მოხმარების სიჩქარესა და მათ აღდგენის სიჩქარეს შორის. ამ მხრივ მნიშვნელოვანია [158]-ში გამოთქმული აზრი იმის შესახებ, რომ თევზჭერა როგორც სახალხო მეურნეობის დარგი უნდა იყოს სანაპირო ზონის მართვის ერთიანი სისტემის შემადგენელი ნაწილი, რათა უზრუნველყოფილი იყოს სანაპირო ზონის მდგრადი, სტაბილური განვითარება.

შავ ზღვას, სადაც თევზების დაახლოებით 184 სახეობა ბინადრობს, მნიშვნელოვანი თევზსარენი პოტენციური გააჩნია, რომელიც მეტად მგრძობიარეა გარეშე ფაქტორების მიმართ. ბოლო ათეულწლებში, თევზების ცალკეულ სახეობათა გადამეტებული ექსპლუატაციის გამო, პირველ ყოვლისა სტავრიდის, სკუმბრიის, ქაფშიას, შპროტის და სხვათა გამრავლებისათვის არახელსაყრელ აბიოტური და ბიოტური ფაქტორების ფონზე, დაიკვირვება მათი რიცხოვნობის მკვეთრი შემცირება [115]. სიტუაცია მწვავედ აგრეთვე ინტენსიური სამეურნეო საქმიანობით შავი ზღვა – აზოვის რეგიონში, რაც ინვესსიის საერთო ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას – აკვატორიის დაჭუჭყიანების ზრდას, ევტროფიკაციას, ჰიდრობიოტის მარაგის შემცირებას, რაც საკვები ბაზაა სარენი თევზებისთვის. სამწუხაროდ, უკანასკნელ წლებში შავი ზღვის დაჭუჭყიანების შედეგად თევზჭერა რამდენიმეჯერ შემცირდა. შავი ზღვის დაჭუჭყიანება საყოფაცხოვრებო და ჩამდინარე წყლებით იხტოფაუნის შემცირების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია. ამის დამასაბუთებელი მაგალითია [115]-ში მოყვანილი ინფორმაცია თევზების ზოგიერთი სახეობის, კერძოდ, სკუმბრიისა და თინუსის მარაგის მკვეთრი შემცირების შესახებ შავ ზღვაში იმის გამო, რომ ამ სახეობის თევზების ყოველწლიური მიგრაციის გზაზე მარმარილოს ზღვიდან შავ ზღვაში ბოსფორზე გავლით ისინი აწყდებიან „ქიმიურ ბარიერს“ – 15-მილიონიანი ქ. სტამბულის მჭიდროდ დასახლებულ ძველ უბნებში პრაქტიკულად არა არის ეფექტური გამწმენდი საშუალებანი და საყოფაცხოვრებო წყლები პირდაპირ ჩაედინება ზღვაში. ამის გამო თევზების ამ სახეობებმა შეზღუდეს თავისი გადაადგილება ბოსფორის მიმართულებით. ეს არ არის მხოლოდ ქ. სტამბულის პრობლემა და ესაა საერთო პრობლემა მრავალი შავიზღვისპირა ქალაქისათვის [115].

კიდევ ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი, რაც სერიოზულ გავლენას ახდენს შავი ზღვის იხტოფაუნის შემადგენლობაზე და გარკვეულწილად ცვლის ზღვის ეკოსისტემას, ესაა ზღვის ბიოლოგიური დაჭუჭყიანება, ანუ შავი ზღვის ფაუნისათვის უცხო, ზოგიერთ ცხოველურ სახეობათა შემოჭრა შავ ზღვაში მსოფლიო ოკეანის სხვა რეგიონებიდან [115, 158, 236]. ისინი ხშირად მოყვებიან გემებს, ტანკერებს ბალასტური წყლების მეშვეობით. ზოგიერთი მათგანი, რომელიც ახალი პირობებისადმი ადაპტაციის უნარით გამოირჩევა, მკვიდრდება ახალ გარემოში და იწყებს გამრავლებას. ასეთ შემთხვევებში, ამ სახეობებმა შესაძლოა დაარღვიონ შავი ზღვის ეკოსისტემისთვის დამახასიათებელი ბუნებრივად ჩამოყალიბებული კვებითი ჯაჭვი და საფრთხე შეუქმნან ზოგიერთ ადგილობრივ სახეობას.

1947 წელს ნოვოროსიისკის პორტის მახლობლად აღმოჩენილი იქნა მოლუსკი რაპანა (*Rapana thomasiana*) იაპონიის ზღვიდან. ახალი გარემო მისთვის ხელსაყრელი აღმოჩნდა, რადგან ბუნებრივი მტრები არ აღმოაჩ-

ნდა და დახვდა მდიდარი საკვები ბაზა ხამანცკებისა და მიდიების სახით. შავი ზღვისათვის ამ უცხო სახეობამ იწყო ელვისებური გამრავლება, ხოლო ხამანცკების პოპულაცია პრაქტიკულად მთლიანად გაანადგურა [236]. ასევე, დაიკვირვება მიდიების ბიომასის საგრძნობი შემცირება შავ ზღვაში.

1982 წელს შავი ზღვის ჩრდილოეთ ნაწილში შემჩნეული იქნა მედუზისმაგვარი სახეობა, რომელიც აქამდე ამ აკვატორიაში არ დაიკვირვებოდა. ეს აღმოჩნდა სავარცხლურა მნემიოპსისი (*mnemiopsis leidyi*), რომლის სამშობლო ატლანტის ოკეანეა. მნემიოპსისი პლანქტონით იკვებება და ამიტომ მისმა გამოჩენამ შავ ზღვაში ძირითადი საკვები ბაზა მოუსპო ქაფშიასა და შპროტს. მნემიოპსისის მასიურმა გამრავლებამ 1980-იანი წლების ბოლოს გამოიწვია ქაფშიას რაოდენობის მკვეთრად შემცირება შავ ზღვაში.

კიდევ ერთმა არამკვიდრმა სავარცხლურამ, სახელწოდებით *Beroe ovata*, რომელიც პირველად 1997 წელს შენიშნეს და, სავარაუდოდ, ასევე გემებს შემოყვა შავ ზღვაში, *Mnemiopsis leidyi*-ზე დაიწყო ნადირობა.

გარდა ამისა, შეიმჩნევა შავი ზღვის სხვა შემთხვევითი მოსახლენიც, რომელთა სამშობლო მსოფლიო ოკეანის სხვა რეგიონებია. ეს ფაქტები მაგალითია იმისა, თუ როგორ მოქმედებს არამკვიდრ სახეობათა შემოჭრა შავი ზღვის ეკოსისტემაზე.

3.5.5. შავი ზღვის დაჭუჭყიანება საყოფაცხოვრებო ნაგავით

შავ ზღვაში წყალქვეშა გამოკვლევები აჩვენებს კიდევ ერთ სამწუხარო გარემოებას, რაც საბოლოო ჯამში უარყოფითად აისახება ზღვის ეკოსისტემაზე. სანაპირო აკვატორიების ფსკერი ხშირ შემთხვევაში სავსეა საყოფაცხოვრებო ნაგავით – ბოთლებით, ბანკებით, პლასტიკური ნარჩენებით და სხვ [236]. ამ სახის დანაგვიანების წყაროა: გემებიდან ზღვაში ჩაყრილი ნაგავი; მდინარეების სანაპიროსთან მყარი ნარჩენების ნაგავსაყრელები, რომლებიც წყალდიდობების დროს მდინარეებს ზღვაში ჩააქვთ; საკურორტო სეზონში ზღვის სანაპიროებზე დაგროვილი ნარჩენები. ზღვის წყალში საყოფაცხოვრებო ნაგავი იხრწნება წლების და ათწლეულების განმავლობაში, ხოლო პლასტიკური ნარჩენები – ასწლეულების განმავლობაში. მათი გახრწნის საბოლოო პროდუქტია ტოქსიკური ნივთიერებები. გარდა ამისა, მცურავი პლასტიკური ნარჩენი ზღვის ორგანიზმების მიერ აღიქვება, როგორც საკვები პროდუქტი, რაც ხშირ შემთხვევაში ორგანიზმების დაღუპვით მთავრდება.

არსებული ეკოლოგიური სიტუაცია მოითხოვს რაციონალური ბუნებათსარგებლობისა და ისეთი ზომების გატარებას, რაც შეამცირებს ანთროპოგენურ ზეწოლას იხტიოფაუნაზე. ამ მიზნით მნიშვნელოვანია მჭიდ-

რო საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური თანამშრომლობა სამეცნიერო კვლევების განვითარებისა და პრაქტიკული საკითხების გადაწყვეტის მიზნით ეკოლოგიის, გარემოს დაცვისა და მეთევზეობის სფეროში.

3.5.6. ევტროფიკაცია

შავი ზღვის (ასევე, სხვა ზღვების) იხტიოფაუნისათვის ერთ-ერთი საშიშროებათაგანია ბიოგენური ელემენტების ინტენსიური ჩადინება ზღვაში მდინარეებისა და გრუნტის წყლების მეშვეობით, რაც გამოწვეულია დიდი რაოდენობით ბიოგენური ელემენტების – აზოტის, ფოსფორის და სხვა მათი შემცველი სასუქების გამოყენებით სოფლის მეურნეობაში. მათ ბიოგენები ან ბიოგენური ელემენტები ეწოდებათ, რადგან ისინი მკვებავი ნივთიერებებია მცენარეთათვის.

ამ ქიმიური ელემენტების უწყვეტი და დიდი რაოდენობით ჩადინება ზღვაში იწვევს ევტროფიკაციას, რაც მდგომარეობს ბიოგენური ელემენტების კონცენტრაციის მკვეთრ ზრდაში და წყალმცენარეთა ინტენსიურ „აყვავილებაში“. სიტყვა „ევტროფიკაცია“ ბერძნული სიტყვაა (eutrophia), რაც კარგ კვებას ნიშნავს. ბიოგენური ელემენტების ზღვაში შემოდინების პირდაპირი შედეგია წყალმცენარეთა ზრდის ინტენსიფიკაცია, ხოლო შემდგომ ცხოველური ორგანიზმებისა. ბიოგენური ელემენტების კონცენტრაციის ზრდა ზღვის წყალში ხელს უწყობს წყალმცენარეთა სწრაფ განვითარებას, პირველ რიგში ფიტოპლანქტონის სწრაფ ზრდას და მიკროწყალმცენარეთა ინტენსიურ გამრავლებას. ამავე დროს სწრაფად იზრდება ზოოპლანქტონის ბიომასა, რადგანაც ზოოპლანქტონი იკვებება ფიტოპლანქტონით. მოიხმარენ რა დიდი რაოდენობით ჟანგბადს, წყლის მიკროორგანიზმები ქმნიან ჟანგბადის დეფიციტს, რაც ზღვის იხტიოფაუნაზე დამლუპველად მოქმედებს. ასევე, წყლის გამჭვირვალობა მკვეთრად ეცემა და მზის რადიაციის შეღწევადობა სიღრმეში მცირდება. ეს იწვევს ფსკერის წყალმცენარეთა მასიურ დაღუპვას სინათლის დეფიციტის გამო და ჟანგბადის გამომუშავების, პრაქტიკულად, შეწყვეტას. ამას მოყვება ზღვის ცხოველური ორგანიზმების დაღუპვაც, რომელნიც საკვებად მოიხმარენ ფსკერულ წყალმცენარეებს. გარდა ამისა, დიდი ბიომასის მქონე მკვდარი ორგანიზმები ადრე თუ გვიან ეშვებიან წყალსაცავის ფსკერზე, სადაც ხდება ამ ორგანიზმთა და ფსკერული მკვდარი ორგანიზმების ლპობის პროცესი – მიმდინარეობს დაჟანგვის პროცესი ბაქტერიების მონაწილეობით. ეს პროცესი იწვევს გახსნილი ჟანგბადის მკვეთრად შემცირებას ფსკერულ ფენებში, რაც დამლუპველია ფსკერული ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. წყლის ღრმა ფენებში ფორმირდება ანოქსია, როდესაც შესაძლებელია მხოლოდ ანაერობული ბაქტერიების არსებობა [116].

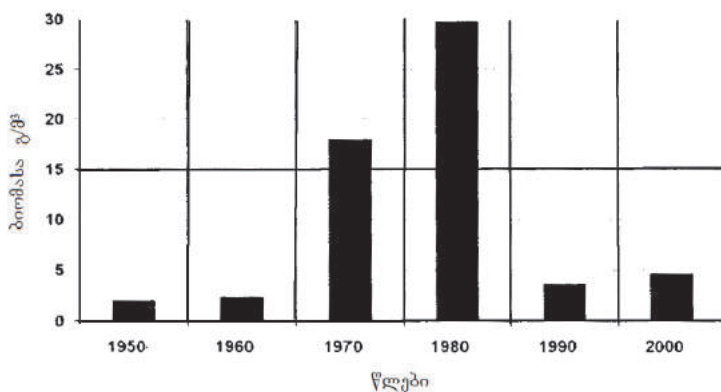
წყალსატევებისათვის ევტროფიკაცია ნორმალური ბუნებრივი პროცესია, რომლის დროითი მასშტაბები გეოლოგიური დროითი მასშტაბების თანაზომადია, მაგრამ ანთროპოგენური ევტროფიკაცია ამ დროით მასშტაბებს ამცირებს რამდენიმე ათეულ წლამდე და ნაკლებადაც [229].

შავმა ზღვამ და განსაკუთრებით მისმა ჩრდილო-დასავლეთ მეჩხერ-წყლოვანმა ნაწილმა, როგორც ინტენსიური ანთროპოგენური ზემოქმედების ობიექტმა, ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 60-იან წლებში მიიპყრო სპეციალისტთა ყურადღება, რადგანაც მკვეთრად გაძლიერდა ევტროფიკაცია და ანთროპოგენური დატვირთვის სხვა სახეები ზღვის ამ ნაწილის ეკოსისტემაზე. ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ აკვატორიაში, სადაც ჩადინება დიდი მდინარეები – დუნაი, დნესტრი და დნეპრი, აღმოჩნდა აზოტისა და ფოსფორის შენაერთებისა და ფიტოპლანქტონის უჯრედების მაღალი კონცენტრაციები, რამაც 70-იან წლებში გამოიწვია ზღვის ამ აკვატორიის სრული ევტროფიკაცია [88, 158, 173]. დამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების და მათ შორის ბიოგენური ელემენტების გადამეტებულმა ზღვაში ჩადინებამ გამოიწვია ზღვის ამ აკვატორიის ფართომასშტაბიანი ევტროფიკაცია და ჰიპოქსია, გოგირდწყალბადიანი ზონების წარმოქმნა და მთლიანობაში, ბიოცენოზების დეგრადაცია. ფიტოპლანქტონის ინტენსიური აყვავილების შედეგია სარწი თევზების რაოდენობისა და სანაპიროს რეკრეაციული პოტენციალის მკვეთრი შემცირება. გასული საუკუნის 90-იანი წლების მონაცემების თანახმად, მდ. დუნაის გამოყენებამ სარწყავი მიზნებისათვის გამოიწვია აზოტისა და ფოსფორის ზღვაში ჩადინების მკვეთრი ზრდა. მდ. დუნაი წარმოადგენს ბიოგენების ყველაზე მძლავრ წყაროს, რომლებსაც შავ ზღვაში შემოაქვთ დაახლოებით 60000 ტონა ფოსფორი წელიწადში, რაც წარმოადგენს მთლიანად ზღვაში ჩადინებული ფოსფორის დაახლოებით 66%-ს. არაორგანული აზოტის წილი მდ. დუნაის ჩამონადენში არის დაახლოებით 340000 ტ წელიწადში, რაც 2-ჯერ და მეტად აღემატება ანალოგიურ მაჩვენებელს მდ. რეინში [158].

[173]-ში გაკეთებულია 2000-2012 წწ-ში ჩატარებული შავი ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილის ეკოლოგიური მდგომარეობის მონიტორინგული კვლევის შედეგების ანალიზი. წყლების ევტროფიკაციის ხარისხის შეფასების თვალსაზრისით მნიშვნელოვან ინტერესს იწვევს ბიოგენური დატვირთვის რაოდენობრივი და თვისებრივი მაჩვენებლების შეფასება. ბიოგენების ძირითადი წყაროა მდინარეთა ბიოგენური ჩანადენი. 2012 წელს მდ. დუნაის ერთ-ერთი დელტის (ე. წ. ქილიის დელტის) ბიოგენურმა დატვირთვამ წელიწადში შეადგინა: ფოსფატებისთვის 6,0 ათასი ტ, საერთო ფოსფორისა – 16,5 ათასი ტ, ნიტრიტებისა – 5,2 ათასი ტ, ნიტრატებისა 210,0 ათასი ტ, ამონიუმის აზოტისა – 24,7 ათასი ტ, საერთო აზოტისა – 423,3 ათასი ტ. ევტროფიკაცია და მასთან დაკავშირებული ჟანგბადის რე-

ჟიმის დარღვევა წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე არასასურველ ფაქტორს ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილის ეკოსისტემაში. ჟანგბადის დეფიციტი ღრმა წყლებში არსებითად არღვევს მეჩხერწყლოვანი შელფის ეკოსისტემას. ამიტომ ჟანგბადის შემცველობა ზღვის წყალში ევტროფიკაციის ხარისხის ძირითადი ინდიკატორია. ჩატარებულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილის ზედაპირულ წყლებში 2008-2012 წწ-ში იცვლებოდა 4,9-დან 16,2 მგ/დმ³-მდე, რაც ეკოლოგიური სიტუაციის გაუმჯობესებაზე მიუთითებს, თუმცა ფსკერთან მიმდებარე ფენებში დაიკვირვებოდა ჰიპოქსიის მაჩვენებელი ლოკალური არეები [173].

შემაშფოთებელი ფაქტია, რომ ფიტოპლანქტონის საერთო ბიომასა 1971-1988 წწ-ში გაიზარდა 720 მგ/მ³-დან 4780 მგ/მ³-მდე რუმინეთის სანაპირო წყლებში და დაახლოებით 10-ჯერ გაიზარდა ბულგარეთის სანაპიროს გასწვრივ [158].



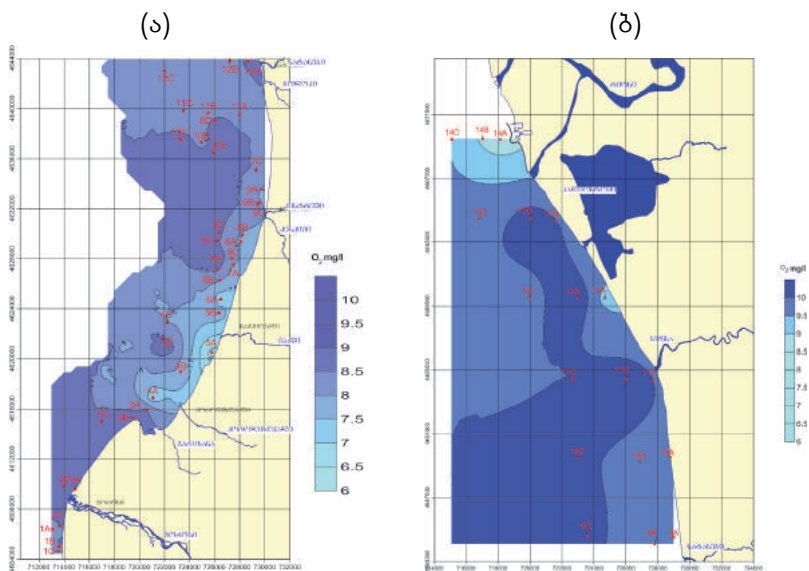
ნახ. 3.17. ათწლეულებში გასაშუალოებული ფიტოპლანქტონის ბიომასის ცვლილების დინამიკა შავი ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ შელფურ ნაწილში [173]

უკანასკნელ 10-15 წელიწადში შეიმჩნევა ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილის ეკოსისტემის გაუმჯობესების ცალკეული ნიშნები, რაც გამომწვეულია გარკვეული ბუნებადაცვითი ღონისძიებების გატარებით სახელმწიფო და სახელმწიფოთაშორისო დონეზე [158, 173]. ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილის წყლების ევტროფიკაციის ხარისხის შემცირებზე მიუთითებს ნახ. 3.17, საიდანაც თვალნათლივ ჩანს ფიტოპლანქტონის ბიომასის მკვეთრი ზრდა გასული საუკუნის 70-იან და, განსაკუთრებით, 80-იან წლებში და მისი მნიშვნელოვანი შემცირება ბოლო ორ ათეულ წელიწადში. თუმცა, ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ თანამედროვე პირობებში, როცა ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურება დაიკვირვება, მოსალოდნე-

ლია ანთროპოგენური დატვირთვის გაზრდა ზღვის ეკოსისტემაზე. ზღვის გარემოს მდგომარეობის შემდგომი გაუმჯობესება დამოკიდებულია მდინარეების მიერ ზღვაში შემოტანილ მკვებავ ნივთიერებათა თანდათანობით შემცირებაზე, რაც შესაძლებელია უზრუნველყოფილ იქნეს შავიზღვისპირა და დუნაისპირა ქვეყნების ერთობლივი ძალისხმევით.

2008-2009 წწ-ში შავი ზღვის საქართველოს სექტორში ჩატარებული ეკოლოგიურ-გეოქიმიური კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ამჟამად ამ აკვატორიას ევტროფიკაცია არ ემუქრება და წყალში გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა ნორმის ფარგლებშია.

ნახ. 3.18-ზე ნაჩვენებია ზღვის წყალში გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა გონიო-ნატანები-ხოზის მონაკვეთში 2008 წელს ჩატარებული გაზომვების შედეგად. გონიო-ნატანების მონაკვეთში გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა საშუალოდ არის 8,2 მგ/ლ, რაც ახლოა მრავალწლიურ საშუალო მონაცემებთან [3]. ნატანებიდან ფოთამდე აკვატორიის მონაკვეთში გახსნილი ჟანგბადის შედარებით მცირე შემცველობები ნაპირთან ახლოს, მდინარეების შესართავებთან აღინიშნება.



ნახ. 3.18. გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა ზღვის წყალში. სექტემბერი, 2008. (ა) – გონიო-ნატანების მონაკვეთი, (ბ) – ნატანები-ხოზის მონაკვეთი [3]

ევტროფიკაცია სერიოზულ ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს ზღვების, წყალსატევებისა და მდინარეებისთვის, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის ცოცხალ სამყაროს. ამ პრობლემასთან ბრძოლას ემსახურება იუნესკოს ოკეანოგრაფიული სამთავრობათაშორისო კომისიის წყლების „აყ-

ვაკილების“ სპეციალური პროგრამა (IOC UNESCO Harmful Algal Bloom Program <http://www.ioc.unesco.org/hab/>), რომლის მიზანია კოორდინაცია გაუწიოს სხვადასხვა ქვეყნებს შორის წყლის „აყვავილების“ მოვლენებს.

3.5.7. რადიოაქტიურ და ტოქსიკურ ნივთიერებათა ნამარხები

შავი ზღვისთვის მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს ტოქსიკურ ნივთიერებათა ნამარხების იდენტიფიკაცია და გაუვნებელყოფა. შავი ზღვა, ისევე როგორც ზოგიერთი შიგამატერიკული ზღვა, გამოიყენებოდა ტოქსიკურ ნივთიერებათა სამარხად არამარტო მეორე მსოფლიო ომის დროს, არამედ ომის შემდგომ წლებშიც [119, 158]. ზოგიერთი ქვეყანა, რომელსაც შავ ზღვაზე გასასვლელი გააჩნია, შავ ზღვას იყენებს სხვადასხვა მასალის და ნივთიერების, კერძოდ, მრეწველობის ნარჩენების, სამშენებლო ნაგავის, ტოქსიკურ ნივთიერებათა, რადიოაქტიურ ნარჩენების და სხვ. სამარხად (დამპინგი). კონტეინერები, რომლებშიც ინახება, სხვადასხვა სახის ტოქსიკური ნივთიერებები, დროთა განმავლობაში იშლება ლითონის კორპუსის კოროზიის გამო და დიდ საფრთხეს უქადის არა მარტო ზღვის ეკოსისტემას, არამედ მოსახლეობასაც. ასეთი სამარხები წარმოადგენენ „ნელი მოქმედების ბომბებს“, რომლებსაც შეუძლიათ უდიდესი ზიანი მიაყენონ ზღვის ეკოსისტემას და სერიოზული საფრთხე შეუქმნან ადამიანთა ჯანმრთელობას. მაგალითად, 1998 წლის 22 დეკემბრის გაზეთ „იზვესტიასში“ (რუსეთი) გამოქვეყნებულია ინფორმაცია სპეციალური სამეცნიერო-კვლევითი ექსპედიციის მიერ აღმოჩენილი შავი ზღვის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილის ფსკერის რადიონუკლიდებით – ცეზიუმ-147 და სტრონციუმ-90-ით დაჭუჭყიანების შესახებ, რაც გამა-გამოსხივების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. როგორც ჩანს, ეს იყო 1986 წლის აპრილში ჩერნობილის ატომურ ელექტროსადგურზე მომხდარი ავარიის შედეგად ამოფრქვეული რადიოაქტიური ნივთიერებებით შავი ზღვის დაჭუჭყიანების შედეგი. ამ ნივთიერებათა ზღვაში მოხვედრა შესაძლებელია ზღვაში ჩამდინარე მდინარეთა და ატმოსფერული ნალექების მეშვეობით. გარდა ამისა, ექსპედიციის მთავარი მიზანი იყო აღმოეჩინათ შავი ზღვის ფსკერზე მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ დამარხული ქიმიური იარაღი და ასაფეთქებელი ნივთიერებები, რის შესრულებაც ექსპედიციამ ნაწილობრივ შესძლო, რადგანაც ამ ნამარხების ზუსტი კოორდინატები უცნობია. ასეთი ექსპედიციის განხორციელების მთავარი საფუძველი იყო ის ფაქტი, რომ ბოლო წლების განმავლობაში მეთევზეები ხშირად პოულობდნენ მკვდარ დელფინებს და მოცურავე კონტეინერებს ძლიერ მომწამლავი ნივთიერებით, იპრიტით. დელფინების დალუპვის მიზეზი სპეციალისტ-ქიმიკოსების აზრით ქიმიური მომწამლავი ნივთიერება იყო.

3.5.8. რადიოაქტიური დაჭუჭყიანება

ზღვაში მოხვედრილ ანთროპოგენურ მინარევებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე საშიშია რადიოაქტიური მინერალები, რომლებიც ზღვაში ხვდებიან თხევადი, მყარი და აიროვანი ფორმით. ეს ნივთიერებები ზღვებსა და ოკეანეებში აღმოჩნდნენ ბირთვული იარაღის გამოცდებისა და ბირთვული სანავის გადამუშავების შედეგად გემებზე, ატომურ ელექტროსადგურებზე და სხვ. რადიოაქტიური ნარჩენები ზღვის ცირკულაციითა და ტურბულენტური შერევით გადაიტანებიან მთელი აკვატორიის მასშტაბით, რაც ფონური რადიოაქტიური დონის მომატებით აღინიშნება ზოგიერთ რეგიონში.

მსოფლიო ოკეანის დაჭუჭყიანება რადიოაქტიური მინარევებით ძირითადად მდინარეებიდან და ატმოსფეროდან ხდება. ატმოსფეროდან დალექვა ორი გზით მიმდინარეობს: აეროზოლების გრავიტაციული დალექვით („მშრალი დალექვა“) და ატმოსფერული ნალექებით („სველი დალექვა“). რადიოაქტიურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ევროპის შიგა ზღვების რადიოაქტიურ მინარევთა კონცენტრაცია (მათ შორის შავი ზღვის) მნიშვნელოვნად ქარბობს ოკეანის წყლების კონცენტრაციებს [195]. ზოგიერთი ავტორი მცირეწლოვან აუზებისა და შიდა ზღვების ამ თავისებურებას ხსნის ე. წ. “შემოსაზღვრული ფენის ეფექტით”. ეს იმას ნიშნავს, რომ რადიოაქტიურობა ვერ ვრცელდება სიღრმეებში აუზის მცირეწლოვანობის ან ვერტიკალური შერევის მცირე სიჩქარეების გამო, რის შედეგადაც ზედაპირული კონცენტრაციები მაღალია.

ხელოვნური იზოტოპები ბუნებრივ გარემოში გაჩნდა 1945 წლიდან, როდესაც მოხდა ურანის ატომის ბირთვის გახლეჩა. იმ დროიდან მოყოლებული უწყვეტად მიმდინარეობს ბუნებრივი გარემოს დაჭუჭყიანება რადიოაქტიური მინარევებით. თავდაპირველად დაჭუჭყიანების ძირითად წყაროს წარმოადგენდა ბირთვული იარაღის გამოცდები ბუნებრივი გარემოს სხვადასხვა ობიექტებში [210]. მსოფლიო ოკეანის და მათ შორის შავი ზღვის დაჭუჭყიანება რადიოაქტიური ნივთიერებებით განსაკუთრებით აქტუალური გახდა XX საუკუნის 50-60-იან წლებში, როდესაც ინტენსიურად მიმდინარეობდა ბირთვული იარაღის გამოცდები ატმოსფეროში. ბირთვულმა აფეთქებებმა გამოიწვიეს ბუნებრივ გარემოში – ატმოსფეროში ნიადაგსა და ოკეანეებში რადიონუკლიდების დიდი რაოდენობით გამოყოფა. მათმა გავლენამ ფლორასა და ფაუნაზე კატასტროფული ხასიათი მიიღო. ამან კაცობრიობა მიიყვანა ატმოსფეროში, კოსმოსსა და წყალქვეშ ბირთვული გამოცდების აკრძალვის შესახებ მოსკოვის 1963 წლის ხელშეკრულებამდე, რომელსაც ხელი მოაწერეს ძირითადად ბირთვულმა სახელმწიფოებმა – საბჭოთა კავშირმა, ამერიკის შეერთებულმა შტატებმა და დიდმა ბრიტანეთმა.

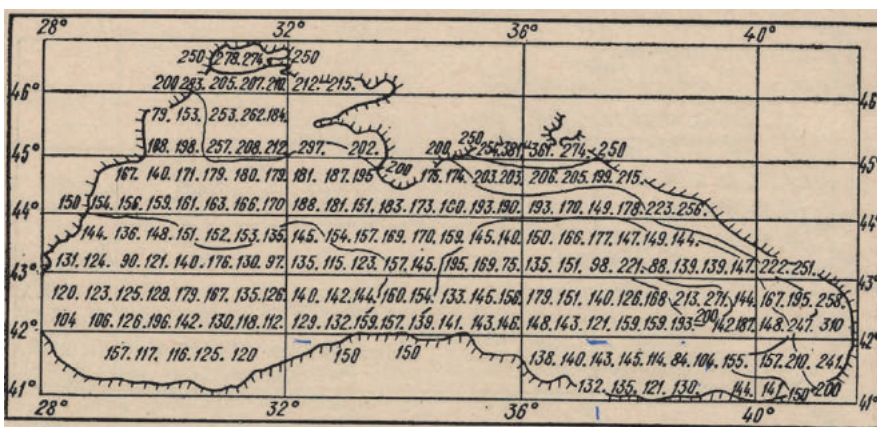
გაჩნდა ახალი პრობლემა – ბუნებრივი გარემოს რადიოაქტიური დაჭუჭყიანება და შესაბამისად გეოფიზიკის ახალი მიმართულებებიც – ბირთვული ჰიდროფიზიკა [137] და ბირთვული მეტეოროლოგია [222]. საინტერესოა, რომ ჰიდროსფეროში გამოყოფილ რადიონუკლიდებს შეუძლიათ შეასრულონ ტრასერების როლი ბუნებრივი პროცესების შესწავლის საქმეში. ტრასერებს უწოდებენ სხვადასხვა სახის ზღვის წყლის ფიზიკურ პარამეტრებსა და ქიმიურ კომპონენტებს, რომლებიც გამოიყენება ზღვებსა და ოკეანეებში ცალკეული მოვლენების იდენტიფიკაციისა და შესწავლისთვის. კერძოდ, ტრასერების გამოყენებამ ხელი შეუწყო ოკეანეებისა და ზღვების ცირკულაციის თავისებურებების, ტურბულენტობის, შინაგანი ტალღების და სხვა მოვლენათა უკეთესად გაგებას და შესწავლას [137, 139, 195].

მოსკოვის ხელშეკრულების დადების შემდეგ, ბირთვული აფეთქებების როლი გარემოს რადიოაქტიურ დაჭუჭყიანებაში მკვეთრად შემცირდა, მაგრამ ამ ხელშეკრულებას არ აღმოუფხვრია გარემოს რადიოაქტიური დაჭუჭყიანების საფრთხე. 70-იანი წლების ბოლოსა და 80-იანი წლების დასაწყისში კვლავ აქტუალური გახდა აღნიშნული პრობლემა ბირთვული ენერგეტიკის სწრაფ განვითარებასთან დაკავშირებით. ამ დროიდან იზრდებოდა ატომური ელექტროსადგურების, ატომური რეაქტორებისა და ბირთვული საწვავის გადამამუშავებელ საწარმოთა როლი გარემოს რადიოაქტიურ დაბინძურებაში.

შავი ზღვის რადიოაქტიური მინარევებით დაჭუჭყიანების ექსპერიმენტული შესწავლა დაიწყო 1959 წლიდან [144, 201, 210, 232]. რადიოაქტიური დაჭუჭყიანების დონის ინდიკატორად აღებული იყო რადიოიზოტოპი სტრონციუმ-90 (^{90}Sr), რომელიც მუდმივად თან ახლავს ხელოვნურ რადიოაქტიურობას და მისი დაშლის ნახევარპერიოდი 28 წელი. 1960 წელს შავი ზღვის რადიოაქტიური დაჭუჭყიანებასთან დაკავშირებით განხორციელდა სამეცნიერო ექსპედიციები ზღვის ჩრდილოეთ და ღია ნაწილებში (ბოსფორის მიმდებარე რაიონის ჩათვლით) სამეცნიერო-კვლევითი გემით „მიხეილ ლომონოსოვი“, სადაც აღებული იყო ზღვის წყლის სინჯები ღრმა ფენებიდან. სტრონციუმის რადიოაქტიურობამ ზღვის ღია ნაწილის ზედაპირულ წყლების 100 ლიტრზე შეადგინა 44-46 დაშლა/წთ. სიღრმის მიხედვით სტრონციუმის შემცველობა მცირდებოდა, მაგრამ ბოსფორის მიმდებარე რაიონში 100 მ სიღრმეზე დაიკვირვებოდა მნიშვნელოვანი კონცენტრაციები, რაც მაჩვენებელი იყო იმისა, რომ ასეთი რადიოაქტიურობა დამახასიათებელი იყო მარმარილოს ზღვის წყლებისთვის, რომლებიც ბოსფორის სრუტის გავლით შავ ზღვაში შემოსვლისას სწრაფად ეშვებიან ქვემოთ შავი ზღვის წყლებთან მნიშვნელოვანი შერევის გარეშე [144].

1961-1962 წწ-ში ბირთვული იარაღის გამოცდები უფრო ინტენსიურად ტარდებოდა, რის შედეგადაც დედამიწის ზედაპირზე და მათ შორის შავი ზღვის ზედაპირზეც ადგილი ქონდა დიდი რაოდენობით რადიოაქტიური იზოტოპების დალექვას. 1964 წლის ზაფხულსა და შემოდგომაზე ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გემით “მიხეილ ლომონოსოვი” კავკასიის, ყირიმის და ანატოლიის აკვატორიებში, ასევე ცენტრალურ და სრუტეების მიმდებარე აკვატორიებში აჩვენა სტრონციუმ-90-ის გაცილებით მაღალი კონცენტრაციები, ვიდრე ეს იყო 1960 წელს. ეს განპირობებული იყო ბირთვული იარაღის შედეგად წარმოშობილი ხელოვნური რადიოაქტიური პროდუქტების დალექვით ატმოსფეროდან ზღვის ზედაპირზე და მდინარეთა მიერ ზღვაში შემოტანით.

გასული საუკუნის 60-70-იან წლებში შავ ზღვაში რადიოაქტიურ იზოტოპ სტრონციუმ-90-ის კონცენტრაციის გაზომვებმა აჩვენა ზღვის რადიოაქტიური დაჭუჭყიანების მნიშვნელოვანი ზრდის ტენდენცია [144]. ნახ. 2.16-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის ზედაპირულ ფენაში Sr^{90} -ის განაწილების რუკა, რომელიც მიღებულია 1965-1973 წწ-ში ჩატარებული გაზომვების შედეგად. [144]-ში ამ რუკის შედარებამ ანალოგიურ რუკასთან, რომელიც აგებული იყო 1960-1965 წწ-ში ჩატარებული გაზომვების შედეგად აჩვენა, რომ Sr^{90} -ის შემცველობამ შავ ზღვაში და მისი სივრცითი განაწილების ხასიათმა 70-იანი წლების დასაწყისში მნიშვნელოვანი ცვლილებები განიცადა. აღნიშნული რადიოიზოტოპის კონცენტრაცია საშუალოდ 4-5-ჯერ გაიზარდა. როგორც ნახ. 3.19-დან ჩანს, ზღვის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში სტრონციუმ-90-ის აქტივობამ საშუალოდ შეადგენდა 100 ლიტრზე 250-280 დაშლა/წთ., ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში მდ. ქოროხის დელტასთან - 200-250 დაშლა/წთ.



ნახ. 3.19. Sr^{90} -ის განაწილების რუკა შავ ზღვაში 1965-1973 წწ-ში [144]

რადიოაქტიური იზოტოპების უპრეცედენტო წყარო გახდა 1986 წლის 26 აპრილს ჩერნობილის ატომურ ელექტროსადგურზე მომხდარი ავარია, რომლის დროსაც რამდენიმე საათის განმავლობაში ატმოსფეროში გამოიფრქვა რადიოაქტიური ნივთიერება 50 მლნ კიურის ტოლი აქტივობით. ჩერნობილის ავარიის შემდეგ თურქი მეცნიერთა მიერ სამი წლის განმავლობაში რეგულარულად ხდებოდა ადამიანთა საკვებ რაციონში შემავალ თევზებში რადიონუკლიდების შემცველობის გამოკვლევა [226]. ყოველკვირეულმა და ყოველთვიურმა სინჯებმა აჩვენა რადიონუკლიდების მნიშვნელოვანი რაოდენობა თევზების გამოსაკვლევ ნიმუშებში. მაგალითად, 1986 წლის მაისში დაფიქსირდა გამა-გამოსხივების მაღალი დონე (იოდი-131, რუთენიუმი-106, ცეზიუმ-134 და ცეზიუმ-137) თევზების ორგანიზმში 37-65 ბეკერელი/კგ დიაპაზონში. ჩერნობილის ავარიის შემდგომი 3 თვის განმავლობაში რადიოაქტიურობის საერთო დონე თევზების ქსოვილებში თანდათან შემცირდა. ჩერნობილის რადიონუკლიდები აღმოჩენილი იქნა აგრეთვე მიდიებში, ზღვის ქსოვილებში და მაკროწყალმცენარეთა სხვადასხვა სახეობებში. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ მთლიანობაში შავი ზღვის თურქეთის აკვატორიის აღმოსავლეთ ნაწილი უფრო დაბინძურებული იყო ჩერნობილის რადიონუკლიდებით, ვიდრე დასავლეთ ნაწილი.

3.5.9. საერთაშორისო თანამშრომლობა შავი ზღვის ეკოლოგიური უსაფრთხოების მიზნით

ზღვების ეკოსისტემების დაცვა და ეკოლოგიური უსაფრთხოება მსოფლიო საზოგადოების ყურადღების ობიექტი გახდა უკვე გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან. პირველი საერთაშორისო ხელშეკრულება, რომელმაც გარკვეული მოვალეობები დააკისრა სახელმწიფოებს ზღვის გარემოს დაცვის მიზნით, იყო 1954 წლის ლონდონის კონვენცია ზღვის ნავთობით დაჭუჭყიანების თავიდან აცილების შესახებ.

შავი ზღვის ეკოსისტემის შენარჩუნებისა და მასზე ანთროპოგენური ზემოქმედების შემცირების მიზნით გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან ხორციელდება ფართო საერთაშორისო თანამშრომლობა შავი ზღვისპირა ქვეყნებს (ბულგარეთი, თურქეთი, რუმინეთი, რუსეთი, საქართველო, უკრაინა) შორის სამთავრობათაშორისო დონეზე [158].

საქართველომ, მას შემდეგ რაც დამოუკიდებლობა მოიპოვა, გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან აქტიურად მონაწილეობს საერთაშორისო გარემოსდაცვით თანამშრომლობაში და არის მრავალი კონვენციისა და ხელშეკრულების წევრი სახელმწიფო. 1993 წელს საქართველო გახდა იუ-

ნესკოს სამთავრობათაშორისო ოკეანოგრაფიული კომისიის (სოკ) წევრი [7]. საქართველო არის, აგრეთვე, ხომალდების მიერ ზღვის დაბინძურებისაგან დაცვის საერთაშორისო კონვენციის (მარპოლოს კონვენცია) წევრი. კონვენცია ითვალისწინებს კომპლექსურ ღონისძიებებს ზღვის ექსპლოატაციისა და ავარიების შედეგად ნავთობითა და სხვა ნივთიერებებითა და ნარჩენებით დაბინძურების წინააღმდეგ, აგრეთვე ხომალდებიდან საჭაერო სივრცის დაბინძურების წინააღმდეგ. კონვენცია შეიცავს გარკვეულ ვალდებულებებს სახელმწიფოების მიერ, რომელთა დროშის ქვეშაც ცურავენ გემები და რომელთა წყლებშიც ხორციელდება ცურვა.

1990 წელს მიღებული იქნა „ნავთობის დაღვრაზე მზადყოფნის, რეაგირებისა და თანამშრომლობის საერთაშორისო კონვენცია“, რომელიც ცნობილია როგორც OPRC კონვენცია. კონვენცია ავალდებულებს მის მონაწილე ქვეყნებს, მათ შორის საქართველოს, უზრუნველყონ მზადყოფნა ნავთობის დაღვრის შემთხვევებისათვის და მოახდინონ სათანადო რეაგირება. OPRC კონვენციით გათვალისწინებული ვალდებულებების შესრულების მიზნით, საქართველოს მთავრობამ 2016 წლის აპრილში მიიღო „ზღვაში ნავთობის დაღვრაზე რეაგირების ეროვნული გეგმა“, რომელიც წარმოადგენს საწყის სამოქმედო ვერსიას და დროდადრო აუცილებელი იქნება მისი, როგორც მარეგულირებელი დოკუმენტის განახლება და მასში გარკვეული ცვლილებების შეტანა.

1992 წელს ქ. ბუქარესტში (რუმინეთი) ექვსი შავიზღვისპირა ქვეყნის მიერ მიღებული იქნა ძირითადი საერთაშორისო დოკუმენტი, რომელიც შავი ზღვის დაცვის საკითხებს არეგულირებს, ესაა შავი ზღვის დაჭუჭყიანებისაგან დაცვის კონვენცია (ბუქარესტის კონვენცია [133]). ამ კონვენციის მიზანია შავი ზღვის ეკოსისტემის კარგ ეკოლოგიურ მდგომარეობაში შენარჩუნება, შავი ზღვის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების სტაბილური დაცვა და ხელსაყრელი პირობების უზრუნველყოფა, იშვიათი სახეობების დაცვა და სხვ. კონვენციის თანახმად, შავიზღვისპირა ყველა ქვეყანა მოვალეა დაამყაროს ურთიერთთანამშრომლობა სხვა ზღვისპირა ქვეყნებთან, რომლის მიზანიცაა შავი ზღვის ეკოლოგიური გარემოს დაცვა საგანგებო და ავარიული მდგომარეობებით გამოწვეული დაბინძურებისგან, დაბინძურების შემცირება და მის წინააღმდეგ ბრძოლა.

1994 წლის ივნისში ავსტრიის, ბულგარეთის, ხორვატიის, ჩეხეთის, გერმანიის უნგრეთის, მოლდავეთის, რუმინეთის, სლოვაკეთის, სლოვენის, უკრაინისა და ევროკავშირის წარმომადგენლების მიერ ქ. სოფიაში ხელმოწერილი იქნა კონვენცია მდ. დუნაის დაცვისა და მდგრადი განვითარების მიზნით თანამშრომლობის შესახებ. ამ კონვენციის შედეგი იყო შავი ზღვის დაცვის კომისიის დაარსება, რომლის შტაბ-ბინა ქ. სტამბულ-

ში (თურქეთი) მდებარეობს და მდ. დუნაის დაცვის კომისია (ქ. ვენა, ავსტრია).

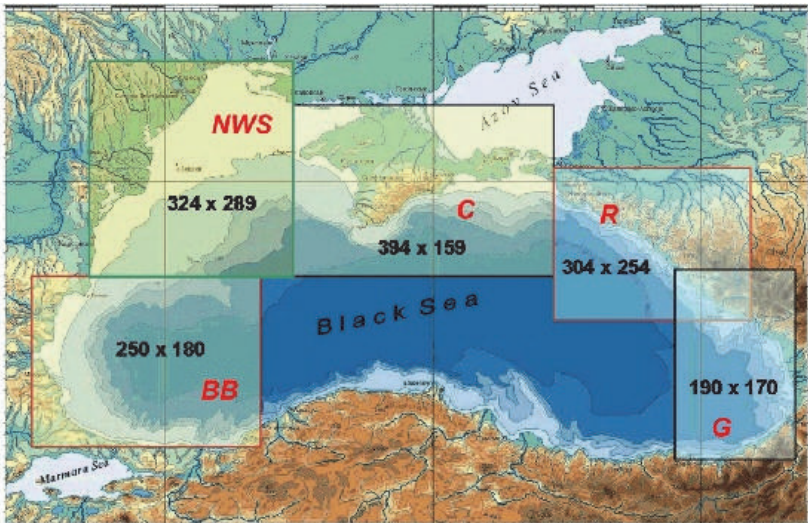
1996 წლის 31 ოქტომბერს სტამბულში შავიზღვისპირა ქვეყნების გარემოს დაცვის მინისტრების კონფერენციაზე ხელმოწერილ იქნა შავი ზღვის დაცვის ღონისძიებათა სტრატეგიული გეგმა. შავიზღვისპირა ქვეყნების ერთობლივი გადაწყვეტილებით ეს თარიღი დაწესდა როგორც „შავი ზღვის საერთაშორისო დღე“, რაც ყოველწლიურად აღინიშნება შავიზღვისპირა ქვეყნებში [236].

თავი 4

ადმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემა

XXI საუკუნის დასაწყისის შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფიის უდიდესი მიღწევაა შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის ოპერატიული სისტემის შემუშავება [28, 46-48, 50, 51, 97], რაც შესაძლებელი გახდა გასული საუკუნის 80-90-იანი წლებიდან დაწყებული მეცნიერულ-ტექნოლოგიური პროგრესის შედეგად. შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემა წარმოადგენს კომპლექსურ სისტემას, რომელიც დაფუძნებულია თანამედროვე ინფორმაციულ-გამოთვლით ტექნოლოგიებზე. სისტემა მოიცავს დისტანციურ და კონტაქტურ დაკვირვებებს, მონაცემთა შეკრებასა და დამუშავებას, მონაცემთა ასიმილაციას, ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ზჰი, ქ. სევასტოპოლი) შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკურ მოდელს მთლიანად შავი ზღვის მასშტაბით და მაღალი გარჩევისუნარიანი რეგიონულ მოდელებს ზღვის ცალკეული სანაპირო რეგიონებისათვის.

ნახ. 4.1-ზე, რომელიც აღებულია [51]-დან, ნაჩვენებია ბულგარეთის, რუმინეთის, უკრაინის, რუსეთისა და საქართველოს რეგიონული არეები,



ნახ. 4.1. შავი ზღვის სანაპირო რეგიონები, სადაც გამოითვლება დინამიკური ველების პროგნოზი მაღალი გარჩევისუნარიანობით [51]

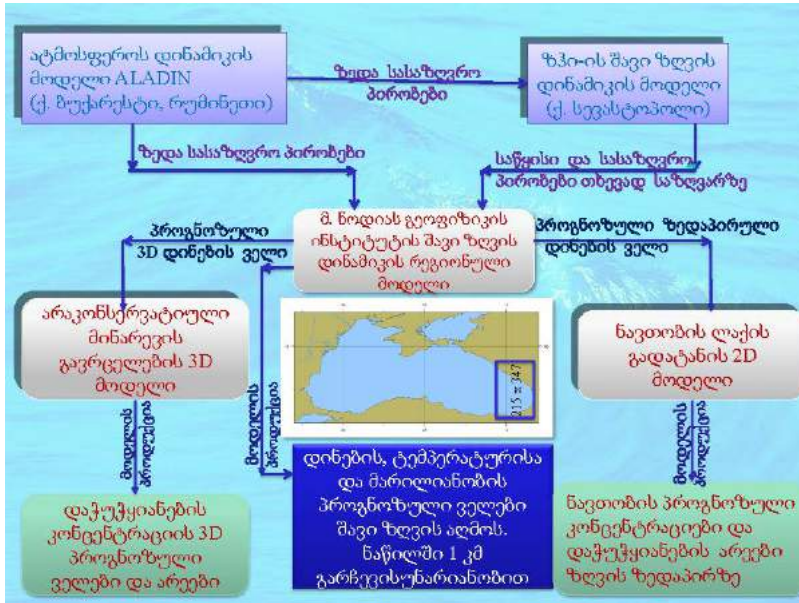
სადაც გამოითვლება ზღვის რეგიონული პროგნოზი მაღალი გარჩევისუნარიანობით. ნახაზზე თითოეული რეგიონისათვის ნაჩვენებია სათვლელი ბადეების ჰორიზონტალური კვანძების რაოდენობა, მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ საქართველოსთვის განკუთვნილ რეგიონულ არეში არასწორადაა მიითებულ ბადის კვანძების რაოდენობა, რაც ქვემოთ იქნება მოყვანილი.

როგორც ნახ. 4.1-დან ჩანს, შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთი კომპონენტია შავი ზღვის მდგომარეობის რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილისათვის, რომელიც მოიცავს საქართველოს სანაპირო ზონას და მის მიმდებარე აკვატორიას [37-44, 150-152]. რეგიონული პროგნოზის სისტემა შემუშავებულია ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური პროექტების ARENA და ECOOP ფარგლებში ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში. სისტემის შემდგომი სრულყოფა და გაფართოება ეკოლოგიური ამოცანებით განხორციელდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის ფარგლებში (2013-2015).

4.1. პროგნოზული სისტემის სტრუქტურა და თეორიული საფუძვლები

რეგიონული პროგნოზის სისტემა ემყარება მათემატიკური მოდელირების თანამედროვე მეთოდების გამოყენებას. სისტემის შემადგენელი ცალკეული მოდულები წარმოადგენს ზღვაში მიმდინარე პროცესების აღმწერ მათემატიკურ მოდელებს, ხოლო მოდელების განტოლებათა ამოხსნა ეფუძნება არასტაციონარულ დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნის სასრულ-სხვაობითი მეთოდების გამოყენებას.

ნახ. 4.2-ზე წარმოდგენილია აღმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა და პროგნოზის არე. პროგნოზის არე შემოსაზღვრულია კავკასიისა და თურქეთის სანაპირო ხაზით და ა. გ. 39.08⁰-ზე გამავალი თხევადი პირობითი საზღვრით. რეგიონული პროგნოზის სისტემა შედგება ჰიდროდინამიკური და ეკოლოგიური ბლოკებისაგან. ჰიდროდინამიკური ბლოკის ძირითადი ბირთვია მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მაღალი გარჩევისუნარიანი შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მათემატიკური მოდელი, ხოლო ეკოლოგიური ბლოკის შემადგენელი ნაწილებია ზღვის გარემოში ნავთობისა და სხვა დამაჭუჭყიანებელ ნივთიერებათა გავრცელების ორი და სამგანზომილებიანი მათემატიკური მოდელები, რომლებიც გამოიყენებენ ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილ დინების ველის პროგნოზულ მნიშვნელობებს.



ნახ. 4.2. რეგიონული პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა და პროგნოზის არე [44]

შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი მიღებულია შავი ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელის [36, 153-155] ადაპტირების გზით ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის და სივრცითი გარჩევითი უზარაანობის გაზრდით 5 კმ-დან 1 კმ-დე. თვით შავი ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელი წარმოადგენს გასული საუკუნის 70-იან წლებში შემუშავებული ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელის [148, 157, 186-188] გაუმჯობესებულ ვერსიას. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის განტოლებათა სისტემა შესაბამისი სასაზღვრო და საწყისი პირობებით მოყვანილია *დანართ 1-ში*.

რეგიონული მოდელი დაფუძნებულია ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრულ სისტემაზე ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში, რომელიც ბუნების სამი ფუნდამენტური კანონის – იმპულსის, მასისა და ენერჯის მუდმივობის კანონების მათემატიკური გამოხატულებაა. მას ემატება აგრეთვე ზღვის წყლის მდგომარეობისა და მარილების გადატანის განტოლებები. მოდელის სათვლელი ბადე 1 კმ სივრცითი ბიჯით ჩადგმულია ზჰი-ის შავი ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მათემატიკურ მოდელის 5 კმ სივრცითი გარჩევითი უზარაანობის სათვლელ ბადეში. აქ გამოყენებულია ცალმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (one-way nesting), რაც უზრუნველყოფს აუზის მასშტაბის პროცესების ზემოქმედებას რეგიონულ პროცესებზე თხევადი პირობითი საზღვრის მეშვეობით. გარდა ამი-

სა, ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელში გათვალისწინებულია შემდეგი ძირითადი ფაქტორები:

- ატმოსფერული ქარისმიერი და თერმული ზემოქმედება,
- ატმოსფერული ნალექები,
- აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან,
- მზის მოკლევალლოვანი რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენის მიერ,
- ზღვის ფსკერის რელიეფი და ნაპირების კონფიგურაცია,
- ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების სივრცით-დროითი ცვალებადობა (იხ., დანართი 2),
- საქართველოს ძირითადი მდინარეების – ბზიფის, კოდორის, ერისწყალის, ენგურის, ხობის, რიონის ჩამონადენები.

რეგიონული პროგნოზის გამოთვლებისათვის საჭირო მოდელში შემავალი ყველა მონაცემი მიიღება ყოველდღიურად ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში ზჭი-დან ინტერნეტის მეშვეობით. ეს მონაცემებია:

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

ჰიდროფიზიკური ველები დასავლეთის ღია თხევად საზღვარზე წარმოადგენს ზჭი-ის ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელით [105, 158] გამოთვლილ პროგნოზულ მნიშვნელობებს, ხოლო მეტეოროლოგიური ველები ზღვის ზედაპირზე არის ატმოსფეროს რეგიონული მოდელით ALADIN გამოთვლილი პროგნოზის შედეგები. რეგიონული მოდელი ALADIN [17], რომელიც ადაპტირებულია შავი ზღვის რეგიონისათვის 24 კმ სივრცითი ბიჯით, ფუნქციონირებს რუმინეთის ეროვნულ მეტეოროლოგიურ ადმინისტრაციაში (ქ. ბუქარესტი).

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი პროგნოზული მონაცემი, რომელიც მიიღება ციფრული მასივების სახით ('dat' ფორმატით), მოცემულია ზჭი-ის მოდელის სათვლელ ბადეზე 5 კმ სივრცითი ბიჯით და 1 სთ-იანი დროითი ბიჯის სიხშირით 4 დღე-ღამის ტოლ დროით ინტერვალზე. ამ მონაცემთა გამოყენება მაღალი გარჩევისუნარიან ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელში მოითხოვს მათ გადაყვანას 1 კმ სივრცითი ბიჯის ბადეზე, რაც ხორციელდება წრფივი ინტერპოლაციის მეთოდის გამოყენებით ყოველ დრო-

ით ბიჯზე რეგიონული მოდელის კომპიუტერული რეალიზაციის პროცესში. მაშასადამე, პირობით თხევად საზღვარზე, ყოველ დროით ბიჯზე გვაქვს დინების სიჩქარის კომპონენტების, ტემპერატურისა და მარილიანობის პროგნოზული მნიშვნელობები, რომლებიც გამოიყენება სასაზღვრო პირობების სახით რეგიონული მოდელის განტოლებათა ინტეგრირებისას.

რეგიონულ მოდელში შემავალი მონაცემები უზრუნველყოფენ მოდელის განტოლებათა ინტეგრირებას 4 დღე-ღამის ხანგრძლივობით, მაგრამ ჩვენ ვიხილავთ 3-დღიან პროგნოზს (ინტეგრირების მე-2 დღიდან). მხედველობაში ვიღებთ იმ ფაქტს, რომ პირველი 24 სთ-ის განმავლობაში ხდება უხემ ბადეზე მოცემულ (5 კმ გარჩევისუნარიანობით) მონაცემთა ადაპტირების პროცესი უკეთესი ბადის (1 კმ გარჩევისუნარიანობით) მიმართ [39].

შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემა შემდეგნაირად ფუნქციონირებს (იხ., ნახ. 4.2): რუმინეთის ეროვნულ მეტეოროლოგიურ ადმინისტრაციაში (ქ. ბუქარესტი) გამოითვლება ატმოსფეროს მოკლევადიანი პროგნოზი შავი ზღვის აუზის ზემოთ ატმოსფეროს მოდელის ALADIN საფუძველზე. ზღვის ზემოთ გამოთვლილი ატმოსფეროს პარამეტრების (ქარი, ტემპერატურა, ნალექები და სხვ.) პროგნოზული მნიშვნელობები ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში იგზავნება ინტერნეტის საშუალებით ზჰი-ში. აქ ეს სიდიდეები გამოიყენება ზღვის ზედაპირზე სასაზღვრო პირობებში ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელში, რომლის რეალიზაცია ხდება 5 კმ სივრცითი ბიჯით მთლიანად შავი ზღვისათვის. შედეგად, გამოითვლება ზღვის ძირითადი დინამიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობისა და ზღვის დონის პროგნოზი 4 დღის წინასწარობით მთელი აუზის მასშტაბით. უნდა აღინიშნოს რომ ეს არის რთული კომპლექსური ამოცანა, სადაც გამოიყენება არა მარტო ატმოსფეროს პროგნოზის შედეგები, არამედ კონტაქტური და თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემები, ასევე დაკვირვების მონაცემთა ასიმილაციის მეთოდები [51, 158].

ზჰი-ში საზღვაო პროგნოზის გამოთვლის დამთავრებისთანავე ხდება ნახ. 4.1-ზე წარმოდგენილი სანაპირო რეგიონებისათვის განკუთვნილი პროგნოზული ინფორმაციის განთავსება შესაბამის საიტებზე, მათ შორის საქართველოსათვის განკუთვნილ საიტზე. ყოველდღიურად, ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში, მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში მიიღება ყველა ის მონაცემი, რაც საჭიროა ზღვის დინამიკური ველების გათვლისათვის ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში უფრო მაღალი გარჩევისუნარიანობით, კერძოდ, 1 კმ სივრცითი ბიჯით. ამ მონაცემების მორგება მაღალი გარჩევისუნარიანი სათვლელი ბადისათვის ხდება ავტომატიზირებულად, ინტერპოლაციური მეთოდების გამოყენებით, რეგიონული მოდელის განტოლებათა ინტეგრირების პროცესში. შედეგად, გამოითვლება დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის მოკლევადიანი საზღვაო პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით შავი ზღვის

საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის. გამოთვლების დამთავრებისთანავე, ხორციელდება პროგნოზული ველების ვიზუალიზაცია და მათი ინტერნეტში განთავსება.

ეკოლოგიურ ბლოკში შემავალი მინარევების გავრცელების რიცხვითი მოდელები დაფუძნებულია ორ და სამგამზომილებიან გადატანა-დიფუზიის განტოლებებზე არაკონსერვატიული მინარევისათვის.

პროგნოზულ სისტემაში შემავალი რიცხვითი მოდელების განტოლებათა ამოხსნა ეფუძნება, ძირითადად, ერთიან მეთოდოლოგიურ მიდგომას, კერძოდ, ატმოსფეროსა და ოკეანის ამოცანათა ამოხსნის მიზნით გ. ი. მარჩუკის მიერ შემოთავაზებულ გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდების გამოყენებას [148, 181-183], რაც უზრუნველყოფს განხილულ ამოცანათა აპროქსიმაციას მეორე რიგის სიზუსტით დროითი ცვლადის მიმართ (არაკომუტატიური ოპერატორების შემთხვევაში). გახლეჩის მეთოდს საფუძვლად უდევს ამოცანის ძირითადი ოპერატორის წარმოდგენა უფრო მარტივი ოპერატორების სახით.

რეგიონული პროგნოზული სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა წარმოადგენს ერთიან კომპლექსურ პროგრამულ პაკეტს, რომელიც შემუშავებულია ალგორითმულ ენაზე „ფორტრანი“. პროგრამული პაკეტი შედგება ცალკეული მოდულებისაგან, რომლებსაც გარკვეული ფუნქციონალური დატვირთვა გააჩნიათ.

აღმოსავლეთ შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემა საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიაში ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების – ზღვის დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3-დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით სხვადასხვა ჰორიზონტებზე ზღვის ზედაპირიდან ფსკერამდე, ხოლო საგანგებო სიტუაციების დროს ვინინას-წარმეტყველოთ აგრეთვე ზღვაში ჩაღვრილი ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების არეები და კონცენტრაციები.

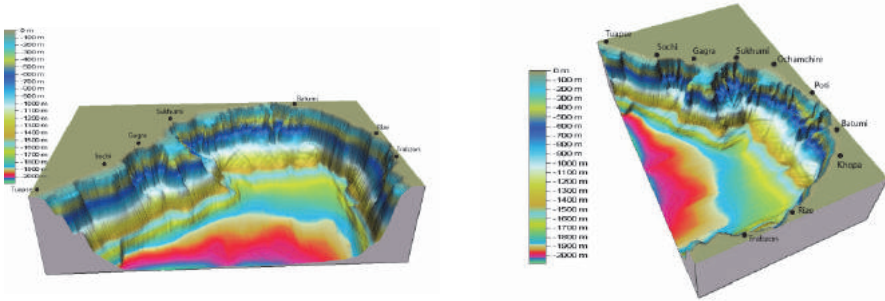
ამჟამად, რეგიონული პროგნოზის სისტემა მუშაობს ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში და ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3 დღიანი პროგნოზის შედეგები ზღვის ზედაპირზე, 20 და 50 მ სიღრმეებზე თავსდება ინტერნეტში მისამართებზე: www.ig-geophysics.ge და www.oceandna.ge.

4.2. დინამიკური ველების პროგნოზის მაგალითები

რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში შემავალი მათემატიკური მოდელების კომპიუტერული რეალიზაციის მიზნით ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში პროგნოზის არე დაფარულია სივრცითი ბადით, რომლის პარა-

მეტრებია: ვერტიკალზე 30 სათველი დონე არაერთგვაროვანი ბიჯებით 2, 4, 6, 8, 12, 16, 26, 36, 56, 86, 136, 206, 306, ..., 2006 ჰორიზონტებზე; თითოეულ ჰორიზონტზე ბადის კვანძების რაოდენობაა 215x347; სივრცითი ჰორიზონტალური ბიჯია 1 კმ; დროითი ბიჯია 0,5 სთ.

ნახ. 4.3-ზე ნაჩვენებია მოდელირებისა და პროგნოზის არის ტოპოგრაფიის სივრცითი გამოსახულებები დასავლეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მხრიდან, რაც გამოყენებულია რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში.



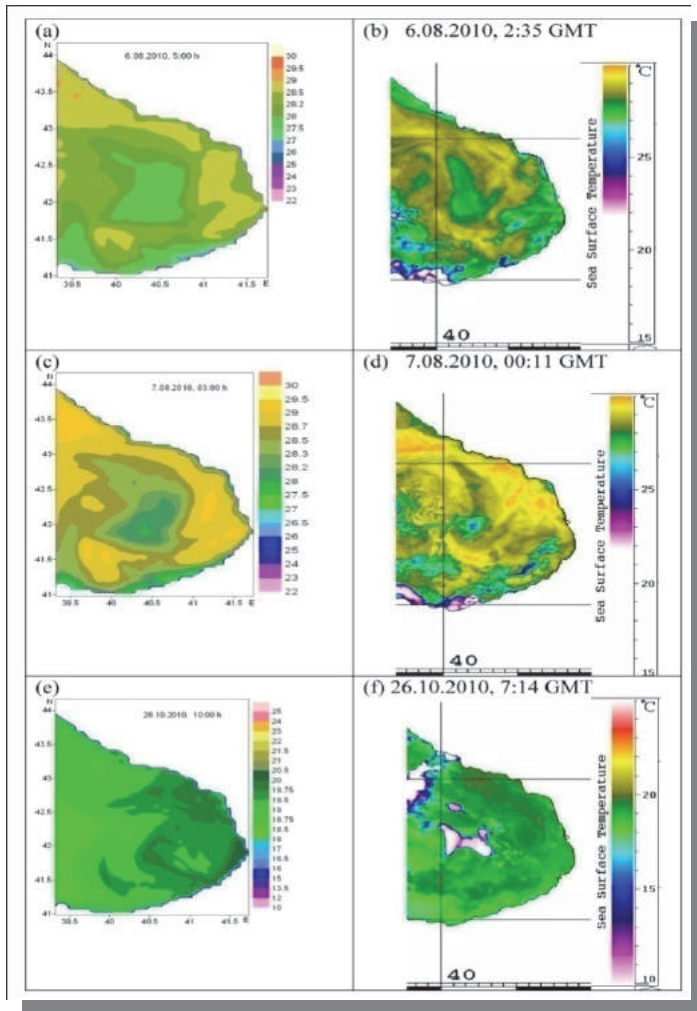
ნახ. 4.3. მოდელებში გამოყენებული შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიის ტოპოგრაფიის სივრცითი გამოსახულებები

პროგნოზული სისტემის ვალიდაცია განხორციელდა 2005 წლის ივლისში, როდესაც პირველად შავი ზღვისათვის ჩატარდა პილოტური ექსპერიმენტი შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ფუნქციონირების გამოცდის მიზნით ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში. პილოტურ ექსპერიმენტში მონაწილეობდა ყველა შავი ზღვისპირა ქვეყანა. აღმოსავლეთ შავი ზღვის პროგნოზული სისტემის შედეგების შედარებამ დაკვირვების მონაცემებთან აჩვენა გამოთვლილი პროგნოზული ველების კარგი თანხმობა დაკვირვების მონაცემებთან [46].

შემდგომში, ზედაპირული ტემპერატურის მნიშვნელობები შედარებული იქნა თანამგზავრულ მონაცემებთან. შედარებამ აჩვენა, პროგნოზული და დაკვირვებული ველების კარგი თვისებრივი და რაოდენობრივი დამთხვევა [39].

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 4.4-ზე ნაჩვენებია რეგიონული პროგნოზული სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული 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. პროგნოზული ველების შედარება ხდებო-

და იმ თანამგზავრულ სურათებთან, რომლებიც დაახლოებით შესაბამებოდნენ პროგნოზული ველების შესაბამის დროის მომენტებს.



ნახ. 4.4. პროგნოზული (მარცხნივ) და NOAA თანამგზავრებიდან მიღებული ზღვის ზედაპირის ტემპერატურა (მარჯვნივ) შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილში 2010 წლის 6, 7 აგვისტოს და 26 ოქტომბერს [39]

თანამგზავრული სურათების მიღება შესაძლებელი იყო უკრაინის ეროვნული კოსმოსური სააგენტოს შავი ზღვის მონაცემთა არქივიდან (<http://dvs.net.ua/mp>). შედარების მიზნით შეირჩა ის დღეები, როცა შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიის ზემოთ ცა თითქმის თავისუფალი იყო ღრუბელთა საფარისაგან. 26 ოქტომბერს მცირე მოღრუბულობა დაიკ-

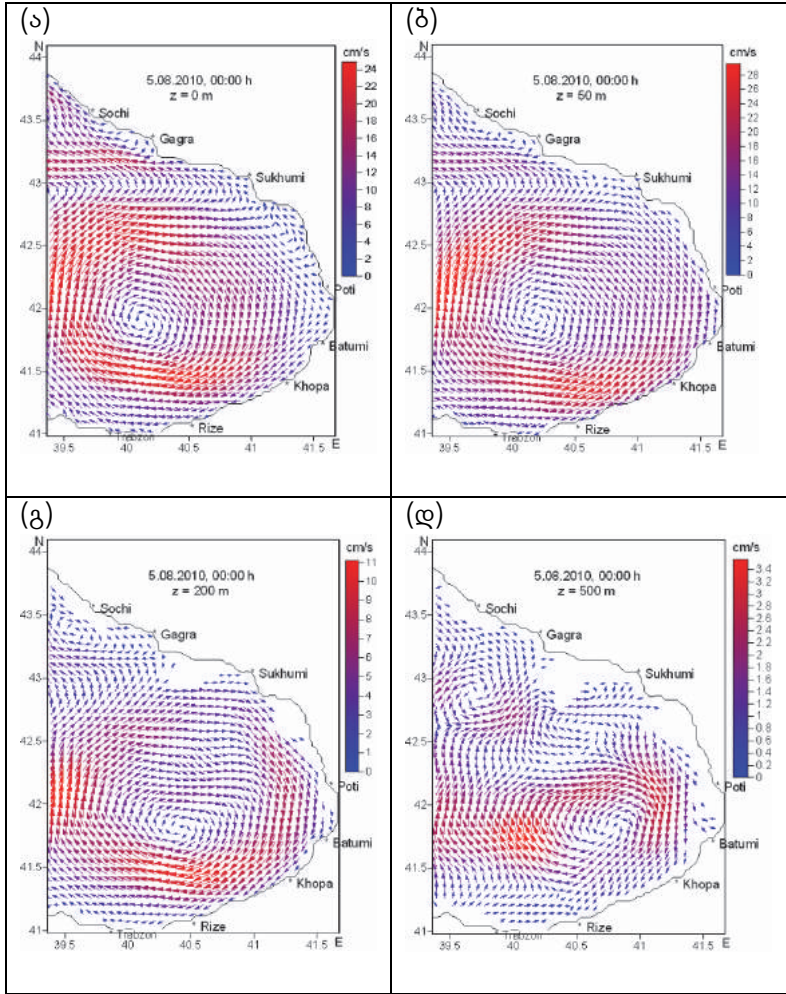
ვირვებოდა მხოლოდ განსახილველი ტერიტორიის ცენტრალურ და ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში. ნახ. 4.4-დან, ჩანს რომ გამოთვლილი ველები კარგ თანხმობაშია დაკვირვების მონაცემებთან და მოდელირებული ველები და თანამგზავრული სურათები თითქმის ერთნაირად ასახავენ ტემპერატურული ველის თავისებურებებს. მაგალითად, ნახ. 4.4-დან შეიძლება შევნიშნოთ, რომ 2010 წლის 6 და 7 აგვისტოს როგორც პროგნოზული, ასევე თანამგზავრულ ტემპერატურის ველებში დაიკვირვებოდა ნაპირის გასწვრივ შედარებით მაღალი ტემპერატურები და დაბალი ტემპერატურები განსახილველი არის ცენტრალურ ნაწილში. 26 ოქტომბერს კი შესამჩნევი იყო წყლის გაცივების საერთო ტენდენცია საქართველოს ნაპირებიდან ზღვის სიღრმისაკენ. რაც შეეხება რაოდენობრივ თანხვედრას, განხილული არის უდიდეს ნაწილში ტემპერატურული სხვაობა პროგნოზულ და დაკვირვებულ სიდიდეებს შორის არ აღემატებოდა $0,6^{\circ}-0,7^{\circ}\text{C}$, მხოლოდ ზოგიერთ წერტილში განსხვავება მეტი იყო.

განვიხილოთ რეგიონული პროგნოზის სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი დინამიკური ველების პროგნოზის ზოგიერთი მაგალითი შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში.

მაგალითი 1. პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT (საშუალო გრინვიჩის დრო), 6-9 აგვისტო 2010. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მოდელის განტოლებათა ინტეგრირება იწყებოდა 24 სთ-ით ადრე, ე. ი. 00:00 GMT, 5 აგვისტოს, რადგანაც, როგორც უკვე აღინიშნა, პირველ დღეს მიმდინარეობს ველების ადაპტირების პროცესი მაღალი გარჩევისუნარიან სათვლელი ბადის მიმართ.

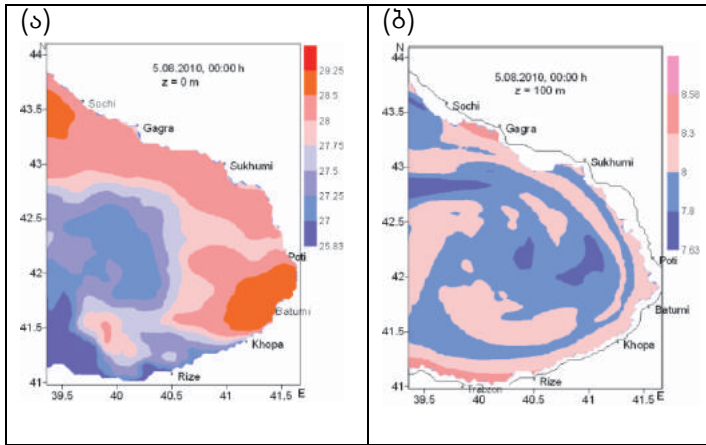
ნახ. 4.5-ზე ნაჩვენებია დინების ველი აღმოსავლეთ აკვატორიაში სხვადასხვა სიღრმეებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში (00:00 GMT, 5 აგვისტო 2010).

ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ რეგიონული ცირკულაციის მთავარი ელემენტია ანტიციკლონური გრიგალი დიამეტრით დაახლოებით 150-200 კმ, რომელიც ფარავს განხილული მოდელირების არის უდიდეს ნაწილს. ესაა ოკეანოგრაფიულ ლიტერატურაში კარგად ცნობილი ბათუმის გრიგალი [49, 69], რომელიც უფრო მეტად დამახასიათებელია წლის თბილ სეზონში შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილისათვის. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ბათუმის გრიგალის სტრუქტურა პრაქტიკულად უცვლელია ზედა ფენაში, მხოლოდ დინების სიჩქარეები სიღრმის მიხედვით თანდათან მცირდება. აქ განხილულ მაგალითში დინების მაქსიმალური სიჩქარე შემცირდა 24 სმ/წმ-დან 11 სმ/წმ-დე ზედაპირიდან 200 მ სიღრმემდე. ღრმა ფენებში ბათუმის გრიგალი თანდათან ტრანსფორმირდება და დაიკვირვება უფრო მცირე მასშტაბის გრიგალური წარმონაქმნების ფორმირება.



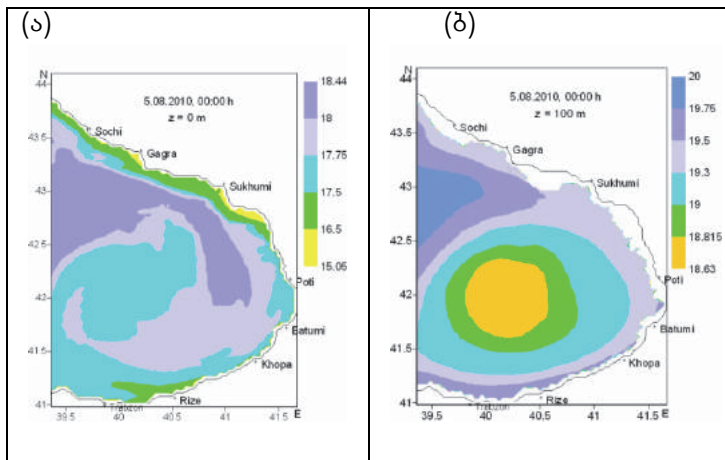
ნახ. 4.5. დინების ველი 0 მ (ა), 50 მ (ბ), 200 მ (გ) და 500 მ (დ) ჰორიზონტებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში: 00:00 GMT, 5.08.2010

ნახ. 4.6 და 4.7-ზე მოცემულია ტემპერატურისა და მარილიანობის ველები ზღვის ზედაპირსა და 100 მ ჰორიზონტზე მოდელის განტოლებათა ინტეგრირების დასაწყისში. ზედაპირული ტემპერატურის ჰორიზონტალური განაწილება ტიპიურია წლის ზაფხულის სეზონისათვის. უფრო თბილი წყლები ზღვის ზედაპირზე დაიკვირვება კავკასიის სანაპიროს მიმდებარე აკვატორიაში. $z=100$ მ ჰორიზონტზე კარგად დაიკვირვება ცივი შუალედური ფენა (ეს ფენა შემოსაზღვრულია 8°C იზოთერმით) აკვატორიის მნიშვნელოვან ნაწილში.



ნახ. 4.6. ტემპერატურის ველი 0 მ (ა) და 100 მ (ბ) ჰორიზონტებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში: 00:00 GMT, 5.08.2010

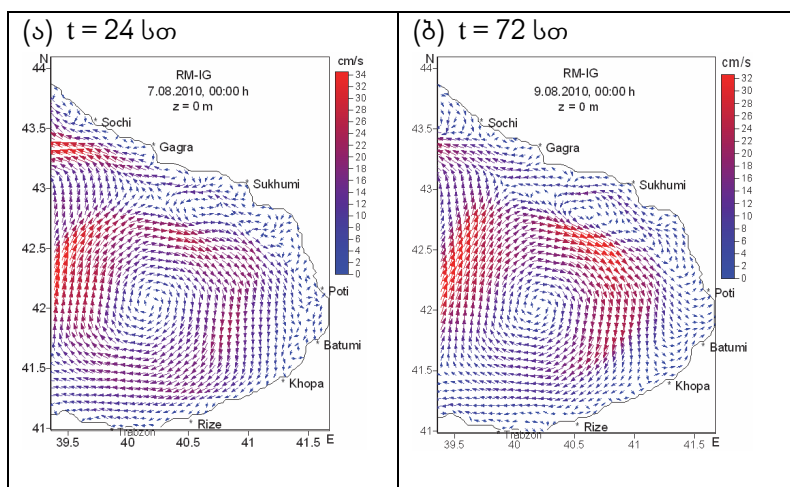
ბათუმის გრიგალი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მარილიანობის ველის განაწილებაზე. მარილიანობის ველის ძირითადი თავისებურებაა ის, რომ შედარებით ნაკლებად მარილიანი წყლები ბათუმის გრიგალის ცენტრალურ ნაწილშია, ხოლო გრიგალის პერიფერიულ ნაწილში მარილიანობა მატულობს (ნახ. 4.7). მარილიანობის განაწილების ასეთი ხასიათი ადვილად აიხსნება ცირკულაციური თავისებურებებით, ანტიციკლონური გრიგალის ცენტრალურ ნაწილში ფორმირებულ დაღმავალ დინებას შედარებით დაბალი მარილიანობის წყალი ჩამოაქვს ზედა ფენებიდან ქვედა ფენებში.



ნახ. 4.7. მარილიანობის ველი 0 მ (ა) და 100 მ (ბ) ჰორიზონტებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში: 00:00 GMT, 5.08.2010

ქარის ხახუნის ტანგენციალური დაძაბულობის ველების ანალიზმა აჩვენა, რომ მოცემულ პროგნოზულ ინტერვალში ზღვის ზემოთ ატმოსფერული ცირკულაცია მნიშვნელოვნად იცვლებოდა.

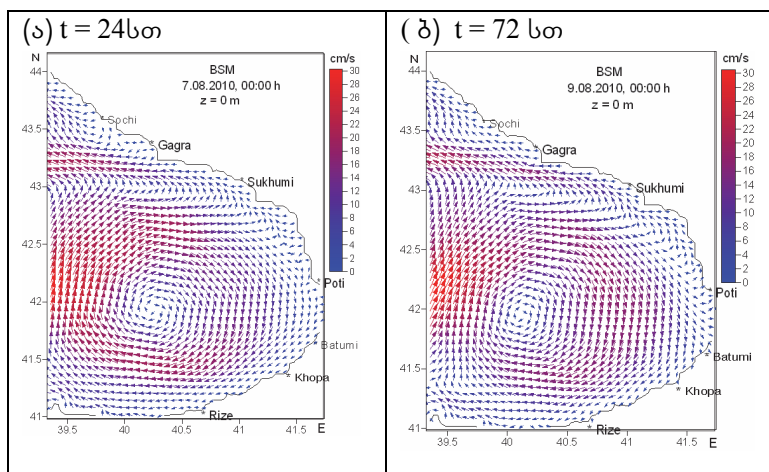
ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილი ზღვის ზედაპირული დინების ველი 24 და 72 სთ-ის შემდეგ (დრო ათვლილია პროგნოზის საწყისი მომენტიდან – 00:00 GMT, 6 აგვისტო 2010) წარმოდგენილია ნახ. 4.8-ზე, ხოლო ზჰი-ის მოდელით გამოთვლილი იგივე ველები იმავე დროის მომენტებში ნაჩვენებია ნახ. 4.9-ზე. ნახ. 4.8 და ნახ. 4.9-ის შედარებითი ანალიზი აჩვენებს, რომ ორივე მოდელით მიღებულ პროგნოზულ ველებს საერთო თვისებები გააჩნიათ, მაგრამ ამავე დროს დაიკვირვება განსხვავებანიც. საერთო დამახასიათებელი თვისებებურებაა ის რომ ორივე



ნახ. 4.8. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული ზედაპირული დინების პროგნოზული ველი $t = 24$ სთ (ა) და $t = 72$ სთ (ბ) მომენტებისათვის. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 6-9 აგვისტო, 2010

მოდელის თანახმად ბათუმის გრიგალი არის საკმაოდ მდგრადი წარმონაქმნი, რომელიც დაიკვირვება მთელი პროგნოზული ინტერვალის განმავლობაში მნიშვნელოვანი ცვლილებების გარეშე, ატმოსფერული ზემოქმედების არასტაციონარულობის მიუხედავად. მთავარი განსხვავება აღნიშნული მოდელებით პროგნოზირებულ ცირკულაციის ველებს შორის არის ის, რომ კავკასიის სანაპიროს გასწვრივ დაახლოებით 20-25 კმ სიგანის ვიწრო ზონაში დინებათა სისტემა რეგიონული მოდელის თანახმად ხასიათდება ძალიან მცირე ზომის სანაპირო არამდგრადი გრიგალური სტრუქტურების ფორმირებით და აქ დინების არასტაციონარული ხასია-

თით, რაც ზჰი-ის მოდელით მიღებულ ცირკულაციურ სურათებში ნაკლებად დაიკვირვება, ამ ზონაში დინება გაგლუვებულია და პრაქტიკულად სტაციონარული ხასიათი აქვს. მაგალითად, ზჰი-ის ინსტიტუტის მოდელისაგან განსხვავებით, ნახ. 4.8ბ-ზე კარგად ჩანს მცირე ზომის გრიგალური ფორმირება 15-20 კმ დიამეტრით ქ. სოხუმის მიმდებარე აკვატორიაში. ეს მცირე გრიგალი დაიკვირვება $t=24$ სთ მომენტისათვის, მაგრამ

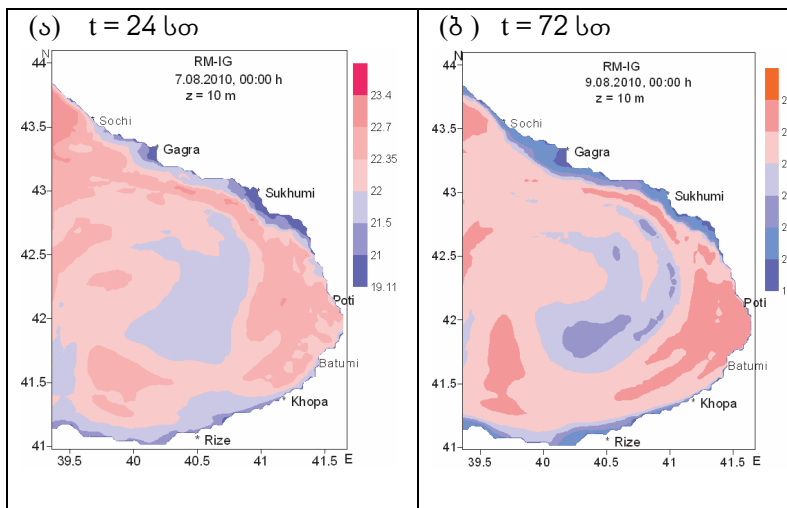


ნახ. 4.9. ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მიღებული ზედაპირული დინების პროგნოზული ველი $t = 24$ სთ (ა) და $t = 72$ სთ (ბ) მომენტებისათვის. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 6-9 აგვისტო, 2010

უფრო მკვეთრადაა გამოხატული $t=72$ სთ მომენტში. ასევე, ქ. ფოთსა და ქ. ხოფას შორის სანაპირო აკვატორიაში დაიკვირვება ძალიან მცირე ზომის გრიგალის ფორმირების პროცესი $t=24$ სთ მომენტისათვის, მაგრამ $t=72$ საათისათვის ეს გრიგალი აღარ დაიკვირვება, რადგან მოხდა მისი მალევე დისიპაცია. ანალოგიური სუბმეზომასშტაბური სანაპირო გრიგალების ფორმირება დამახასიათებელია შავი ზღვის სანაპირო ზონაში, რაც აღნიშნულია სხვა ავტორების მიერაც [103, 125]. ასეთი მცირე მასშტაბის მქონე გრიგალური წარმონაქმების იდენტიფიკაცია შესაძლებელია მაღალი გარჩევისუნარიანობის მათემატიკური მოდელებით, რაც უზრუნველყოფილია ჩვენს რეგიონულ მოდელში.

რეგიონული მოდელის თანახმად, მცირე გრიგალური ფორმირებების ვიწრო სანაპირო ზონა გარკვეულ გავლენას ახდენს ბათუმის გრიგალის კონფიგურაციაზე და შესაბამისად სიჩქარეთა განაწილებაზე გრიგალის შიგნით. ეს ზონა თამაშობს შემაფერხებელი ფაქტორის როლს ბათუმის გრიგალის მარჯვენა პერიფერიული დინებისათვის უშუალოდ მიაღწიოს

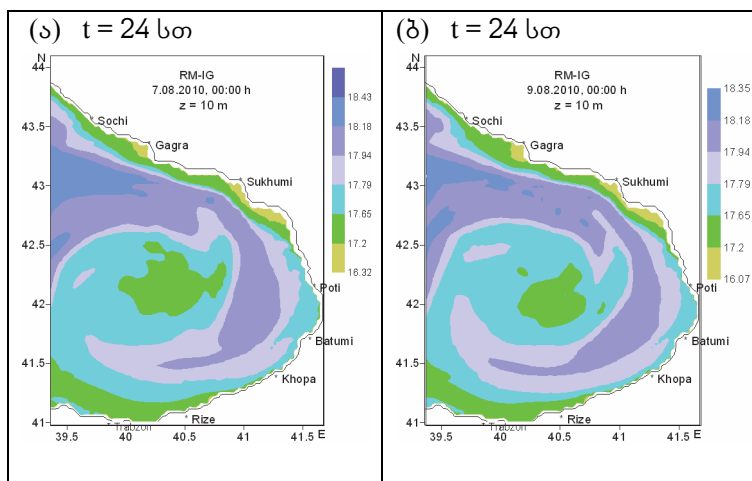
საქართველოს სანაპიროს. მაგალითად, ნახ. 4.8-დან ჩანს, რომ ქ. სოხუმის მახლობლად ფორმირებული სუბმეზომასშტაბური გრივალის მოქმედებს, როგორც გარკვეული დაბრკოლება ბათუმის გრივალის პერიფერიული დინებისათვის, რომელიც აქ მიედინება სოხუმის სუბმეზომასშტაბურ და გრივალსა და ბათუმის გრივალის ცენტრს შორის მოთავსებულ „ვინრო არხში“. ამიტომ აქ წარმოიშობა მაღალი სიჩქარეების არე, სადაც დინება აღწევს 30-32 სმ/წმ. დინების ეს თავისებურება ზჰი-ის მოდელის მიერ შემჩნეულია.



ნახ. 4.10. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული ტემპერატურის პროგნოზული ველი $t = 24$ სთ (ა) და $t = 72$ სთ (ბ) მომენტებისათვის $z = 10$ მ ჰორიზონტზე. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 6-9 აგვისტო, 2010

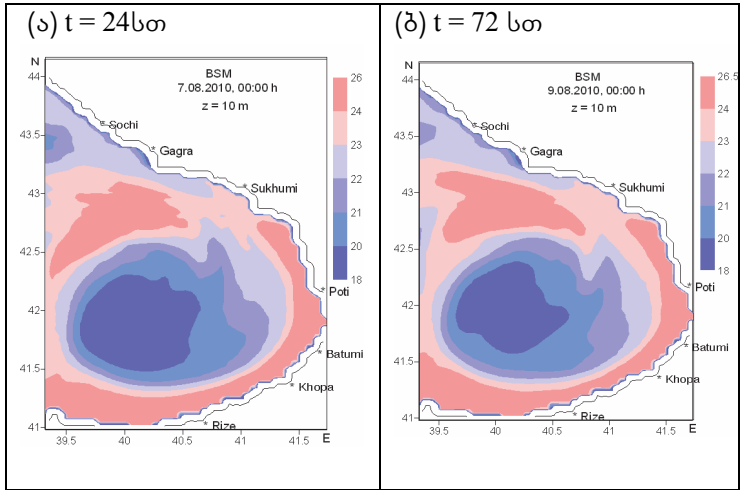
ნახ. 4.10 და ნახ. 4.11.-ზე ნაჩვენებია ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილი ტემპერატურისა და მარილიანობის პროგნოზული ველები, შესაბამისად. იგივე ველები, რომლებიც გამოთვლილია ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით, ნაჩვენებია, შესაბამისად ნახ. 4.12 და ნახ. 4.13-ზე. ორივე შემთხვევაში თერმობალინური ველები წარმოდგენილია $z = 10$ მ ჰორიზონტზე 24 და 72 სთ-ის შემდეგ პროგნოზის საწყის მომენტებიდან. ნახ. 4.10 და ნახ. 4.12-ის შედარება აჩვენებს გარკვეულ განსხვავებას ორი მოდელით გამოთვლილ ტემპერატურის ველებს შორის. ნახაზებიდან ჩანს, რომ ორივე შემთხვევაში ბათუმის გრივალის ცენტრალურ ნაწილში ნყლები უფრო ცივია, ვიდრე პერიფერიულ ნაწილში. ნახ. 4.11 და ნახ. 4.13 შედარება ცხადად აჩვენებს მოდელის მაღალი გარჩევისუნარიანობის საჭიროებას დინამიკური ველების რეალურად აღწერის მიზნით მარილიან-

ნობის ველის მოდელირების მაგალითზე. ნახ. 4.11-დან მკაფიოდ იკვთება მაღალი მარილიანობის წყლების შემოჭრა ზღვის ღია ნაწილიდან საქართველოს სანაპირო ზონაში ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალის პერიფერიული დინებით. ზჰი-ის მოდელი, რომელიც იყენებს უხეშ ბადეს, ვერ აღწერს მკაფიოდ ამ ფენომენს, მაშინ როცა ეს თავისებურება ცხადად აღინერება მაღალი გარჩევისუნარიანი ბადის მქონე მოდელით.

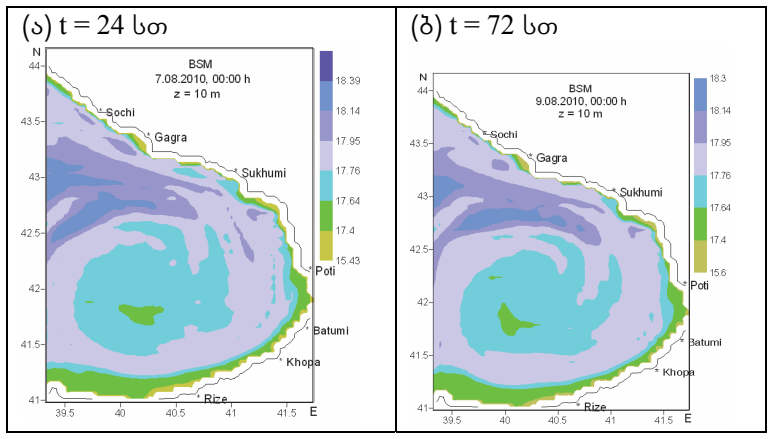


ნახ. 4.11. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული მარილიანობის პროგნოზული ველი $t = 24$ სთ (ა) და $t = 72$ სთ (ბ) მომენტებისათვის. პროგნოზული ინტერვალა 00:00 GMT, 6-9 აგვისტო, 2010

ბათუმის ანტიციკლონურ გრიგალთან დაკავშირებით უნდა აღვნიშნოთ შემდეგი. შავი ზღვის კვაზისტაციონარულ ანტიციკლონურ წარმონაქმნებს შორის, ბათუმის ანტიციკლონი ყველაზე მნიშვნელოვანი გრიგალური წარმონაქმნია მისი ინტენსიურობისა და სტაბილურობის თვალსაზრისით. იგი შეიძლება ჩაისახოს წლის ნებისმიერ სეზონში, მაგრამ დაკვირვებათა სტატისტიკა გვიჩვენებს, რომ ეს გრიგალი რეგულარულად ფორმირდება წლის თბილ სეზონში მარტ-აპრილიდან ოქტომბერ-ნოემბრამდე. [158]-ში მისი ფორმირების მიზეზად ქარი მიიჩნევა. ჩვენს მიერ [19]-ში ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტები მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შავი ზღვის დინამიკის მოდელის [36, 153, 154] საფუძველზე კლიმატური საშუალო წლიური მონაცემების გამოყენებით საფუძველს გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალის

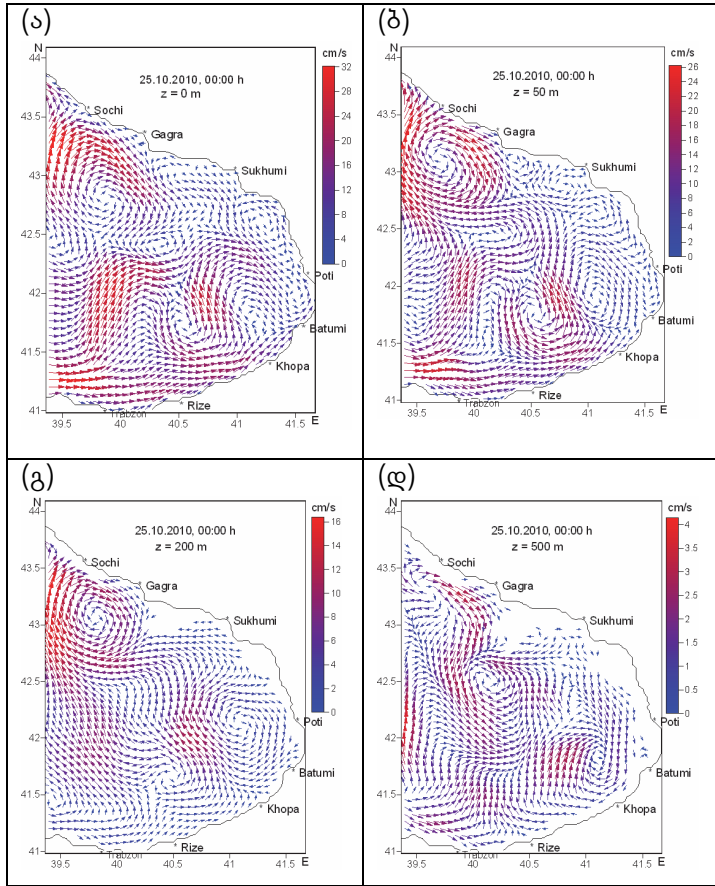


ნახ. 4.12. ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მიღებული ტემპერატურის პროგნოზული ველი $t=24$ სთ (ა) და $t=72$ სთ (ბ) მომენტებისათვის $z=10$ მ ჰორიზონტზე. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 6-9 აგვისტო, 2010



ნახ. 4.13. ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მიღებული მარილიანობის პროგნოზული ველი $t=24$ სთ (ა) და $t=72$ სთ (ბ) მომენტებისათვის $z=10$ მ ჰორიზონტზე. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 6-9 აგვისტო, 2010

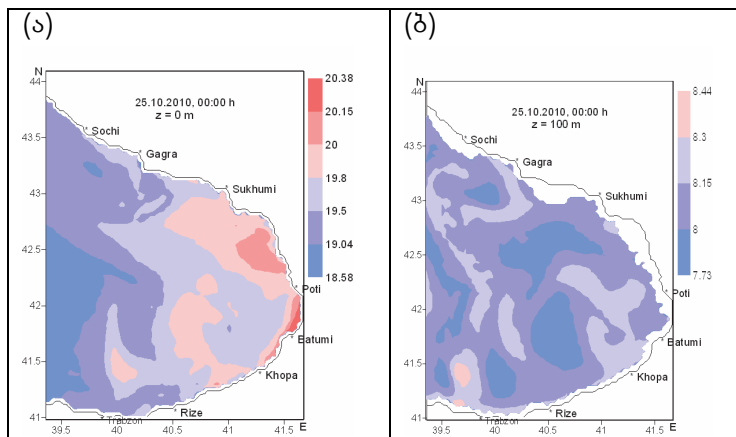
ფორმირების მიზეზი თერმოხალინური პირობებია, ანუ ტემპერატურისა და მარილიანობის ველების განაწილების სპეციფიკური ხასიათი. გამოირკვა, რომ ერთი და იგივე ქარის ზემოქმედების პირობებში ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ბათუმის ანტიციკლონის ფორმირება დამოკიდებულია ზედა სასაზღვრო პირობებზედ გამოყენებულ ზღვის ზედაპირ-



ნახ. 4.14. დინების ველი 0 მ – (ა), 50 მ – (ბ), 200 მ – (გ), 500 მ – (დ)
 ჰორიზონტებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში:
 00:00 GMT, 25.10.2010

რის ტემპერატურისა და მარილიანობის ველებისა და მათი ფონური ვერტიკალური პროფილების თავისებურებებთან. [19]-ში აღწერილ რიცხვით ექსპერიმენტებში გამოკვლეული იყო ცირკულაციური პროცესების მგრძობიარობა სასაზღვრო პირობების სახით მოდელში შემავალ ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის და მარილიანობის ველებისა და მათი პროფილების მიმართ. განიხილებოდა ჩვენს ხელთ არსებული ორი სახის საშუალო წლიური კლიმატური მონაცემები ტემპერატურისა და მარილიანობისათვის, რომლებიც მიღებული იყო სხვადასხვა ავტორთა მიერ სხვადასხვა წლებში ჩატარებულ დაკვირვების მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე, ამასთანავე ქარის ტანგენციალური დაძაბულობის ვექტორული ველი

ერთნაირი იყო ორივე რიცხვით ექსპერიმენტში. რიცხვითმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა ბათუმის ანტიციკლონის ფორმირება ერთი სახის თერმობალინური ველების შემთხვევაში, ხოლო მეორე სახის ველების გამოყენებისას ბათუმის გრიგალი არ დაიკვირებოდა. ამგვარად, მიღებული შედეგი საფუძველს გვაძლევს გამოვთქვათ მოსაზრება, რომ ბათუმის გრიგალის ფორმირების მიზეზი ტემპერატურისა და მარილიანობის ველების თავისებური განაწილებაა.

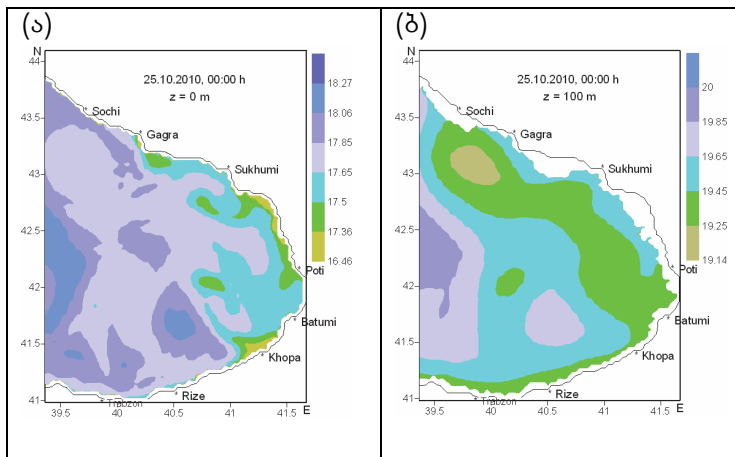


ნახ. 4.15. ტემპერატურის ველი 0 მ (ა) და 100 მ (ბ) ჰორიზონტებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში: 00:00 GMT, 25.10.2010

მაგალითი 2. პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26-29 ოქტომბერი 2010. წინა შემთხვევის ანალოგიურად, მოდელის განტოლებათა ინტეგრირება იწყებოდა ერთი დღით ადრე, ე. ი. 00:00 GMT, 25 ოქტომბერს. ნახ. 4.14-ზე ნაჩვენებია დინების ველი ზოგიერთ ჰორიზონტებზე განტოლებათა ინტეგრირების საწყის მომენტში. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ როგორც ნახ. 4.14 და ნახ. 4.8 შედარებიდან ჩანს, რეგიონული ცირკულაცია სრულიად განსხვავდება 2010 წლის 5 აგვისტოს არსებული ცირკულაციისაგან. რეგიონული ცირკულაციის ზოგადი სტრუქტურა 00:00 GMT, 25 ოქტომბერს ხასიათდებოდა მცირე ზომის ციკლონური და ანტიციკლონური გრიგალების ფორმირებით. ასეთი სტრუქტურა თვისებრივად შენარჩუნდებულია ღრმა ფენებამდე დინების მაქსიმალური სიჩქარის თანდათანობითი შემცირებით 32 სმ/წმ-დან ზღვის ზედაპირზე 4 სმ/წმ-მდე 500 მ სიღრმეზე. შესაბამისად, ტემპერატურისა და მარილიანობის ველების ჰორიზონტალური განაწილება (ნახ. 4.15 და ნახ. 4.16) განსხვავ-

დება იგივე ველების განაწილებისაგან 2010 წლის 5 აგვისტოს (იხ., ნახ. 4.10 და ნახ. 4.11).

გეოფიზიკის ინსტიტუტის რეგიონული მოდელით გამოთვლილი პროგნოზული ზედაპირული ცირკულაციის ველი წარმოდგენილია ნახ. 4.17-ზე, ხოლო ზჰი-ის ინსტიტუტის ზღვის დინამიკის მოდელით გამოთვლილი იგივე ველი ნაჩვენებია ნახ. 4.18-ზე 24 სთ და 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყის მომენტიდან. ამ ორი ნახაზის შედარება აჩვენებს, რომ რეგიონული მოდელით პროგნოზირებული ცირკულაცია ხასიათდება მეზო-

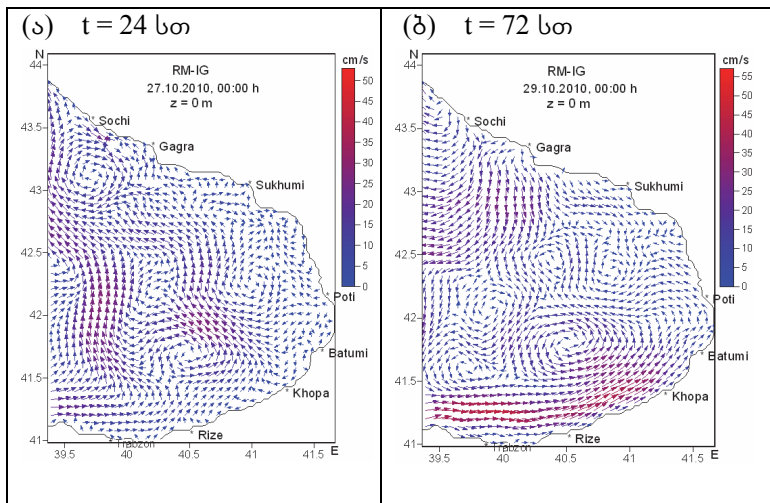


ნახ. 4.16. მარილიანობის ველი (%) 0 მ (ა) და 100 მ (ბ) ჰორიზონტებზე ინტეგრირების საწყის მომენტი: 00:00 GMT, 25.10.2010

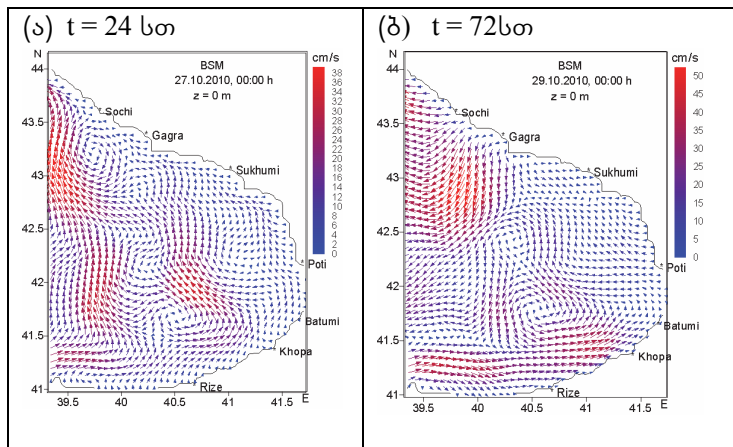
და სუბმეზომასშტაბური გრიგალური წარმონაქმნების ინტენსიური ფორმირებით, ევოლუციითა და დისიპაციით (დაახლოებით 15-40 კმ დიამეტრით), რაც შედარებით ნაკლებადაა გამოხატული ზჰი-ის ინსტიტუტის მოდელით პროგნოზირებულ დინების ველში. ეს ფაქტი კიდევ ერთხელ გვარწმუნებს იმ აზრში, რომ რიცხვითი მოდელის მაღალი გარჩევისუნარიანობა წარმოადგენს მთავარ ფაქტორს მცირე არამდგრადი გრიგალების საიმედო იდენტიფიკაციისათვის, რომელთა ფორმირება უწყვეტად მიმდინარეობს საქართველოს სანაპიროს გასწვრივ ვიწრო ზოლში.

ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილი ტემპერატურისა და მარილიანობის პროგნოზული ველები ნაჩვენებია ნახ. 4.19 და ნახ. 4.20-ზე, ხოლო ზჰი-ის მოდელით გამოთვლილი იგივე ველები - ნახ. 4.21 და ნახ. 4.22-ზე. აღნიშნული ველები ნაჩვენებია $z = 10$ მ ჰორიზონტზე 24 და 72 სთ-ის შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. ორივე მოდელით მიღებული თერმობალინური ველების შედარებითი ანალიზი მონიშნავს, რომ ამ ველების ძირითადი თავისებურებანი მსგავსია და თვისებ-

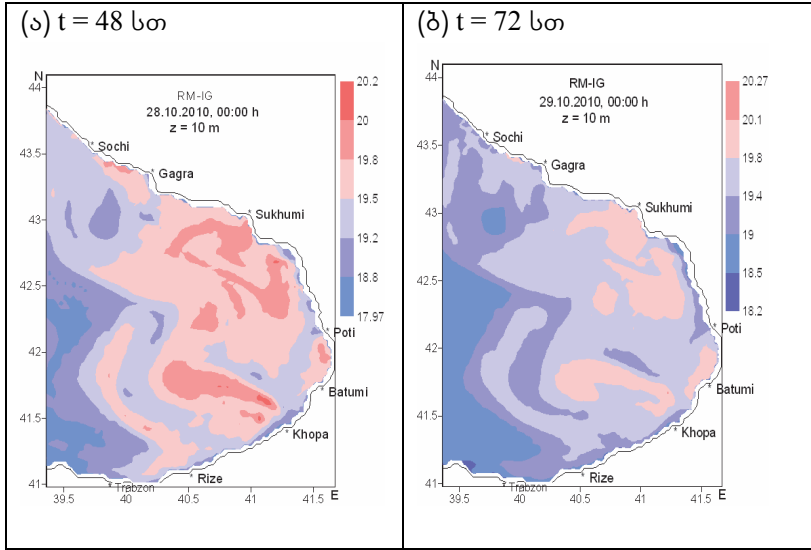
რივად ახლოსაა ერთმანეთთან, მაგრამ დაიკვირვება გარკვეული განსხვავებანი ველების ცალკეულ ნიუანსებში.



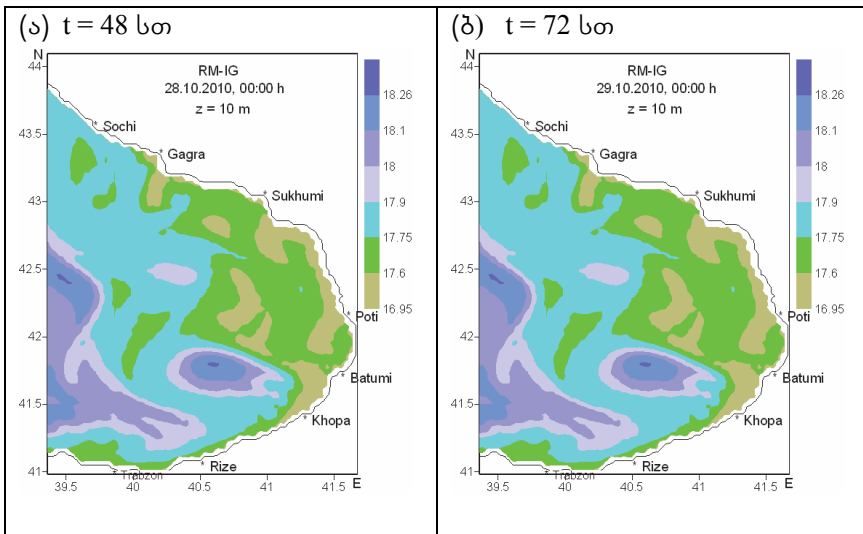
ნახ. 4.17. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული ზედაპირული დინების ველი $t=24$ სთ (ა) და 72 სთ (ბ) მომენტებისათვის. (პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26–29 ოქტომბერი, 2010)



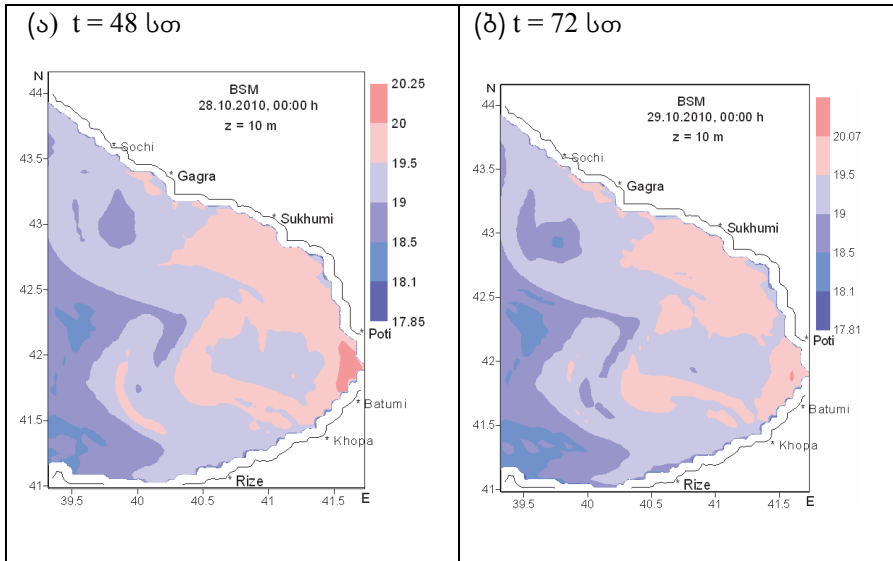
ნახ. 4.18. ზჰი-ის მოდელით მიღებული ზედაპირული დინების ველი $t=24$ სთ და 72 სთ (ბ) მომენტებისათვის. (პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26–29 ოქტომბერი, 2010)



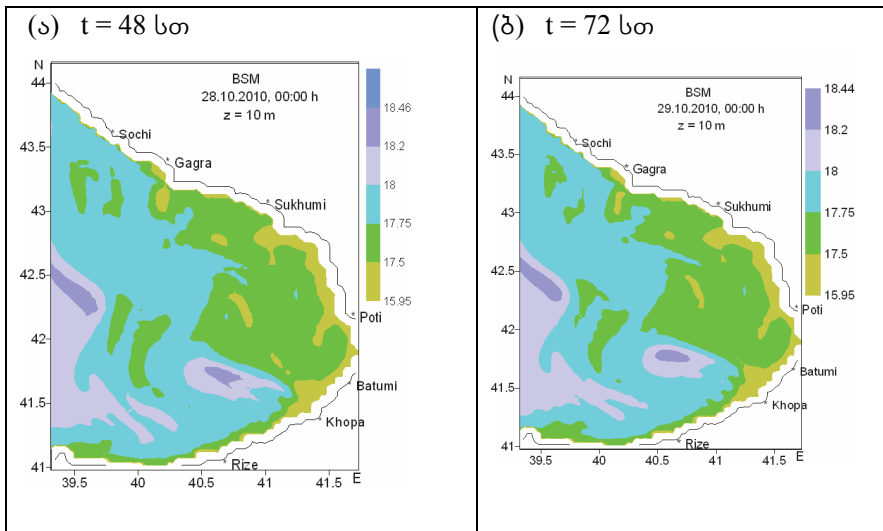
ნახ. 4.19. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული ტემპერატურული ველი ($^{\circ}\text{C}$) $z=10$ მ ჰორიზონტზე $t=48$ სთ (ა) და $t=72$ სთ (ბ) მომენტისათვის. პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26–29 ოქტომბერი, 2010



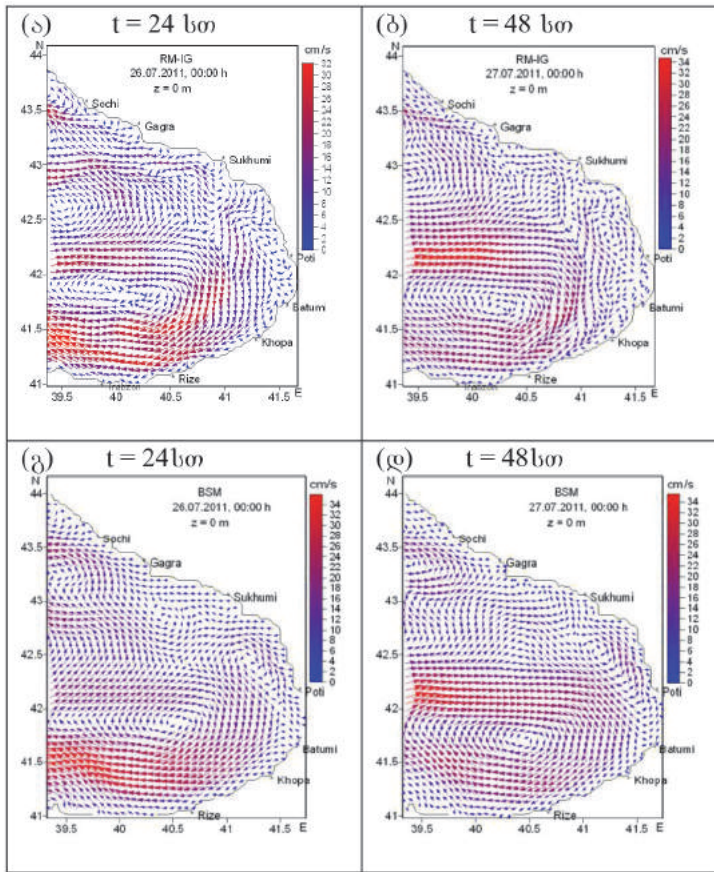
ნახ. 4.20. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით მიღებული მარილიანობის ველი ($\%$) $z=10$ მ ჰორიზონტზე $t=48$ სთ (ა) და $t=72$ სთ (ბ) მომენტისათვის. პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26–29 ოქტომბერი, 2010



ნახ. 4.21. ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მიღებული ტემპერატურული ველი ($^{\circ}\text{C}$) $z=10$ მ ჰორიზონტზე $t=48$ სთ (ა) და $t=72$ სთ (ბ) მომენტისათვის. პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26–29 ოქტომბერი, 2010



ნახ. 4.22. ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მიღებული მარილიანობის ველი (%) $z=10$ მ ჰორიზონტზე $t=48$ სთ (ა) და $t=72$ სთ (ბ) მომენტისათვის. პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 26–29 ოქტომბერი, 2010



4.23. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები $t=24$ სთ (ა, გ) და $t=48$ სთ (ბ, დ) მომენტისათვის. (ა), (ბ) – რეგიონული მოდელით მიღებული; (გ), (დ) – ზჰი-ის მოდელით მიღებული. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 25-28 ივლისი, 2011

მაგალითი 3: პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 25-28 ივლისი 2011. წინა შემთხვევის ანალოგიურად, მოდელის განტოლებათა ინტეგრირება იწყებოდა ერთი დღით ადრე, ე. ი. 00:00 GMT, 24 ივლისს. ნახ. 4.23-ზე ნაჩვენებია ზედაპირული დინების ველები 24 და 48 სთ-ის შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან – 00:00 GMT, 25.07.2011. ნახ. 4.23ა და ნახ. 4.23ბ-ზე წარმოდგენილი დინების ველები პროგნოზირებულია რეგიონული დინამიკის მოდელით, ხოლო ზჰი-ის დინამიკის მოდელით პროგნოზირებული იგივე ველები წარმოდგენილია ნახ. 4.23გ და ნახ. 4.23დ-ზე. ნახ. 4.23-დან ნათლად ჩანს ორივე მოდელით პროგნოზირებული ბათუმის გრიგალი, რომელიც, ძირითადად, განსახილველი არის სამხრეთ ნაწილში მდებარეობს და რეგიონული ცირკულაციის ძირითადი ელემენტია. ძირი-

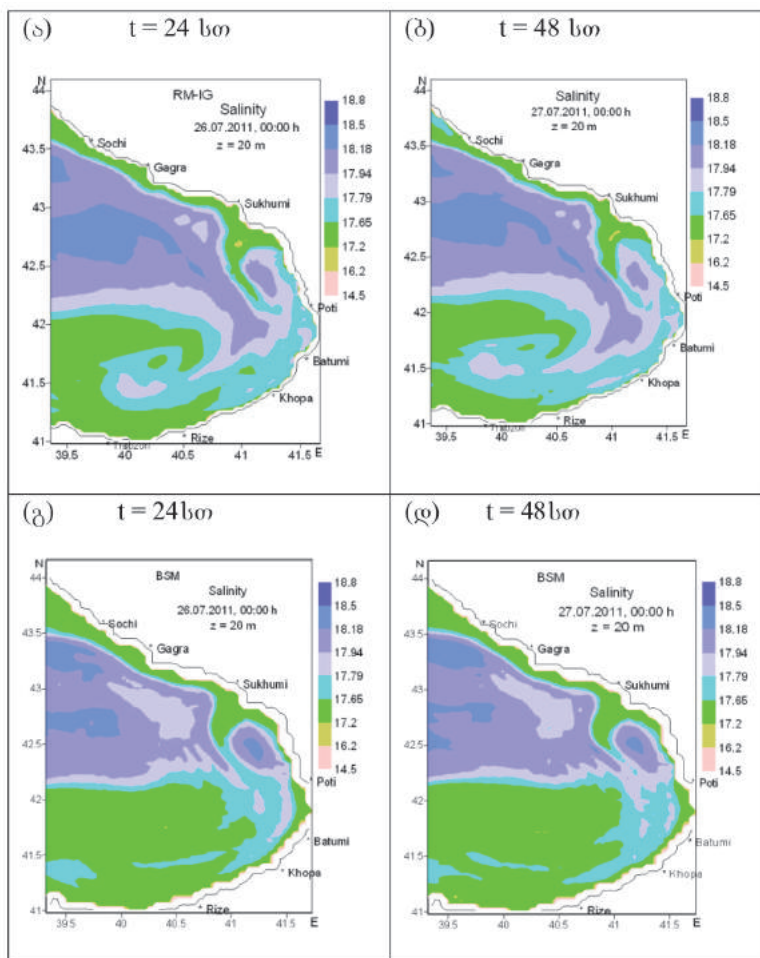
თადი განსხვავება ორი მოდელით პროგნოზირებულ დინების ველებს შორის საქართველოსა და თურქეთის სანაპიროს (დაახლოებით ქ. რიზემდე) გასწვრივ სანაპირო ზოლში შეიმჩნევა. რეგიონული მოდელის თანახმად, ამ ზოლში მკაფიოდ შეიმჩნევა მცირე სანაპირო გრიგალების ფორმირების ტენდენცია და დინების არასტაციონარული ხასიათი, მაშინ როცა ზჰი-ის მოდელით გამოთვლილი დინება ამ ზოლში პრაქტიკულად სტაციონარული და გაგლუვებულია. აქვე შეიძლება აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაში სანაპირო სუბმეზომასშტაბური გრიგალების ზოლი უფრო ფართოა, ვიდრე ეს იყო 2010 წლის აგვისტოში (იხ., მაგალითი 1). როგორც ნახ. 4.23-დან ჩანს, ასეთი სანაპირო ზოლის ფორმირება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბათუმის გრიგალის კონფიგურაციაზე და ხელს უშლის ბათუმის გრიგალის მარჯვენა პერიფერიულ დინებას უშუალოდ ახლოს ჩაუაროს საქართველოს ნაპირს (ნახ. 4.23ბ).

გარკვეული განსხვავებანი შეიმჩნევა ორი მოდელით პროგნოზირებულ თერმოხალინურ ველებშიც. ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 4.24-ზე ნაჩვენებია მარილიანობის ველი $z=20$ მ ჰორიზონტზე პროგნოზის საწყისი მომენტიდან 24 და 48 საათისათვის. ისევე როგორც პირველ განხილულ მაგალითში, ორივე მოდელით პროგნოზირებული მარილიანობის ძირითადი თავისებურებაა დაბალი მარილიანობის წყლების ფორმირება ბათუმის გრიგალის ცენტრალურ ნაწილში, რაც გამოწვეულია ამ არეში ფორმირებული დაღმავალი დინებით. ბათუმის გრიგალის პერიფერიული დინება ხასიათდება შედარებით მაღალი მარილიანობის წყლებით, რომელთა შემოდინება დაიკვირვება ზღვის ღია ნაწილიდან. ეს ფაქტი უფრო მკვეთრადაა გამოხატული რეგიონული მოდელით მიღებულ ველებში (იხ., ნახ. 4.24ა და ბ).

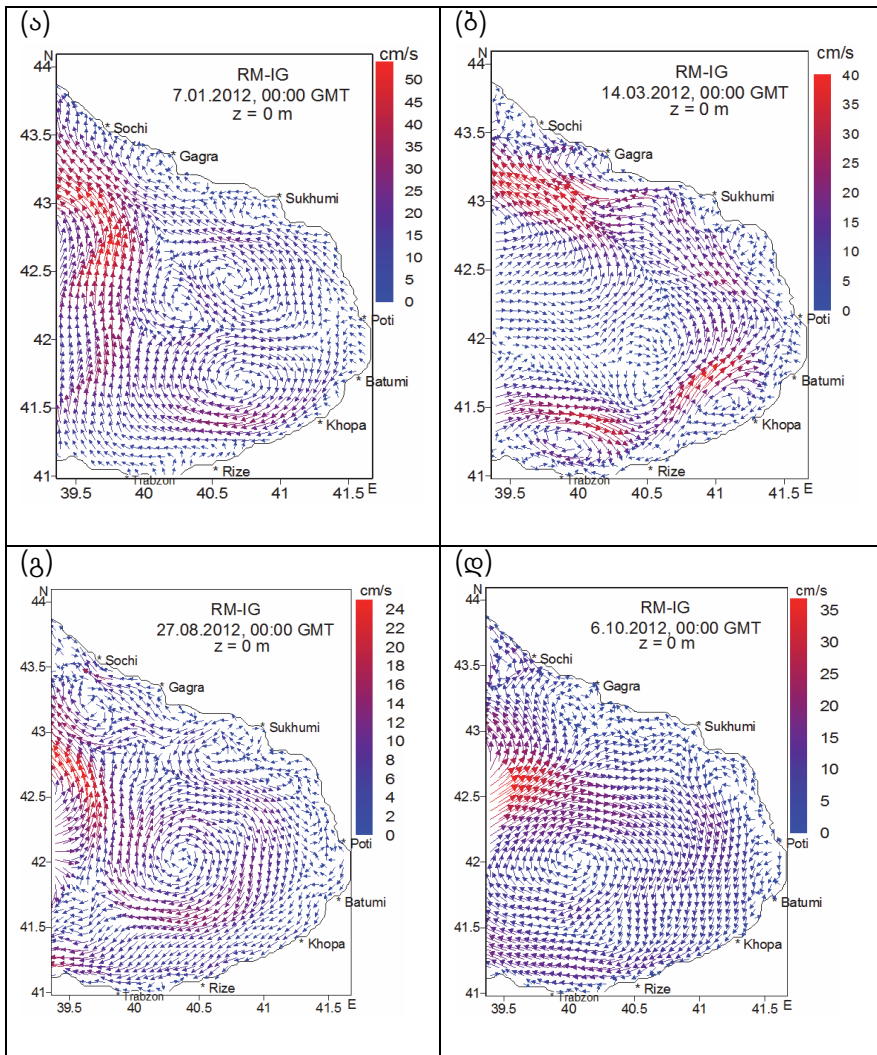
შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიისათვის დინამიკური ველების მოკლევადიანი პროგნოზის გამოთვლებმა, რაც რეგულარულად მიმდინარეობს მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში 2010 წლიდან, შესაძლებელი გახდა შექმნილიყო ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის სამგანზომილებიანი ველების საკმაოდ მდიდარი მონაცემთა ბაზა. აღნიშნული ველების ანალიზი აჩვენებს, რომ შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორია წარმოადგენს დინამიკურად მეტად აქტიურ რეგიონს, სადაც უწყვეტად მთელი წლის განმავლობაში მიმდინარეობს ციკლონური და ანტიციკლონური ხასიათის მეზომასშტაბური და სუბმეზომასშტაბური გრიგალების ჩასახვა, ტრანსფორმაცია და დისიპაცია.

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 4.25-4.29-ზე ნაჩვენებია რეგიონული პროგნოზული სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი შავი ზღვის ზედაპირული დინების ველები 2012-2016 წწ-ში სხვადასხვა სეზონში შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში, რომლებიც გარკვე-

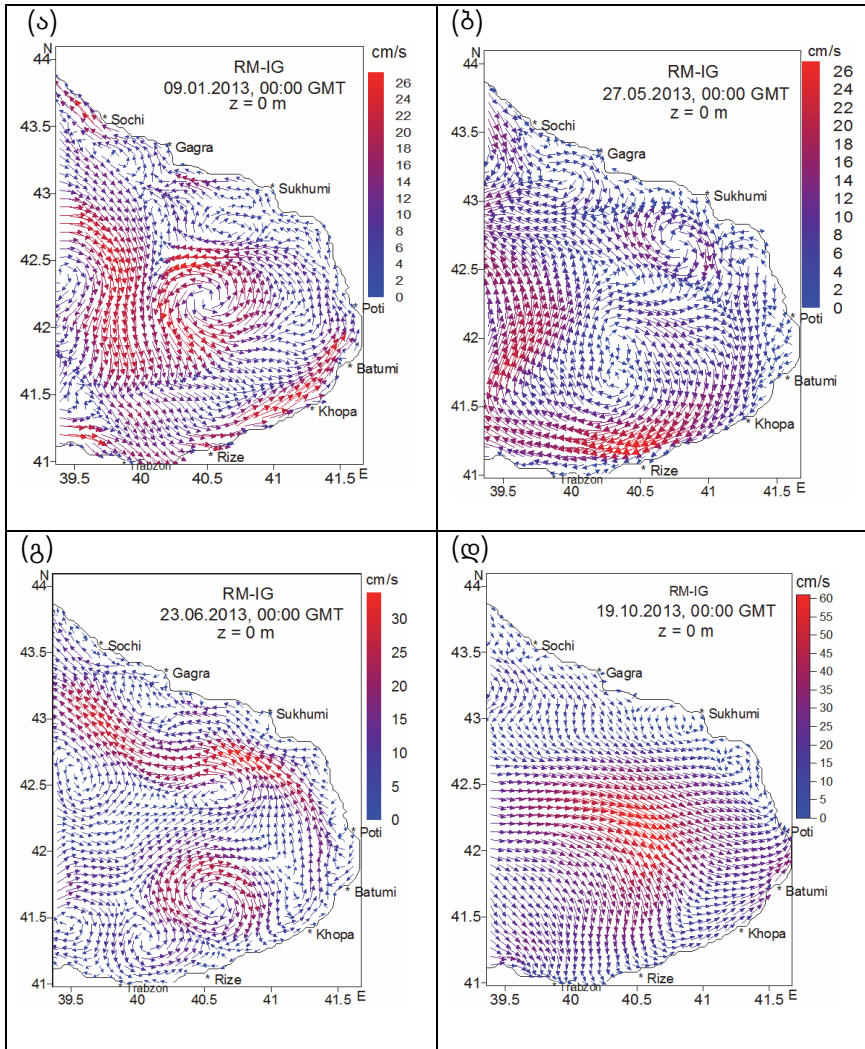
ულ წარმოდგენას გვიქმნის მოცემულ რეგიონში განვითარებულ ცირკულაციური პროცესების შიგანლიურ და წელთაშორისი ევოლუციის ხასიათზე. ერთ-ერთი ზოგადი კანონზომიერებაა ის, რომ ზღვის ზედა ფენის დინამიკური სტრუქტურა გარკვეულწილად განსხვავებულია წლის თბილ (აპრილი-ოქტომბერი) და ცივ პერიოდებში (ნოემბერი-მარტი). ასე მაგალითად, დაახლოებით მარტიდან, აღმოსავლეთ აკვატორიის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში ჩასახვას იწყებს ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც



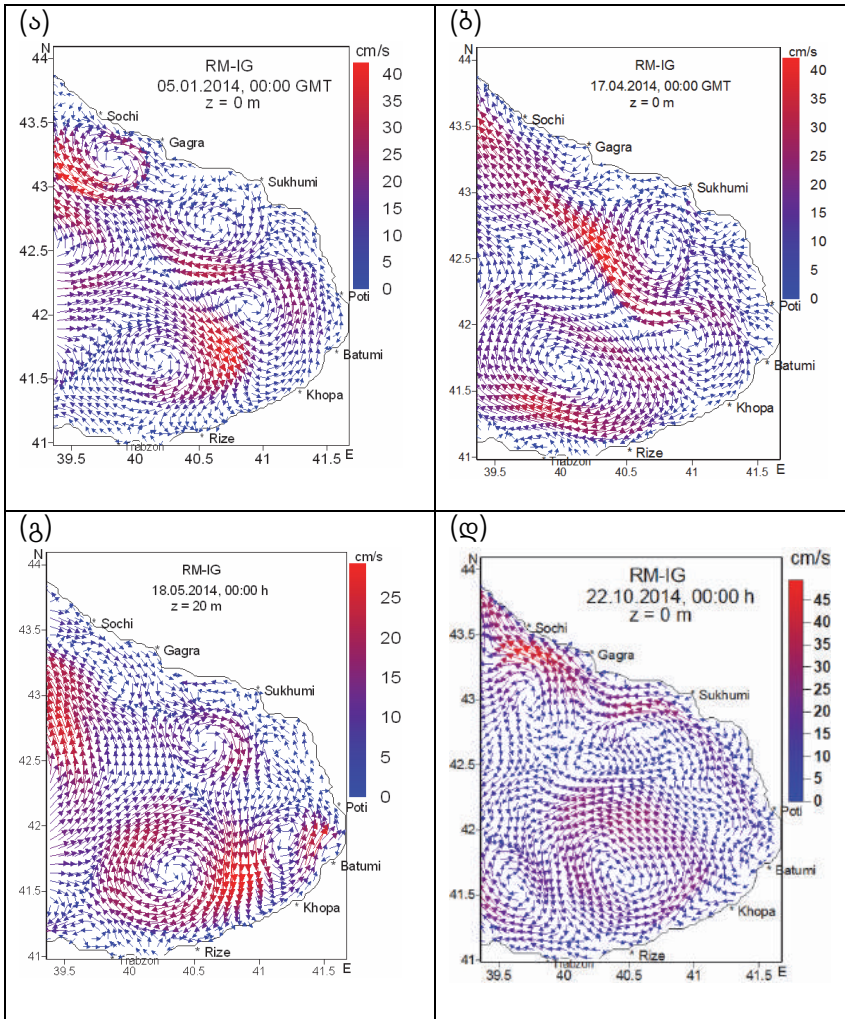
ნახ. 4.24. მარილიანობის პროგნოზული ველები $z=20$ მ ჰორიზონტზე $t=24$ სთ (ა, გ) და $t=48$ სთ (ბ, დ) მომენტისათვის. (ა), (ბ) – რეგიონული მოდელით მიღებული; (გ), (დ) – ზჰი-ის მოდელით მიღებული. პროგნოზული ინტერვალია 00:00 GMT, 25-28 ივლისი, 2011



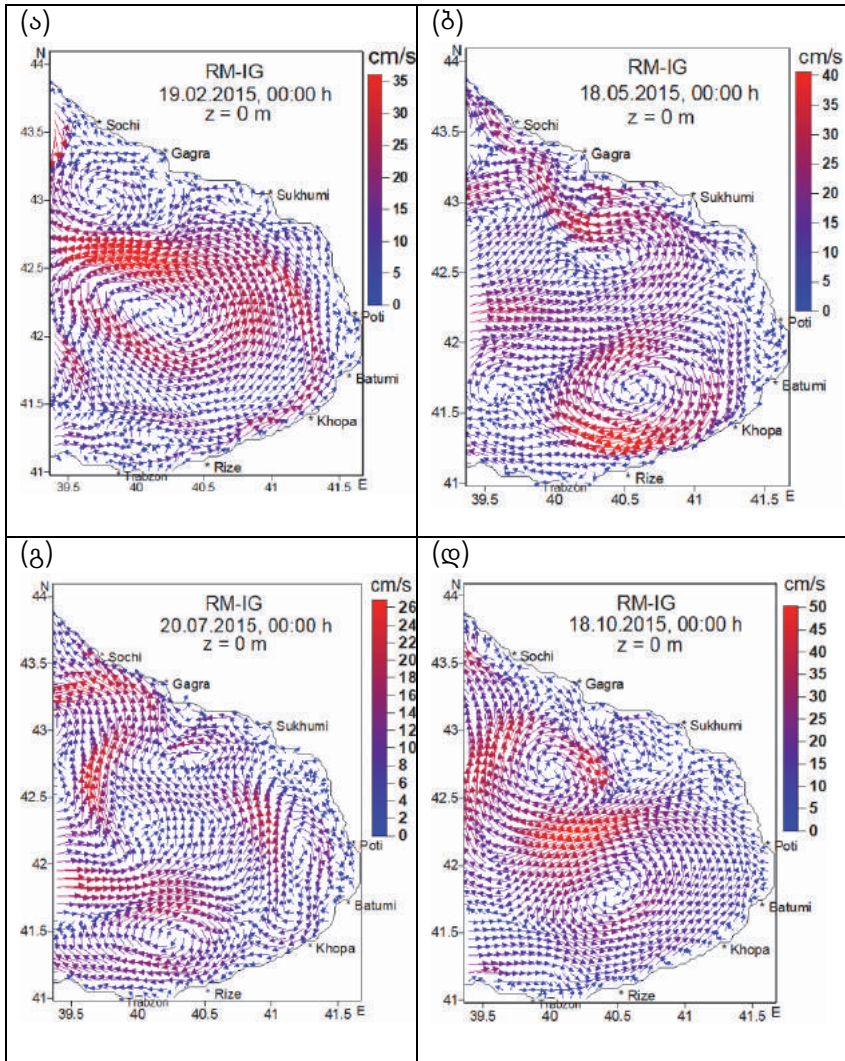
ნახ. 4.25. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2012 წელს: (ა) – 7 იანვარი, (ბ) - 14 მარტი, (გ) – 27 აგვისტო, (დ) – 6 ოქტომბერი



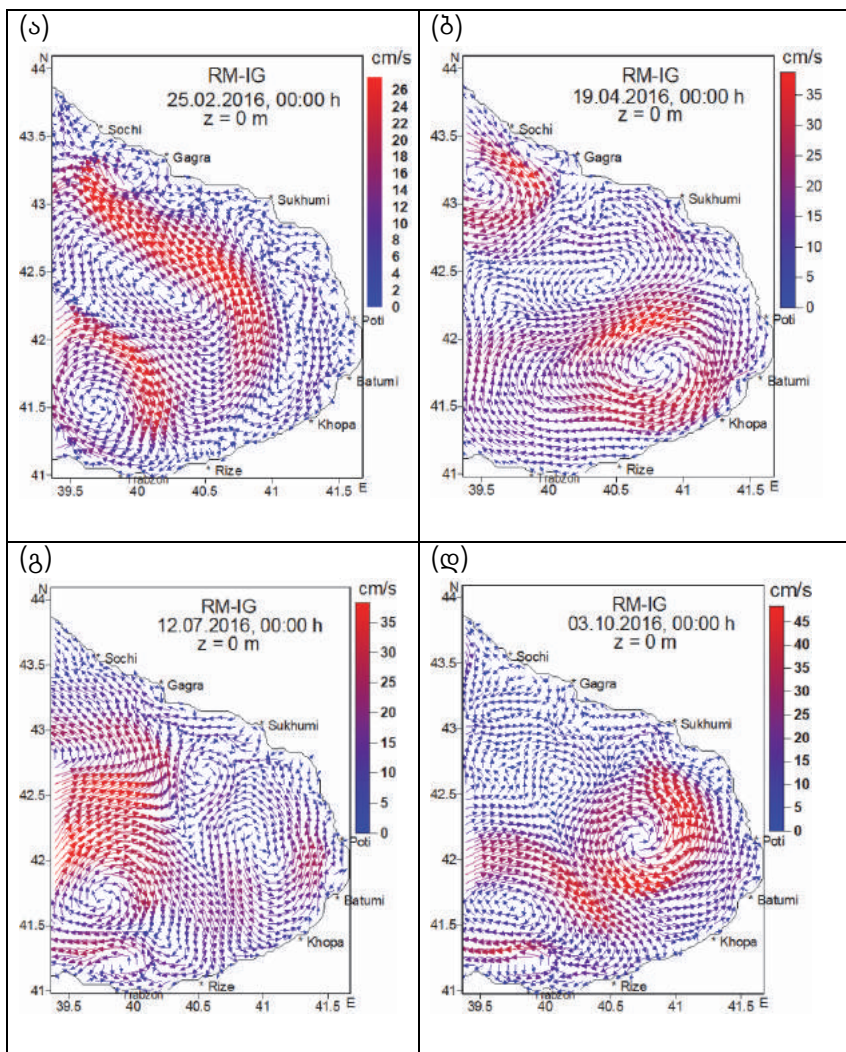
ნახ. 4.26. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2013 წელს: (ა) – 9 იანვარი, (ბ) – 27 მაისი, (გ) – 23 ივნისი, (დ) – 19 ოქტომბერი



ნახ. 4.27. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2014 წელს: (ა) – 5 იანვარი, (ბ) – 17 აპრილი, (გ) – 18 ივნისი, (დ) – 22 ოქტომბერი



ნახ. 4.28. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2015 წელს: (ა) – 19 თებერვალი, (ბ) – 18 მაისი, (გ) – 20 ივლისი, (დ) – 18 ოქტომბერი



ნახ. 4.29. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2016 წელს: (ა) – 25 თებერვალი, (ბ) – 19 აპრილი, (გ) – 12 ივლისი, (დ) – 3 ოქტომბერი

შემდგომში შესაძლებელია იქცეს უფრო მძლავრ და მდგრად გრიგალურ წარმონაქმნად, რომელიც იკავებს მნიშვნელოვან ტერიტორიას განხილულ რეგიონში. ეს გრიგალი თითქმის ყოველთვის დაიკვირვება წლის თბილ სეზონში, ხასიათდება ცვლადი ინტენსივობით და უმრავლეს პერიოდში რეგიონული ცირკულაციის მთავარი ელემენტია წლის ამ სეზონში. ბათუმის გრიგალი ვერტიკალზე მოიცავს დაახლოებით 300-400 მ სისქის ფენას. დინების ველების ანალიზი აჩვენებს, რომ ბათუმის გრიგალი სხვა-

დასხვა წლებში თავისი ინტენსივობის მაქსიმუმს აღწევს სხვადასხვა თვეებში. მაგალითად, 2012 წელს ეს გრიგალი მაქსიმალურ ზომებს (180-200 კმ დიამეტრით) აღწევდა ოქტომბერში (იხ., ნახ. 4.25დ), ხოლო 2010 და 2011 წლებში – ზაფხულში. ბათუმის გრიგალის განვითარების მაქსიმალურ სტადიაში მარილიანობის ველის განაწილების სპეციფიკური სურათი ყალბდება: გრიგალური ცირკულაციის ცენტრალურ ნაწილში ფორმირდება დაბალი მარილიანობის წყალი, ხოლო გრიგალის პერიფერიული დინება ხელს უწყობს უფრო მარილიანი წყლების შემოჭრას ზღვის ღია ნაწილიდან საქართველოს აკვატორიაში. ხშირად ოქტომბერ-ნოემბერში ბათუმის გრიგალი თანდათან სუსტდება და ადგილი აქვს მის თანდათანობით ტრანსფორმაციას უფრო მცირე ზომის გრიგალური წარმონაქმნების სახით.

წლის ცივ სეზონში დომინირებული გრიგალური წარმონაქმნი ხშირად არ დაიკვირვება და რეგიონული ცირკულაცია ხასიათდება შედარებით მცირე ზომის ციკლონური და ანტიციკლონური გრიგალური წარმონაქმნების ფორმირებით, დაახლოებით 40-60 კმ დიამეტრით. საინტერესოა აღინიშნოს ანტიციკლონური გრიგალი ქ. სოხუმის მიმდებარე აკვატორიაში, რომელიც არც თუ იშვიათად დაიკვირვება. ეს მცირე ზომის გრიგალი შეიძლება არსებობდეს ნებისმიერ თვეს, მაგრამ შედარებით ხშირად ფორმირდება წლის თბილ სეზონში.

დინების ველების ანალიზი აჩვენებს აგრეთვე, რომ შავი ზღვის აკვატორიის ზემოთ მოქმედი ძლიერი ქარები შემაფერხებელ როლს თამაშობენ გრიგალწარმომქმნელი პროცესების მიმართ და გამაგლუვებელ გავლენას ახდენენ ზედაპირულ დინებაზე. ამ დროს დინების სიჩქარეები საგრძნობლად იზრდება და შესაძლოა 100 სმ/წმ გადააჭარბოს. დინების სურათი 2013 წლის 19 ოქტომბერს (ნახ. 4.26დ) შეესაბამება შემთხვევას, როცა აღმოსავლეთ შავი ზღვის ზემოთ ძლიერი ქარი იყო გაბატონებული. როგორც ნახაზიდან ჩანს ქარმა გამაგლუვებელი გავლენა მოახდინა დინებაზე და გრიგალური წარმონაქმნები ამ შემთხვევაში აღარ დაიკვირვება. დინების მაქსიმალური სიჩქარე ამ დღეს 60 სმ/წმ აღწევდა და განსახილველი არის დიდ ნაწილში დინება მიმართული იყო დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ.

4.3. მინარევების გავრცელების მათემატიკური მოდელირება

როგორც უკვე აღინიშნა, რეგიონული პროგნოზული სისტემის ეკოლოგიური ბლოკი შეიცავს ზღვის გარემოში ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების ორ და სამგანზომილებიან მოდელებს, რომლებიც იყე-

ნებენ ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილ არასტაციონარულ დინების ველს. არაკონსერვატიული მინარევის გადატანა-დიფუზიის არასტაციონარული სამგანზომილებიანი განტოლება შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობებით მოცემულია *დანართში 3*. განტოლება ითვალისწინებს მინარევის კონცენტრაციის ცვლილებებს, რაც გამონვეულია შემდეგი ძირითადი ფაქტორების მოქმედებით:

- ჰიდროდინამიკური – ადვექცია და ტურბულენტური დიფუზია,
- მინარევთა ფიზიკური და ბიოქიმიური ტრანსფორმაცია,
- გრავიტაციული დაღექვა,
- დაჭუჭყიანების წყაროს მოქმედება.

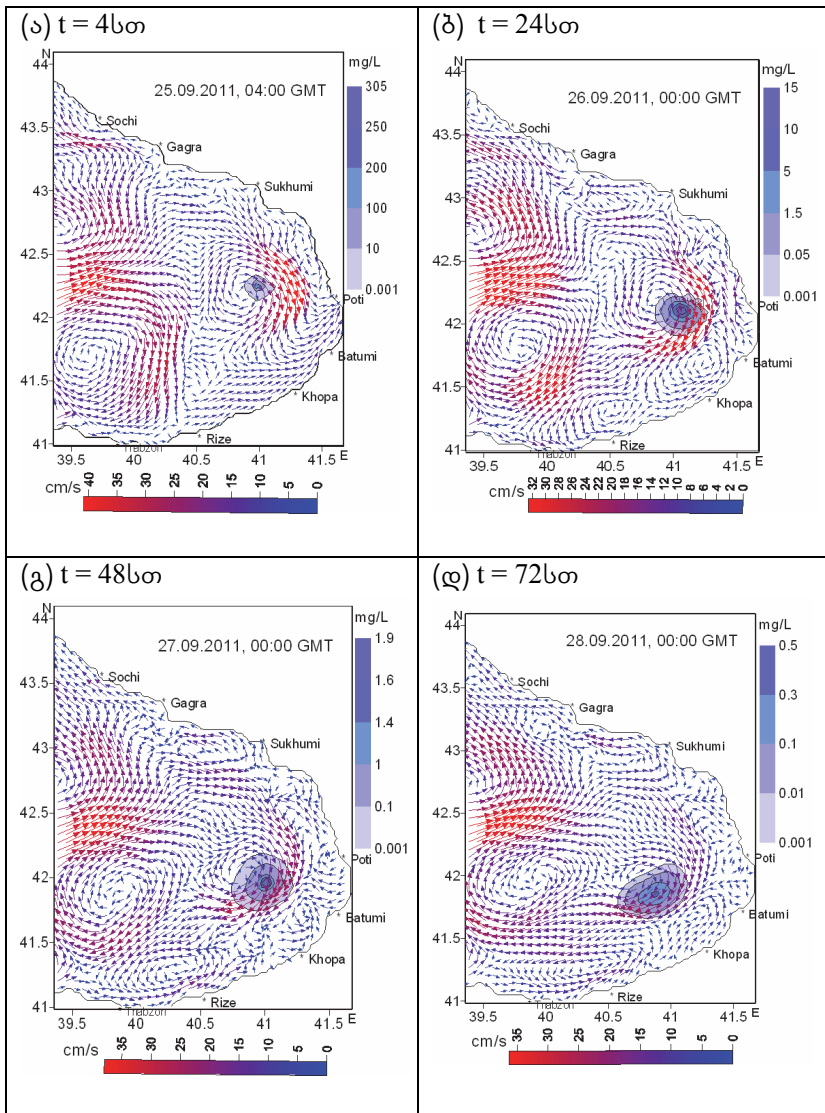
გადატანა-დიფუზიის განტოლების ორგანზომილებიანი ვერსია გამოიყენება ზღვის ზედაპირზე ნავთობის ლაქის გავრცელების მოდელირებისა და პროგნოზისათვის. მას შემდეგ რაც გრავიტაციული, სიბლანტისა და დაჭიმულობის ძალების გავლენით ზღვის ზედაპირზე ფორმირდება ნავთობის ლაქა, მისი შემდგომი ტრანსფორმაცია შეიძლება აღინეროს გადატანა-დიფუზიის განტოლებით. ნავთობის ფენა იწყებს მიგრაციას და იცვლის კონფიგურაციასა და ზომებს ჰიდროდინამიკური ფაქტორების გავლენით. ერთდროულად ზღვაში მოხვედრილი ნავთობი განიცდის ფიზიკურ და ბიოქიმიურ ტრანსფორმაციას. რადგანაც ჩვენი მიზანია ნავთობით დაჭუჭყიანების გავრცელების პროგნოზის გამოთვლა სამი დღის წინასწარობით, ფიზიკურ და ბიოქიმიურ ფაქტორებს შორის უფრო მნიშვნელოვანია ნავთობის აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან. აორთქლებული ნავთობის რაოდენობა დამოკიდებულია როგორც ნავთობის თვისებებზე, ასევე გარეშე პირობებზე – წყლის ტემპერატურასა და ქარის სიჩქარეზე, ასევე დაღვრილი ნავთობის განფენილობაზე ზღვის ზედაპირზე. შეფასებულია, რომ საშუალოდ აორთქლების შედეგად რამდენიმე საათიდან 24 სთ-მდე აორთქლდება დაღვრილი ნავთობის მასის 1/3-დან 2/3-დე.

ნავთობის გავრცელების ორგანზომილებიანი მოდელი ჩართულია პროგნოზულ სისტემაში ცალკეული მოდულის სახით, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ნავთობის კონცენტრაციებისა და დაჭუჭყიანების ზონის გავრცელების 3-დღიანი პროგნოზის გამოთვლა რეალური ცირკულაციური პირობების გათვალისწინებით. ამ მიზნით შესაბამის პროგრამულ მოდულში შეიყვანება წყაროს კოორდინატები, დაღვრილი ნავთობის რაოდენობა და ჩაღვრის ხანგრძლივობა. ინტეგრირების დროითი ბიჯია 0.5 სთ და ყოველ დროით დონეზე გამოიყენება ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით პროგნოზირებული ზედაპირული დინების ველი. იმ ფაქტის გათვალისწინებით რომ აორთქლება არსებითია პირველ დღე-ღამეს, არაკონსერვატიულობის პარამეტრი აიღებოდა შემდეგნაირად: $\sigma = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ წმ}^{-1}$ როცა

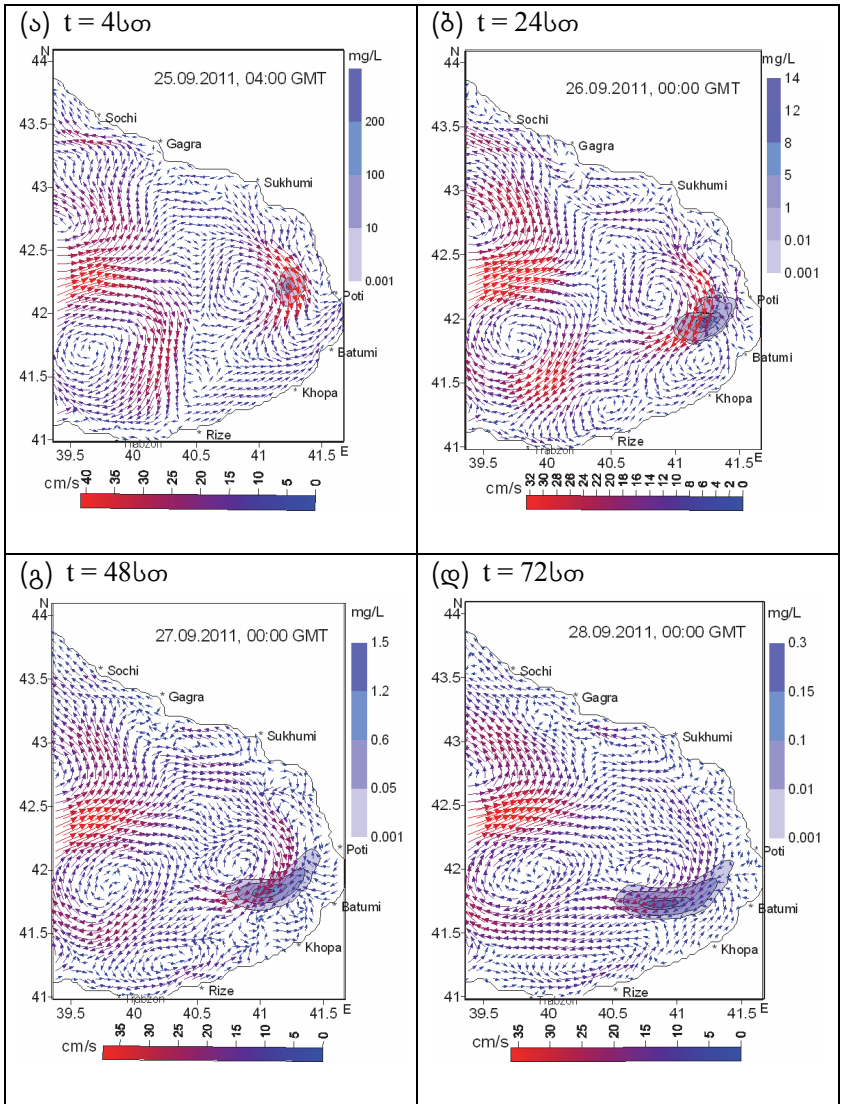
$t \leq 12$ სთ, რაც შეესაბამება ჩალვრილი ნავთობის მასის 50% - ის აორთქლებას 1/2 დღე-ღამის განმავლობაში, ხოლო $\sigma = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ წმ}^{-1}$ დანარჩენი 2 დღე-ღამის განმავლობაში. იმ ფაქტის მხედველობაში მიღებით, რომ, ჩვეულებრივ, ნავთობის დაჭუჭყიანების ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციად მიღებულია 0.05 მგ/ლ, ნავთობის გავრცელების მოდელირების ექსპერიმენტებში თუ გამოთვლილი კონცენტრაცია 0,001 მგ/ლ-ზე ნაკლებია, კონცენტრაცია ნულად ითვლება.

ნახ. 4.30-ზე წარმოდგენილია ზედაპირული დინებისა და ნავთობის ლაქის გავრცელების პროგნოზის შედეგები 2011 წლის 25-28 სექტემბერს (00:00 GMT), როდესაც 50 ტ ნავთობის ჰიპოთეტური ავარიული ჩალვრა ხდებოდა 2 სთ-ის განმავლობაში. პირველ რიცხვით ექსპერიმენტში (ნახ. 4.30) ჩალვრის წერტილი კოორდინატებით $157 \Delta x$, $142 \Delta y$ (Δx , Δy ბადის ბიჯებია) მდებარეობდა ანტიციკლონური გრიგალის ცენტრის სიახლოვეს დაახლოებით 45 კმ-ზე ქ. ფოთის სანაპიროდან. მეორე რიცხვით ექსპერიმენტში (ნახ. 4.31) ჩალვრის წერტილი წანაცვლებული იყო 20 კმ-ით საქართველოს ნაპირებისაკენ და წყაროს კოორდინატები იყო $177 \Delta x$, $142 \Delta y$.

როგორც ნახ. 4.30-დან ჩანს, განხილულ პროგნოზულ ინტერვალში ჩამოყალიბებულია სპეციფიკური დინამიკური რეჟიმი: მოცემული აკვატორიის მნიშვნელოვან ნაწილს იკავებს ორი ანტიციკლონური გრიგალი დიამეტრებით დაახლოებით 60-70 კმ და ცენტრებით სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილსა და აღმოსავლეთ ნახევრის შუაში. გარდა ამისა, საქართველოსა და თურქეთის ნაპირების გასწვრივ ფორმირებულია ვიწრო ზონა, სადაც დაიკვირვება სუბმეზომასშტაბური არამდგრადი გრიგალების გენერაციისა და დისიპაციის არსებითად არასტაციონარული პროცესები. ანტიციკლონური გრიგალური სტრუქტურის გავლენით ორივე შემთხვევაში ნავთობის ლაქის დრეიფი მთლიანობაში სამხრეთ მიმართულებით ხორციელდება. ერთდროულად ხდება ნავთობის ლაქის გაფართოება დიფუზიური პროცესების გავლენით, ხოლო ნავთობის კონცენტრაციები თანდათან მცირდება ლაქის გაფართოებისა და იმ ფიზიკო-ქიმიური ფაქტორების გავლენით, რაც მოდელში არაკონსერვატულობის პარამეტრით გაითვალისწინება. ნახ. 4.31-დან კარგად ჩანს, რომ ნავთობის ლაქა, რომელიც გადაადგილებისას თანდათან იჭიმება განედის მიმართულებით, იღებს ნალისებურ ფორმას. მოცემული ნახაზის ანალიზი აჩვენებს, რომ ნავთობის ლაქის დეფორმაციის ხასიათი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დინების ველის არაერთგვაროვნებაზე იმ არეში, რომელსაც იკავებს ნავთობის ლაქა.



ნახ. 4.30. მოდელირებული ზედაპირული დინება და ნავთობის ლაქის გავრცელება ნახაზზე მითითებულ დროის მომენტებში (დრო ათვლილია ნავთობის ჰიპოთეტური ჩაღვრის მომენტიდან) წერტილებში კოორდინატებით $157 \Delta x$, $142 \Delta y$ პროგნოზული ინტერვალი: 25-28 სექტემბერი, 2011წ.

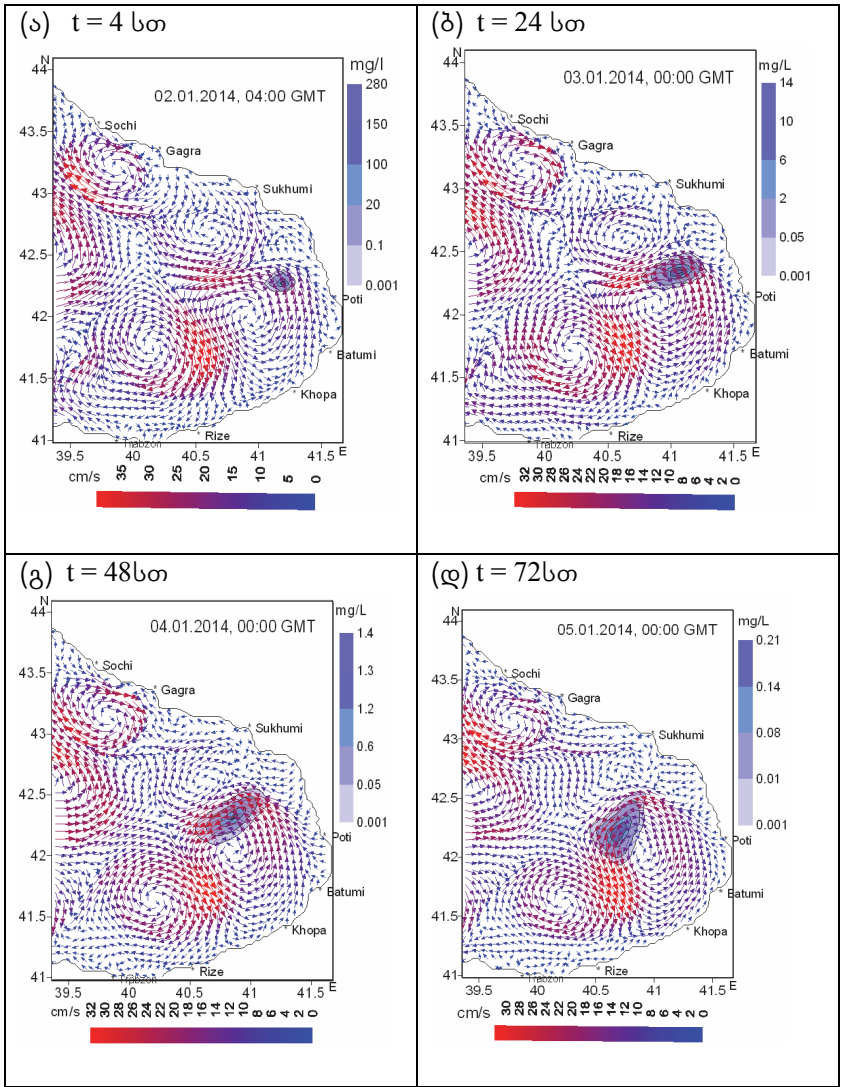


ნახ. 4.31. მოდელირებული ზედაპირული დინება და ნავთობის ლაქის გავრცელება ნახაზზე მითითებულ დროის მომენტებში (დრო ათვლილია ნავთობის ჰიპოთეტური ჩაღვრის მომენტიდან) წერტილებში კოორდინატებით $177 \Delta x$, $142 \Delta y$). პროგნოზული ინტერვალი: 25-28 სექტემბერი, 2011წ.

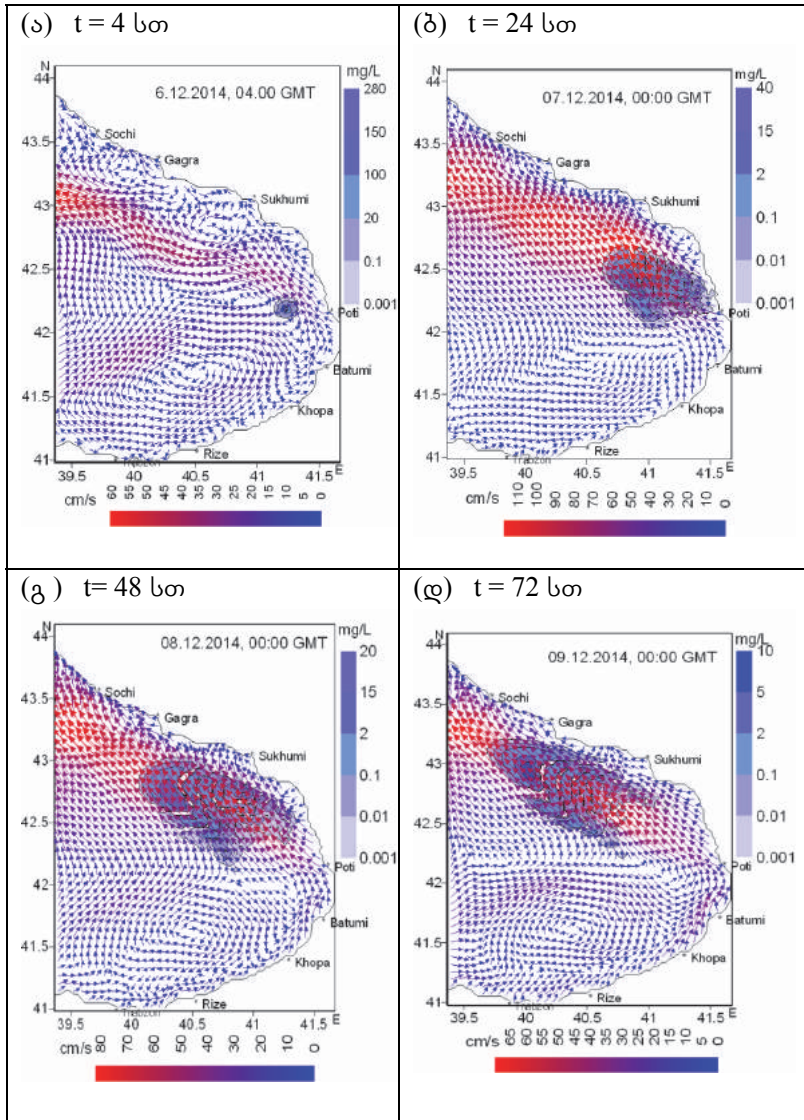
ამ რიცხვით ექსპერიმენტებში განხილული ცირკულაციური რეჟიმი-სა და დაჭუჭყიანების წყაროების ადგილმდებარეობის შემთხვევაში ნავ-თობის ლაქა გარკვეულ მანძილზე უახლოვდება საქართველოს ნაპირებს, მაგრამ ნაპირებთან მიმდებარე წყლებს არ ემუქრებათ დაჭუჭყიანების საფრთხე, რადგანაც ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც პროგნოზუ-ლი ინტერვალის განმავლობაში განიცდის მნიშვნელოვან არასტაციონა-რულ ტრანსფორმაციას, გარკვეულ მანძილზე იმყოფება ნაპირიდან. რო-გორც ჩანს, სუბმეზომასშტაბური გრიგალური სტრუქტურების გენერი-რების პროცესები ნაპირისგანსწვრივ სანაპირო ზოლში ხელს უშლის გრი-გალის აღმოსავლეთ ტოტს უშუალოდ მიუახლოვდეს საქართველოს ნაპი-რებს და შესაბამისად აფერხებს სანაპიროს წყლების დაჭუჭყიანებას.

შემდეგ რიცხვით ექსპერიმენტში, სადაც განიხილებოდა პროგნოზუ-ლი ინტერვალი 2-5 იანვარი, 2014 წ. (00:00G MT), ნავთობის ჰიპოთეტური ჩაღვრის ადგილი იგივე იყო, რაც მეორე რიცხვით ექსპერიმენტში, მაგრამ ცირკულაციური რეჟიმი მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდა. მოცემულ პროგნოზულ პერიოდში ზღვის დინება გამოირჩევა ინტენსიური გრიგა-ლური სტრუქტურით. ნახ. 4.32-ზე ნაჩვენებია გამოთვლილი ზედაპირული დინება და ნავთობის ლაქის გავრცელება ავარიული დაღვრიდან სხვადას-ხვა დროის მომენტებში. ამ ნახაზიდან კარგად ჩანს, რომ ამ შემთხვევაში ნავთობის ლაქის ქცევა შეესაბამება ცირკულაციურ პირობებს, და ნავ-თობის ლაქა, წინა შემთხვევებისაგან განსხვავებით, შორდება საქართვე-ლოს სანაპიროს.

შემდეგი რიცხვითი ექსპერიმენტი, რომელიც შეესაბამება პროგნო-ზულ ინტერვალს: 6-9 დეკემბერი, 2014 წ., ნავთობის დაჭუჭყიანების გავ-რცელების ილუსტრაციას ახდენს იმ პირობებში, როცა შავი ზღვის ზემოთ განვითარებული იყო ძლიერი ქარები (ნახ. 4.33). ძლიერმა ქარმა გამოიწვია პრაქტიკულად უგრიგალო დინება ზღვის ზედაპირზე, სადაც 7 დეკემბერს ზღვის დინების მაქსიმალურმა სიჩქარემ 100 სმ/წმ-ს გადააჭარბა (ნახ. 4.33ბ). ჰიპოთეტური ავარიული დაღვრა განხორციელდა შემდეგი სცენა-რით: 30 ტ ნავთობი 2 სთ-ის განმავლობაში იღვრებოდა დაახლოებით 20 კმ მანძილზე ქ. ფოთის სანაპიროდან. წყაროს კოორდინატები იყო: $180 \Delta x$, $132 \Delta y$. ასეთი ცირკულაციური რეჟიმის პირობებში ნავთობით დაჭუჭყია-ნების სივრცით-დროითი განაწილების თავისებურებები არსებითად გან-სხვავდება წინა განხილული შემთხვევებისაგან. ზღვის ძლიერ დრეიფულ დინებას ნავთობის ლაქა გადააქვს შორს ჩაღვრის ნერტილიდან ჩრდილო--დასავლეთ მიმართულებით, ამავე დროს ნავთობის ლაქა იკავებს შედარე-ბით დიდ ტერიტორიას, ვიდრე წინა განხილულ შემთხვევებში. 3 დღე-ღამის განმავლობაში ნავთობის ლაქა გადაადგილდა დაახლოებით 120-140 კმ-ით და ამავე დროს განიცადა მნიშვნელოვანი დეფორმაცია.



ნახ. 4.32. იგივე, რაც 4.31-ზე, მხოლოდ პროგნოზული ინტერვალა: 2-5 იანვარი, 2014 წ.



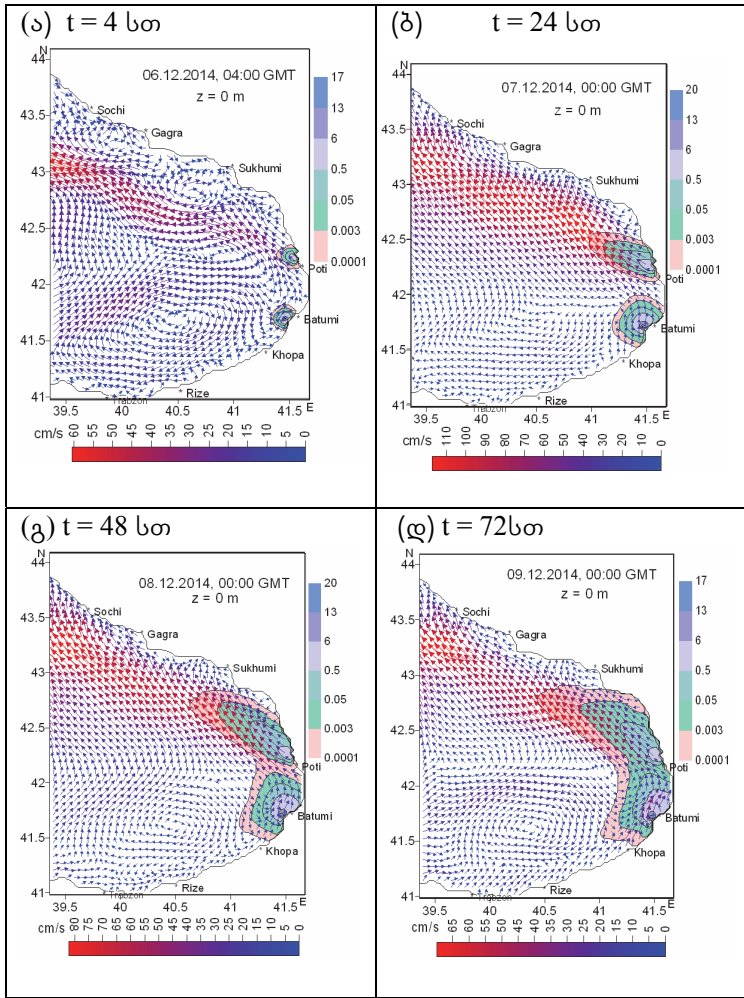
ნახ. 4.33. იგეგვა, რაც ნახ.4.31-ზე, მხოლოდ ზღვაში ჩაღვრის კოორდინატებია: $180 \Delta x$, $132 \Delta y$. პროგნოზული ინტერვალა: 6-9 დეკემბერი, 2014 წ.

შეგნიშნოთ, რომ აქ განხილულ რიცხვით ექსპერიმენტში მოდელირებული ნავთობის ლაქის გავრცელება ძლიერი ქარის პირობებში წარმოდგენილია ზღვის ლელვიანობის გათვალისწინების გარეშე. სავარაუდოა, რომ შემდგომში ქარისმიერი ზედაპირული ტალღების გათვალისწინება მნიშ-

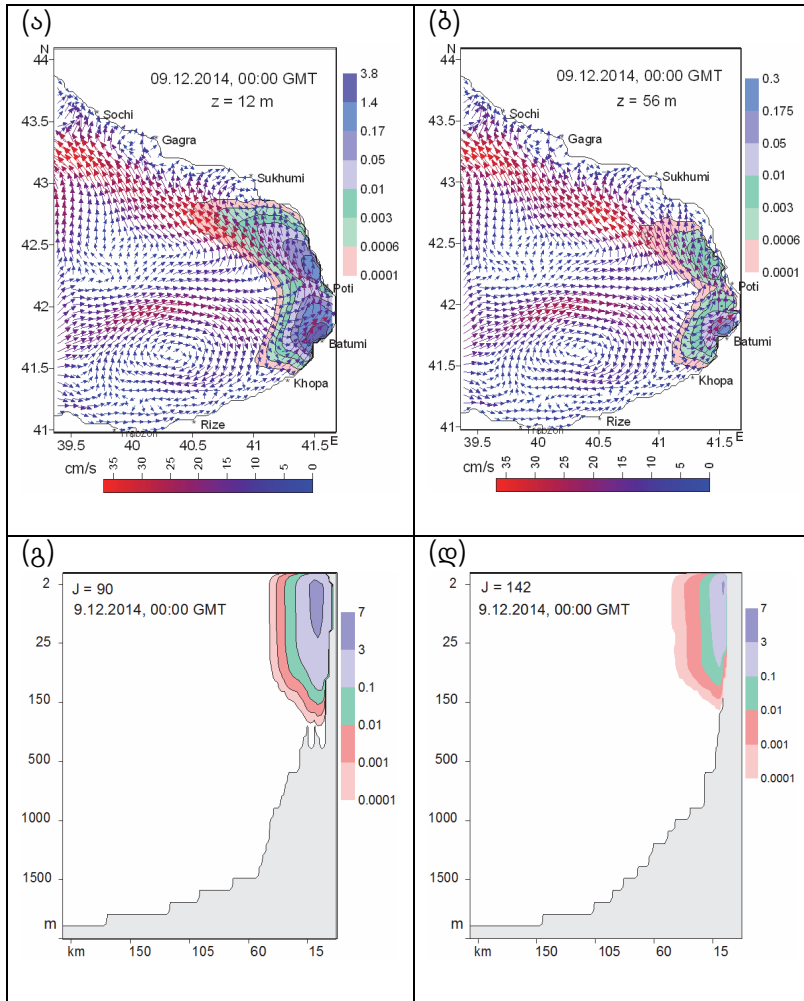
ვნელოვან კორექტივებს შეიტანს ნავთობის აფსკის გავრცელების პროცესში.

ზღვის გარემოში მინარევის 3-განზომილებიანი მოდელი, რომელიც ცალკეული მოდულის სახით ჩართულია რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში, საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია გამოყენებული იქნას შავ ზღვაში სხვადასხვა გზით მოხვედრილი (ატმოსფეროდან, მდინარეების მიერ შემოტანილი და სხვ.) ანთროპოგენური მინარევის კონცენტრაციებისა და დაჭუჭყიანების ზონის გავრცელების პროგნოზის მიზნით. ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 4.34-ზე დემონსტრირებულია მდინარეების რიონისა და ჭოროხის მიერ შავ ზღვაში შემოტანილი პირობითი მინარევის გავრცელების მოდელირების შედეგები ზღვის ზედაპირზე ზღვაში მინარევის შემოტანიდან 4, 24, 48 და 72 სთ-ის შემდეგ, ხოლო ნახ. 3.35-ზე ნაჩვენებია მინარევის განაწილება 12 და 56 მ ჰორიზონტებზე (ნახ. 4.35 ა, ბ) და შესართავთან მახლობელ ვერტიკალურ კვეთებში (ნახ. 4.35 გ, დ) $t=72$ სთ მომენტისათვის. მინარევების კონცენტრაციების გავრცელების მოდელირებისას გამოყენებული დინების ველი იგივე იყო, როგორც წინა რიცხვით ექსპერიმენტში, ე. ი. შეესაბამებოდა პროგნოზულ ინტერვალს: 00:00 GMT, 6-9 დეკემბერი, 2014 წ.

მიიღებოდა, რომ დროის ერთეულში მდ. ჭოროხს ზღვაში შემოჰქონდა ჰიპოთეტური მინარევი 100000 ერთეულის რაოდენობით, მდ. რიონის სამხრეთ ტოტს – 5000 ერთეული, ხოლო ჩრდილოეთ ტოტს – 10000 ერთეული. არაკონსერვატულობის პარამეტრის მნიშვნელობა შეირჩეოდა ისე, რომ მინარევის სანყისი კონცენტრაციები 2-ჯერ მცირდებოდა 10 დღის განმავლობაში სხვადასხვა ფაქტორების გავლენით (ქიმიური, ფიზიკური, ბიოლოგიური). ნახ. 4.34 და ნახ. 4.35-დან ჩანს, რომ ცირკულაციის ველი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მინარევის სივრცით-დროითი გავრცელების თავისებურებებს. კონცენტრაციების ველი მდინარეთა შესართავებთან თანდათან ფართოვდება დიფუზიური და ადვექციური ფაქტორების გავლენით და იკავებს სულ უფრო მეტ ტერიტორიას. მოცემულ პროგნოზულ ინტერვალში არსებული დინების რეჟიმი განაპირობებს დაჭუჭყიანების ზონის გავრცელებას ძირითადად ჩრდილოეთ მიმართულებით. მინარევის კონცენტრაციის სამგანზომილებიანი ველის ანალიზი აჩვენებს, რომ მინარევი ვრცელდება ვერტიკალურადაც ვერტიკალური ტურბულენტური დიფუზიისა და მცირე ვერტიკალური დინების გავლენით. შეფასებები აჩვენებს, რომ მოცემულ რიცხვით ექსპერიმენტში 3 დღე-ღამის განმავლობაში კონცენტრაციები დაახლოებით 150 მ სიღრმემდე ვრცელდება (ნახ. 4.35 გ, დ).



ნახ.4.34. მოდელირებული ზედაპირული დინება და მდინარეების მიერ ზღვაში შემოტანილი პირობითი მინარევის განაწილება ნახაზზე მითითებულ დროის მომენტებში (დრო ათვლილია მინარევის ზღვაში შემოტანის მომენტიდან). პროგნოზული ინტერვალია: 6-9 დეკემბერი, 2014 წ.

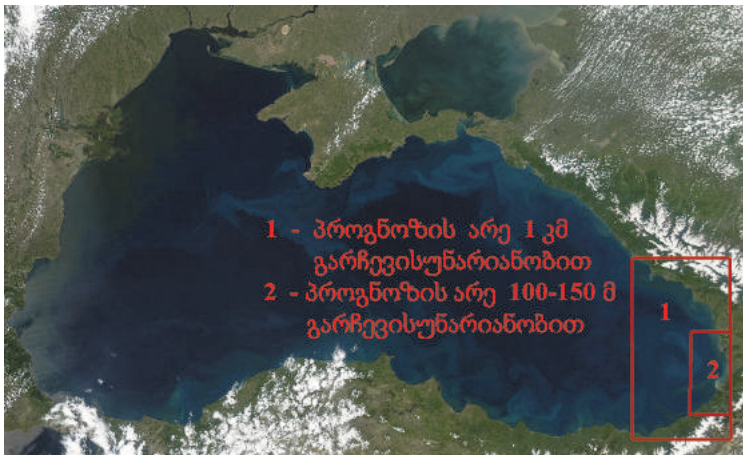


ნახ. 4.35. პირობითი მინარევის კონცენტრაციების განაწილება $z=12 \text{ მ}$ (ა) და $z=56 \text{ მ}$ (ბ) ჰორიზონტებზე და ვერტიკალურ კვეთებში (გ, დ) $t=72 \text{ სთ}$ მომენტისათვის. დინების ველი შეესაბამება 2014 წლის 9 დეკემბერს, 00:00 GMT

4.4. რეგიონული პროგნოზის სისტემის განვითარების პერსპექტივები

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ განხილული რეგიონული პროგნოზული სისტემა არ წარმოადგენს საბოლოო ვერსიას და სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები მისი სრულყოფისა და გაფართოებისათვის ახალი ამოცანების ჩართვის გზით კვლავ გრძელდება. რეგიონული სისტემის შემდგომი სრულყოფა დაკავშირებულია ზღვის დონის ცვალებადობისა და ქარისმიერი ზედაპირული ტალღების პროგნოზის მოდულების, ასევე სხვადასხვა ეკოლოგიური და საინჟინრო-ჰიდროტექნიკური ამოცანების ჩართვასთან პროგნოზულ სისტემაში, რაც უთუოდ აამაღლებს სისტემის სამეცნიერო და პრაქტიკულ ღირებულებას.

გარდა ამისა, შემუშავდება პროგნოზული სისტემის გაცილებით უფრო მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე ვერსია (სივრცითი ბიჯებით დაახლოებით 100-150 მ), რომელიც გამოყენებული იქნება საქართველოსათვის უმნიშვნელოვანესი აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო აკვატორიისათვის. აღნიშნული სანაპირო პროგნოზის სისტემის ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი ვერსია ჩაირთვება არსებულ რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში ქვესისტემის სახით. ამგვარად, ქვესისტემის ფუნქციონირება შესაძლებელი იქნება მხოლოდ უკვე არსებულ ძირითად რეგიონულ სისტემასთან ერთობლივად. ნახ. 4.36-ზე ნაჩვენებია პროგნოზის არე 1 კმ გარჩევისუნარიანობით, რომელიც მოიცავს შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას და ბათუმი-ფოთის აკვატორიას, სადაც გამოითვლება პროგნოზი 100-150 მ გარჩევისუნარიანობით.



ნახ. 4.36. რეგიონული და სანაპირო პროგნოზის არეები შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილში

ამგვარად, შეიქმნება კომპლექსური ოპერატიული რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც გააერთიანებს 1 კმ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ სისტემას და 100-150 მ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ ქვესისტემას აჭარის სანაპირო ზონისა და ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის.

აღნიშნული გაუმჯობესებული პროგნოზული სისტემის შემუშავებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მისი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით. მაღალი გარჩევისუნარიანი სანაპირო პროგნოზული სისტემის ფუნქციონირება ოპერატიულ რეჟიმში საშუალებას მოგვცემს უზრუნველვყოთ საზღვაო პროგნოზებით ისეთი სახალხო-სამეურნეო დარგები, რომელთა ფუნქციონირება ზღვასთანაა დაკავშირებული. ამგვარად, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია დაარსდეს ზღვის მდგომარეობის პროგნოზის ცენტრი, რომლის მიზანი იქნება ხელი შეუწყოს საპორტო ოპერაციების ოპტიმალურად წარმართვასა და უსაფრთხო საზღვაო ნავიგაციის განხორციელებას შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიის ნყლებში. გარდა ამისა, ცენტრი საზღვაო პროგნოზებით უზრუნველყოფს თევზსარენ, საინჟინრო-ჰიდროტექნიკურ და სხვა სამუშაოებს, რომელთა სრულფასოვანი განხორციელება საჭიროებს ოპერატიულ ინფორმაციას შავი ზღვის მდგომარეობის შესახებ.

உ ட ன ட ள ன ன

დანართი 1

ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის განტოლებათა სისტემა. სასაზღვრო და სანყისი პირობები

ზღვაში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესები აღინერება შემდეგი განტოლებათა სისტემით დეკარტის მართკუთხოვან კოორდინატთა სისტემაში (x ღერძი მიმართულია დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, y ღერძი – სამხრეთიდან ჩრდილოეთისაკენ, z ღერძი ვერტიკალურად ქვემოთ ზღვის ზედაპირიდან):

მოძრაობის განტოლება x ღერძის გასწვრივ

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{u} u - l v + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x} = \nabla \mu \nabla u + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial u}{\partial z},$$

მოძრაობის განტოლება y ღერძის გასწვრივ

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{u} v + l u + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial y} = \nabla \mu \nabla v + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial v}{\partial z},$$

ჰიდროსტატიკის განტოლება

$$\frac{\partial p'}{\partial z} = g \rho',$$

უნყვეტობის განტოლება უკუმშვადი სითხისათვის

$$\operatorname{div} \bar{u} = 0,$$

სითბოს გადატანის განტოლება

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{u} T' + \gamma_T \cdot w = \nabla \mu_T \nabla T' + \frac{\partial}{\partial z} v_T \frac{\partial T'}{\partial z} + \frac{\partial v_T \gamma_T}{\partial z} - \frac{1}{c \rho_0} \frac{\partial I}{\partial z} - \frac{\partial \bar{T}}{\partial t},$$

მარილების გადატანის განტოლება

$$\frac{\partial S'}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{u} S' + \gamma_s w = \nabla \mu_s \nabla S' + \frac{\partial}{\partial z} v_s \frac{\partial S'}{\partial z} + \frac{\partial v_s \gamma_s}{\partial z} - \frac{\partial \bar{S}}{\partial t},$$

ზღვის წყლის მდგომარეობის განტოლება [177, 178]

$$\rho = f(T, S) = 1 + 10^{-3} [28,152 - 0,0735 \cdot T - 0,00469 T^2 + (0,802 - 0,002 \cdot T)(S - 35)],$$

რომელსაც განრფივების შემდეგ ასეთი სახე აქვს

$$\rho' = \alpha_T T' + \alpha_S S', \quad \text{სადაც}$$

$$\alpha_T = \frac{\partial f}{\partial T} = -10^{-3} (0,0035 + 0,00938 \bar{T} + 0,0025 \bar{S}),$$

$$\alpha_S = \frac{\partial f}{\partial S} = 10^{-3} (0,802 - 0,002 \bar{T}),$$

$$T = \bar{T}(z, t) + T'(x, y, z, t), \quad S = \bar{S}(z, t) + S'(x, y, z, t),$$

$$\rho = \bar{\rho}(z, t) + \rho'(x, y, z, t),$$

$$\gamma_T = \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}, \quad \gamma_S = \frac{\partial \bar{S}}{\partial z}, \quad \nabla \mu \nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial}{\partial y},$$

$$I = \eta(1 - A) I_0 e^{-\alpha z}, \quad I_0 = a \sinh_0 - b \sqrt{\sinh_0},$$

$$\sinh_0 = \sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi \cos \frac{\pi}{12} t, \quad \eta = 1 - (\tilde{a} + \tilde{b} \tilde{n}) \tilde{n}.$$

აღნიშვნები:

u, v, w - ზღვის დინების სიჩქარის ვექტორის კომპონენტები x, y და z ღერძების გასწვრივ, შესაბამისად;

T', S', p', ρ' - ტემპერატურის, მარილიანობის, წნევისა და სიმკვრივის გადახრები შესაბამისი სტანდარტული ვერტიკალური განაწილებიდან $\bar{T}, \bar{S}, \bar{P}, \bar{\rho}$;

$l = l_0 + \beta \cdot y$, $\beta = dl / dy$ - კორიოლისის პარამეტრი;

g, c, ρ_0 - სიმძიმის ძალის აჩქარება, წყლის კუთრი სითბოტევადობა, წყლის საშუალო სიმკვრივე, შესაბამისად;

$\mu, \mu_{T,S}$ - ჰორიზონტალური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტები სითბოსა და მარილებისათვის, შესაბამისად;

$\nu, \nu_{T,S}$ - ვერტიკალური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტები სითბოსა და მარილებისათვის, შესაბამისად;

I_0 - მზის მოკლეტალღოვანი რადიაციის ნაკადი ზღვის ზედაპირზე $z = 0$;

A - ზღვის ზედაპირის ალბედო;

h_0 - მზის ზენიტური კუთხე;

φ - გეოგრაფიული განედი;

Ψ - მზის მიხრილობის კუთხე;

η - პარამეტრი, რომელიც აღწერს ღრუბლიანობის გავლენას სრულ რადიაციაზე;

$a, b, \tilde{a}, \tilde{b}$ - ემპირიული პარამეტრები;

α - მოკლეტალღოვანი რადიაციის შთანთქმის კოეფიციენტი.

მოცემული განტოლებათა სისტემა ამოიხსნება შემდეგი სასაზღვრო და საწყისი პირობების გამოყენებით:

ზღვა-ატმოსფეროს საზღვარზე $z = 0$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{-\tau_x}{\rho_0 \nu}, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{-\tau_y}{\rho_0 \nu}, \quad w = 0,$$

$$\nu_T \frac{\partial T}{\partial z} = Q^T, \quad \nu_S \frac{\partial S}{\partial z} = S_0(PR - EV),$$

ზღვის ფსკერზე $z = H(x, y)$

$$u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial z} = 0,$$

გვერდით მყარ საზღვრებზე

$$u = v = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial n} = 0,$$

გვერდით თხევად საზღვრებზე (მდინარეთა შესართავებთან და დასავლეთის თხევად საზღვარზე)

$$u = \tilde{u}, \quad v = \tilde{v}, \quad T = \tilde{T}, \quad S = \tilde{S}.$$

სანყის $t = 0$ მომენტში

$$u = u^0, \quad v = v^0, \quad T = T^0, \quad S = S^0.$$

სასაზღვრო და სანყის პირობებში გამოიყენება შემდეგი აღნიშვნები:

τ_x, τ_y - ქარის ხახუნის ტანგენციალური დაძაბულობის ვექტორის კომპონენტები, შესაბამისად, x და y ღერძების გასწვრივ;

n - გვერდით ზედაპირისადმი გარე ნორმალი;

Q^T - სითბოს ტურბულენტური ნაკადი ზღვის ზედაპირზე;

PR - ატმოსფერული ნალექები;

EV - აორთქლება ზღვის ზედაპირზე;

$\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{T}, \tilde{S}$ - დინების სიჩქარის კომპონენტების, ტემპერატურისა და მარილიანობის ცნობილი მნიშვნელობები თხევად საზღვარზე (აღნიშნული სიდიდეები დასავლეთის თხევად საზღვარზე ზჰი-ის ინსტიტუტის ზღვის დინამიკის მოდელის საფუძველზე გამოთვლილ პროგნოზულ მნიშვნელობებია, ხოლო მდინარეთა შესართავებთან - საშუალო კლიმატური მნიშვნელობები).

დანართი 2

ტურბულენტური ველის პარამეტრიზაცია

ჰორიზონტალური სიბლანტისა და დიფუზიის (ტემპერატურისა და მარილებისთვის) კოეფიციენტები $\mu, \mu_{T,S}$ განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით [129]

$$\mu = \Delta x \Delta y \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}, \quad \mu_T = \frac{\mu}{c_T},$$

$$\mu_S = \frac{\mu_S}{c_S},$$

სადაც Δx და Δy ბადის ჰორიზონტალური ბიჯებია x და y ღერძების გასწვრივ, c_T და c_S მუდმივებია, რომელთა მნიშვნელობა გამოთვლებში აიღებოდა 10-ის ტოლად.

ვერტიკალური ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტები სითბოსა და მარილებისთვის $\nu_{T,S}$ გამოითვლება ობუხოვის მოდიფიცირებული ფორმულის მიხედვით შემდეგნაირად [189]:

$$\nu_{T,S} = (0.05h)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}}.$$

აქ h არის ზედა ტურბულენტური ფენის სიღრმე, რომელიც განისაზღვრება იმ z_m დონის მიხედვით, სადაც სრულდება პირობა:

$$(0.05z_m)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}} \leq \nu_{T,S}^0, \quad \nu_{T,S}^0 = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

ვერტიკალური სიბლანტის კოეფიციენტი

$$\nu = \begin{cases} 50 \text{ cm}^2 / \text{s}, & z \leq 55 \text{ m} \\ 10 \text{ cm}^2 / \text{s}, & z > 55 \text{ m} \end{cases}$$

არამდგრადი სტრატოფიკაციის შემთხვევაში ($\frac{\partial \rho}{\partial z} < 0$), რაც შესაძლოა წარმოიშვას განტოლებათა ინტეგრირების პროცესში რომელიმე ვერტიკალურ სვეტში, არამდგრადობის რეალიზაციის მიზნით მოდელში გათვალისწინებულია ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტის $\nu_{T,S}$ 20-ჯერ გაზრდა შესაბამის სვეტში ზედაპირიდან ფსკერამდე.

დანართი 3

მინარევის გავრცელების დიფუზიური მოდელი. განტოლება, სასაზღვრო და საწყისი პირობები

არაკონსერვატული მინარევის გადატანა-დიფუზიის განტოლებას ცილინდრული ფორმის Ω არეში S გვერდითი ზედაპირითა და $H(x, y)$ სიღრმით შემდეგი სახე აქვს:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \frac{\partial (w + w_G) \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial x} \mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \nu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial z} + f.$$

u, v და w – ს მიმართ ვთვლით, რომ ისინი აკმაყოფილებენ უწყვეტობის განტოლებას:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

გარდა ამისა,

$$w = 0, \text{ როცა } z = 0, H$$

$$u_n = 0, S\text{-ზე}$$

სასაზღვრო და საწყისი პირობები:

$$\partial \varphi / \partial z = 0, \text{ როცა } z = 0,$$

$$\partial \varphi / \partial z = \alpha \varphi, \text{ როცა } z = H(x, y),$$

$$a \left(\mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial n} - \beta \varphi \right) + b Q = 0 \quad S\text{-ზე},$$

$$\varphi = \varphi^0, \text{ როცა } t = 0.$$

აღნიშვნები:

φ - მინარევის მოცულობითი კონცენტრაცია;

w_G - ნაწილაკთა საკუთარი გრავიტაციული სიჩქარე;

μ_φ, ν_φ - ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტები, შესაბამისად;

n - გარეშე ნორმალის S გვერდითი ზედაპირის მიმართ;

$\sigma = \ln 2 / T_0$ - არაკონსერვატიულობის პარამეტრი, რომელიც აღწერს მინარევის კონცენტრაციის ცვლილებას ფიზიკური და ბიოქიმიური ფაქტორების გავლენით; T_0 წარმოადგენს დროით ინტერვალს, რომლის განმავლობაშიც მინარევის საწყისი კონცენტრაცია მცირდება ორჯერ;

a, b - კოეფიციენტები, რომლებიც იღებენ მნიშვნელობებს 1 ან 0;

α, β - პარამეტრები, რომლებიც აღწერენ მინარევის ურთიერთქმედებას ზღვის ფსკერთან ან გვერდით ზედაპირთან, შესაბამისად;

ზოგადად, f აღწერს წყაროს სიმძლავრის სივრცით-დროით განაწილებას, რომელიც ნერტილოვანი წყაროს შემთხვევაში შეიძლება წარმოვადგინოთ დირაკის დელტა ფუნქციის საშუალებით

$$f = Q \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(z - z_0),$$

სადაც x_0, y_0, z_0 წყაროს მდებარეობის კოორდინატებია, ხოლო Q წყაროს სიმძლავრეა.

ლიტერატურა:

1. ანაკლიის შავი ზღვის სანაპიროს რეაბილიტაცია და ნაპირების ეროზიისაგან დაცვა. გარემოს ეროვნული სააგენტოს პროექტი (პრ. ხელმძ: ტ. ბერიძე). თბილისი, 2011, 32 გვ.
2. არიანე ფლავიუსის მოგზაურობა შავი ზღვის გარშემო. (მთ. რედაქტორი გ. წერეთელი), თბილისი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა, 1961, 97 გვ.
3. ბენაშვილი ნ. შავი ზღვის საქართველოს სექტორის ეკოგეოქიმიის საკითხები. დისერტაცია ეკოლოგიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 2012, 164 გვ.
4. ბერაძე შ. შავი ზღვის როლი საქართველოს საგარეო-ეკონომიკურ ურთიერთობებში (ისტორიული მიმოხილვა). აბრეშუმის გზის მე-2 საერთაშორისო სიმპოზიუმი „შზეთ პერსპექტივები (BSEC Studies)“, 6, 7 მაისი, 2005, თბილისი, საქართველო. გვ. 71-75.
5. ბილაშვილი კ., ელიზბარაშვილი მ., ნივნივაძე ნ. ზღვის ეკოლოგია. თბილისი, 2009, 186 გვ.
6. გავარდაშვილი ა. გ. საქართველოს საზღვრებში – შავი ზღვის სანაპირო ზოლში 2015 წლის აპრილის თვეში განხორციელებული საველე კვლევის შედეგები. მე-5 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, 16-19 ივლისი, 2015, გვ. 23-29.
7. მეტრეველი გ. საზღვაო ჰიდრომეტრია. თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1997, 235 გვ.
8. შავი ზღვა. https://ka.wikipedia.org/wiki/შავი_ზღვა
9. შავი ზღვის დატბორვის თეორია. <https://ka.wikipedia.org/wiki/შავიზღვის-დატბორვის-თეორია>.
10. შავი ზღვის სკივრი. 209 გვ. http://www.undp.org/content/dam/georgia/docs/publications/GE_UNDP_EE_Black_Sea_Box_Geo.pdf
11. ხვედელიძე ზ., ჯავახიშვილი შ. წარსულისა და მომავლის კლიმატები. თბილისი, 1988, 74 გვ.
12. ჯავახიშვილი შ. ი. ატმოსფერული ნალექები საქართველოს ტერიტორიაზე. თბილისი, 1981, 184 გვ.
13. Alasania G. The Black Sea. Proceed. of the 2nd International Silk Road Symposium “BSEC Studies”, 6, 7 May, 2005, Tbilisi, Georgia, pp. 39-43.
14. Ballard R. D., Hiebert F. T., Coleman D. F., Ward C., Smith J., Willis K., Foley B., Croff K., Major C., and Torre F. Deep water archaeology of the Black Sea: The 2000 season at Sinop, Turkey. American Journal of Archaeology, 2001, v. 105, № 4, pp. 607-623.
15. Blumberg A. F., Herring H. J. Circulation modeling using orthogonal curvilinear coordinates. In: Three-Dimensional Models of Marine and Estuarine Dynamics. Oceanogr. Ser., Elsevier, New York, 1987, v. 48, pp. 55-88.

16. Blumberg A. F., Mellor G. L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: Three-Dimensional Coastal Ocean Models. Washington, AGU, 1987, v. 4, 208 p.
17. Brozkova R., Derkova M., Bellus M., Farda A. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. *Ocean Science*, 2006, № 2, pp.113-121. <http://www.ocean-sci.net/2/113/2006>.
18. Bryan K. A. A numerical method for the study of the circulation of the World ocean. *J. Computational Physics*. 1969, v.4, № 3, pp. 347-356.
19. Demetrashvili D. I. Modeling of hydrophysical fields in the Black Sea. *J. Georgian Geoph. Soc.*, 2003, v. 8b, pp. 19-27.
20. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U., Gvelesiani A. On the vertical motions in the Black Sea by the 3-D hydrothermodynamical numerical model. *Advances in Geosciences*, 2007, 14, pp. 295-299. www.adv-geosci.net/14/295/2008/.
21. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U., Kukhalashvili V. G. Numerical study of the vertical hydrological structure of the Black Sea under January climatological forcing. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2010, 14b, pp. 75-84.
22. Dietrich D. E., Lin C. A., Mestas-Nunez A., Ko D. S. A high-resolution numerical study of Mexico fronts and eddies. *Meteorol. Atmos. Phys.* 1997, v. 64, pp. 187-201.
23. Ginzburg A. I., Kostianov A. G., Nezlin N. P. et al. Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea. *J. Marine Syst.*, 2002, v.32., pp. 91-106.
24. Girgvliani A. Calculation of seasonal variability of the hydrological characteristics of the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 1998, v.3b, pp. 17-26.
25. Girgvliani A. The Coriolis force parametrization in numerical model of the Black Sea dynamics. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 1999, v. 4b, pp. 15-27.
26. Girgvliani A. Calculation of the effect of the Bosporian chanel on the Black Sea hydrology. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 1999, v. 4b, pp. 28-39.
27. GODAE Ocean View Work Plan, Final version, 2012, v. 8, 120 p. <http://www.godae-oceanview.org>
28. Grigoriev A. V., Zatsepin A. G. Numerical modeling of water dynamics of Russian zone of the Black Sea within the framework of operational oceanographic tasks. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2013, v. 16b, pp. 138-157.
29. Ivaniashvili G., Globalization, sustainability and transit potential of Georgia. *Proceed. of 1st International silk road symposium, 25-27 June 2003, Tbilisi, Georgia*, pp. 104-106.
30. Jitar O., Teodosiu C., Nicoara M., Plavan G. Study of heavy metal pollution and bioaccumulation in the Black Sea living environment. *Environmental Engineering and Managerment Journal*. 2013, v.12, № 2, pp. 271-276.
31. Kara A. B., Hurlburt H. E., Wallcraft A. J. Black Sea mixed layer sensitivity to various wind and thermal forcing products on climatological time scales. *Journal of climate*, 2005, v. 18, № 24, pp.5266-5293.

32. Kara A. B., Wallcraft A. J., Hurlburt H. E. Sea surface temperature sensitivity to water turbidity from simulations of the turbid Black Sea using HYCOM. *J. Physic. Oceanography*, 2005, v.35, №1, pp.33-54.
33. Kara A. B., Wallcraft A. J., Hurlburt H. E. How does attenuation depth affect the ocean mixed layer? Water turbidity and atmospheric forcing impacts on the simulation of seasonal mixed layer variability in the turbid Black Sea. *J. Climate*. 2005, v.18, № 2, pp. 389-409.
34. Kiknadze A., Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A. Kacharava G. Simulation of diffusion and sedimentation of Rioni River Alluvium in the Georgian Black Sea coast (water area of Poti city). *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. 2006, v.173, № 3. pp. 504-506.
35. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Numerical modeling of annual mean hydrophysical fields in the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 1998, v.3b, pp.35-48.
36. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of inner-annual variability of the hydrological regime of the Black Sea with taking into account of alternation of different types of the wind above its surface. *Proceed. of Intern. Conference: A year after Johannesburg-Ocean Governance and Sustainable Development: Ocean and Coasts – a Glimpse into the Future*. Kiev, Ukraine, October 27-30, 2003. pp. 495-505.
37. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Simulation and forecast of hydrophysical fields in the part of the Georgian Black Sea coastal zone. *J. Georgian Geoph. Soc.*, 2008, 12b, pp. 7-16.
38. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Some results of forecast of hydrodynamic processes in the easternmost part of the Black Sea. *J. Georgian Geoph. Soc.*, 2010, 14b, pp. 37-52.
39. 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/.
40. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. Circulation processes in the easternmost part of the Black Sea in 2011-2012. Results of simulation and forecast. *J. Georgian Geoph. Soc.*, 2011-2012, v.15b, pp. 3-12.
41. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Coastal forecasting system for the easternmost part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012, 12, pp. 471-477. www.trjfas.org.
42. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Simulation and forecast of oil spill transport processes in the Georgian Black Sea coastal zone using the regional forecasting system. *J. Georgian Geoph. Soc.*, 2014, v.17b, pp. 3-13.
43. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Development of the Black Sea regional forecasting system for its easternmost part with inclusion of oil spill transport forecast. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. 2014, v. 8, № 3, pp.40-47.
44. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. The Easternmost Black Sea regional forecasting system. *Proceed. of the 12th Intern. Conference on the*

- Mediterranean Coastal Environment-MEDCOAST 2015, 6-10 October 2015, Varna, Bulgaria. 2015. pp. 769-780.
45. Kordzadze A., Tavartkiladze K., Kvaratskhelia D. A structure of the wind continuous field on the Black Sea surface, *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2000, 5b, pp. 28–37.
 46. Korotaev G., Cordoneanu E., Dorofeev V., Fomin V., Grigoriev A., Kordzadze A., Kubryakov A., Oguz T., Ratner Yu., Trukhchev D., Slabakov H. Near-operational Black Sea nowcasting/forecasting system. In: *European Operational Oceanography: Present and Future. 4th EuroGOOS Conference*, 6-9 June 2005, Brest, France, 2006, pp. 269-275.
 47. Korotaev G. K., Dorofeev V. L., Motyzhev S. L., Belokopytov V.N., Palazov A., Malciu V., Zatsepin A.Z., Nesterov E., Stanichny S. V., Ratner Y.B., Suetin V.S., Suslin V. V. Contribution of the Black Sea observing system to ECOOP. *Ocean Science Discuss.*, 2011, 8, pp.1695-1722, www.ocean-sci-discuss.net/8/1695/2011/, doi:10.5194/osd-8-1695-2011.
 48. 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/.
 49. Korotaev G. K., 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, doi:10.1029/2002JC001508, pp. 19-1 – 19-15.
 50. Kubryakov A., Grigoriev A., Kordzadze A., Korotaev G., Trukhchev D., Fomin V. Nowcasting/Forecasting subsystem of the circulation in the Black Sea nearshore regions. In: *European Operational Oceanography: Present and Future. 4th EuroGOOS Conference*, 6-9 June 2005, Brest, France, 2006, pp. 605-610.
 51. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. L., Ratner Y. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea Coastal forecasting system. *Ocean Science*, 2012, 8, pp.183-196.
 52. Kubryakov A. I., Stanichny S. V. Mean dynamic topography of the Black Sea computed from altimetry, drifter from altimetry, drifter measurements and hydrology data. *Ocean Science*. 2011, 7, pp. 745-753.
 53. Mirinchev G. A., Tzankov V., Kostova I. S., Mirincheva M. G. Impact of Bulgarian rivers on heavy metal pollution of the Black Sea *Water Science and Technology*. 1999, 39, pp. 9-12.
 54. Mironescu L. The fight against harm to the environment in the Black Sea. *Parliamentary Assembly of Council of Europe*. 2008, <http://assembly.coe.int>.
 55. Oguz T., Latun V. S., Latif M. A. et al. Circulation in the surface and intermediate layers in the Black Sea. *Deep Sea Research*, 1993, v.1, № 40, pp. 1597-1612.
 56. Oguz T., Malanotte-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.

57. Oil spill accident in the Kerch Strait in November 2007. Edited by A. Korshenko, Y. Ilyin, V. Velikova. Black Sea commission publications. Moscow, Nauka, 2011, 288 p.
58. Ozsoy E., Pinaridi N., Moroni F. Marseli's current measurements in the Bosphorus. http://linux-server.ims.metu.edu.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=19Itemid=34.
59. Ozsoy E., Sozer A., Gurses O., Tutsak E., Gunduz M., Sannino G. The leading role of the Turkish Straits System in ocean science and the environmental degradation imposed on unique Natural-cultural heritage by canal Istanbul. https://www.academia.edu/19447211/The_Leading_Role_of_the_Turkish_StraitsSystem_in_Ocean_Science_and_the_Environmental_Degradation_Imposed_on_Unique_Natural-Cultural_Heritage_by_Canal_%C4%B0stanbul
60. Papashvili I., Lominadze G., Khorava S. The tendencies of modern development of the Rioni-Supsa interfluvial region of the Black Sea shore. Materials of International Conference "Applied Ecology: Problems and Innovations." Proceed. ICAE. Batumi, Georgia, 2015, pp. 42-53.
61. Pinaridi N., Moroni F., Ozsoy E., Marsili's first scientific oceanographic cruise (1679-1680) and exposition of Bosphorus density currents. http://linux-server.ims.metu.edu.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=35.
62. Ryan W., Pitman W. Noah's Flood. Touchstone Books. New York, Simon and Schuster. 1998, 249 p.
63. Ryan W. B., Pitman W. C. Noah's Flood: The New Scientific discoveries about the event that changed history. New York, Simon and Schuster, 1999, 319 p.
64. Soffientino B., Pilson M. E. Q. The Bosphorus strait a special place in the history of oceanography. *Oceanography*, 2005, v. 18, №2, pp. 16-23.
65. Stanev E. V. Understanding Black Sea dynamics: Overview of recent numerical modeling. *Oceanography*, 2005, v. 18, № 2, pp. 52-71.
66. Stanev E. V. On the mechanisms of the Black Sea circulation. *Earth-Science Rev.* 1990, v. 28, pp. 285-319.
67. Stanev E. V., Beckers J. M. Numerical simulation of seasonal and interannual variability of the thermohaline circulation. *J. Mar. Sys.*, 1999, v. 22, pp. 241-267.
68. Staneva J. V., Dietrich D. E., Stanev E. V., Bouman M. J. Mesoscale circulation in the Black Sea: New results from DiaCast model simulation. *J. Mar. Sys.*, 2001, v. 31, pp. 137-157.
69. State of the environment of the Black Sea (2001-2006/7). Black Sea Commission Publications 2008-3, Istanbul, Turkey, 419 pp.
70. Towards operational oceanography: The Global Ocean Observing System (GOOS). GOOS report-16 IOC/INF-1028, Paris, 26 April 1996, 14p.
71. Zaitsev Y. P. Recent changes in the trophic structure of the Black Sea. *Fish Oceanography*. 1992, 1, pp.180-189.

72. Архангельский А. Д., Страхов Н. М. Геологическое строение и история развития Черного моря. Ленинград, Издательство АН СССР, 1938, 149 с.
73. Атлас волнения и ветра Черного моря. (Под. ред. Е. Н. Альтмана). Ленинград, Гидрометеиздат. 1969, 112 с.
74. Баришевская Г. И. Вертикальные перемещения водных масс в Черном море. Сборник работ БГМО ЧАМ. 1967, вып. 5, с. 3-18.
75. Бедрицкий А. И., Асмус В. В., Кровотынцев В. А. и др. Спутниковый мониторинг загрязнения российского сектора Черного и Азовского морей в 2003-2007 гг. Метеорология и гидрология, 2007, №11, с.5-13.
76. Безбородов А. А., Еремеев В. Н. Черное море. Зона взаимодействия аэробных и анаэробных вод. Севастополь, 1993, 298 с.
77. Беляев В. М. Моделирование морских систем. Киев, Наукова Думка, 1987, 203 с.
78. Берадзе Т. Мореплавание и морская торговля в средневековой Грузии, Тбилиси, 1990, 245 с.
79. Биологическая станция. Википедия. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ биологическая станция](http://ru.wikipedia.org/wiki/биологическая_станция).
80. Блатов А. С., Булгаков Н. П., Иванов А. Н., Косарев В. С., Тужилкин В. С. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. Ленинград, 1984, 240 с.
81. Блатов Ю. Н., Залогин Б. С., Косарев А. Н., Тужилкин В. С. Вертикальная гидрологическая структура вод Черного моря. Жизнь Земли. 1986, № 22, с. 42-46.
82. Блатов Ю. Н., Косарев А. Н., Тужилкин В. С. Изменчивость гидрологической структуры вод Черного моря и ее связь с внешними факторами. Водные ресурсы. 1980, № 6, с. 76-82.
83. Богданова А. К. Распределение средиземноморских вод в Черном море. Океанология, 1961, т.1, вып. 6, с. 983-991.
84. Богуславский С. Г., Жоров В. А. Формирование глубинной водной массы Черного моря. В кн.: Процессы формирования и внутригодовой изменчивости гидрофизических и гидрохимических полей Черного моря. Севастополь, МГИ АН УССР, 1988, с. 17-22.
85. Бондаренко Г. Н., Колябина И. Л., Маринич О. В. Проблема извлечения сероводорода из глубинных вод Черного моря. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009, № 2. с.92-97.
86. Бубнов М. А. Математические вопросы моделирования приливов и циркуляции в бароклинном океане. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1984, 151 с.
87. Бубнов М. А., Кажихов А. В. Теоремы существования и единственности в некоторых задачах линейной теории океанической циркуляции. В кн.: Динамика сплошной среды, Новосибирск, 1970, вып. 6, с. 223-237.
88. Виноградов М. Е., Арнаутов Г. Н. Исследование современного состояния экосистемы Черного моря. В кн.: Исследования экосистемы пелагиали Черного моря. Москва, 1986, с. 1-8.

89. Врагов А. В. Методы обнаружения, оценки и ликвидации аварийных разливов нефти. Новосибирский государственный университет, 2002, 224 с.
90. В черном море плещется “бульон” из солей тяжелых металлов. 2013, <http://russian-greens.ru/node/1308>.
91. Гамсахурдия Г. Р. Исследование трехмерной циркуляции вод Черного моря численными методами в рамках диагностической модели. Москва, Институт океанологии АН СССР, 1975, 27 с. Деп. В ВИНТИ, № 1832-75.
92. Гамсахурдия Г. Р., Саркисян А. С. Диагностические расчеты скоростей течений на 11 горизонтах для Черного моря. Океанология, 1975, т. 15, № 2, с. 239-244.
93. Географическая карта-величайшее творение человечества. geo.metodist.ru/geo-7/bryanseva/3_urok/.../7-3-1.ppt.
94. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. т. IV, Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. (Под ред. А. И. Симонова и Е. М. Альтмана), Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1991, 428 с.
95. Гинзбург А. И., Контарь Е. А., Костяной А. Г. и др. Система синоптических вихрей над крутым материковым склоном в северо-западной части Черного моря летом 1993. (спутниковые и судовые наблюдения), Океанология, 1998, т. 38, № 1, с. 51-58.
96. Гиргвлиани А. Г. Численные исследования зависимости гидрологических характеристик Черного моря от сезонной изменчивости атмосферных процессов. Препринт № 537, Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1984, 13 с.
97. Григорьев А. В., Зацепин А. Г. Верификация численной модели динамики вод российской зоны Черного моря по данным дистанционных и контактных наблюдений. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2011, вып. 25, т.2, с. 147-160.
98. Гришин М. Г. Исследование физических свойств Черного моря в 1920-1930-е гг. Краткий обзор. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2011, т. 2, вып. 25, с.435-443.
99. Гришин М. Г., Сизов А. А. Черноморская глубомерная экспедиция (1890-1891 гг.). Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2011, т. 2, вып. 25, с. 444-450.
100. Губанов Е. П., Ивлева М. Н. Нефтяное загрязнение Черного моря и его влияние на экосистему. 2006, 16 с. <http://www.ceemar.org/dspace/bitstream/11099/1132/1/article-13.pdf>.
101. Демин Ю. Л., Трухчев Д. Н. Численное моделирование течений близ западного побережья Черного моря. Метеорология и гидрология. 1984, № 2, с. 54-61.

102. Демьшев С. Г. Численная модель оперативного прогноза течений в Черном море. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2012, т. 48, № 1, с. 137-149.
103. Демьшев С. Г., Дымова О. А. Численный анализ мезомасштабных особенностей циркуляции в прибрежной зоне Черного моря. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013, т. 49, № 6, с. 655-663.
104. Демьшев С. Г., Кныш В. В., Коротаев Г. К. Результаты расчета адаптированных полей Черного моря на основе ассимиляции в модели данных по климатической температуре и солености. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2006, т. 42, № 5, с. 604-617.
105. Демьшев С. Г., Коротаев Г. К. Численное моделирование сезонного хода синоптической изменчивости в Черном море. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 1996, т. 32, № 1, с. 108-116.
106. Демьшев С. Г., Коротаев Г. К., Кныш В. В. Эволюция холодного промежуточного слоя Черного моря по результатам ассимиляции климатических данных в модели. Морской гидрофизический журнал, 2002, № 4, с. 3-19.
107. Джаошвили Ш. Реки Черного моря. Тбилиси, 2003, 186 с.
108. Джаошвили Ш. Речные наносы и пляжеобразование на Черноморском побережье Грузии. Тбилиси, 1986, 155 с.
109. Джиоев Т. З. Исследование циркуляции вод Черного моря численными методами. Дис. на соискание учен. степени канд. физ.-мат. наук по спец. "Океанология", Москва, 1974, 142 с.
110. Джиоев Т. З., Саркисян А. С. Прогностические расчеты течений в Черном море. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1976, т. 12, № 2, с. 217-223.
111. Димитров П., Димитров Д. Черное море, потоп и древние мифы. Варна, Славена, 2008, 90 с.
112. Димитров П. С., Димитров Д. П., Солаков Д. П., Пейчев В. Д. Новейшая геологическая история Черного моря и проблема потопов. Геология и полезные ископаемые мирового океана. Киев, 2005, № 1, с.102-111.
113. Добровольский А. Д. Динамическая карта восточной части Черного моря. Изв. Гидрометеорологического Института Черного и Азовского морей. 1933, № 1.
114. Доценко С. Ф., Иванов В. А. Катастрофические природные явления Азово-Черноморского региона. Севастополь, 2013, 193 с.
115. Дроздов В. В. Многолетняя изменчивость рыбопромысловых ресурсов Черного моря: тенденция, причины и перспективы. Ученые записки РГГМУ. Издательство РГГМУ, 2011, № 21, с.137-154.
116. Евтрофикация. Стратегия, окружающая среда, технологии. 2013.
http://www.ubc-sustainable.net/sites/www.ubc-environment.net/files/publications/presto_brochure_rus_web.pdf
117. Ефимов В. В., Тимофеев Н. А. Теплобалансовые исследования Черного и Азовского морей. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1990, 237 с.

118. Журбас В. М., Основные механизмы распространения нефти в море. В кн.: Механика жидкости и газа, Москва ВИНИГИ, 1978, т.12, с. 144-159.
119. Загрязнение морских экосистем. <http://megaobuchalka.ru/6/6763.htm>.
120. Зайцев Ю. П. Это удивительное море. <http://adminland.ru/crimea/books/m2172478/index.htm>
121. Залесный В. Б., Гусев А. В., Мошонкин С. Н. Численная модель гидродинамики Черного и Азовского морей с вариационной инициализацией температуры и солености. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2013, т. 49, № 6, с. 699-719.
122. Залесный В. Б., Кордзадзе А. А., Гиргвлиани А. Г., Численное моделирование сезонного хода гидротермодинамики Черного моря. В кн.: Численное решение задач динамики океана. Новосибирск, 1982, с. 25-36.
123. Залесный В. Б., Кордзадзе А. А., Гиргвлиани А. Г. Численное моделирование сезонной изменчивости гидрологических характеристик Черного моря. В кн.: Численное моделирование динамики океана и внутренних водоемов. Новосибирск, 1984, с. 51-59.
124. Зацепин А. Г. Гидродинамика Черного моря: Бассейновая циркуляция, мезомасштабные и субмезомасштабные вихри. 132 с. http://www.d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2014/pdf/Zatsepin1.pdf
125. Зацепин А. Г., Кондрашов А. А., Корж А. О., и др. Субмезомасштабные вихри на Кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы. Океанология, 2011, т. 51, № 4, с. 592-605.
126. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. Москва 1960, 710 с.
127. Зенкович В. П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Т. 1, Москва 1958, 216 с.
128. Зенкович В. П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Т. 2, Москва 1960, 227 с.
129. Зилитинкевич С. С., Монин А. С. Турбулентность в динамических моделях атмосферы. Ленинград, Наука, 1971, 44 с.
130. Зубов Н. Н. Отечественные мореплаватели – исследователи морей и океанов. Москва. География, 1965, 474 с.
131. Игнатъев С. М. Удивительный морской водоем. Природа, 2001, №5.
132. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь, НПЦ “ЭКОСИ- Гидрофизика“ 2011, 212 с.
133. Иванов В. А., Косарев А. Н., Тужилкин В. С. К истории экспедиционных океанографических исследований Черного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2004, вып. 10, с. 9-16.
134. История изменений экосистемы Черного моря. <http://blacksea-education.ru/2-3.shtml>.
135. История Черного моря. http://www.blacksea.su/history_page.html

136. История названия Черного моря. <http://anapacity.com/chernoe-more/istoriya-chernogo-morya.html>.
137. Каган В. А., Рябченко В. А. Трассеры в Мировом океане. Ленинград, Гидрометеоздат, 1978, 58 с.
138. Как появилось Черное море. <http://pontika-inkognita.ru/kcrime/013-serovododod.html>.
139. Кароль Л. И. Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере. Ленинград, Гидрометеоздат, 1972, 366 с.
140. Климат и климатические ресурсы Грузии. (Под ред. В. П. Ломинадзе и Г. И. Чиракадзе), Ленинград, Гидрометеоздат, 1971, 384 с.
141. Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Черном море. Тр. Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции. 1932, вып.10, 272 с.
142. Кныш В. В., Инюшина Н. В. Адвекционный механизм пополнения и обновления холодного промежуточного слоя по результатам численного моделирования течения в Черном море. Морской гидрофизический журнал, 2004, №6, с.17-30.
143. Колесников А. Г., К вычислению годового хода температуры воды в южных морях. Тр. Морского гидрофизического Института АН СССР, 1953, т. 3, с. 106-127.
144. Комплексные океанографические исследования Черного моря. (Под ред. Б. А. Нелеппо), Киев, Наукова думка, 1980, 238 с.
145. Кордзадзе А. А. О численных решениях баротропных задач океанических течений. Сб. трудов "Численные модели океанических циркуляций", ВЦ СО АН СССР, 1972, с. 25-27.
146. Кордзадзе А. А. Расчет поверхностной циркуляции для бассейна Черного моря Препринт, ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1973, 9 с.
147. Кордзадзе А. А. Математические вопросы решения задач динамики океана. Новосибирск, ВЦ СО СССР, 1982, 148 с.
148. Кордзадзе А. А. Математическое моделирование динамики морских течений (теория, алгоритмы, численные эксперименты). Москва, ОВМ АН СССР, 1989, 128 с.
149. Кордзадзе А. А., Гиргвлиани А. Г. Перспективы использования гидродинамических моделей в задачах экологии Черного моря. В кн.: Материалы конференции «Экология и региональное использование природных ресурсов южного региона Украины». Севастополь, Ч. 3, Деп. ВИНТИ № 6613, с. 449-454.
150. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Региональная оперативная система прогноза состояния восточной части Черного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2011, вып. 25, т. 2, с. 136-146.

151. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Черного моря. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2013, т. 49, № 6, с. 733-745.
152. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Прогноз циркуляционных процессов и распространения нефтяного загрязнения в восточной части Черного моря на основе региональной комплексной модели. Морской гидрофизический журнал, 2015, № 1 с. 3-15.
153. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. О реакции гидрологического режима Черного моря на изменчивость атмосферных процессов. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и рациональное использование ресурсов шельфа. Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. 2004, вып. 10, с. 265-277.
154. 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.
155. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. О циркуляции в Черном море при очень сильных и слабых ветрах. Метеорология и гидрология, 2007, № 9, с. 58-64.
156. Кордзадзе А. А., Скиба Ю. Н. Об одном численном методе решения двумерной бароклинной задачи океанской циркуляции. Сб. тр. "Численные модели океанических циркуляций", ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1972, с. 98-122.
157. Кордзадзе А. А., Скиба Ю. Н. Численные расчеты основных характеристик Черного моря в рамках трехмерной модели. Препринт. ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1973, 34 с.
158. Коротаев Г. К., Еремеев В. Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря. Севастополь, НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2006, 381 с.
159. Коротенко К. А., Дитрих Д. Е., Боуман Дж. Моделирование циркуляции и перенос нефтяных пятен в черном море. Океанология, 2003, т. 43, № 3, с. 367-378.
160. Костяной А. Г., Лебедев С. А., Соловьев Д. М., Пичужкина О. Е. Спутниковый мониторинг юго-восточной части Балтийского моря. Отчет 2004, Калининград, ЛУКОЙЛ "Калининград-морнефть", 2005, 36 с. http://www.lukoil.ru/materials/doc/ecology/eo_kosmos.pdf.
161. Кравец В. Н. Динамика сероводорода в Черном море (1960-1991). Тр. УкрНИГМИ, 1998, вып.246, с. 188-193.
162. Кравец В. Н. Многолетняя изменчивость и оценка баланса сероводорода в Черном море. Наук. Праці УкрНДГМІ, 2002, вип. 250.
163. Кравец В. Н., Губанов В. И. Структура сероводорода в Черном море в условиях усиленного и ослабленного пресса. Экология моря, 2000, № 51, с. 91-95.

164. Краус Е. Б. Взаимодействие атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеоздат, 1976, 295 с.
165. Кривошея В. Г., Овчинников И. М., Скирта А. Ю. Межгодовая изменчивость обновления холодного промежуточного слоя Черного моря. В кн.: Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. (Под ред. А. Г. Зацепина и М. Б. Флинта), Москва, 2002, с. 27-39.
166. Кривошея В. Г., Овчинников И. М., Титов В. Б. и др. Меандрирование Основного Черноморского течения и формирование вихрей в северо-восточной части Черного моря летом 1994 г. *Океанология*, 1998, т. 38, № 4, с. 546-553.
167. Лаврова О. Ю., Каримова С. С., Митягина М. И., Бочарова Т. Ю. Оперативный спутниковый мониторинг акватории Черного, Балтийского и Каспийского морей в 2009-2010 гг. http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2010t3/168-185.pdf
168. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А., Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва, Институт космических исследований РАН, 2011, 480 с.
169. Лебедев С. А. Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов. 2009, 21 с. http://www.mkgtu.ru/docs/KONF_SEM/lebedev.pdf.
170. Лебедев В. Л., Айзатулин Т. А., Хайлов К. М. Океан как динамическая система. Ленинград, Гидрометеоздат, 1974, 206 с.
171. Леонов А. К. Региональная океанография. Часть 1. Берингово, Охотское, Японское, Каспийское и Черное моря. Ленинград, Гидрометеоздат, 1960, 765 с.
172. Литовченко К. Ц., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. и др. Нефтяные загрязнения восточной части Черного моря: Космический мониторинг и подспутниковая верификация. *Исследования Земли из Космоса*, 2007, № 1, с. 81-94.
173. Лоева И. Д., Украинский В. В., Орлова И. Г., Ковалишина С. П. Современное экологическое состояние северо-западной части Черного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2013, вып. 27, с. 237-242.
174. Макаров С. О. Об обмене вод Черного и Средиземного морей. Приложение к т.51 *Зап. Имп. Академии наук*, 1885, № 6.
175. Макаров С. О. Об обмене вод Черного и Средиземного морей. *Океанографические работы*. Москва, Гидрометеоздат, 1990, 31-93 с.
176. Малини *Общая океанология. Часть I. Физические процессы*. Санкт-Петербург. 1998, 341 с.
177. Мамаев О. И. Упрощенная зависимость между плотностью, температурой и соленостью морской воды. *Изв. АН СССР, сер. Геофизика*, 1964, № 2, с.309-311.

178. Мамаев О. И. Т. S. – анализ вод Мирового океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1970, 364 с.
179. Мамаев О. И. Глубинные воды Черного моря. Природа, 1986, № 12, с. 71-78.
180. Марсагишвили Т., Циклаури О., Кордзадзе А., Кашия В., Сидамонидзе Ш., Гигаури Р., Деметрашвили Д., Джомидави Р. Проблема экологически безопасного освоения ресурсов Черного моря. Журнал химического общества Грузии, 2002, т. 2, № 1, с. 92-98.
181. Марчук Г. И. Численные методы в прогнозе погоды. Ленинград, Гидрометеиздат, 1967, 356 с.
182. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
183. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Москва, Наука, 1982, 319 с.
184. Марчук Г. И., Дымников В. П., Залесный В. Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализаций. Ленинград, Гидрометеиздат, 1987, 296 с.
185. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А. Теория возмущения и постановка обратных задач динамики океана. Труды Тбилисского государственного университета. Математика, механика, астрономия, 1986, т. 259, № 19-20, с. 49-65.
186. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А. Численное моделирование динамики моря на основе метода расщепления. В кн.: Численное моделирование климата Мирового океана. Москва, ОВМ АН СССР, 1986, С. 151-163.
187. 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.
188. 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.
189. Марчук Г. И., Кочергин В. П., Саркисян А. С. и др., Математические модели циркуляции океана. Новосибирск, Наука, 1980, 288 с.
190. Марчук Г. И., Патон Б. Е., Коротаев Г. К., Залесный В. Б. Информационно-вычислительные технологии – новый этап развития оперативной океаграфии. РАН, Физика атмосферы и океана, 3013, т. 49, № 6, с. 629-642.
191. Митягина М. И., Лаврова О. Ю., Бочарова Т. Ю. Спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015, т. 12, № 12, с. 130-149. http://www.iki.rssi.ru/asp/dep/_proj/pr555_12.pdf.
192. Монин А. С., Озмидов Р. В. Океанская турбулентность. Ленинград, Гидрометеиздат, 1981, 319 с.
193. Москаленко Л. В. Расчеты стационарных ветровых течений в Черном море. Океанология, 1975, т. 15, № 2, с. 245-250.

194. Неклюдов И. М., Борц Б. В., Полевич О. В., Ткаченко В. И., Шилиев Б. А. Альтернативная сероводородная энергетика Черного моря. Состояние проблемы и перспективы. Часть 1. Водородная энергетика и транспорт, 2006, № 12(44), с. 23-30.
195. Нелепо Б. А. Ядерная гидрофизика. Москва, Атомиздат, 1970, 224 с.
196. Нелепо Б. А., Коротаев Г. К., Мановицкий В. М. Создание системы диагноза и прогноза состояния океана как актуальная проблема автоматизации океанологических исследований. Морской гидрофизический журнал. Севастополь, ЭКОСИ4-Гидрофизика, 1985, № 3, с. 44-49.
197. Нефтяные загрязнения. <http://oceanfromspace.scanex.ru/index.php/ocean/oil-pollution>.
198. Овчинников И. М., Попов Ю. И. К вопросу о формировании холодного промежуточного слоя в Черном море. Докл. АН СССР, 1984, т. 29, № 4, с. 986-989.
199. Овчинников И. М., Попов Ю. И. Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море. Океанология, 1987, т. 27, № 5, с. 739-746.
200. Озмидов Р. В. Диффузия примесей в океане. Ленинград, Гидрометеоздат, 1986, 280 с.
201. Озмидов Р. В., Попов Н. И. К изучению вертикального водообмена в океане по данным о распределении в нем стронция-90. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1966, т. 2, № 2, с. 183-190.
202. Океанографическая энциклопедия. Ленинград, Гидрометеоздат, 1974, с. 583-588.
203. Павлова Е. В. О нахождении средиземноморских зоопланктонных организмов в Черном море. Зоологический журнал, 1964, т. 34, с. 1710-1712.
204. Папинашвили К. И. Атмосферные процессы в Закавказье и их связь с макроциркуляционными процессами над Европой. (Под ред. В. П. Ломинадзе). Ленинград, Гидрометеоздат, 1963, 184 с.
205. Пахотник А. Ф. Краткая история экспедиционных исследований по физической океанологии в СССР. Москва, Наука, 1970, с. 75-155.
206. Перри А. Х., Уокер Дж. М. Система океан-атмосфера. Ленинград, Гидрометеоздат, 1979, 195 с.
207. Полонский А. Б., Джиганшин Г. Ф. Структура и мезомасштабная изменчивость Основного Черноморского течения у побережья Крыма. Доповіді національної Академії наук України, 2010. № 6, с. 107-112.
208. Практическая экология морских регионов. Чёрное море., Киев, Наукова Думка, 1990, 251 с.
209. Пустовойтенко В. В., Запелалов А. С., Терехин Ю. В. Спутниковые средства оперативной океанографии: радиолокационные системы бокового обзора. Морской гидрофизический журнал, 2011, с. 308-340.
210. Радиоактивное загрязнение внешней среды. (Под ред. В. П. Шведова), Москва, Госатомиздат, 1962, 275 с.

211. Рябин А. И., Кравец В. Н. Современное состояние сероводородной зоны Черного моря. Москва, Гидрометеиздат, 1989, 230 с.
212. Рябцев Ю. Н., Шапиро Н. Б. Моделирование формирования и эволюции холодного промежуточного слоя в Черном море. Морской гидрофизический журнал. 1995, № 1, с. 51-66.
213. Саркисян А. С. Основы теории расчета океанических течений. Ленинград, 1966, 123 с.
214. Саркисян А. С., Джиоев Т. З. Численная модель и расчет течений в Черном море. Метеорология и гидрология, 1974, № 3, с. 70-76.
215. Саркисян А. С., Залесный В. Б., Дианский Н. А., Ибраев Р. А., Кузин В. И., Мошонкин Е. В., Семенов Е. В., Тамсалу Р., Яковлев Н. Г. Математические модели циркуляции океанов и морей. Современные проблемы Вычислительной математики и математического моделирования. т. 2, Математическое моделирование, Москва, Наука, 2005, с.176-278.
216. Смирнов В. Г. Ф. Ф. Врангель исследователь Средиземного, Черного и Азовского морей. История океанологии: Труды 4-ой международной конференции. Калининград, Терра Балтика, 2009, с. 141-147.
217. Солянкин В. В. Микроклиматическая роль Черного моря. Океанология, 1964, т. 4, вып. 2.
218. Сорокин Ю. И. Черное море. Москва, Наука, 1982, 217 с.
219. Станев Е. В., Русенов В. Численное моделирование сезонной изменчивости морских течений. В кн.: Комплексный глобальный мониторинг Мирового океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1985, с. 120-129.
220. Станев Е., Трухчев Д. Русенов В. Циркуляция вод и численное моделирование течений Черного моря. София, Университетско издательство “Климент охридски”. 1988, 220 с.
221. Страбон. География. Москва, Научно-издательский центр “Ладимир“, 1994, 943 с. <http://naturalhistory1.narod.ru/Person/Lib/Strabon/Index.htm>.
222. Стыро Д. Б. Структура ядерно-гидрофизических полей пассивных примесей в морях средней глубины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Вильнюс, 1983, 38 с.
223. Титов В. Б. О роли вихрей в формировании режима течений на шельфе Черного моря и в экологии прибрежной зоны. Океанология, 1992, т. 32, № 1, с. 39-48.
224. Титов В. Б. Экспериментальные данные по меандрированию Основного Черноморского течения. Океанология, 1993, т. 33, № 4, с. 521-526.
225. Толмазин Д. М., Шнайрман В. А. и др. Проблемы динамики вод северо-западной части Черного моря. Киев, Наукова думка, 1969, 130 с.
226. Топкуоглы С. Экология Черного моря. Изучение загрязнения морской среды в Турции. Бюллетень МАГАТЕ, 2000, т. 42, № 4, с. 12-14.
227. Трухчев Д. Н., Станев Е. В. Численная модель течений западной части Черного моря. Океанология, 1983, т.23, №1, с.17-22.

228. Тужилкин В. С. Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. Москва, 2008, 48с.
229. Филлипов Д. М. Циркуляция и структура вод Черного моря. Москва, Наука, 1968, 132 с.
230. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х. Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1990, 280 с.
231. Черное море. Пер. с Болг. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1983, 240 с.
232. Шведов В. И., Юзефович А. А., Ерощев-Шак В. А. и др. Определение содержания стронция - 90 в Черном море. В кн.: Радиоактивная загрязненность морей и океанов. Москва, Наука, 1964, с. 76-80.
233. Шнюков Е.Ф., Дроздовская А.А. Черное море как прототип химической эволюции Мирового океана в геологической истории Земли. Доклады АН УССР, серия Б: геологические, химические и биологические науки, 1989, с. 25-30.
234. Шокальский Ю. М., Землетрясение 12 сентября 1927 года. Природа, 2006, № 9, с. 67-70.
235. Шулейкин В. В. Физика моря. Москва, Наука, 1968, 1083 с.
236. Экологические проблемы Черного моря. <https://ria.ru/spravka/20071031/86018545.html>.

The Black Sea Oceanography in the Past and at Current Stage

Avtandil Kordzadze, Demur Demetrashvili

Summary

The Black Sea, which is located at the border of Europe and Asia, is a unique inland water body connected with the World ocean only to the narrow Bosphorus. Influence of the Black Sea on a socio - economic state of Georgia is very important as for all the Black Sea riparian countries. Besides that the Black Sea is a source of biological and mineral resources, it has an essential recreational and transport value for Georgia. In addition, the contribution of the Black Sea to formation of weather and regional climate is especially important. The Black Sea and the atmosphere may be considered as a uniform hydrodynamic system, where processes of an exchange of energy and substances between the sea and atmosphere continuously take place.

This book is the first attempt to introduce the main facts and historical information related to the Black Sea, its specific features and milestones in the development of the Black Sea oceanography from the middle ages to the present including the achievements of the modern Black Sea oceanography, which are based on the new data-computing technologies.

In chapter 1 basic facts concerning the Black Sea are presented. Throughout its geologic history, the Black Sea experienced major changes accompanied by severe environmental modifications, including geomorphologic parameters. Over millions of years of its history, the Black Sea several times became the lake and the sea. Accordingly changed its flora and fauna. During 20000-8000 years back there was no connection with the Mediterranean Sea and on the place of the Black Sea, there was almost freshwater lake-sea. According to [112], the level of the Mediterranean Sea about 8000 years ago, exceeded the level of the Black Sea on 100-120 m. About 7000-8000 years ago, again restored the link between the Black and Mediterranean Seas. According to some experts, the connection to the Bosphorus could happen suddenly, which would cause a great catastrophe. This phenomenon is linked to the legend of the biblical flood (Noah's flood). In the 1990s geologists from Columbia University W. B. Ryan and W. C. Pitman have suggested the scientific hypothesis that the scene of the biblical flood was the territory of the modern Black Sea. At the break of the Bosphorus Strait isthmus and the formation of

giant waves - tsunami hit the coast and flooded all the lowland. It had to happen around 5600 BC [62, 63]. archaeological studies of the Black Sea coast confirm the hypothesis of Ryan-Pitman [14, 111, 112], but this hypothesis has opponents, too.

The ancient Greeks very well knew the Black Sea and Georgia. The information about them is preserved in the myths and tales of ancient Greeks (Homer, Herodotus, Strabon et. al.). The famous Greek historian, geographer, philosopher and military commander Flavius Arrian on behalf of the Roman Emperor in the year 131 AD traveled to the east coast of the Black Sea from Trabzon to Dioscuria (at present Sokhumi). his journey he described in the book "*Periplus of the Euxine Sea*" [2]. It is interesting that in this book he presents the characteristics of waters of river Phasis (Rioni) and Black Sea on salinity and other properties. The book by Flavius Arrian is a very important historical source for the study of Colchis of the second century.

Since the ancient times, the Black Sea has played a major role in Georgia's foreign economic relations. Georgia established its first trade contacts within the foreign countries in the second millennium BC. First sea-trade contacts of the ancient Georgian state of Colchis (the current territory of western Georgia) with Ancient Greece is dated by XIII-XII centuries BC. These relations are reflected in the legendary form in the myth of the Argonauts. It is well known the myth on the Argonautic expedition in Colchis to secure the Golden fleece from Aeetes, King of Colchis. They carried away with them the Golden Fleece and Medea, the daughter of the King. The Golden Fleece and Medea, symbolizing the spiritual and medicine knowledge of Georgian people, so far excite all minding humanity.

From the 7-6th centuries BC, i. e. from the founding of the ancient Greek colonies along the Georgian Black Sea coast, Georgia's trade via the Black Sea with neighbouring or distant countries became regular. The character and scale of Georgia's sea trade varied over the centuries. In some periods Georgia established the direct economic Links, via the Black Sea, with countries of the Mediterranean Sea. At other times, sea trade was limited only by the countries of the Black Sea area and Constantinople (Istanbul) [4, 13, 78].

In VI-XII centuries AD the main partner was the Byzantine Empire. From Georgia to Byzantium mainly exported timber, silks, local craft products, etc. Especially a great success had Georgian silk and silk clothes, which were worn by the Byzantine aristocratic society [4].

In XIII-XV centuries Georgia contacted with the Trabzon Empire, Byzantium, Mamluks' Egypt, Venice and Genoa. In this period Georgia's harbours played a major role in East-West transit trade [13].

At the end of the XIX century construction of the Batumi and Poti ports and Caspian oil discovery led transit function of the Black Sea and Georgia.

In chapter 2 the basic stages of the history of the Black Sea Oceanography are considered from the middle ages to the present.

Systematic study of the Black Sea began in the second half of the XIX century, when it launched large-scale scientific expeditions. Before that there were episodic researches, among which it is very important the discovery of the Bosphorus upper and lower currents in 1679 by famous Italian diplomat and scientist of the XVII century Luigi Ferdinando Marsili. In the history of the Black Sea Oceanography it was the first major study that he carried out by direct measurements. In addition, Marsili carried out laboratory simulation of Bosphorus flows, too [58, 59, 61, 64, 170].

In 1885 famous oceanographer and the vice-admiral of the Russian fleet C. O. Makarov has carried out detailed hydrological research of Bosphorus two-layer current and thoroughly has established, that less salty water of the Black Sea by the upper current enters into the Sea of Marmara, and more salty water of the Sea of Marmara by the deep current enters into the Black Sea [174, 175].

Great contribution to the study of the Black Sea hydrology made complex Black Sea depth-measuring expedition which was led by Russian oceanographer and meteorologist I. B. Shpindler in 1890-1891. During the expedition were made great discoveries, such as: 1) the cold intermediate layer at a temperature below 8⁰C, 2) contamination of deep layers of the Black Sea by hydrogen sulfide and the absence of fauna, 3) waters with high salinity (34‰) at the Bosphorus flowed into the Black Sea with deep current from the Sea of Marmara. With this, it became clear that the deep layers of the Black Sea are a mixture of waters of the Marmara and Black Seas, 4) It has been proven that the bottom of the central part of the sea like a flat bowl with the greatest depth of up to 2245 m, 5) monotonous growth of temperature and salinity from depth 200 m to the bottom up to 9⁰C and 22,3‰, respectively.

Since 1920s study of the structure and dynamics of the Black Sea have received very widespread development. In 1923-1935 a large oceanographic expedition was carried out, which was led by Russian scientist and oceanographer O. M. Shokalski, and then - under the guidance of his disciple V. C. Snezhinski. Since 1932, V. V. Shuleikin has become the leader of the expedition. During the expedition large-scale studies of hydrochemical, biological and hydrological processes of the Black Sea have been conducted, the first Black Sea relief map was made up, the general cyclonic character of the Black Sea has been established.

almost at the same time one of the most significant expeditions in the history of the Black Sea oceanography carried out in 1922-1928 – Azov-Black Sea research

fishery expedition under the leadership of N. M. Knipovich. The first monograph on the Black sea hydrology belongs to N. M. Knipovich [141]. In his monograph the scheme of the surface circulation of the Black Sea is given, according to which the main elements of the surface circulation are two cyclonic eddies in the open part of the sea basin. (so-called "Knipovich's glasses") and the cupola-shaped form of salinity and density fields at the centers of these eddies were established. The subsequent researches have confirmed the basic conclusions given by Knipovich.

It is necessary to note the large contribution to the many spheres of the Black Sea oceanography of the Academician V. V. Shuleikin. In 1929 he has based the hydrophysical station of the Black sea (Kaciveli, Crimea). Further, on the basis of this station the Marine Hydrophysical Institute was based (MHI, Sevastopol).

Since 40-50s of the last century wide use of physical and mathematical methods in study of the Black sea dynamics began, but fast development of computer facilities considerably has promoted numerical modeling of hydrophysical processes since 60-70s. The review of articles on numerical modeling and state of this problem by 80s of the last century are given in the monographs [148, 220].

The first scientific works on numerical modeling of dynamic processes of the Black Sea on the basis of a complete system of the ocean hydrothermodynamics equations were executed in the Computer Center of the Siberian Branch of the Academy of Sciences USSR [146, 148, 187, 188]. To solve the problem a splitting method with respect to physical processes, coordinate planes and lines was used. The splitting method was offered by Academician G. I. Marchuk for solution of nonstationary problems of ocean and atmospheric dynamics and enables to reduce solution of complex nonstationary problems to solution more simple 2D and 1D problems [181-183].

Further, in process of fast development of computer facilities since 1990s the opportunities for development of numerical models with high resolution have appeared [19-21, 31-33, 36, 56, 65-67, 102-105, 121, 151, 153], which have allowed reproducing dynamic processes in the Black Sea by the greater adequacy.

Approximately during last two decades the Black Sea ceanography achieved significant successes. Development of in-situ and remote sensing methods and effective data-computing systems promoted creation of the Black Sea Nowcasting/Forecasting system, which is the large scientific and technical achievement of the Black Sea operative oceanography [46-48, 50, 51, 97]. Such system allows carrying out continuous control over the current state of the Black Sea and its change for some days forward. At present the Black Sea nowcasting/forecasting system is functioning in the near-real time and provides the

short-range forecast of basic hydrophysical fields – the current, temperature, salinity and sea level. The main components of this system are basin-scale model of the Black Sea dynamics of MHI and some high-resolution models of coastal dynamics. One of them is the regional model of sea dynamics for the easternmost Black Sea water area developed at M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakishvili Tbilisi State University [39].

In chapter 3 the main features of the Black Sea Hydrology are discussed among which is very important hydrogen sulfide contamination of Black Sea waters. The significant attention is paid to circulating and thermohaline features of the Black Sea and its pollution by anthropogenous impurity, especially by oil products and biogenic elements.

Hydrogen sulfide in deep layers of the Black Sea has attracted the attention of scientists since its discovery in 1890. The study of spatial - temporary distribution of this poisoning gas has become especially intensive since 1920s. During expeditions headed by N. M. Knipovich and I. M. Shokalski it became clear, that the upper boundary of hydrogen sulfide contamination is observed on horizon of 125 m at the centers of cyclonic vortexes [141]. The analysis of data assembled during these expeditions has shown, that the upper boundary of spreading of hydrogen sulfide is not invariable and changes in time and space, which is caused by system of currents and vertical circulation of waters [141, 211].

According to modern observations, the hydrogen sulfide concentration grows with depth till 13-14 ml/l [85]. Here only anaerobic bacteria can exist. The oxygen zone occupies the upper layers of the sea up to 120-150 m of depth. Thickness of this layer changes in different areas of the Black Sea depending on a season, meteorological conditions and circulation. The upper border of the anaerobic zone in summer season has the original cupola-shaped form on the depth about 80-100 m from the sea surface, but above the continental slope the border between oxygen and anaerobic zones much deeply are available up to 150-170 m. Between these zones the transitive zone – redox-zone is formed, where an oxygen and hydrogen sulfide coexist. In the redox-zone continuously there are processes of chemical and biological oxidation of sulfurated compounds.

Now, large attention is paid to study the long-term variability of hydrogen sulfide concentrations in the Black Sea and its balance, as last decades the tendency of growth hydrogen sulfide is observed in conditions of anthropogenic loading [161, 162]. In [162] The long-term variability and estimation of balance of the hydrogen sulfide in the Black Sea is analyzed.

At present, the problem of search alternate, ecologically clean sources of energy is a very urgent problem for many countries. With this purpose the hydrogen can be used. One of the possible ways of reception of hydrogen is to use technology of its production from hydrogen sulfide of deep layers of the Black Sea [85, 194]. Hydrogen sulfide in the Black Sea is considered as practically the inexhaustible raw material for production of energy and sulfur.

In [85] the offered methods of sulphuretted hydrogen selection from deep water are critically considered. According to the authors only the membrane method of gaseous sulphuretted hydrogen extraction without lifting out of waters on a sea surface is perspective for practical realization.

It is necessary to note, that despite several decades of history of attempts of utilization hydrogen sulfide of the Black Sea, till now practically implemented technologies of allocation of the hydrogen sulfide from sea water are not developed.

The Black Sea circulation is one of the major factors determining distribution of thermohaline fields and some substances of anthropogenic and natural origins. In the last years hydrophysical observations [55, 166, 224], results of mathematical modeling [55, 56, 65, 105, 158, 190] and satellite data [23, 100, 158, 190, 209] promoted better understanding of the Black Sea circulation. Fig.3.1 gives a clear picture of the nature of the Black Sea surface circulation: the main Black Sea current (the Rim Current) by a cyclonic ring, which covers whole basin and some cyclonic circulations in the west and east parts of the open water area.

The Rim Current flows approximately over the continental slope and has a width of about 40-80 km, where currents are about 25-30 cm/s. At strong atmospheric winds sea current speed can be more than 100 cm/s. The Rim Current is observed throughout the year and is amplified and stabilized in the autumn and winter seasons. It is hydrodynamically unstable eddy and is meandering. The meandering promotes generation of coastal anticyclonic eddies between the Rim Current and the coast. Such coastal eddies are: Bosphorus, Sevastopol, Crimea, Caucasus, Sakaria, Sinop eddies, *etc.* Among these eddies is the Batumi anticyclonic eddy, which is more intensive and stable formation, especially in the warm season.

one of the Specific features of the Black Sea is also a specific thermohaline regime that is being studied in many publications [80-84, 106, 132, 142, 143, 165, 171, 177, 198, 212, 220, 228]. The Black Sea is a strongly stratified water body and is characterized with rapid increase with depth of salinity and density. This is due to permanent freshening of sea surface waters because of inflow of fresh river waters and less salty waters of the Sea of Azov into the Black Sea.

The Black Sea on a vertically can be divided into the following layers: quasi-homogenous mixed layer, seasonal thermocline, cold intermediate layer, permanent halocline and deep layer.

The seasonal thermocline, which is formed in March-April, is characterized with high vertical temperature gradients. Change of temperature in thicker 50 m in summer is 15-20⁰C. Cold intermediate layer can be observed throughout the Black Sea on depth about 50-80 m and 8⁰C isotherm marks its upper and lower boundaries. This layer is formed due to winter cooling in the North-West area of the Black Sea. In winter waters of this area become cold up to 2-3⁰C (most sometimes freeze). Because of convective processes the cooled surface waters fall down up to depth approximately 60 m and further general cyclonic character of the Black Sea circulation causes transfer of these waters to other areas of the sea [148, 220]. Permanent halocline is a layer with high vertical gradients of salinity. Salinity in this layer increases approximately from 17,5‰ to 18.3‰, except for the north-western part, where anomalous low values are observed due to the increased river inflow. In deep layer below 200-300 m the temperature and salinity are highly homogeneous on horizontal direction and a minor increase of both temperature and salinity with increasing depth can be observed.

Isosurfaces of salinity and density in the upper layers have a convex form. The salinity and density fields are in good correlation with one another. Fields of salinity and density are also well correlated with the circulation [35]. In difference of salinity and density the distribution of temperature in a smaller degree is correlated with circulation. It means that in formation of temperature field the advective factors do not play a large role in comparison with eddy diffusion and sea-atmosphere thermal interaction.

In recent decades, an intensive pollution of several regions of the World ocean with oil products and other highly toxic substances of anthropogenic origin takes place. In this regard, a special place is held by inland water bodies, which are particularly sensitive to anthropogenic loads due to their low water exchange with the World ocean.

Primarily, the aforementioned fact may be referred to the Black Sea, where the pollution progresses significantly. It is well known that the Black Sea is one of the most contaminated basins of the World ocean due to anthropogenic impact and hydrological features. For the Black Sea, as well as for other seas, oil and oil products are the most common and dangerous pollutants.

According to the data given in [159], the annual quantity of oil emissions into the Black sea (for 2003) was 110000 tons. In one of the documents prepared by the

Parliamentary Assembly of the Council of Europe [54], where the contribution of large rivers to the Black Sea pollution is quantified, it is mentioned that only the Danube annually carries out into the sea 50000 tons of oil products. Nowadays the Black Sea plays a role of corridor for oil transportation from the East to the West, and in the coming years this transportation is expected to increase. This fact creates a sufficient potential threat of even greater ecosystem pollution with oil products.

Among the major emergency oil spills in the Black Sea over the past decades include the following. In October 1977 in Bosphorus Strait as a result of damage to the Soviet tanker 20000 tons of oil spilled into the sea. In November 1979, as a result of the collision of the Romanian and Greek tankers 64000 tons of oil spilled into the sea. Large emergency spill occurred in the Kerch Strait as a result of the storm of 10 and 11 November 2007. A strong storm hit the Kerch Strait located between Ukraine in the West and Russia in the East, and linking the Sea of Azov with the Black Sea. Extremely severe conditions lasted 9 hours. Winds exceeding 30 m/sec produced the over 4 meter-high waves. A strong storm resulted in thirteen vessels being sunk, stranded or damaged and the incident caused loss of life, or property, and environmental harm. According to the data provided by the Ukrainian Ministry of Transport, the total amount of the immediate spillage was 1300 tonnes of heavy fuel oil, 2,3 tonnes of oil lubricants, 25 tonnes of marine diesel fuel oil and 5,5 tonnes of heating oil.

Studies carried out in Batumi-Gonio coastal zone (Georgian Sector of the Black Sea) in 2008-2009 [3] showed that the concentration of petroleum hydrocarbons were within 0,04-1,74 mg/l. These studies also showed that major polluters of the Black Sea by oil products are rivers Bartskhana, Korolistskali, Supsa and Khobi.

With the purpose of ecological monitoring of the Black Sea the modern satellite radiolocation has great importance. The satellite radiolocation is very effective tool to identify oil pollution zones and sources in basin scale operatively [169, 172, 209]. As a result, satellite monitoring in 2009-2011 identified more than 600 cases of pollution of the Black Sea by ships.

For the fish fauna of the Black Sea biogenic elements (nitrogen, phosphorus, silicon, etc.) are one of the dangers of sea pollution, which fall into the sea through rivers, groundwater, etc. These elements are the nutrients for algae. Inflow of such substances in large quantities in the Black Sea causes eutrophication. Eutrophication causes intensive breeding and the growth of phytoplankton, which resulted in a sharp decrease in commercial fish and recreational potential of the Black Sea. The Danube River is the most powerful source of nutrients. From the river about 60000

tons phosphorus and 340000 tons of inorganic nitrogen per year flows into the sea [158].

Striking example of violation of the marine ecosystem as a result of eutrophication is the north-western shelf of the Black Sea in the 60-70s of the last century. Many experts regarded eutrophication as the most significant cause of the destruction of the marine environment of the Black Sea, starting from the 1960s.

Radionuclide and heavy metals are the major part of anthropogenic pollutants in the Black Sea marine ecosystems. The main sources of Black Sea pollution are atmospheric fallout, the big rivers run-off as well as local pollutant emissions. The Chernobyl accident resulted in a great amount of radionuclide impact on Black Sea marine ecosystems and especially radionuclide accumulation processes in biota. The increase of technogenic and natural nuclide concentrations in seawater leads to a change on the natural background of the marine environment and affects the living organisms.

The determination of anthropogenic pollutants is of great importance because it is involved in biological cycle and has a high impact on marine ecosystems. The fishes represent the last trophic level of the aquatic food chain and an important food source for people. Therefore heavy metals in the aquatic environments are transferred through the food chain to humans [30].

In order to reduce the anthropogenic load and preserve the ecosystem of the Black Sea, broad international cooperation has established among the Black Sea countries since the 1990s.

In chapter 4 a regional operational forecasting system of the easternmost part of the Black Sea developed within the international scientific–technical EU projects ARENA and ECOOP is considered [37-44, 150-152]. The regional system is one of the main components of the Black Sea Nowcasting/Forecasting system. The regional forecasting system consists of hydrodynamic and ecological blocks. The hydrodynamic block includes M. Nodia Institute of Geophysics high-resolution 3D regional model of the Black Sea dynamics with 1 km resolution (RM-IG), which is nested in the basin-scale model (BSM) of the Black Sea dynamics with 5 km resolution of Marine Hydrophysical Institute (MHI, Sevastopol). There is applying one-way nesting which provides forcing of basin-scale processes on the coastal processes via the open boundary.

The parts of the ecological block are 2D and 3D models of spreading of polluting substances in the sea environment.

The basis of RM-IG is a complete system of hydrodynamics equations written in a rectangular Cartesian Coordinate System. The following basic factors are

considered in the model: 1) wind effect and the flows of heat and salt; 2) bottom relief and configuration of the sea basin; 3) shortwave radiation absorption by the upper layer of the sea; 4) spatial-temporal variation of viscosity and diffusion coefficients; 5) streamflow of Georgia's rivers.

The 2D and 3D models of spreading of polluting substances are based on solution of advection-diffusion equations for non-conservative impurity. These models use sea current fields predicted from the RM-IG.

All required input data with one hour time step frequency corresponding to 3 days' forecasting time period are available in near operative mode from MHI via Internet. These data provide initial and boundary conditions for the RM-IG.

The two-cycle splitting methods are used to solve the problems included in the regional forecasting system [181-183]. This method substantially simplifies the implementation of complex physical models and enables us to reduce solution of nonstationary problem to solution of more simple 2D and 1D problems.

The regional forecasting system provides 3 days' forecast of main hydro-physical fields – the current, temperature and salinity with 1 km spacing in the Georgian sector of the Black Sea and surrounding water area, but in accidental situations – also the forecast of spreading oil and other polluting substances.

With the purpose of demonstrating the functioning of the coastal forecasting system some results of marine forecasts are discussed. The regional area, which is limited to the Caucasian and Turkish coastal lines and the western liquid boundary coinciding with a meridian $39,08^{\circ}\text{E}$, is covered with a grid having on horizons 215 x 347 points with step equal to 1 km. On a vertical the non-uniform grid with 30 calculated levels on depths: 2, 4, 6, 8, 12, 16, 26, 36, 56, 86, 136, 206, 306, ..., 2006 m are considered. The time step is equal to 0.5 h. The software of the problems involved into the forecasting system is developed on the basis of the algorithmic language "Fortran".

In July 2005 a pilot experiment on functioning of the Black Sea Nowcasting/Forecasting system in the near-real time mode was carried out for the first time in the Black Sea region. Comparison of calculated forecasts of the hydrophysical fields (flow, temperature, salinity) in the Georgian Black Sea coastal zone to the natural data has shown ability of the RM-IG to predict really dynamical processes in the Georgian coastal zone. Furthermore, we carried out comparison of simulated sea surface temperature (SST) with satellite images SST derived from NOAA (<http://dvs.net.ua/mp>). The analysis of results of comparison show that the quantitative difference in many cases does not exceed $0,6-0,7^{\circ}\text{C}$ [39].

There are considered three examples of the forecast corresponding to 6-9 August 2010, 26-29 October 2010 and 25-28 July 2011. The analysis of the forecasted fields shows that in many cases the main element of the regional circulation in the easternmost water area of the Black Sea is the anticyclonic eddy (the well-known Batumi eddy). The Batumi eddy is well-known among all coastal eddies of the Black Sea because of its intensity. This eddy is observed most of all in a warm season, but it can be formed also in winter. This eddy is quite stable and it covers 300-400 m vertically. In different years the Batumi eddy reaches its maximum intensity in different months. Numerical experiments carried out in [19] on the basis of the basin-scale model of the Black Sea dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics at different climatic input data show that generation of the Batumi eddy in the south-eastern part of the Black Sea depends on thermohaline conditions, i. e. on some peculiarities of temperature and salinity fields.

The main feature of the regional circulation in 2010 was the existence of the Batumi eddy practically throughout the summer. It was a rather steady formation which achieved maximal intensity with diameter 150-200 km in August and covered a significant part of the considered regional area. The Batumi anticyclonic eddy essentially influences on distribution of salinity field (Fig. 4.11). In the central part of the Batumi eddy the zone of relatively lower salinity is observed. This low salinity zone is provided by descending currents developed in the anticyclonic eddy, which transfer relatively fresh waters from the upper layer downwards. From Figure is also well visible that the peripheral current of the Batumi eddy provides penetration of waters with relatively high salinity through the open boundary from the central part of the Black Sea to the Georgian coastal area. This phenomenon more evidently is expressed by results of high-resolution RM-IG than by BSM of MHI.

The comparative analysis of predicted fields by both RM-IG and BSM of MHI show that to use the model with high resolution is very important factor for identification of coastal eddies of small sizes and in general for exacter reproduction of coastal dynamic processes.

During the functioning of the regional forecasting system in the near-real time a significant volume of the results of modeling and 3-day forecasts of dynamic processes for 2010-2016 are accumulated in the easternmost Black Sea. In Figs. 4.25-4.29 the computed surface-fields for 2012-2016 are shown.

The analysis of the material cumulated for the registered period shows that the Georgian coastal zone and its surrounding water area is a dynamically very active zone where is a continuous formation of different circulating processes considerably distinguished from each other, throughout the year, the continuous generation,

deformation and disappearance of the cyclonic and anticyclonic vortex formations occur in the easternmost part of the sea.

The transport models of oil (2D task) and other substances (3D task) are included in the forecasting system as a separate modules and enables to calculate and forecast pollution zones and concentrations in special cases. With this purpose it is required to input in the calculated program written on Fortran the following parameters: coordinates of source location, amount of emission, duration of emission and the parameter describing the change of pollution concentrations due to physical and biochemical factors depending on the type of polluting substance.

Figs. 4.30-4.33 illustrate forecasted regional circulation in the easternmost part of the Black Sea and drifting of oil slick in case, when an hypothetical emergency oil emission in 50 or 30 tons quantity occurred during 2 hrs. Calculations carried out in different locations of hypothetical sources at real circulating modes show a significant role of dynamic processes in formation of the spatial-temporary distribution of pollution.

Figs. 4.34-4.35 illustrate results of 3D simulation of the distribution of the nonconservative impurity which has been discharged into the sea from rivers Chorokhi and Rioni in the following amount per 1 s: from river Chorokhi – 100000 reference units, from river Rioni – 10000 reference units, respectively. The current field corresponded to the forecasting interval: 6-9 December 2014.

Further improvement of the forecasting system is connected with inclusion into system the models of forecast of wind driven surface waves, biochemical processes, *etc.* In addition, the new very high-resolution version of the coastal forecasting system will be elaborated for Adjara coastal zone and Poti water area (with horizontal grid steps 100-150 m). The functioning of this version will be possible jointly with the main version of the forecasting system. Thus, the complex regional forecasting system will be developed, which will combine the forecasting system for the Georgian coastal zone with 1 km resolution and the forecasting subsystem for Adjara and Poti water areas with 100-150 m resolution.

გამოცემაზე მუშაობდნენ:

ნათია დვალი

მარიამ ებრაელიძე

დაიბეჭდა ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
გამომცემლობის სტამბაში

0179 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 14
14 Ilia Tshavtchavadze Avenue,
Tbilisi 0179 Tel +995 (32) 225 14 32
www.press.tsu.edu.ge



ავთანდილ კორიძე - ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი. ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს გეოფიზიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირების სექტორის ხელმძღვანელი.



დემურ დემეტრეშვილი - ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი. ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს გეოფიზიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირების სექტორის მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი.