

გიორგი კორძახია, ლარისა შენგელია,  
გენადი თვაური

თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება  
შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის  
განსაზღვრისათვის



გამომცემლობა „უნივერსალი“  
თბილისი 2011

**GEORGE KORDZAKHIA, LARISA SHENGELIA,  
GENADI TVAURI**

**THE USE OF SATELITE INFORMATION  
FOR THE BLACK SEA SURFACE  
TEMPERATURE DETERMINATION**

**ГЕОРГИЙ КОРДЗАХИЯ, ЛАРИСА ШЕНГЕЛИЯ,  
ГЕНАДИЙ ТВАУРИ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ  
ЧЕРНОГО МОРЯ**

**თბილისი - TBILISI - ТБИЛИСИ**

**2011**



შოთა რუსთაველის ეროვნული  
სამეცნიერო ფონდი  
SHOTA RUSTAVELI NATIONAL  
SCIENCE FOUNDATION



“შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი”  
სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტი №GNSF/St08/5-432

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი

გიორგი კორძახია, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნ. დოქტორი  
E-mail: [giakordzakhia@gmail.com](mailto:giakordzakhia@gmail.com)

ლარისა შენგელია, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნ. დოქტორი  
E-mail: [larisa.shengelia@gmail.com](mailto:larisa.shengelia@gmail.com)

გენადი თვაური, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნ. დოქტორი  
E-mail: [gena\\_tvauri@yahoo.com](mailto:gena_tvauri@yahoo.com)

## უაკ 551.50.501.7

კ —

შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრა მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემაა. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის ყველაზე ეფექტური საშუალებაა დისტანციური ზონდირება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების გამოყენებით. დედამიწის ზედაპირთან ყველაზე ახლოს მყოფი თანამგზავრი რამდენიმე ასეული კილომეტრითაა დაშორებული სადამკვირვებლო ობიექტს. ამდენად აუცილებელია თანამგზავრიდან მიღებული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლი. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლისათვის შექმნილია მეთოდოლოგია, როგორც პიქსელის ასევე ბადურ დონეზე.

მნიშვნელოვანია ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული მონაცემების რეალურთან სიახლოვის დადგენა და ამავდროულად შავი ზღვის მდგომარეობის ოპერატიული რიცხვითი პროგნოზირების შესაძლებლობების შეფასება ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის დაკვირვების მონაცემების გამოყენებით.

ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტები მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში შემუშავებული შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელის გამოყენებით. ოპერატიულ პრაქტიკაში საყოველთაოდ მიღებული სტატისტიკური მახასიათებლების გამოყენებით დადგინდა, რომ:

- თანამგზავრული ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული მონაცემების გამოყენება მოდელურ ექსპერიმენტებში მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს შავი ზღვის მდგომარეობის პროგნოზს.
- ნაშრომში განვითარებული მეთოდოლოგია ეფექტურია დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად – შავი ზღვის ზედაპირის რეალური ტემპერატურული მონაცემების განსაზღვრისათვის.

მონოგრაფიაში შესულია “შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის” ([www.rustaveli.org.ge](http://www.rustaveli.org.ge)) სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტის №GNSF/St08/5-432 „თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენების სისტემის შექმნა საქართველოში საზღვაო გადაზიდვებისა და ზღვის ეკოლოგიური უსაფრთხოებისათვის“ ფარგლებში (წამყვანი ორგანიზაცია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი) და ავტორების მიერ ბოლო წლებში შესრულებულ სამეცნიერო ნაშრომებში მიღებული შედეგები.

**რედაქტორი:** რამაზ ჭითანავა – გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი, გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტის უფროსი, საქართველოს მუდმივი წარმომადგენელი მსოფლიო მეტეოროლოგიურ ორგანიზაციაში

**რეცენზენტი:** ჯუმბერ ლომინაძე – საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მათემატიკისა და ფიზიკის განყოფილების აკადემიკოს-მდივანი

© გ. კორძახია, ლ. ბენგელია, გ. თვავრი, 2011

გამომცემლობა „**უნივერსალი**“, 2011

თბილისი, 0179, ი. ჯავახიშვილის ბაზ. 19, ☎: 2 22 36 09, 5(99) 17 22 30  
E-mail: universal@internet.ge

ISBN 978-9941-17-361-5



UDC 551.50.501.7

**K –**

Determination of the Sea surface temperature is an important scientific and technical problem. The most effective monitoring mean to determine the Black Sea surface temperature field turn out a remote sensing from satellites. The nearest satellites are at the distance of several hundred km from the Earth's surface. As a result, the control of received information is necessary. In presented research the methodology of quality assessment and quality control (QA/ Determination of the Black Sea surface temperatures is an important scientific and technical problem. The most effective monitoring mean to determine the Black Sea surface temperature field is a remote sensing from satellites. The nearest QC) is elaborated on pixel and net levels.

Determination of the approach of the Black Sea surface temperature data from the satellite monitoring to the real temperature values and the assessment of the numerical operational forecasting possibilities of the Black Sea conditions based on observational data of the Black Sea surface temperatures are very important.

The special numerical experiments were carried out based on the marine basin scale model established in the Institute of Geophysics of Georgia. By means of the statistical characteristics adopted in operational practice there were determined:

- Application of the Black Sea surface temperatures determined from the remote sensing in model experiments significantly enhances the forecast of the Black Sea conditions;
- The methodology developed in the present investigation is effective for solution of the problem – namely for determination of the Black Sea surface temperature real values.

In the monography are presented results received in frames of governmental scientific grant №GNSF/St08/5-432 „Creation of the System of Implementation of Satellite Information for the Provision of the Safety of Marine Transportation and Ecology in Georgia“ of the Shota Rustaveli National Foundation ([www.rustaveli.org.ge](http://www.rustaveli.org.ge)), as well as the scientific investigations of the authors for the last period.

**EDITOR:** **Dr. Ramaz Chitanava** - National Environmental Agency, Head of the Hydrometeorological Department, Permanent Representative of Georgia with WMO.

**REVIEWER:** **Academician Jumber Lominadze** - National Academy of Sciences of Georgia Secretary of the Department of Mathematics and Physics, Academician-Secretary

© G. Kordzkhia, L. Shengelia, G. Tvauri, 2011

Publishing House “**UNIVERSAL**”, 2011

19, I. Chavchavadze Ave., 0179, Tbilisi, Georgia ☎: 2 22 36 09, 5(99) 17 22 30

E-mail: [universal@internet.ge](mailto:universal@internet.ge)

ISBN 978-9941-12-??

УДК 551.50.501.7

**К -**

Определение температуры поверхности моря является важной научно-технической проблемой. Наиболее эффективным средством для определения температуры поверхности моря оказалось дистанционное зондирование с искусственных спутников Земли. Наиболее близко расположенный спутник находится на расстоянии нескольких сотен километров от земной поверхности. Поэтому, необходим контроль полученных со спутников информации. В представленной работе разработана методология контроля качества и оценки качества спутниковых данных о температуре поверхности Чёрного моря, на пикселевом и сеточном уровнях.

Важно определить близость спутниковой информации о температуре поверхности моря с реальными данными, а также оценить возможности оперативного численного прогноза состояния Чёрного моря с использованием спутниковых данных.

Проведены численные эксперименты с использованием математической модели динамики Чёрного моря, разработанной в институте геофизики им. М.З. Нодия. Используя общепринятые в оперативной практике статистические характеристики установлено, что:

- применение спутниковой информации о температуре поверхности Чёрного моря в модельных экспериментах значительно улучшает прогноз о реальном состоянии Чёрного моря.
- разработанная методология эффективна для решения поставленной задачи – определения реальных данных температур поверхности Чёрного моря.

В монографии представлены результаты, полученные в рамках государственного научного гранта №GNSF/St08/5-432 национального научного фонда им. Шота Руставели ([www.rustaveli.org.ge](http://www.rustaveli.org.ge)) „Создание системы применения спутниковой информации для обеспечения безопасности морских перевозок и экологии в Грузии“, а также в научных работах авторов за последние годы.

**РЕДАКТОР:** Доктор геогр. наук **Рамаз Читанава** - начальник гидрометеорологического департамента национального агентства окружающей среде, постоянный представитель Грузии во Всемирной метеорологической организации.

**РЕЦЕНЗЕНТ:** Академик **Джумбер Ломинадзе** - академик-секретарь отделения математики и физики Национальной Академии наук Грузии.

© **Г. Кордзахия, Л. Шенгелия, Г. Тваури, 2011**

Издательство “УНИВЕРСАЛ”, 2011

Тбилиси, 0179, пр. И.Чавчавадзе №19, ☎: 2 22 36 09, 5(99) 17 22 30  
E-mail: [universal@internet.ge](mailto:universal@internet.ge)

ISBN 978-9941-17

# სარჩევი

რედაქტორის წინასიტყვაობა .....	8
შესავალი .....	10
<b>თავი 1. პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობის მიმოხილვა</b>	
§ 1.1 ზღვევებზე გადაზიდვების უსაფრთხოების ტექნოლოგიური სისტემის შექმნის შესაძლებლობები .....	13
§1.2 დისტანციური მონიტორინგის და მისი შესაძლებლობები	
<b>თავი 2. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრა</b>	
§ 2.1. თანამგზავრული მონაცემებით ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის მეთოდოლოგიური საფუძვლები ....	32
§ 2.2. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული მონაცემების მიღების შესაძლებლობები და მათი კონტროლის ზოგადი საფუძვლები .....	39
<b>თავი 3. თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლის და ხარისხის შეფასების მეთოდოლოგია</b>	
§ 3.1. თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლი და ხარისხის შეფასება პიქსელის დონეზე .....	50
§ 3.2. თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლი და ხარისხის შეფასება ბადურ დონეზე .....	58
<b>თავი 4. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურების მონაცემთა ბაზები</b>	
§ 4.1. თანამგზავრულ მონაცემთა ბაზები .....	74
§ 4.2. ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერების მონაცემთა ბაზები .....	77
<b>თავი 5. კვლევის შედეგების ექსპერიმენტული შემოწმება</b>	
§ 5.1. შავი ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზისა და პროგნოზის ოპერატიული სისტემის ფუნქციონირების საფუძვლები ....	79
§ 5.2. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის რეალური მნიშვნელობების განსაზღვრა .....	80
§ 5.3. მოდელური გათვლები თანამგზავრულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით .....	84
§ 5.4 მიღებული შედეგების რაოდენობრივი შეფასება .....	91
<b>დასკვნა .....</b>	<b>95</b>
<b>ლიტერატურა .....</b>	<b>98</b>

## რედაქტორის წინასიტყვაობა

რამდენიმე წლის წინ თანამგზავრული ინფორმაციის მიღება და გამოყენება მხოლოდ განვითარებული ქვეყნებისთვის იყო ხელმისაწვდომი. თანამედროვე ტექნოლოგიები და ინტერესებული მომხმარებლების ფართო წრეს საშუალებას აძლევს თანამგზავრული ინფორმაცია უშუალოდ მიიღოს პერსონალურ კომპიუტერზე და უახლესი პროგრამული საშუალებების გამოყენებით ეს მონაცემები დაამუშაოს, შექმნას ელექტრონული არქივი და, როგორც შედეგი, შესაძლებელია ამ მრავალფეროვანი მონაცემების საფუძველზე გადაწყვიტოს სხვადასხვა აქტუალური ამოცანა.

თანამგზავრული ინფორმაციის მიღება და გამოყენება იმდენადაა მნიშვნელოვანი, რამდენადაც ხშირად მხოლოდ ამ ტექნოლოგიური საშუალებების საფუძველზეა შესაძლებელი მასშტაბურ პროცესებზე დაკვირვება. დისტანციური ზონდირება საშუალებას იძლევა უზრუნველყოფილი იყოს ჰაერში, ხმელეთისა და ოკეანის ზედაპირებზე მიმდინარე პროცესებზე დაკვირვება, რასაც თავისი წვლილი შეაქვს ბუნებრივი, თუ ანთროპოგენული სტიქიური მოვლენების რისკის შემცირებაში.

საქართველოში ჰიდრომეტეოროლოგიის სფეროში დისტანციური ზონდირება შემოსაზღვრული იყო მხოლოდ თანამგზავრული სურათების გამოყენებით, როგორც დამხმარე საშუალება ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების წინასწარმეტყველებისათვის.

თანამედროვე მეტეოროლოგიური და გარემოზე დაკვირვების თანამგზავრები სხვადასხვა რიცხვით მონაცემს იძლევიან დედამიწის მდგომარეობის მახასიათებელი პარამეტრების, მათ შორის ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის შესახებ. სწორედ შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრამ დისტანციური ზონდირების საფუძველზე ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლის პროცედურების ეფექტურად ჩატარებით, შექმნა შესაძლებლობა ჩატარებულიყო სპეციალური რიცხვითი ექსპერიმენტები გ. ნოდის სახელობის გეოფი-

ზიკის ინსტიტუტში შემუშავებული შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელის გამოყენებით. მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა მომავალში რეალურად გადაწყდეს ზღვის მდგომარეობის ოპერატიული პროგნოზირების სხვადასხვა ამოცანა. ყოველივე ზემოთაღნიშნული საშუალებას იძლევა საქართველოში შეიქმნას მაღალტექნოლოგიური ხაზები.

ჩვენი უწყება ოფიციალურადაა პასუხისმგებელი გარემოზე დაკვირვებასა და პროგნოზირებაზე და გააჩნია წინამდებარე კვლევის პრაქტიკული რეალიზაციისათვის საჭირო თანამედროვე ინფრასტრუქტურა, აღნიშნული კვლევის გაგრძელების შემთხვევაში შესაძლებელია დაინერგოს ზღვაზე მოდელირების და მოსალოდნელი სტიქიური მოვლენების ადრეული გაფრთხილების ტექნოლოგიური სისტემა.

მნიშვნელოვანია, რომ ამ ტიპის კვლევის შედეგები პირველად გამოიციემა საქართველოში და ნაშრომი საინტერესო იქნება, როგორც სპეციალისტებისათვის, ასევე მომხმარებელთა ფართო წრისათვის.

### **რამაზ ჭითანავა**

გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი, გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპერტამენტის უფროსი, საქართველოს მუდმივი წარმომადგენელი მსოფლიო მეტეოროლოგიურ ორგანიზაციაში.

## შესავალი

ოკეანისა და ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის (ზზტ) მონაცემების განსაზღვრა რთული სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემაა, რომლის გადაჭრა აუცილებელია სხვადასხვა მნიშვნელოვანი გამოყენებითი საკითხის გადასაწყვეტად, რომლებიც ეხება: ამინდის პროგნოზს, ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზს და მისი ევოლუციის პროგნოზს, ზღვაზე ტრანსპორტირების უსაფრთხოებას, დაჭუჭყიანების კერების გადატანის პროგნოზს, კლიმატის თანამედროვე ცვლილებას, ზღვაში სხვადასხვა ინფექციური დაავადებების გამომწვევი ბაქტერიების მიგრაციას, თევზჭერას და სხვ.

ოკეანისა და ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრა რთულია, რადგან წყლის ზედაპირი განაპირობებს, რომ მასზე სადამკვირვებლო სადგურების განლაგება ისე, როგორც ეს ხდება ხმელეთზე შეუძლებელია. ისეთი სადამკვირვებლო საშუალებები, როგორიცაა: ზღვისპირა სადამკვირვებლო სადგურები, პლატფორმები, ცალკეული გემები, სტაციონარული და მოდრეიფე ტივტივები დასმულ ამოცანას სრულად ვერ პასუხობენ, რადგანაც მათ მიერ მოცემულ ზზტ-ის მონაცემებს მნიშვნელოვანი სივრცითი წყვეტა აქვთ. ამის გამო ამ სადამკვირვებლო ინფრასტრუქტურის არსებობის შემთხვევაშიც, დროის ცალკეულ მომენტებში მათი საშუალებით ზზტ-ის რეპრეზენტატიული ველის მოცემა შეუძლებელია.

ზზტ-ის ველის აღსადგენად საკმარისი სივრცითი და დროითი გარჩევადობის დაკვირვების მონაცემების მიღება შესაძლებელია მხოლოდ დისტანციური ზონდირების საფუძველზე დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების გამოყენებით. მონოგრაფიაში კომპლექსურადაა განხილული თანამგზავრები, მათზე განლაგებული რადიომეტრების ტიპები და მახასიათებლები. დადგენილია ის თანამგზავრები და რადიომეტრები, რომელთა გამოყენება აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად ყველაზე ეფექტურია.

განხილულია თანამგზავრული ინფორმაციის მიღების შესაძლებლობები და ჩამოყალიბებულია ზზტ-ის განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

თანამგზავრების დედამინის ზედაპირიდან საკმაოდ დიდი დაშორების გამო, ზზტ-ის თანამგზავრული ინფორმაცია საჭიროებს გარკვეულ შესწორებებს და შესაბამისი ცდომილებების დადგენას და გამორიცხვას. თანამგზავრულ მონაცემთა ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლის (ხმ/ხკ) პროცედურების განსახორციელებლად გამოყენებულია:

- სხვადასხვა ზოგადი მახასიათებლები;
- პიქსელის დონეზე – საზღვაო მეტეოროლოგიური სადგურები;
- ბადურ დონეზე – დრიფტერები (მოდრეიფე ტივტივე-ბი).

დრიფტერების ეფექტურობა თანამგზავრულ მონაცემთა ხმ/ხკ პროცედურების განსახორციელებლად განპირობებულია დრიფტერების მონაცემთა დიდი სიზუსტითა და სიმრავლით სხვა სადამკვირვებლო საშუალებებთან შედარებით.

მოცემულ კვლევაში დიდი ყურადღება დაეთმო მონაცემთა ბაზების შექმნას. აღნიშნული ეხება, როგორც თანამგზავრულ მონაცემთა ბაზას, აგრეთვე თანამგზავრული მონაცემების კონტროლისათვის საჭირო საზღვაო მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერების მონაცემებს.

თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზზტ-ის მნიშვნელობების სიზუსტის შეფასება მნიშვნელოვანი საკითხია. ამისათვის ამ მონაცემების გამოყენებით ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტები, რომელთა საფუძველზეც გამოითვალა შავი ზღვის ჰიდროფიზიკური ველების პროგნოზები.

გამოვლილი პროგნოზირებული ტემპერატურული ველების რეალურთან მიახლოების ხარისხის შეფასების მიზნით ისინი შედარდა იმავე დღის შესაბამის ზღვის ზედაპირის რეალურ ტემპერატურულ ველებს, რომლებიც მიღებულია თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად. ამავდროულად შე-

ფასდა ამ მონაცემების გამოყენების ეფექტურობა შესაბამის კლიმატურ მონაცემებთან შედარებით.

ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტებით დადგინდა:

- თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზზტ-ის გამოყენება კლიმატური მონაცემების ნაცვლად, მკვეთრად ცვლის ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის პროგნოზირებულ მნიშვნელობებს და განსხვავდება კლიმატური მონაცემებისაგან;
- მიღებული შედეგების რაოდენობრივი შეფასება, ოპერატიულ პრაქტიკაში საყოველთაოდ მიღებული საშუალო კვადრატების მეთოდოლოგიის საფუძველზე მეტყველებს, რომ მოდელურ ექსპერიმენტებში თანამგზავრული ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზზტ-ის მონაცემების გამოყენება კლიმატური მონაცემების ნაცვლად მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს შავი ზღვის მდგომარეობის პროგნოზს;
- ნაშრომში განვითარებული მეთოდოლოგია ეფექტურია დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად – შავი ზღვის ზზტ-ის რეალური მონაცემების განსაზღვრისათვის.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია შავი ზღვის მდგომარეობის ოპერატიული რიცხვითი პროგნოზირების თანამედროვე ტექნოლოგიური ხაზის შექმნა, რაც სხვადასხვა ამოცანის, მათ შორის შავ ზღვაზე გადაზიდვების უსაფრთხოების, გადანყვეტის ეფექტური საშუალებაა.



## თავი 1. პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობის მიმოხილვა

### § 1.1 ზღვებზე გადაზიდვების უსაფრთხოების ტექნოლოგიური სისტემის შექმნის შესაძლებლობები

ზღვებზე გადაზიდვების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად ამინდის პროგნოზის სამსახურის შექმნა უკავშირდება ერთ არცთუ ფართოდ ცნობილ ფაქტს. ყირიმის ომის დროს შავ ზღვაში 1854 წლის 14 თებერვალს გამართული ბატალიის დროს, როცა რუსეთი იბრძოდა მოკავშირეების (ინგლისი, საფრანგეთი, თურქეთი) გაერთიანებული ესკადრის წინააღმდეგ, რუსეთის ფლოტი მარცხისგან იხსნა სასტიკმა ქარიშხალმა, რომელმაც თითქმის მთლიანად გაანადგურა მოკავშირეების ფლოტი. სწორედ ამ ფაქტის შემდგომ გამოიცა ინგლისის საადმირალო უწყების ბრძანება ამინდის პროგნოზების განვითარების შესახებ [<http://www.ref.by/refs/97/40560/1.html>], რამაც დასაბამი მისცა ამინდის სამსახურების შექმნას და ქვეყნებს შორის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის გაცვლას, რაც აუცილებელი პირობაა ამინდის წინასწარმეტყველებისათვის. მაშასადამე, ზღვაზე უსაფრთხო გადაადგილების პრობლემამ დასაბამი მისცა ამინდის სამსახურების შექმნას და ამინდის პროგნოზების განვითარებას.

საინტერესოა, რომ დაახლოებით 30 წლის წინ, გლობალური ატმოსფერული კვლევის საერთაშორისო პროგრამის ფარგლებში [1], რომლის ბუნებრივი პრიორიტეტი მდგომარეობდა ატმოსფერული კვლევების განვითარებაში, დადგინდა ოკეანეების და ზღვების ზედაპირის ტემპერატურის დიდი როლი ამინდის რიცხვითი პროგნოზების განვითარებაში. აღსანიშნავია, რომ ამ პროექტის და გლობალური მეტეოროლოგიური ექსპერიმენტის ფარგლებში [2] დაპროექტდა ოკეანოგრაფიული დაკვირვებების გლობალური სისტემა, რომელიც დაკვირვებას აწარმოებს ოკეანეებსა და ზღვებში.

გლობალური ოკეანოგრაფიული სადამკვირვებლო სისტემა (Global Ocean Observing System {ლათინური აკრონიმი –

GOOS}) ფაქტიურად უცვლელი სახით გამოიყენება ამჟამად, თუმცა მისი შესაძლებლობები, მიზნები და მიღებული პროდუქტი მნიშვნელოვნად გაიზარდა. უნდა აღინიშნოს, რომ თითოეულ ზღვას თავისი ოკეანოგრაფიული სადამკვირვებლო სისტემა გააჩნია. მთლიანობაში გლობალური ოკეანოგრაფიული სადამკვირვებლო სისტემა არის შემადგენელი ნაწილი სისტემების, რომლებიც შეადგენენ დედამიწის გლობალური დაკვირვების სისტემას (The Global Earth Observational System of Systems {ლათინური აკრონიმი – GEOSS }).

ოკეანოგრაფიული დაკვირვებების გლობალური სისტემა აერთიანებს: დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებს, სტაციონარულ და მოდრეიფე ტივტივებს, საზღვაო მეტეოროლოგიურ სადგურებს, სამეცნიერო-კვლევითი გემების ექსპედიციებს, ე.წ. ნებაყოფლობით გემებს.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულმა გააჩინა შესაძლებლობა, ამინდის წარმატებული წინასწარმეტყველების გარდა, გამოგვეთვალა საზღვაო პროგნოზები რეალურ დროში, რაც უზრუნველყოფს ზღვის დინებების დადგენას, რასაც თავის მხრივ დიდი მნიშვნელობა აქვს ზღვებზე და ოკეანეებზე გადაზიდვების უსაფრთხოების გაზრდისათვის. ამ საქმიანობაში კარდინალური ცვლილებები შეიქმნა რიცხვითი საზღვაო/ოკეანის მოდელების საფუძველზე ზღვის ოპერატიული პროგნოზების გამოთვლამ [3-5]. ეს მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯია ზღვის და ოკეანის მდგომარეობის მახასიათებელი სიდიდეების (ზღვის/ოკეანის დონის ცვლილება, მარილიანობა, ანთროპოგენული დაბინძურების შედეგები და სხვ.) პროგნოზირების გაუმჯობესებისათვის. ამან გაზარდა ზღვებსა და ოკეანეებზე გადაზიდვების უსაფრთხოება. რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირება ეფექტური საშუალებაა წარმატებული ადრეული გაფრთხილების სისტემის შექმნისათვის, რაც თავის მხრივ მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ზღვებზე და ოკეანეებზე განვითარებული ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების რისკების შემცირებაში. ამავდროულად, ზღვებსა და ოკეანეებში სხვადასხვა ეკოლოგიური ავარიების შემთხვევაში, რეალურია ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგების მნიშვნელოვანი შემცირება.

ზღვებზე გადაზიდვების უსაფრთხოებისათვის და ბუნებრივი კატასტროფული მოვლენების ზემოქმედების აღკვეთის და/ან შერბილების სისტემის შესაქმნელად გარკვეული კომპონენტებია საჭირო, როგორცაა:

1. ზღვის დინამიკის ოპერატიული რიცხვითი მოდელები;
2. ამინდის პროგნოზის ოპერატიული რიცხვითი მოდელები;
3. ზღვის და ატმოსფეროს სანყისი ველები და სასაზღვრო პირობები, მათ შორის ზზტ-ის ველის მონაცემები;
4. აუცილებელი ინფრასტრუქტურა.

შავი ზღვა მსოფლიოს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ზღვაა. იგი მონყვეტილია ოკეანეს, თუმცა ხმელთაშუა ზღვის და ბოსფორის სრუტის მეშვეობით სუსტი წყლის გაცვლა გააჩნია მასთან. დღეისათვის შავი ზღვა და მიმდებარე რეგიონი ევროკავშირის პრიორიტეტია. შავი ზღვა წარმოადგენს საქართველოს და ევროკავშირის არანევერი შავი ზღვის ქვეყნების საზღვარს ევროკავშირთან, რაც ევროკავშირის სამეზობლო ინიციატივის საფუძველია. ევროკავშირის სამეზობლო ინიციატივის პრიორიტეტია თანამშრომლობა ევროკავშირის არანევერ ქვეყნებთან მეცნიერებაში და შავი ზღვის პრობლემატიკის ირგვლივ. მსოფლიოში ევროპა წამყვანია ზღვებზე მონიტორინგის, პროგნოზირებისა და სამეცნიერო კვლევების განვითარებით.

ზღვებზე ევროპული სამეცნიერო კვლევების უპირატესობა განპირობებულია მნიშვნელოვანი ინვესტიციებით ევროკომისიის სხვადასხვა ჩარჩო პროგრამების (FP5, FP6, FP7) პროექტებში. ჩატარებული საზღვაო კვლევებით შეიქმნა თანამედროვე მეთოდოლოგიური და ტექნოლოგიური ბაზა, რომელიც გახდა საფუძველი ევროდირექტივისა საზღვაო სფეროში.

ევროკომისიის მიერ მხარდაჭერილი ზღვის პროექტები შზ-ის რეგიონის ქვეყნებისათვის ანვითარებენ საერთაშორისო თანამშრომლობას და ხელს უწყობენ თანამედროვე ევროპული სამეცნიერო მიღწევების გაზიარებას.

ევროკავშირის მიერ მხარდაჭერილი პროექტებია:

1. ევროკომისიის მეხუთე ჩარჩო პროგრამის პროექტი „შავ ზღვაზე პროგნოზირების გაუმჯობესებისა და მონიტორინგის ღონისძიებების მხარდამჭერი პროგრამა“ (პროექტის ლათინური აკრონიმი – ARENA);
2. ევროკომისიის მეექვსე ჩარჩო პროგრამის პროექტი „შავი ზღვის რეგიონში უსაფრთხო განვითარების მხარდამჭერი პროგრამა ოკეანოგრაფიული სამსახურების ოპერატიულ სტატუსთან მიმართებაში“ (პროექტის ლათინური აკრონიმი – ASCABOS);
3. ევროკომისიის მეექვსე ჩარჩო პროგრამის პროექტი „შავი ზღვის სამეცნიერო ქსელი“ (პროექტის ლათინური აკრონიმი – BS SCENE);
4. ევროკომისიის მეშვიდე ჩარჩო პროგრამის პროექტი „შავი ზღვის განახლებული სამეცნიერო ქსელი“ (პროექტის ლათინური აკრონიმი – UBSS) და სხვა.

ევროკომისიის მეხუთე ჩარჩო პროგრამის პროექტს ARENA-ს მხარი დაეჭირა, როგორც შავი ზღვის გლობალური ოკეანოგრაფიული სადამკვირვებლო სისტემის (ლათინური აკრონიმი – BS GOOS) პილოტურ პროექტს ოკეანოგრაფიული ოპერატიული სამსახურების განვითარების ხელშეწყობისთვის შავი ზღვის რეგიონში. პროექტში შეფასდა და განხილულ იქნა: არსებული დაკვირვების სისტემების შესაძლებლობები, გამოყენებული რიცხვითი მოდელები, მონაცემთა საიმედოობა. აღსანიშნავია, რომ ARENA-ს ფარგლებში ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტი შავი ზღვის აუზის ქვეყნებში (რუმინეთი, უკრაინა, საქართველო, თურქეთი და ბულგარეთი) ზღვის მათემატიკური მოდელების საიმედოობის შესაფასებლად. ექსპერიმენტმა გამოავლინა აღნიშნული რეგიონის რამდენიმე მათემატიკური მოდელის [3-5], მათ შორის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტში შექმნილი შავი ზღვის მოდელის [5] ეფექტურობა საზღვაო პროგნოზების გამოთვლისთვის.

აღნიშნულმა ექსპერიმენტმა შავი ზღვის ცალკეულ ქვეყნებში გამოავლინა სუსტი ნერტილები, კერძოდ:

- შავი ზღვის ზზტ-ის მონაცემების მიღების მინიმალუ-

რი შესაძლებლობები;

- პროგნოზის ტექნოლოგიურ ხაზში ამინდის პროგნოზის ოპერატიული რიცხვითი მოდელების არარსებობა ზღვის დინამიკის ოპერატიული რიცხვითი მოდელებთან ერთად, ანუ სხვა სიტყვებით, ასეთი ტექნოლოგიური ციკლის არარსებობა ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელების ოპერატიული გათვლებისათვის.

ზღვის დინამიკის მოდელის გამოსაყენებლად პროგნოზისათვის მნიშვნელოვანია ზზტ-ის ცოდნა რეგულარული ბადის კვანძებში, თუმცა ასეთი მონაცემების არ არსებობის გამო მათ მაგივრად გამოიყენება სიტბოს ნაკადის შესახებ ინფორმაცია.

ASCABOS-ის პროექტში სხვა საკითხებთან ერთად შესწავლილ იქნა პარტნიორებს შორის კომუნიკაციის არსებული მდგომარეობა. დაკვირვების სისტემები და მასთან მჭიდრო კავშირში მყოფი პროგნოზირების სისტემები საჭიროებენ ინფორმაციის მოპოვებას და სხვადასხვა მონაცემების გაცვლას. არსებული საკომუნიკაციო საშუალებები ამ პრობლემას ვერ აგვარებენ მცირე სიმძლავრისა და სიჩქარის გამო. აღსანიშნავია, რომ ამ კუთხით მნიშვნელოვანი ცვლილებები განხორციელდა საქართველოში, სადაც მთავრობის მხარდაჭერით ძვირადღირებული თანამედროვე ტელესაკომუნიკაციო სისტემა პროგნოზის პროდუქტების ვიზუალიზაციის საშუალებების ჩათვლით შექმნილი იქნა საფრანგეთში.

SCENE-ს პროექტში სხვადასხვა საერთაშორისო და ეროვნული ინიციატივის საფუძველზე შეგროვდა და სისტემატიზირებულია შავი ზღვის მეტამონაცემები, ისტორიული და მიმდინარე მონაცემები, რომლებიც ხელმისაწვდომია თანამონაწილე ინსტიტუტებისათვის. არსებული მონაცემების და მეტამონაცემების განახლება მნიშვნელოვანია მეცნიერებს, მენეჯერებს და სხვა მომხმარებლებს შორის ინფორმაციის გაცვლის უზრუნველყოფისათვის და გაუმჯობესებისათვის. შემოთავაზებულია შავი ზღვის ოპერატიული ინფორმაციული სისტემა, რომელიც განახლებადა და ინტერნეტის საშუალებითაა ხელმისაწვდომი.

ზემოთქმულის შეჯამებით შეიძლება, დავასკვნათ, რომ

შავ ზღვაზე გადაზიდვების უსაფრთხოებისათვის ზღვებზე განვითარებული ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების და გარემოზე ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგების აღკვეთის და/ან შერბილების სისტემის შესაქმნელად საჭირო პირველი კომპონენტი საქართველოში კვლევით დონეზე მოგვარებულია.

მეორე კომპონენტის შესახებ. ეს საკითხი ითვალისწინებს ამინდის ოპერატიულ პროგნოზირებას რიცხვითი მეთოდებით. უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიო ბანკის ხელშეწყობით, საქართველოში გარემოს დაცვის სამინისტროს ს.ს.ი.პ. „გარემოს ეროვნულ სააგენტო“-ში, დაინერგა მაღალი დონის ამერიკული და გერმანული მოდელები შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის. ამ მოდელების ოპერატიული ფუნქციონირების საფუძველზე მოიცემა ის მეტეოროლოგიური ველები, რომლებიც შავი ზღვის პროგნოზის დასათვლელადაა საჭირო.

საქართველოში მესამე კომპონენტის (ზღვის და ატმოსფეროს სანყისი ველები და სასაზღვრო პირობები, მათ შორის ზზტ-ის ველის მონაცემები) განსაზღვრის სრული ტექნოლოგიური ხაზის შესაქმნელად დიდი ძალისხმევაა განეული. კერძოდ ატმოსფეროს სანყისი ველები და სასაზღვრო პირობები მოიცემა ზემოთაღნიშნული მოდელებით შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის. შავი ზღვის სანყისი ველები და სასაზღვრო პირობების მოცემის პრობლემა დაწვრილებითაა განხილული მეხუთე თავში, ხოლო ზზტ-ის ველის განსაზღვრისათვის ფართო კვლევები ჩატარდა წინამდებარე ნაშრომში.

ზზტ-ის ველის განსაზღვრის პრობლემა ვერ გადაიჭრება მხოლოდ ზღვის ნაპირზე ან ზღვაზე მდებარე სადამკვირვებლო სადგურების და სტაციონარული და მოდრეიფე ტივტივების საშუალებით, რადგანაც ამ სადამკვირვებლო საშუალებების მიერ მოცემული მონაცემების საფუძველზე შეუძლებელია ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული ველის აღდგენა შავი ზღვის აუზში ან მის ცალკეულ ნაწილში.

ლიტერატურული წყაროების [6-12] ანალიზმა გამოავლინა, რომ შავი ზღვის ზზტ-ის რეალური მონაცემების მოსაპოვებლად ყველაზე ეფექტურია თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება, რომელიც საშუალებას იძლევა რეალურ დროში გამოვითვალოთ ზზტ-ის მნიშვნელობები. იმისათვის,

რომ ზზტ-ის ველი მოცემული იყოს მთლიანად შავ ზღვაზე ან მის ნაწილში საჭიროა მისი მოცემა სხვადასხვა სახით (დანვრილებით იხ. შემდეგი თავი):

1. ზზტ-ის ველის მოცემა სურათების სახით სხვადასხვა ფორმატში;
2. ზზტ-ის ველის მოცემა რიცხვითი მონაცემების სახით გარკვეული ბადის კვანძებში.

სხვა საკითხია, რომ მხოლოდ ყველა სადამკვირვებლო საშუალების გამოყენებითაა შესაძლებელი ზზტ-ის რეალური სანდო მონაცემების მოპოვება.

ზღვაზე ტრანსპორტირების უსაფრთხოების სისტემის შესაქმნელად საჭირო მეოთხე კომპონენტის შესაქმნელად დიდი ძალისხმევა გასწია: საქართველოს მთავრობამ, მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციამ (WMO), გაეროს განვითარების პროგრამამ (UNDP), მსოფლიო ბანკმა (WB) და ევროკავშირის მეტეოროლოგიური თანამგზავრების ორგანიზაციამ (European Meteorological Satellites Organization {ლათინური აკრონიმი – EUMETSAT}) [<http://www.eumetsat.int/>]. მათი დახმარებით საქართველოს ძირითადად აქვს თანამედროვე ინფრასტრუქტურა, სახელდობრ:

- ა. თანამედროვე ტელესაკომუნიკაციო სისტემა პროგნოზის პროდუქტების ვიზუალიზაციის საშუალებების ჩათვლით;
- ბ. დიდი წარმადობის სამუშაო ადგილები;
- გ. თანამგზავრული ინფორმაციის მიმღები სისტემა.

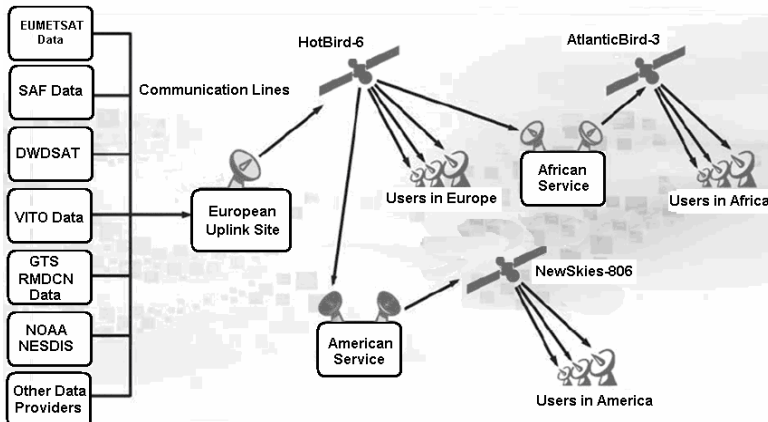
ამ უკანასკნელის შესახებ ოდნავ დანვრილებით. ზზტ-ის ოპერატიული განსაზღვრისათვის საჭირო თანამგზავრული ინფორმაციის მიმღები სისტემა საქართველოში დაინერგა 2011 წლის დასაწყისში. ამისათვის ფასდაუდებელი ძალისხმევა გასწია EUMETSAT-მა. აღნიშნული სისტემა იყენებს EUMETSAT-ის მრავალფუნქციონალურ სატელეკომუნიკაციო შესაძლებლობებს გარემოს შესახებ მონაცემების გავრცელებისათვის, რომელიც დაფუძნებულია თანამედროვე სტანდარტის ციფრულ ვიდეო-რადიო ტექნოლოგიებზე (იხ. ნახ. 1.1.1).

საქართველოში ამ სისტემის გამოყენება სხვადასხვა სახის და ფორმატის ინფორმაციის მიღების შესაძლებლობას იძლევა. მიღებული ინფორმაციის ფართო სპექტრიდან მხოლოდ თანამგზავრული სურათების გამოყენება მნიშვნელოვნად აღარბებს სისტემის გამოყენების არეალს. საჭიროა ამ ინფორმაციასთან ერთად იმ რიცხვითი მონაცემების დამუშავება და სხვადასხვა ტექნოლოგიურ ხაზებში ჩართვა, რისი დიდი მოთხოვნილებაა საქართველოში, განსაკუთრებით შავი ზღვის მდგომარეობის ოპერატიული რიცხვითი პროგნოზირებისა და შავ ზღვაზე განვითარებული სტიქიური მოვლენების ადრეული გაფრთხილებისათვის.

ამდენად ამ კვლევამ წინასწარ მოამზადა ბაზისი თანამგზავრული მიმღები სისტემის ფართო შესაძლებლობების ეფექტურად გამოყენებისათვის.

## EUMETCast

**EUMETSAT's Broadcast System for Environmental Data, is a multi-service dissemination system based on standard Digital Video Broadcast (DVB) technology.**



[http://www.geonetcastamericas.noaa.gov/pubs/impement\\_plan.pdf](http://www.geonetcastamericas.noaa.gov/pubs/impement_plan.pdf)

**ნახ. 1.1.1. EUMETSAT-ის გარემოს შესახებ მონაცემების გავრცელების მრავალფუნქციონალური სატელეკომუნიკაციო სისტემა.**



## **§ 1.2. დისტანციური მონიტორინგი და მისი შესაძლებლობები**

წინამდებარე კვლევის ძირითადი მიზანია შავი ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრა. ეს რთული პრობლემაა, რადგან ქვეფენილი ზედაპირი, კერძოდ წყლის განფენილი მასა – ზღვა განაპირობებს, რომ მასზე სადამკვირვებლო სადგურების განლაგება, როგორც ეს ხდება ხმელეთზე მეტეოროლოგიური სადგურების შემთხვევაში, შეუძლებელია. ისეთი სადამკვირვებლო საშუალებები, როგორიცაა: ზღვისპირა სადამკვირვებლო სადგურები, პლატფორმები, ცალკეული გემები, სტაციონარული ტივტივები და დრიფტერები დასმულ ამოცანას სრულად ვერ პასუხობენ, რადგანაც მათ მიერ მოცემულ ზზტ-ის მონაცემებს მნიშვნელოვანი სივრცითი წყვეტა აქვთ და ამიტომ დროის ცალკეულ მომენტებში მათი საშუალებით ზზტ-ის რეპრეზენტატული ველის მოცემა შეუძლებელია.

ამ მიზნით, ყველაზე პერსპექტიულია თანამგზავრული მონაცემების გამოყენება [6-12].

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის სამოქმედო გეგმის თანახმად, მათი წევრი ეროვნული ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურების ოპერატიულ საქმიანობაში და სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებში, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან მიღებული ინფორმაციის გამოყენებას სულ უფრო მზარდი მნიშვნელობა ენიჭება. ეს განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით:

- თანამგზავრები საშუალებას იძლევიან მივიღოთ ინფორმაცია ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვებებით გაუშუქებული რეგიონებიდან (ოკეანეები და ხმელეთის ძნელად მისადგომი ადგილები);
- სწრაფი განვითარების გამო თვით დედამიწაზე სულ უფრო ნაკლები ადგილი რჩება მონიტორინგის სანარმოებლად განსაკუთრებით ყველაზე რეპრეზენტატულ ადგილებში;
- თანამგზავრული ინფორმაცია განსაკუთრებით მიზანშეწონილია სტიქიური მოვლენების და კატასტროფების სწრაფი იდენტიფიცირებისთვის, რაც

უზრუნველყოფს პოტენციური საშიშროების ადრეულ შეტყობინებას და შერბილების ღონისძიებების დროულ გატარებას.

დედამინაზე დაკვირვების თანამგზავრული სისტემა ორი სახისაა: პოლარულ-ორბიტული და გეოსტაციონარული.

პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრები უზრუნველყოფენ რეგულარული და გლობალური მასშტაბის ინფორმაციის მიღებას. პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრები გადმოსცემენ ინფორმაციას ორბიტაზე მოძრაობის პროცესში, ხილვადობის არედან. გარკვეულ სიძნელეებს ქმნის ამ ინფორმაციის მეტეოროლოგიური სადგურებიდან მიღებულ მონაცემებთან ასინქრონულობა, თუმცა ეს პრობლემა დაძლეულია სპეციალური ოთხგანზომილებიანი ანალიზის განვითარებით. პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრები, როგორც წესი, დაბალ, რამდენიმე ასეული კილომეტრი სიმაღლის ორბიტებზე მოძრაობენ და სხვადასხვა პერიოდულობით (დღეში რამდენიმე გაზომვიდან, რამდენიმე დღეში ერთ გაზომვამდე) იძლევიან მონაცემებს.

მათგან განსხვავებით, გეოსტაციონარული თანამგზავრებიდან ინფორმაციის მიღება ნებისმიერ დროსაა შესაძლებელი. გეოსტაციონარული თანამგზავრები მოძრაობენ ეკვატორულ ორბიტაზე 36000 კმ სიმაღლეზე, დედამინის ბრუნვის სიჩქარით, ანუ პრაქტიკულად “ჩამოკიდებულნი” არიან მოცემულ წერტილზე და უზრუნველყოფენ დაკვირვებებს ჩრდ. განედის 70°-დან სამხრ. განედის 70°-მდე.

აღსანიშნავია, რომ გეოსტაციონარული თანამგზავრების ინფორმაციასთან შედარებით პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრების მონაცემები გაცილებით მაღალი სივრცული გარჩევადობით ხასიათდებიან.

მიუხედავად იმისა, რომ არც ერთი არსებული თანამგზავრი და მათზე განლაგებული რადიომეტრი (სენსორი) უშუალოდ მონიტორინგის საწარმოებლად არ შექმნილა, ელექტრომაგნიტური სკალის სხვადასხვა, ხილულ (VIS), ახლო ინფრანითელ (NIR), ინფრანითელ (IR), მოკლეთალღოვან ინფრანითელ (SWIR), თერმულ ინფრანითელ (TIR) და მიკრო-

ტალღოვან (SAR) დიაპაზონებში მიღებული მონაცემები აღმონჩნდა მეტად მნიშვნელოვანი და გამოყენების მხრივ ფართო შესაძლებლობების.

თითოეულ სენსორს დედამინის ზედაპირის, ოკეანისა და სანაპირო წყლების შესახებ განსხვავებული ხასიათის უნიკალური ინფორმაციის მოპოვება შეუძლია. გრძელტალღოვანი, ინფრანითელი დიაპაზონის მონაცემები ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის, ღრუბლების დეტექტირებისათვის და ხანძრის კერების დასადგენად გამოიყენება; შედარებით მოკლეტალღოვანი დიაპაზონის ინფრანითელი სპექტრის მონაცემები წყალდიდობის შესასწავლად არის გამოსადეგი. მიკროტალღური სენსორებით კი ქვეფენილი ზედაპირის (ნიადაგი, თოვლი) ტენიანობას აკვირდებიან.

საშუალო და მაღალი გარჩევადობის სენსორების სხვადასხვა კომბინაციით შესაძლებელია დედამინის ზედაპირის ვრცელ უბნებზე დაკვირვება, ამა თუ იმ საინტერესო ობიექტის გამოყოფა და მისი უფრო დეტალურად შესწავლა.

დედამინაზე დაკვირვების დისტანციური ზონდირების სხვადასხვა ქვეყნის თანამგზავრული სისტემების და სენსორების მახასიათებლები ქვემოთმოყვანილ ცხრილშია წარმოდგენილი.

**ცხრილი 1.2.1**  
**დისტანციური ზონდირების ზოგიერთი თანამგზავრისა და მათი**  
**სენსორების მახასიათებლები\***

თანამგზავრი	ქვეყანა	პერიოდულობა	სენსორი	ტალღის სიხშირე/ ტალღის სიგრძე (მკმ)	გარე-ვადობა	ზოლის სიგანე (კმ)
NOAA	აშშ ევროპა	12 სთ	AMSU-A	23.8 (GHz), 31.4, 50.3, 52.8, 53.33, 54.4, 54.94, 55.5, 57.29 (6 არხი) 89.0	40 კმ	2240
			AMSU-B AVHRR/3	89.0, 166.0, 183.31 (3 არხი) 1) 0.58-0.68, 2) 0.72-1.00, 3A) 1.58-1.64 (დღე), 3B) 3.55-3.93(ღამე), 4) 10.3-11.3, 5) 11.5-12.5	15 კმ 0.5 კმ (VIS) 1.09 კმ (IR)	2240 2940 2253
			HIRS-3	(1) 14.95, (2) 14.71, (3) 14.49, 4) 14.22	17.4 კმ	2240
			20 ინფრა-წითელი არხი	(5) 13.97, (6) 13.64, (7) 13.35, 8) 11.11 (9) 9.71, (10) 12.47, (11) 7.33, 12) 6.52 (13) 4.57, (14) 4.52, (15) 4.47, 16) 4.45 (17) 4.13, (18) 4.00, (19) 3.76, 20) 0.69		
TERRA	აშშ	16 დღე	MODIS	VNIR, SWIR, TIR 36 სხვა-დასხვა არხი	250 მ, 500 მ, 1000 მ	60
			ASTER	VNIR, SWIR, TIR 14 სხვა-დასხვა არხი	15 მ, 30 მ, 90 მ	2330
LANDSAT	აშშ	16 დღე	TM/ETM	0.45-0.52, 0.52-0.60, 0.63-0.69 0.76-0.90, 1.55-1.75, 2.08-2.35	30 მ	185
			MSS	0.5-0.6, 0.6-0.7, 0.7-0.8, 0.8-1.1, 10.4-12.6	79 მ	185
			MTB PAN	10.4-12.5 0.5-0.9	60 მ 15 მ	
SPOT	საფრ.	26 დღე	HRVIR(1)	0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89, 1.58-1.75	20 მ	60
			HRVIR(2) VMI	0.61-0.68 0.43-0.47, 0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89, 1.58-1.75	10 მ 1000 მ	60 2000
RADARSAT	კანადა	24 დღე	SAR	5.3 GHz (C-Band)	სტანდარტული 28 x 25 მ მაღალი 10x9 მ	100  45

ERS	ევროპა	35 დღე	AMI – (Active Microwave Instrumentation) – აქტიური მიკროტალღოვანი ხელსაწყოები			
			SAR Image	5.3 GHz (C-Band)	<30 მ	80-100
			SAR Wave Scatterometer	5.3 GHz (C-Band) 5.3 GHz (C-Band)	<30 მ 50 კმ	5 500
			Radar Altimeter	13.5 GHz (KU-Band)	10 სმ სიზუსტით	
ATSR-M (Along Track Scanning Radiometer with Microwave Sounder) – სკანირებადი რადიომეტრი მიკროტალღოვანი ზონდით						
		Infrared Radiometer	1.6, 3.7, 11, 12	1 კმ x 1 კმ	500	
		Micro-wave sounder	23.5 (GHz)	22 კმ	500	
		Gome	(1) 0.24-0.295 (512 bands), (2) 0.29-0.405 (1024 bands) (3) 0.40-0.605 (1024 bands), (4) 0.59-0.79 (512 bands)	40 x 2 კმ 40 x 320 კმ	960	
		AATSR	0.65, 0.85, 1.27, 1.6, 3.7, 11.0, 12.0	0.5 კმ	500	
MOS	იაპონია	17 დღე	MESSR	0.51-0.59, 0.61-0.69, 0.72-0.80, 0.80-1.1	50 მ	100
			VTIR (1)	0.5-0.7, 6.0-7.0	0.9 კმ	1500
			VTIR (2)	10.5-11.5, 11.5-12.5	2.7 კმ	1500
			MSR (1)	23.8GHz	32 კმ	317
			MSR (2)	31.1GHz	23 კმ	317
JERS	იაპონია	44 დღე	SAR	1275 MHz (L-Band)	18 მ x 18 მ	75
IRS	ინდოეთი	24 დღე	OPS	1) 0.52-0.60, (2) 0.63-0.69, (3) 0.76-0.86	18 მ x 24 მ	
			VNIR	(4) 1.60-1.71 (5) 2.01-2.12 (6) 2.13-2.25, (7) 2.27-2.40		
IKONOS	აშშ	5 დღე 5 დღე 2.9 დღე 1.5 დღე	SWIR	0.52-0.59	23მ	142
			VNIR	0.62-0.68, 0.77-0.86		
QuickBird	აშშ	3.5 დღე	SWIR	1.55-1.70	70.5	148
			PAN	0.50-0.75, 0.62-0.68	5.8 მ	70
			WiFS	0.77-0.86	188 მ	774
			PAN	0.45 - 0.90	1 მ	11
			VNIR	0.45 - 0.52, 0.52 - 0.60	4 მ	
			PAN	0.63 - 0.69, 0.76 - 0.90	61 სმ	16.5
			MULTISPECTRAL	0.45 - 0.90 0.45 - 0.52, 0.52 - 0.60, 0.63 - 0.69, 0.76 - 0.90	2.44 მ	

<p>*AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) – გაუმჯობესებული მასკანი-რებული რადიომეტრი მიკროტალღოვანი ზონდით.</p> <p>Scanning Radiometer – მასკანირებული რადიომეტრი.</p> <p>AMSU-(Advanced Microwave Sounding Unit-A) – გაუმჯობესებული მიკროტალღოვანი ზონდირების მოდული A.</p> <p>AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B) – გაუმჯობესებული მიკროტალღოვანი ზონდირების მოდული B.</p> <p>ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) – გაუმჯობესებული კოსმოსური თერმული ემისიისა და არეკვლის რადიომეტრი.</p> <p>AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer) – გაუმჯობესებული ძალიან მაღალი გარჩევადობის რადიომეტრი.</p>	<p>ETM (Enhanced thematic Mapper) – გაუმჯობესებული თემატური რუკები (რადიომეტრი რადიოსიტური ქვეფენილი ზედაპირის გამოსახულებების მისაღებად).</p> <p>GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) – ოზონის გლობალური მონიტორინგის ექსპერიმენტი.</p> <p>HIRS-3 (High Resolution Infrared Radiation Sounder) - გაუმჯობესებული მაღალი გარჩევადობის ინფრანითელი რადიაციის ზონდი.</p> <p>HRVIR (High Resolution Visible Infrared Radiometer) – მაღალი გარჩევადობის ხილული ინფრანითელი რადიომეტრი.</p> <p>IR (Infrared) – ინფრანითელი.</p> <p>MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) – მრავალსპექტრული ელექტრონული მასკანი-რებული რადიომეტრი.</p>	<p>MSR (Microwave Scanning Radiometer) – მასკანირებული მიკროტალღოვანი რადიომეტრი.</p> <p>MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) – ზომიერი გარჩევადობის სპექტრორადიომეტრი.</p> <p>MTB (Multispectral Thermal Band) – მრავალსპექტრული თერმული დიაპაზონი.</p> <p>OPS (Optical Sensors) – ოპტიკური სენსორები.</p> <p>PAN (Panhromatic) – პანქრომატული.</p> <p>SAR (Synthetic Aperature Radar) – სინთეტური აპერტურული რადარი.</p> <p>VIS (Visible) – ხილული.</p> <p>VMI (Vegetation Monitoring Instrument) – ვეგეტაციის მონიტორინგის ინსტრუმენტი.</p> <p>VTIR (Visible And Thermal-Infrared Radiometer) – ხილული და თერმულ-ინფრანითელი რადიომეტრი.</p> <p>Band– სიხშირეთა ზონი.</p>
---	--	---

დისტანციური ზონდირების მეთოდების მუდმივი განვითარება ხელს უწყობს ახალი ტექნოლოგიების შექმნას, რის საფუძველზეც იქმნება მონაცემთა ბაზები, ტარდება ვითარების მონიტორინგი, ამა თუ იმ რთული ბუნებრივი მოვლენის მოდელირება და ამ მოდელების საფუძველზე მოვლენების განვითარების წინასწარმეტყველება.

ცხრილში მოყვანილი არაა MetOp-A, ევროპის პირველი პოლარულ-ორბიტული მეტეოროლოგიური თანამგზავრი. ევროპის კოსმოსური სააგენტოს (ESA) და EUMETSAT-ის მიერ მისი გაშვება განპირობებული იყო იმ გარემოებით რომ 1990-იან წლებში NOAA-მ, ამჟამად მოქმედი NOAA-17, 18 და 19 თანამგზავრების გაშვების შემდეგ, პროექტის შეწყვეტა გადანიშნა და მონიტორინგის გაგრძელება ევროპამ ითავა. ევროპულ პროექტს MetOp (The Meteorological Operational Satellite Programme) ეწოდა, ხოლო პირველ თანამგზავრს MetOp-A. თანამგზავრ MetOp-A-ზე განლაგებულია იგივე სენსორები, რაც NOAA-ზე.

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების დიდი რაოდენობიდან მიმოვიხილოთ ის თანამგზავრები და მათზე განლაგებული სენსორები, რომელთა გამოყენება ეფექტურია ზზტ-ის განსაზღვრისათვის (იხ. ცხრილი 1.2.1) [8, 9].

კვლევაში ჩატარებული ანალიზი ცხადყოფს, რომ ეს სისტემებია: აშშ ოკეანისა და ატმოსფეროს ეროვნული ადმინისტრაციის 15-19 სერიის თანამგზავრები (ლათინური აკრონიმი – NOAA) და EUMETSAT-ის თანამგზავრი MetOp-A. ეს თანამგზავრები ყოველდღიურად დედამიწის ვრცელი ტერიტორიის მონიტორინგის შესაძლებლობას იძლევიან. NOAA-ს თანამგზავრების ბოლო სერიები და MetOp-A თანამგზავრი აღჭურვილნი არიან გაუმჯობესებული, მაღალი გარჩევადობის რადიომეტრით. ამ სენსორის ლათინური აკრონიმია AVHRR. მისი გარჩევადობაა 1,09 კმ, ხოლო დაფარვის ზოლი საკმაოდ ფართოა და შეადგენს 2253 კმ-ს. მასკანირებელი რადიომეტრი ხუთ სპექტრალურ უბანში მუშაობს, ხილულიდან – თერმულ ინფრანითელამდე.

ეს სენსორები დედამიწის ზედაპირს ღრუბლიან ამინდში ვერ აკვირდებიან. ღრუბლიან ამინდში შესაძლებელია სინთეტური აპერტურული რადარების ე.წ. SAR სისტემების (RADARSAT და ERS თანამგზავრები) გამოყენება. ისინი აგროვებენ მონაცემებს ელექტრომაგნიტური სპექტრის მიკროტალღოვან უბანში ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში, ღრუბლიან და უღრუბლო ამინდში და დღე-ღამის ნებისმიერ დროს. დღესდღეობით ამ თანამგზავრებმა ოპერატიულ პრაქტიკაში დიდი გამოყენება ვერ ჰპოვეს, რადგან ამ თანამგზავრებით ჩატარებული მონიტორინგი ძვირადღირებულია.

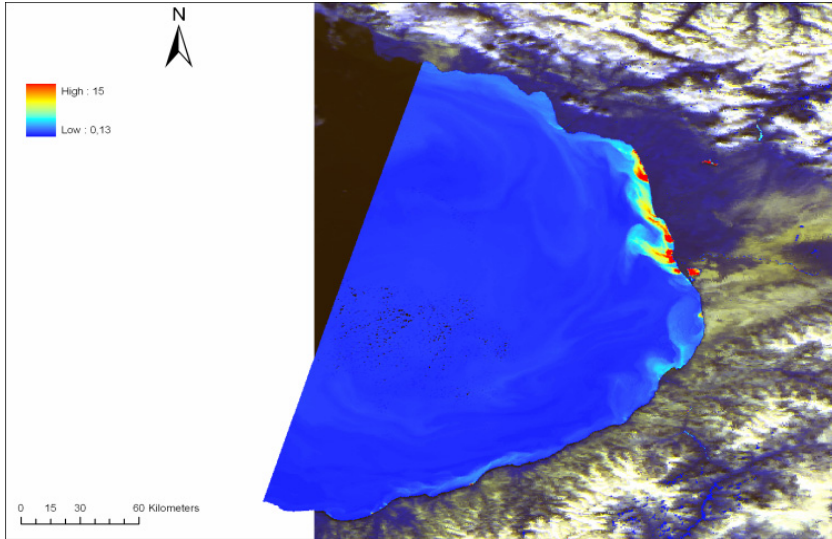
თანამგზავრული დისტანციური მონიტორინგის ფართო შესაძლებლობების დემონსტრირებისათვის მოკლედ მიმოვიხილოთ საქართველოს ტერიტორიაზე თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენების მიზანშეწონილობა და ილუსტრაციისათვის მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი.

უკანასკნელ წლებში შავ ზღვაში გაჭუჭყიანების რაოდენობრივი ზრდის გარდა მიმდინარეობს მისი ხარისხობრივი შემადგენლობის ცვლილება. წარსულში ჩაშვებათა ძირითად წყაროებს სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლები შეადგენდა. ამჟამად წამყვანი გახდა სამრეწველო ნარჩენები, რომლებიც ნავთობპროდუქტებსა და ადამიანის მიერ სინთეზირებულ მთელ რიგ ორგანულ ნივთიერებებს შეიცავენ. მათი ძირითადი წყაროებია: ნავთობგადამამუშავებელი საწარმოები, გემები და დაუმუშავებელი ნავთობის გაყოვნვა. საქართველოს სანაპიროსთან ნავთობის ჩაღვრები დომინანტური გახდა, რადგანაც გაიზარდა ნავთობის გადაზიდვები ბათუმის პორტის, სუფსისა და ყულევის ტერმინალების საშუალებით. ამდენად შავი ზღვის დაბინძურების მონიტორინგის წარმოება სულ უფრო მეტ მნიშვნელობას იძენს.

ნახ. 1.2.1-ზე წარმოდგენილია საქართველოს სანაპირო ზოლში ზღვის წყალში ქლოროფილის შემცველობის თანამგზავრული სურათი. ქლოროფილის შემცველობის ზრდა დაკავშირებულია ფიტოპლანქტონის გამრავლებასთან, რაც ზღვის „ყვავილობის“ სახელწოდებით არის ცნობილი და მდი-



ნარეების ჩამონადენით ზღვის წყლის მინერალური სასუქებით დაბინძურებაზე მიაჩვენებს.



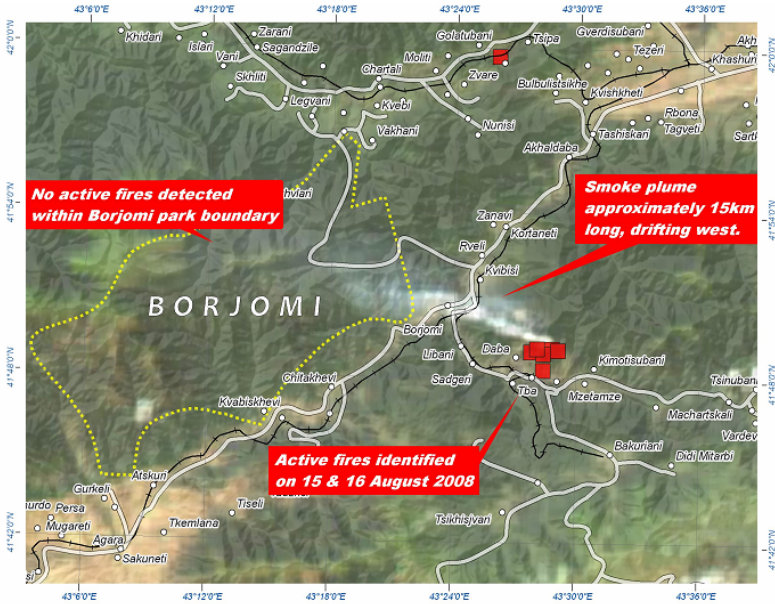
**ნახ. 1.2.1. საქართველოს სანაპირო ზოლის დაბინძურების თანამგზავრული სურათი. TERRA/MODIS, 9 ივლისი 2008 წ.**

თანამგზავრ LANDSAT-ზე არსებული სენსორ TM-ის მიერ გადაღებული სურათები მაღალი სივრცული და დროითი გარჩევადობით გამოირჩევიან. მათ იყენებენ წყალდიდობების, ხანძრების, მეწყერების, ღვარცოფების მონიტორინგის დროს. ნახ. 1.2.2-ზე წარმოდგენილია LANDSAT/TM-დან მიღებული სურათი, რომელზეც ნაჩვენებია მდ. ქოროხის ჩამონადენი შავ ზღვაში.



**ნახ. 1.2.2. მდ. ქოროხის ჩამონადენი შავ ზღვაში. თანამგზავრი  
LANDSAT/TM, ბათუმი, 15 ივლისი 2002 წ.**

თანამგზავრული მონიტორინგის წარმოება ეფექტურია ტყის ხანძრების ადრეული გაფრთხილებისათვის. ნახ. 1.2.3-ზე მოყვანილია თანამგზავრ TERRA/MODIS საშუალო სივრცითი გარჩევადობის სურათი, რომელზეც წარმოდგენილია 2008 წლის 16 აგვისტოს ბორჯომ-ხარაგაულის ნაკრძალში დაკვირვებული ხანძარი. თანამგზავრული მონაცემები დამუშავებულია გაეროსთან არსებული ორგანიზაცია “თანამგზავრული გადანყვეტილებები ყველასთვის” [<http://www.unosat.org/>] მიერ.



ფ

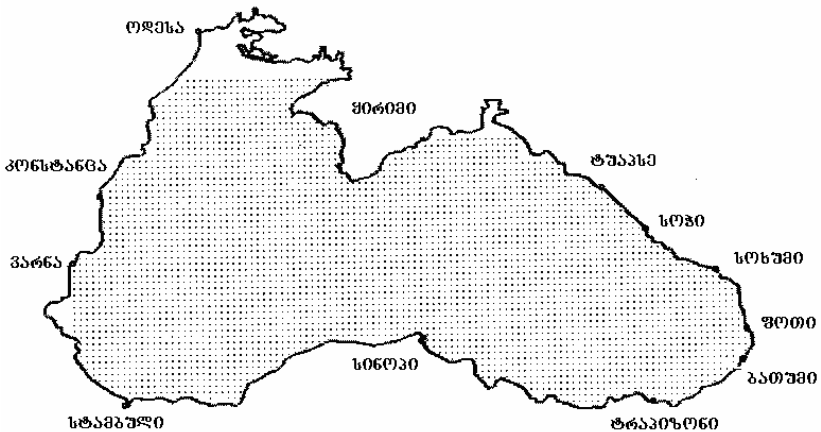
**ნახ. 1.2.3. ბორჯომ-ხარაგაულის ნაკრძალის ხანძარი. თანამგზავრი TERRA/MODIS, 16 აგვისტო 2008 წ.**

დადგინდა, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება ეფექტურია შავ ზღვაზე გადაზიდვების უსაფრთხოების, წყალდიდობების, ავარიული ჩაღვრების (მათ შორის ნავთობჩაღვრების) და ტყის ხანძრების ადრეული შეტყობინებისათვის [9].

## თავი 2. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრა

### § 2.1 თანამგზავრული მონაცემებით ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის მეთოდოლოგიური საფუძვლები

შავი ზღვის მთელ ზედაპირზე ზბტ-ის ველის განსაზღვრისათვის, რიცხვითი მნიშვნელობების მიხედვით, არჩეულია რეგულარული ბადე (იხ. ნახ. 2.1.1). ბადის სათავის კოორდინატებია აღმოსავლეთ გრძედის  $27^{\circ} 57'$  და ჩრდილოეთ განედის  $40^{\circ} 51'$ , ბიჯი – 5 კმ, კვანძების რაოდენობა პარალელის მიმართულებით აღწევს 225-ს, მერიდიანის მიმართულებით – 111-ს.



ნახ. 2.1.1. შავი ზღვის ზედაპირის რეგულარული ბადე

ზბტ-ის განსაზღვრის მეთოდი აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ფიზიკურ კანონებს ეყრდნობა.

აბსოლუტურად შავი სხეული ეწოდება სხეულს, რომელიც მის ზედაპირზე დაცემულ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას მთლიანად შთანთქავს. ამავდროულად, ნებისმიერი სხეული, თუკი მისი ტემპერატურა  $T=0^{\circ}K$  მე-

ტია ელექტრომაგნიტურ ტალღებს ასხივებს. აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის გამოსხივების პლანკის კანონს აქვს შემდეგი სახე:

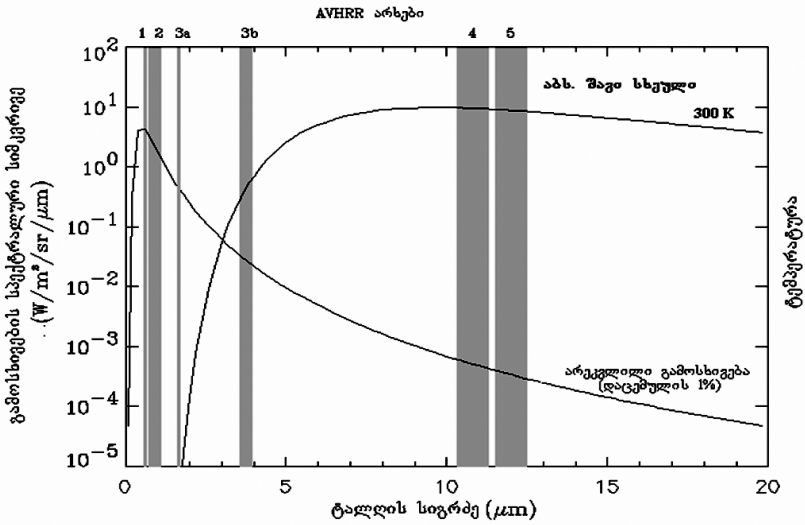
$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp[hc/(kT\lambda)] - 1}, \quad (2.1.1)$$

სადაც  $B(\lambda, T)$  ერთეული ფართობის ზედაპირის მიერ გამოსხივებული ენერჯიაა,  $h$  პლანკის მუდმივაა,  $c$  – სინათლის სიჩქარე,  $\lambda$  – ტალღის სიგრძე,  $k$  – ბოლცმანის მუდმივა,  $T$  – აბსოლუტური ტემპერატურა [13].

რადიომეტრის საშუალებით გამოსხივების გაზომვა ტალღის სიგრძის გარკვეულ უბანში არის შესაძლებელი. აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის, დიაპაზონში გაზომილი გამოსხივებისათვის მართებულია გამოსახულება:

$$N(\lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{\exp[hc/(kT\lambda)] - 1}. \quad (2.1.2)$$

ნახ. 2.1.2-ზე მოყვანილია აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრი 300 K ტემპერატურაზე, რადგანაც ფაქტიურად ასეთივე სპექტრი აქვს იმავე ტემპერატურის ოკეანის ზედაპირის გამოსხივებას. სურათზე გარდა ამისა, მოყვანილია აგრეთვე ოკეანის ზედაპირიდან არეკვლილი გამოსხივების სპექტრი. რუხი ფერის ზოლები სენსორის არხების ტალღის სიგრძეების გარკვეულ დიაპაზონს შეესაბამება [13].



ნახ. 2.1.2. აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრი, არეკვლილი გამოსხივების სპექტრი და AVHRR სენსორის არხების ტალღის სიგრძეები.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, AVHRR სენსორის მონაცემების გამოყენება ზოტ-ის განსაზღვრისათვის ეფექტურია, რადგან ამ რადიომეტრს გააჩნია დაფარვის ფართო ზოლი. სენსორების საშუალებით მიღებული შავი ზღვის ზედაპირის და სანაპირო ზოლის ტემპერატურული მონაცემები საჭიროებენ გარკვეულ შესწორებებს და შესაბამისი ცდომილებების დადგენას, რაც კვლევის საგანს შეადგენს.

თავდაპირველად AVHRR სენსორი დედამიწის ზედაპირის სკანირებას ოთხ არხში ახდენდა (TIROS-N ორბიტალური პლატფორმა, 1978 წ.). მოგვიანებით იგი გაუმჯობესებულმა AVHRR/2-მა შეცვალა (NOAA-7, 1981 წ.). ხელსაწყოს ბოლო, AVHRR/3 ვერსიას ექვსი არხი გააჩნია (NOAA-15, 1998 წ.). ეს ხელსაწყო დღემდე გამოიყენება.

AVHRR სენსორის არხების მახასიათებლები მოყვანილია 2.1.1 ცხრილში [13].

**ცხრილი 2.1.1.**

**AVHRR რადიომეტრის არხები**

არხი	არე	ტალღის სიგრძე (მკმ)
1	ხილული	0.58 – 0.68
2	არეკვლილი ინფრანითელი	0.72 – 1.00
3A	არეკვლილი ინფრანითელი	1.58 – 1.64
3B	გამოსხივებული ინფრანითელი	3.55 – 3.93
4	გამოსხივებული ინფრანითელი	10.3 – 11.3
5	გამოსხივებული ინფრანითელი	11.5 – 12.5

დღისით შესაძლებელია ხუთი არხით (1, 2, 3A, 4, 5) სარგებლობა. ამ არხების გამოყენება მიზანშეწონილია, ძირითადად ზზტ-ის განსაზღვრისათვის, ღრუბლის საფარის, ნყლის და ხმელეთის საზღვრის თოვლით და ყინულით დაფარული რეგიონების იდენტიფიცირებისათვის. ღამით გამოიყენება სამი არხი (3B, 4, 5). მათი გამოყენება შესაძლებელია ღრუბლების დეტექტირებისათვის და ზზტ-ის განსაზღვრისათვის.

ამრიგად, შავი ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრისათვის შესაძლებელია 4, 5 არხების გამოყენება დღისით და 3B, 4, 5 არხების – ღამით.

სხვადასხვა სპექტრალურ არხებში დედამიწის ზედაპირის ერთი და იგივე რეგიონის შესწავლა ჰიდროლოგიური, ოკეანოგრაფიული და მეტეოროლოგიული პარამეტრების გამოზომვის შესაძლებლობას იძლევა. ორი სხვადასხვა არხის ერთობლიობას გარემოს მდგომარეობის მახასიათებელი სხვადასხვა პარამეტრების დადგენის მიზნით იყენებენ. სამი ინფრანითელი არხი სითბური გამოსხივების დეტექტირების შესაძლებლობას იძლევა.

დისტანციური ზონდირების მონაცემებით ზზტ-ის გამოსათვლელად სამი ძირითადი ხელშემშლელი გარემოება არსებობს:

- დედამიწის ზედაპირის იმ არეებიდან, რომლებიც ღრუბლებითაა დაფარული ინფრანითელი გამოსხივება რადიომეტრში ვერ აღწევს, რადგან ამ გამოსხივებას ღრუბლები აკავებს. ამდენად ღრუბლებით დაფარულ რეგიონში ზზტ-ის გამოთვლა შეუძლებელია;
- დედამიწის ზედაპირის გამოსხივების ნაწილს ატმოსფერო შთანთქავს. ატმოსფერო თავადაც ასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს და ამ გამოსხივების ნაწილი უშუალოდ აღწევს თანამგზავრზე განთავსებულ სენსორამდე, ნაწილი კი ფიქსირდება დედამიწის ზედაპირიდან არეკვლის შემდეგ;
- თანამგზავრის სენსორამდე აღწევს დედამიწის ზედაპირიდან არეკვლილი მზის გამოსხივება.

ამ პრობლემების გადაწყვეტა შესაძლებელია პროცედურებით, რომლებიც ღრუბლებით დაფარული და მზის გამოსხივების ამრეკლავი რეგიონების იდენტიფიცირებას ახდენენ. სხვადასხვა ტალღის სიგრძის გამოსხივების პასიური გაზომვის მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია ატმოსფეროს გამოსხივების კორექტირების მიზნით .

სხვადასხვა ტალღის სიგრძის გამოსხივების პასიური გაზომვის მეთოდის გამოყენებით ნადირის მიმართულებით გაზომვების დროს ზღვის ზედაპირის ღრუბლისაგან თავისუფალი რაიონებში ზზტ-ის გამოსათვლელ რეგრესიის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$T_s = a_0 + a_1 T_i + a_2 (T_i - T_j), \quad (2.1.3)$$

სადაც  $T_i$  და  $T_j$  ორი სხვადასხვა ინფრანითელი არხის გამოსხივების ტემპერატურის მნიშვნელობებია. პირველ მიახლოებაში კოეფიციენტი  $a_1 \sim 1$ , რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ მიახლოებაში ზზტ გამოსხივების ტემპერატურის ტოლია.  $a_2(T_i - T_j)$  ნევრი



ახასიათებს ატმოსფეროს გამჭვირვალობას, ხოლო პირველი ნეერი ორ სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე ატმოსფეროს სიკაშკაშის ტემპერატურების სხვაობის კომპენსირებას ახდენს.

AVHRR სენსორის გამოსხივების სამი ინფრანითელი არხის გაზომვების მონაცემებისა და ზზტ-ის დრიფტურებით გაზომვების მონაცემების შეჯერების საფუძველზე მაკკლეინმა [14] და ბერნსტაინმა [15] ალგორითმების ორი ვარიანტი შეადგინეს, ერთი ლამის, მეორე კი დღის გაზომვებისათვის. ლამის ალგორითმები 3B არხის გამოსხივების  $T_3$  ტემპერატურას იყენებენ. დღის ალგორითმები – მე-4 და მე-5 არხების გამოსხივების  $T_4$  და  $T_5$  ტემპერატურებს.

ზზტ-ის განსაზღვრის მიზნით სამი სხვადასხვა ტიპის ალგორითმი გამოიყენება:

- პირველი, ე.წ. „გაყოფილი სარკმლის“ ალგორითმი ზზტ-ის გამოთვლისას მეოთხე არხის გამოსხივების ტემპერატურას –  $T_4$ -ს ეყრდნობა, ატმოსფეროს ზეგავლენის კორექტირების მიზნით კი ( $T_4 - T_5$ ) სხვაობას იყენებს;
- „ორმაგი სარკმლის“ ალგორითმი ზზტ-ის განსაზღვრისას ასევე მეოთხე არხის გამოსხივების ტემპერატურას –  $T_4$ -ს ეფუძნება, ხოლო ატმოსფეროს კორექტირებისათვის კი ( $T_3 - T_4$ ) სხვაობას იყენებს;
- „სამმაგი სარკმლის“ ალგორითმი შესაბამისად ასევე მეოთხე არხის გამოსხივების ტემპერატურას  $T_4$ -ს ეყრდნობა, ხოლო ატმოსფეროს კორექტირებისათვის თავის მხრივ ( $T_3 - T_5$ ) სხვაობას იყენებს.

„გაყოფილი სარკმლის“ ალგორითმს როგორც დღის, ასევე ლამის გაზომვების დროს იყენებენ; „ორმაგი და სამმაგი სარკმლის“ ალგორითმები ლამის გაზომვების დროს გამოიყენება

ზზტ-ის განსაზღვრისას, თუ კუთხე ნადირის მიმართულებით 0-გან განსხვავებულია კორექტირება ამ შემთხვევაშიც საჭიროა. თუ სენსორის ზენიტის კუთხეს  $\theta$  -თი აღვნიშნავთ, მაშინ ზემოთგანხილულ ალგორითმებს მაკორექტირებელი

ნევრი ( $T_i - T_j$ ) ( $\sec\theta - 1$ ) დაემატება [14, 15] და ისინი შემდეგ სახეს ღებულობენ:

„გაყოფილი სარკმელი“  

$$T_S = a_0 + a_1 T_4 + a_2 (T_4 - T_5) + a_3 (T_4 - T_5) (\sec\theta - 1), \quad (2.1.4)$$

„ორმაგი სარკმელი“  

$$T_S = a_0 + a_1 T_4 + a_2 (T_3 - T_5) + a_3 (T_3 - T_4) (\sec\theta - 1), \quad (2.1.5)$$

„სამმაგი სარკმელი“  

$$T_S = a_0 + a_1 T_4 + a_2 (T_3 - T_5) + a_3 (T_3 - T_5) (\sec\theta - 1). \quad (2.1.6)$$

მოცემულ სამუშაოში შემონმდა და გამოყენებულ იქნა ზზტ-ის განსაზღვრის მრავალარხიანი (MCSST) და არანრფივი (NLSST) ალგორითმები [15,16], რომლებიც ფაქტიურად „გაყოფილი სარკმელი“-ს ალგორითმის მოდიფიცირებით მიიღება. კერძოდ ამ განტოლებებს შემდეგი სახე აქვთ:

$$T_{MCSST} = b_0 + b_1 T_4 + b_2 (T_4 - T_5) + b_3 (T_4 - T_5) (\sec\theta - 1), \quad (2.1.7)$$

$$T_{NLSST} = a_0 + a_1 T_4 + a_2 (T_4 - T_5) |T_{MCSST}| + a_3 (T_4 - T_5) (\sec\theta - 1). \quad (2.1.8)$$

ამ განტოლებებში  $\theta$  სენსორის ზენიტის კუთხეა, რეგრესიის განტოლებების  $a$  და  $b$  კოეფიციენტები სხვადასხვა თანამგზავრისათვის სხვადასხვაა. მათ მნიშვნელობას კონკრეტული თანამგზავრის მწყობრში ჩადგომიდან პირველი რამდენიმე თვის განმავლობაში თანამგზავრისა და დრიფტერების საშუალებით ჩატარებული გაზომვების შედეგების შეჯერების საშუალებით ადგენენ. მათი მნიშვნელობა სხვადასხვა თანამგზავრისათვის [18-19] წყაროებში არის მოცემული. თანამგზავრ MetOp-A-თვის  $a$  და  $b$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები 2.1.2 ცხრილშია მოცემული.

## ცხრილი 2.1.2.

### ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის გამოსათვლელი რეგრესიის განტოლებების კოეფიციენტების მნიშვნელობები. თანამგზავრი Metop-A/AVHRR

MCSST	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
დღე	-280.430	1.024530	2.10044	0.784059
ღამე	-276.075	1.008410	2.23459	0.736946
NLSST	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
დღე	-253.308	0.934004	0.0724457	0.748044
ღამე	-255.063	0.939146	0.0750661	0.728430

AVHRR სენსორის თანამგზავრული მონაცემების მიღება შესაძლებელია ინტერნეტით NOAA-ს თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკის [20] და EUMETSAT-ის სააარქივო სამსახურის [21] მონაცემთა ბაზებიდან. რეგისტრირებული მომხმარებლები თანამგზავრულ მონაცემებს უსასყიდლოდ ღებულობენ. AVHRR სენსორის მონაცემების მახასიათებლები და თანამგზავრული მონაცემების ფაილების ფორმატი დეტალურად არის აღწერილი [16, 22] წყაროებში.

### § 2.2. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული მონაცემების მიღების შესაძლებლობები და მათი კონტროლის ზოგადი საფუძვლები.

შავი ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრისათვის ეფექტური და ხელმისაწვდომია NOAA-ს სერიის 15-19 და MetOp-A თანამგზავრების გამოყენება.

თანამგზავრებიდან მიღებულ სურათებზე სპექტრის ხილულ და ახლო ინფრანითელ დიაპაზონში სიკაშკაშეთა სხვაობა დაკავშირებულია ობიექტის ამრეკვლადობის უნართან, ხოლო ინფრანითელ დიაპაზონში – გამოსხივების ტემპერატურებს შორის სხვაობასთან. ინფრანითელ დიაპაზონში გადაღებული სურათები მიიღება როგორც დღისით, ასევე ღამით.

მით (განსხვავებით სპექტრის ხილულ და ახლო ინფრანითელ დიაპაზონში მიღებული სურათებისაგან, რომლებიც მხოლოდ დღისით მიიღება).

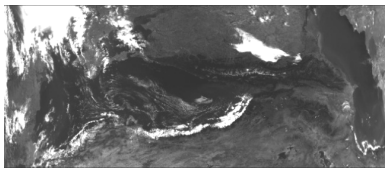
დადგინდა, რომ ზზტ-ის რეალური მონაცემების მოსაპოვებლად მიზანშეწონილია სპექტრის ინფრანითელ დიაპაზონში მიღებული თანამგზავრული სურათების გამოყენება, რომლებიც ფაქტიურად ასახავენ ზღვის ზედაპირის სითბური გამოსხივების ველს. განისაზღვრა თანამგზავრულ მონაცემებსა და ზღვის ზედაპირის რეალურ ტემპერატურებს შორის კორელაციური კავშირები და შესაბამისი შესწორებები. ეს საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ზზტ-ის მნიშვნელობები რეგულარული ბადის კვანძებში.

შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემები მოითხოვს გარკვეულ შესწორებებს და შესაბამისი ცდომილებების დადგენას, რათა მივიღოთ ზზტ-ის გაკონტროლებული მონაცემები თითქმის რეალურ დროში [23, 24].

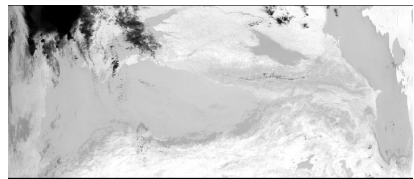
დადგინდა, რომ თანამგზავრული მონაცემების დასამუშავებლად მიზანშეწონილია გამოყენებული იყოს ევროპის კოსმოსური სააგენტოს მიერ შემუშავებული პროგრამული პაკეტი BEAM (Basic Envisat Toolbox ATSR and MERIS Platform) [25]. აღნიშნული პროგრამით AVHRR სენსორის ხუთი სპექტრალური არხის მონაცემებზე დაყრდნობით განისაზღვრება დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის ალბედოს და სიკაშკაშის ტემპერატურის სიდიდეები და ტარდება მიღებული თანამგზავრული სურათების გეოლოკაცია. MetOp-A თანამგზავრის ინფორმაციის საფუძველზე ზზტ-ის მნიშვნელობები მრავალარხიანი და არანრფივი მეთოდებით ითვლება. თანამგზავრული ფაილების მიღება შესაძლებელია NOAA-ს თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკის, ასევე EUMETSAT-ის საარქივო სამსახურის წყაროებიდან. მოხერხებულია NOAA-ს თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკით სარგებლობა, რადგან EUMETSAT-ის არქივისგან განსხვავებით ფაილების ფორმატი არ იცვლება და სა-

მუშაო პროგრამა – BEAM-ს მათი უშუალო გამოყენების შესაძლებლობა აქვს.

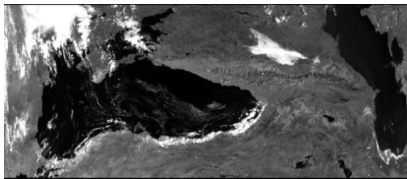
ნახ. 2.2.1-ზე წარმოდგენილია AVHRR სენსორის მიერ 2007 წლის 13 აგვისტოს ხუთ სხვადასხვა სპექტრალურ არხში გადაღებული თანამგზავრული სურათები. ფერადი კომპოზიციური სურათი 1, 2 და 3A არხების ზედღების შედეგს წარმოადგენს, სადაც 3A არხის მონაცემები გამოსახულია წითელი ფერით, ხოლო შესაბამისად მეორე – მწვანე და პირველი – ცისფერი ფერებით.



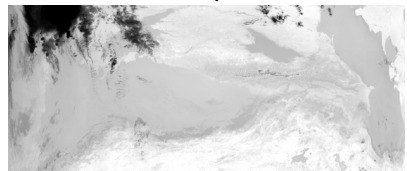
ა



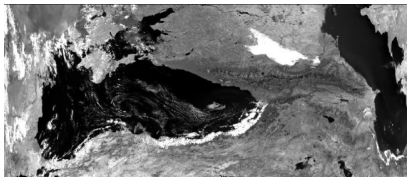
დ



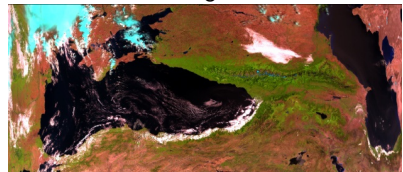
ბ



ე



გ



ვ

ნახ. 2.2.1. 1, 2, 3A არხებით გამოთვლილი ალბედოები (შესაბამისად ა, ბ და გ), 4 და 5 არხების მიხედვით გამოთვლილი სიკაშკაშის ტემპერატურები (შესაბამისად 4 და 5 არხები) და 1, 2, 3A არხების ზედღებით მიღებული ფსევდოფერადი კომპოზიციური სურათი (ვ). თანამგზავრი MetOp-A/AVHRR, 13.08.2007 წ.

ზზტ-ის გამოთვლის დროს თანამგზავრული სენსორის ზენიტის კუთხის ზრდასთან ერთად გამოთვლის სიზუსტე ეცემა, რადგან დედამიწის ზედაპირის გამოსხივებას სენსორის მგრძნობიარე ელემენტებზე მოხვედრამდე ატმოსფეროს უფრო სქელი ფენის გავლა უხდება. ამიტომ, გამოთვლების დროს საჭიროა იმ პიქსელების უკუგდება, რომელთათვისაც თანამგზავრის ზენიტის კუთხე  $53^{\circ}$ -ს აღემატება. უკუსაგდება აგრეთვე ის პიქსელებიც, რომელთათვისაც მზის ზენიტის კუთხე  $1^{\circ}$ -ზე ნაკლებია, რადგან ასეთ შემთხვევაში სენსორში ზღვის ზედაპირიდან არეკვლილი მზის სხივები ხვდება. [13, 14, 23].

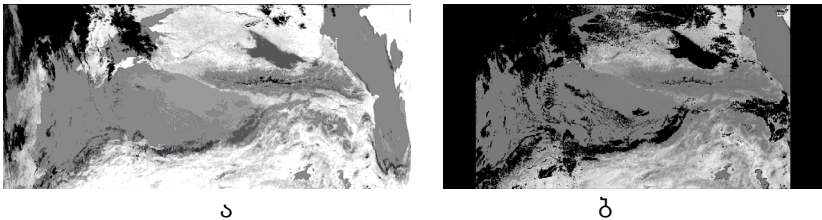
გამოთვლების დროს საჭიროა აგრეთვე ღრუბლებით დაფარული პიქსელების უკუგდება. ღრუბლიანობის ინფორმაციას შეიცავს, როგორც NOAA-ს თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკა, ასევე EUMETSAT-ის სააარქივო სამსახურის მონაცემთა ბაზები. EUMETSAT-ის არქივის თანამგზავრულ მონაცემებში NOAA-ს ბიბლიოთეკის მონაცემებთან შედარებით ღრუბლიანობის კრიტერიუმები უფრო დიფერენცირებულად არის წარმოდგენილი. ღრუბლიანი პიქსელების გამოსარკვევად ჩვეულებრივ იყენებენ მე-2 არხის მიხედვით განსაზღვრულ ალბედოს და მე-4 არხის მიხედვით გამოთვლილ სიკაშკაშის ტემპერატურის მნიშვნელობებს. ღრუბლიანობის კრიტერიუმებია აგრეთვე მე-2 არხის ალბედოს ლოკალური ცვალებადობა, მე-4 და მე-5, მე-3 და მე-4, მე-3 და მე-5 არხების სიკაშკაშის ტემპერატურების სხვაობების მნიშვნელობები, რაც გარკვეულ ზღვრულ მაჩვენებლებს არ უნდა აღემატებოდეს. ასე მაგალითად, თუკი ზღვაზე რომელიმე პიქსელის ალბედო 8%-ს აღემატება, ასეთი პიქსელი ღრუბლიანად არის მიჩნეული.

EUMETSAT-ის მონაცემებში ღრუბლიანობის შეფასება ზემოთმოყვანილი კრიტერიუმების მიხედვით ხდება, მაშინ როდესაც NOAA-ს თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკიდან მიღებულ თანამგზავრულ მონაცემებს ღრუბლიანობის მხოლოდ ოთხი მნიშვნელობა აქვს: 0 (უღრუბლო), 1 (ნაწილობრივ უღრუბლო), 2 (ნაწილობრივ ღრუბ-

ლიანი) და 3 (ღრუბლიანი). გამოთვლების დროს აუცილებელია დარჩეს მხოლოდ იმ პიქსელებისათვის გამოთვლილი ზზტ-ის მნიშვნელობები, რომელთათვისაც ღრუბლიანობის მაჩვენებლის მნიშვნელობა 0-ის ტოლია.

იმ შემთხვევაში, თუკი მზის ზენიტის კუთხე  $75^\circ$  აღემატება, შავი ზღვის ზზტ-ის გამოთვლა ხდება ღამის ალგორითმით,  $75^\circ$  ნაკლები კუთხის შემთხვევაში – დღის ალგორითმით.

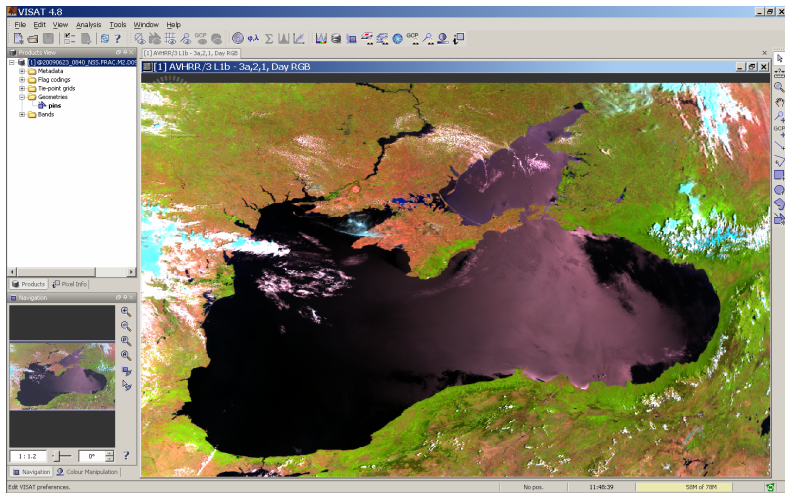
ნახ. 2.2.2-ზე მოყვანილია მე-4 და მე-5 არხების სიკაშკაშის ტემპერატურის მიხედვით მრავალარხიანი ალგორითმით გამოთვლილი ზზტ-ის სურათები; კერძოდ, ა – შედგენილია თანამგზავრის ზენიტის კუთხის გაუთვალისწინებლად და ღრუბლით დაფარული პიქსელების გამორიცხვის გარეშე, ხოლო ბ – თანამგზავრის ზენიტის კუთხის გათვალისწინებით (ამით ხდება სურათების კიდების კორექტირება) და ღრუბლით დაფარული პიქსელების გამორიცხვით (შავი ფერით მოცემულია ის რაიონები, რომლებიც ღრუბლითაა დაფარული).



**ნახ. 2.2.2. მრავალარხიანი ალგორითმით გამოთვლილი შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული ველი ზენიტის კუთხისა და ღრუბლიანობის კორექტირებამდე (ა), თანამგზავრული ზენიტის კუთხის და ღრუბლიანობის კორექტირების შემდეგ (ბ). თანამგზავრი MetOp-A/AVHRR, 13.08.2007 წ.**

როგორც ზემოთ აღინიშნა, მიღებული თანამგზავრული ფაილების დამუშავება ხდება BEAM პროგრამული პაკეტის საშუალებით. ეს პროგრამა სხვადასხვა თანამგზავრის საშუალებით მიღებული დისტანციური ზონდირების მონაცემების ვიზუალიზაციისა და დამუშავების შესაძლებლობას იძლევა.

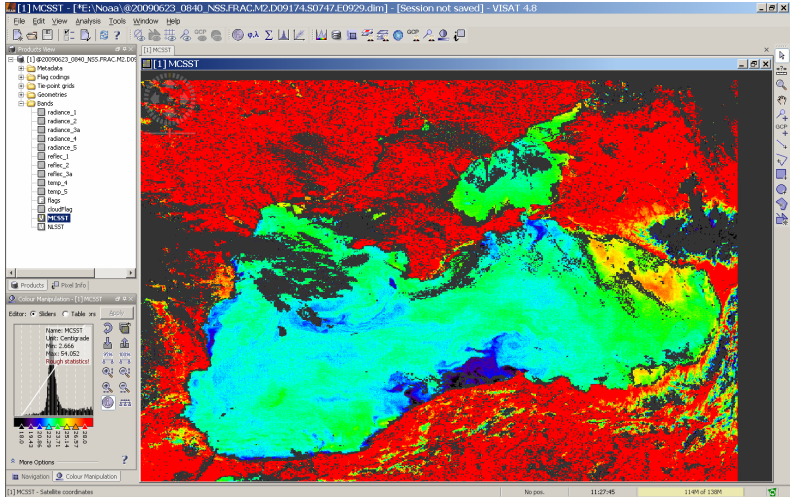
თანამგზავრული სურათის მოსახერხებელი წარმოდგენისათვის ხშირად ფსევდოფერებით წარმოდგენის მეთოდს მიმართავენ. ნახ. 2.2.3-ზე მოყვანილია MetOp-A/AVHRR თანამგზავრის მიერ 2009 წლის 23 ივნისს გრინვიჩის დროით 7 საათსა და 25 წუთზე (11 სთ და 25 წთ ადგილობრივი დროით) გადაღებული შავი ზღვის სურათი ფსევდოფერებში. მწვანე ფერი შეესაბამება ქლოროფილით მდიდარი მცენარეული საფარით დაფარულ ტერიტორიებს, მოწითალო ფერი – ქლოროფილით ღარიბს, თეთრი და ცისფერი – ღრუბლებს, ლურჯი – მყინვარებს. სურათზე შავი ზღვა მოცემულია შავი ფერით, ხოლო ზღვაზე ნისლი – იასამნისფერით.



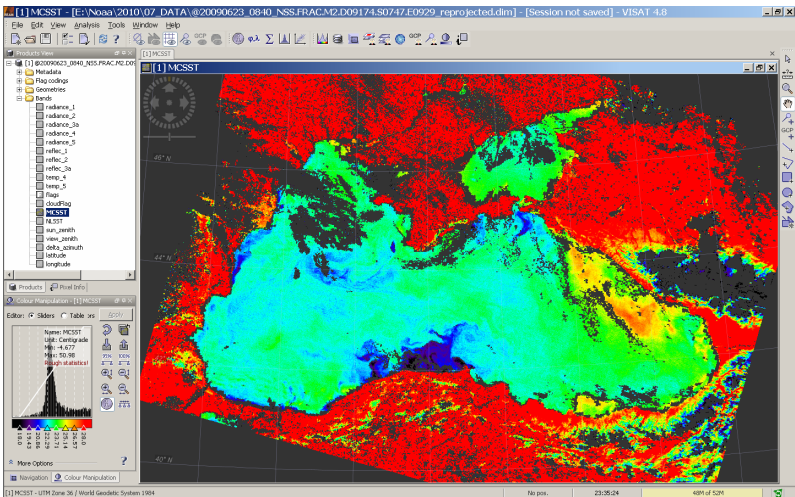
**ნახ. 2.2.3. შავი ზღვის სურათი ფსევდოფერებში. თანამგზავრი MetOp-A /AVHRR, 23.06.2009 წ.**

ფსევდოფერებით წარმოდგენის მეთოდს მიმართავენ აგრეთვე რეგრესიის განტოლებების საშუალებით გამოთვლილი ზზტ-ის ველის მოხერხებული წარმოსახვისათვის. ნახ. 2.2.4-ზე მაგალითისათვის მოყვანილია იმავე დღეს იგივე თანამგზავრის მონაცემების საფუძველზე არანრფივი მეთოდით გამოთვლილი შავი ზღვის ტემპერატურული ველის სურათი ფსევდოფერებში გეოკორექტირებამდე და გეოკორექტირების შემდეგ.





ა



ბ

ნახ. 2.2.4. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული ველის სურათი ფსევდოფერებში: ა) გეოკორექტირებამდე და ბ) გეოკორექტირების შემდეგ. თანამგზავრი MetOp-A/AVHRR, 23.06.2009 წ.

წითელი ფერით ნაჩვენებია ის რაიონები, სადაც ზედაპირის ტემპერატურა აღემატება 30°C. მოცემული სურათი გადაღებულია 11 სთ და 25 წთ-ზე. ზაფხულში ამ დროს ხმელეთის ზედაპირი უფრო გამთბარია, ვიდრე ზღვის წყლის ზედაპირი, ამიტომ წითელი ფერით ძირითადად ხმელეთი არის მონიშნული. შავი ფერით ნაჩვენებია ღრუბლიანი რაიონები. დანარჩენი ფერებისათვის ტემპერატურის მნიშვნელობის განსაზღვრა ტემპერატურული სკალის საშუალებით სირთულეს არ წარმოადგენს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ნახ. 2.2.3 მიღებულია დღისით სპექტრის ხილულ და ახლო ინფრანითელ უბანში (ხილული და არეკვლილი ინფრანითელი არე) 1, 2, და 3A არხების გამოყენებით. სანიტერესოა, რომ ამ სურათზე კარგადაა გამოხატული ნისლი შავი ზღვის ზედაპირის ზემოთ. შავი ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრისათვის გამოყენება 4, 5 არხები – დღისით და 3B, 4, 5 არხები – ღამით (გამოსხივებული ინფრანითელი არე), ამიტომ ნახ. 2.2.4-ზე ნისლი აღარ დაიკვირვება.

ჩვეულებრივ, [20, 21] წყაროებიდან მიღებული თანამგზავრული მონაცემების გეოლოკაციის სიზუსტე საკმაოდ მაღალია, მაგრამ რიგ შემთხვევაში თანამგზავრულ სურათებზე სანაპირო ზოლთან 2-3 პიქსელის სიდიდის აცდენა შეინიშნება, რაც AVHRR სენსორის გარჩევადობის (1.09 კმ) გათვალისწინებით რამდენიმე კილომეტრს შეიძლება აღწევდეს. ამ მდგომარეობის გამოსწორების და საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის კონტურის დაზუსტების მიზნით დამატებით დისტანციური ზონდირების მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრულ LANDSAT-ის არქივული სურათები იქნა გამოყენებული. მრავალარხიანი სკანირებადი რადიომეტრი TM (TM – თემატური რუკები) LANDSAT-ის სერიის მე-4 და მე-5 თანამგზავრებზე 1982 წლის ივლისიდან მოქმედებს და თანამგზავრულ ინფორმაციას მუდმივად გადმოსცემს. LANDSAT-7 თანამგზავრზე მოქმედებაშია ETM სენსორი (გაუმჯობესებული ვარიანტი იხ. ცხრილი 1.2.1). იგი ახდენს დედამიწის ზედაპირის სკანირებას ინფრანითელი დიაპაზონის ხილული და ინფრანითელი დიაპაზონის არხებით. LANDSAT-7/ETM თანამ-

გზავრის სურათების შერჩევა განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ ამ სურათებზე ნებისმიერი ნერტილის კოორდინატი საკმაოდ დიდი სიზუსტით არის მოცემული.

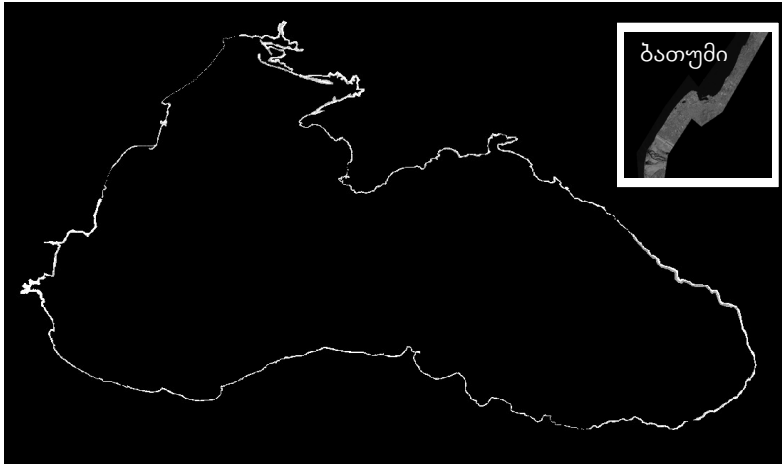
LANDSAT-ის თანამგზავრული მონაცემები ძირითადად ფასიანია, მაგრამ არქივული მონაცემები [26] წყაროში მითითებულ ინტერნეტის რესურსებიდან უსასყიდლოდ არის ხელმისაწვდომი. ეს ინფორმაცია უფრო ვრცელი, ხმელეთის საფარის გლობალური რესურსის (GLSF) ნაწილია, რომელშიც გარდა „LANDSAT“-ისა, სხვა თანამგზავრული ინფორმაციაც (TERRA, AQUA, ASTER, STRM) არის წარმოდგენილი [26].

LANDSAT-7 თანამგზავრის ETM სენსორი დედამიწის ზედაპირის სკანირებას რვა სიხშირის დიაპაზონში ახდენს. მათგან პანქრომატული (VIII) არხის სივრცითი გარჩევითობაა 15 მ, თერმული ინფრანითელი (VI) არხისა – 60 მ, დანარჩენების (I-V, VII) – 30 მ. ზღვის სანაპირო ხაზის დაზუსტების მიზნით გამოყენებულია მეხუთე, ე.წ. მოკლელტალოვანი ინფრანითელი არხი, რადგან ამ დიაპაზონში წყლის ზედაპირიდან არეკვლა მინიმალურია და სურათზე წყალსატევები (მდინარეები, ტბები, ზღვა) უფრო კონტრასტულად ჩანს.

სანაპირო ზოლის LANDSAT/ETM თანამგზავრული ფაილების დამუშავების შედეგად აიგო შავი ზღვის მთელი სანაპიროს მოზაიკური სურათი რეპერული ქალაქის, ბათუმის მიმართ სანაპირო ზოლის მითითებით (იხ. ნახ. 2.2.5).

შემდეგ ეტაპზე გამოიყო საქართველოს სანაპირო ზოლი, რისთვისაც მოზაიკური სურათიდან ამოიჭრა 39-ე მერიდიანის აღმოსავლეთით მდებარე აკვატორია. აკვატორიის გამოყოფის შემდეგ AVHRR სენსორის სივრცულ გარჩევადობასთან (1.09 კმ) მიახლოების მიზნით LANDSAT-ის სურათების სივრცითი გარჩევადობა 30 მ-დან 1 კმ-მდე ხელოვნურად გაუარესდა და სანაპირო ზოლის კონტური აიგემა. ნახ. 2.2.6-ზე მოცემულია ჩატარებული სამუშაოს შედეგი. ამდენად, თანამგზავრული ინფორმაციით სარგებლობისას იმ თანამგზავრული სურათებისათვის, რომელთა გარჩევადობა 30 მ-ის ტოლია ან უფრო დაბალია, საქართველოს შავი ზღვის

სანაპირო ზოლის კონტური ნახ. 2.2.6-ზე მოყვანილი სახით უნდა იყოს წარმოდგენილი [28].

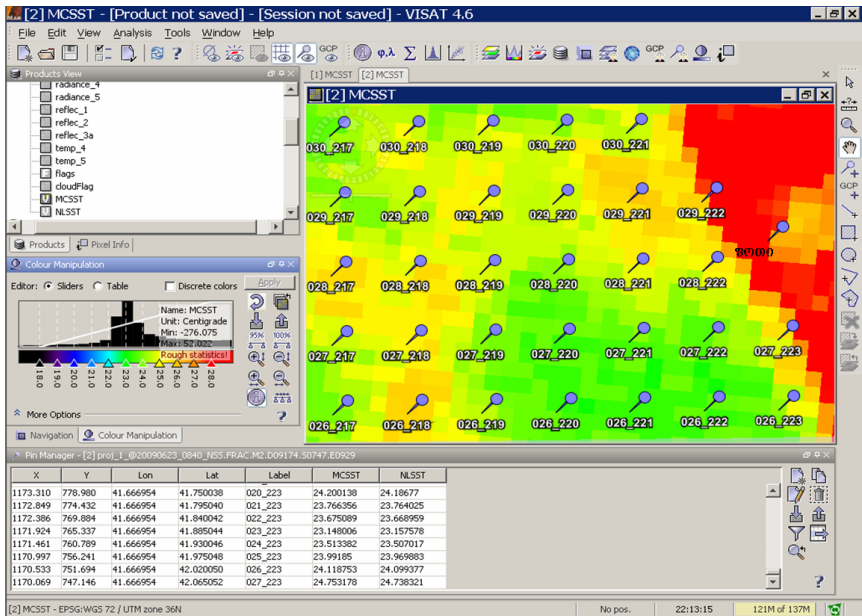


ნახ. 2.2.5. შავი ზღვის სანაპირო ზოლის მოზაიკური სურათი მიღებული LANDSAT/ETM-ის თანამგზავრული სურათის დამუშავებით



ნახ. 2.2.6. თანამგზავრული მონაცემებით განსაზღვრული საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის კონტური.

თანამგზავრული მონაცემების საშუალებით რეგულარული ბადის კვანძებში შავი ზღვის ზბტ-ის მნიშვნელობების განსაზღვრის მიზნით ზღვის ზედაპირის ტემპერატურულ ველზე ხდება ბადის კვანძითი წერტილების ზედდება. კვანძით წერტილებს შორის მანძილი, როგორც განედის, ასევე გრძედის მიმართულებით 5 კმ-ია. შემდეგ სურათზე (ნახ. 2.2.7) წარმოდგენილია ქალაქ ფოთის მიმდებარე აკვატორია რეგულარული ბადის წერტილებით და ტემპერატურის შესაბამისი მნიშვნელობებით ფსევდოფერებში. სურათზე ისრის წვერი მიუთითებს პიქსელის მდებარეობას.



**ნახ. 2.2.7. ქალაქ ფოთის მიმდებარე აკვატორია რეგულარული ბადის კვანძითი წერტილებით და ტემპერატურის შესაბამისი მნიშვნელობებით.**

ამგვარად, განისაზღვრა ზბტ-ის მნიშვნელობები შავი ზღვის რეგულარული ბადის (ნახ. 2.2.1) კვანძით წერტილებში.

### **თავი 3. თანამგზავრელი ინფორმაციის ხარისხის კონტროლის და ხარისხის შეფასების მეთოდოლოგია**

#### **§ 3.1. თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლი და ხარისხის შეფასება პიქსელის დონეზე**

ოკეანოლოგიაში ისევე, როგორც მეტეოროლოგიაში პროგნოზების სიზუსტე მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული გამოყენებული სანყისი ინფორმაციის ხარისხსა და რაოდენობაზე. თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება უზრუნველყოფს სანყისი ველების საჭირო რაოდენობრივ მხარეს. რჩება პრობლემა შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების ხარისხისა, რაც მოითხოვს გარკვეულ შესწორებებს და შესაბამისი ცდომილებების დადგენას, რათა მივიღოთ მათი გაკონტროლებული მონაცემები თითქმის რეალურ დროში [23, 24].

თანამგზავრულ მონაცემთა უზუსტობები შეიძლება დაკავშირებული იყოს: ა) თანამგზავრული მონაცემების ხარისხთან ბ) გამოსათვლელი ალგორითმის ცდომილებასთან. პირველი საკითხი კომპლექსურია და მოიცავს უზუსტობებს და შეცდომებს, რაც დაკავშირებულია:

- თანამგზავრის ზენიტის კუთხის მნიშვნელობებთან;
- მზის ზენიტის კუთხის მნიშვნელობებთან;
- ღრუბლიანობასთან;
- გეოლოკაციის სიზუსტესთან;
- სატელეკომუნიკაციო კავშირის ხარვეზებთან და სხვა.

ზემოთაღნიშნული ხშ/ხკ პროცედურების შედეგად გამოირიცხება ან მინიმუმამდე დაიყვანება.

ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების საფუძველზე შემუშავებულია შავი ზღვის საქართველოს სანაპიროსთვის თანამგზავრული მონაცემების პროცედურების განხორციელების მეთოდოლოგია [23]. შავი ზღვის საქართველოს სანაპიროსთვის თანამგზავრული მონაცემების ხშ/ხკ გამოყენებულია ორი საზ-

ღვაო მეტეოროლოგიური სადგურის – ქობულეთის და ფოთის მონაცემები. შეიქმნა შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრულ და ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემთა ბაზები.

შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრულ მონაცემთა ხკ/ხშ პროცედურები ხორციელდება ეტაპობრივად პიქსელის (I ეტაპი) და ბადურ (II ეტაპი) დონეებზე [24]. ანალიზის მთავარი ელემენტი არის მონაცემებიდან ანომალიების იდენტიფიცირება და მათი ამოღება, რათა ბადური ანალიზის დროს არ და-მახინჯდეს შედეგი (ბადური პროდუქტი).

თანამგზავრისა და მეტეოსადგურის მონაცემთა წყვილების მნიშვნელობები იშვიათად თანხვდება დროში და გეოგრაფიულად ნანაცვლებულია. ამიტომ, საჭიროა ანალიზის დროს ამოიკრიბოს თანამგზავრის და ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემები, რომელთა შორის დროითი სხვაობა 1,5 სთ-ს არ აჭარბებს. ამ პირობის დაცვის შემთხვევაში შესაძლებელია თანამგზავრიდან მიღებული ზზტ-ის მონაცემების დაზუსტება მიწისპირა დაკვირვებებით ანუ თანამგზავრის მონაცემთა ხშ/ხკ პროცედურების განხორციელება პიქსელის დონეზე.

შავი ზღვის საქართველოს სანაპიროსათვის თანამგზავრული მონაცემების ხშ/ხკ პროცედურების ჩასატარებლად გამოყენებულია ორი საზღვაო მეტეოროლოგიური სადგურის – ქობულეთის და ფოთის მონაცემები (მოქმედი ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურები საქართველოს სანაპირო ზონაში). მრავალარხიანი და არანრფივი ალგორითმებით მიღებულია 2007-2009 წ.წ. ზაფხულის თვეების დილისა და ღამის თანამგზავრული მონაცემები. შექმნილია ზზტ-ის თანამგზავრულ და ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემთა ბაზები.

თანამგზავრულ მონაცემების ხშ/ხკ -თვის ქობულეთისა და ფოთისათვის შეირჩა სამი უახლოესი პიქსელი (ქობულეთი, ქობულეთი1, ქობულეთი2, ფოთი, ფოთი1, ფოთი2). ამ პიქსელებში მიღებული სიდიდეები შედარდა ქობულეთისა და ფოთის შესაბამის ზღვის მეტეოლოგიური სადგურების მონაცემებს. ანალიზმა აჩვენა, რომ ზზტ-ის 24-სთ-იანი გრადიენტი

ნაკლებია  $3.0^{\circ}\text{C}$ -ზე, ამიტომ თანამგზავრული მონაცემები, რომელთა გადახრა ზღვის რეალურ ტემპერატურულ მონაცემთან შედარებით  $3.0^{\circ}\text{C}$ -ზე მეტია ჩაითვალა არასანდოდ და ამოვარდა სტატისტიკური რიგიდან. 2007-2009 წ.წ. ზაფხულის თვეებისათვის დათვლილია სამ-სამი პიქსელის მიხედვით დაჯგუფებული ტემპერატურის მინიმალური გადახრები ( $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$ ) ქ.ქ. ქობულეთისა და ფოთისათვის ანუ შედგენილია ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების ანომალიის ჰისტოგრამები, რომლებზეც თანდართულია სტატისტიკური პარამეტრები. მაგალითისათვის, 3.1.1 და 3.1.2 ცხრილებში მოყვანილია 2008 წლის ზაფხულის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების ანომალიის ჰისტოგრამები შესაბამისად ქ.ქ. ქობულეთისა და ფოთისათვის.

სტატისტიკური ანალიზის შედეგად ქობულეთისათვის შეირჩა ქობულეთი2, ხოლო ფოთისათვის – ფოთი2 პიქსელები. გარდა ამისა დადგინდა რომ მრავალარხიანი მეთოდით დათვლილი მონაცემების მინიმალური გადახრების სისშირე მეტია არანრფივი მეთოდით დათვლილზე, რაც შემდეგში კორელაციური ანალიზითაც დადასტურდა. ამიტომ შემდგომი კვლევებისთვის გამოვიყენეთ ზემოთაღნიშნული მრავალარხიანი მეთოდით გამოთვლილი ქობულეთი2-ის (აღმ. გრძ.  $41,76399^{\circ}$ , ჩრდ. გან.  $41,82869^{\circ}$ ) და ფოთი2-ის (აღმ. გრძ.  $41,75873^{\circ}$ , ჩრდ. გან.  $42,10637^{\circ}$ ) პიქსელების მონაცემები.

მაღალი სანდოობის სტატისტიკური რიგის შესაქმნელად საჭიროა ისეთი მონაცემები, რომელთა გადახრა ნაკლებია  $2^{\circ}\text{C}$ -ზე. კორელაციური ანალიზით დადგინდა, რომ მრავალარხიანი მეთოდით განსაზღვრული ზზტ-ის (ქობულეთი, ფოთი) ზღვის მეტეოროლოგიურ და თანამგზავრულ მონაცემებს შორის კორელაცია საშუალოდ შეადგენს 0.87-ს.



2008 წლის ზაფხულის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების ანომალიის ჰისტოგრამა  
ქ. ქობულეთისათვის

პიქსელების დასახელება											
ქობულეთი				ქობულეთი1				ქობულეთი2			
m1	m2	e1	e2	m1	m2	e1	e2	m1	m2	e1	e2
1,8	1,7	-1,6	-1,3	-1,3	-1,2	-1,3	-1,1	-1,7	-1,6	-1,1	-0,9
2,3	2,3	-1,6	-1,3	2,4	2,7	-0,7	-0,5	2,6	2,8	-2,7	-2,9
2,5	2,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2	-1,8	-3	-3,1	-2,9	-3
1,1	1,1	-2,1	-2,1	-0,1	-0,2	-2,4	-2,4	0,2	0	-1,5	-1,2
-1	-0,7	-2,3	-2,2	0	0,2	-2,4	-2,3	-0,2	0	-2	-1,8
2,7	2,8	-3	-2,8	0,1	0,1	-2	-2,1	0,1	0,1	-2	-2
-1	-0,9	-2,4	-2,5	-1	-1,1	-3	-2,9	-1	-1,1	-1,6	-1,6
0,1	0,1	-2,1	-2,1	0,4	0,4	-2	-2,2	-0,8	-0,9	-2	-2,1
1,8	2			-0,9	-1	-1	-1,1	0	-0,2	-1	-1
1,3	1,6			-0,3	-0,5	-1	-1	2,3	2,3	-2	-1,9
-0	0			2,7	2,7	-1,1	-1	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6
-1	-1,1			1,8	1,8	-1,8	-1,8	1,1	1,1	-0,4	-0,4
-0	0			-0,9	-0,9	-1,5	-1,9	-0,9	-1	-0,8	-0,7
1,3	1,3			-0,5	-0,5	-2,1	-2	-0,9	-0,9	-1,8	-1,8
-1	-0,5			0,9	1	-1,8	-1,6	-1	-0,9	-1,5	-1,9
-1	-0,9			-0,9	-0,9	-2	-2,1	0,8	0,9	-1,7	-1,6
1,2	1,3			0,1	0,1	-2	-2	-0,1	-0,1	-2,1	-1,9
1	1,3			1,8	2			2,1	2,2	-2	-2,1
				1,1	1,1			2,3	2,6	-2,1	-2,1
				2,6	2,9			2,7	3	-2,8	-2,8
				0,4	0,6			0	0,2		
				-1,8	-1,8			-1,8	-1,8		
				0,3	0,5			0,1	0,2		
				2,8	3			2,7	2,9		
				-0,4	-0,4			0,2	0,3		
				2	2,4			-1,9	-1,9		
				0,5	0,6			-0,2	0		
				0,9	1,1			1,8	2		
								0,9	1,1		

$m_1$  და  $e_1$  მრავალარხიანი მეთოდით, ხოლო  $m_2$  და  $e_2$  არანრფივი მეთოდით გამოთვლილი, შესაბამისად დღისა და ღამის ზზტ-ის გადახრების მონაცემები:

$$m_1 + e_1 = 40$$

$$m_2 + e_2 = 30$$

ტემპერატურის მინიმალური გადახრების სიხშირე:  
ქობულეთი-17 ქობულეთი1-20, ქობულეთი2-33; ჯამი=70

2008 წლის ზაფხულის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების ანომალიის ჰისტოგრამა  
ქ. ფოთისათვის

ჰიქსელების დასახელება											
ფოთი				ფოთი1				ფოთი2			
m1	m2	e1	e2	m1	m2	e1	e2	m1	m2	e1	e2
1,7	1,5	0	0,4	2,3	2,3	-1,2	-1,3	2,6	2,7	-1	-1,1
1,6	1,4	-0,9	-0,5	1,9	2,4	0	0,2	-0,7	-0,9	-2,8	-2
2,8	2,6	-2,6	-2,4	-1,5	-1,6	-2,9	-2,9	0,3	0,5	0,7	0,9
0,3	0	-3	-2,8	0,3	0,5	-1,4	-1,4	1	1,1	-2,1	-2,3
2,3	2,3	-1,9	-1,7	0,3	0,5	-0,7	-1,1	-1,3	-1,5	-2,5	-2,1
2,8	2,8	1,7	1,8	0,2	0,4	-2,8	-2,6	1,5	1,3	-2,9	-2,5
1,7	1,7	-2,1	-2,2	-2	-2,2	-1,3	-1,2	0,6	0,3	-1,8	-1,7
2,3	2,3	-2	-2	0,4	0,3	-2,9	-2,9	1,8	1,8	-3	-3,1
2,4	2,4	-2	-1,9	0,5	0,3	-2,3	-2,2	0,3	0,2	-1,6	-1,2
-0,9	-1	-2,3	-2,3	0,3	0,1	-2,3	-2,3	-0,1	-0,3	-1,6	-1,5
2,2	2,2	-2,9	-3,2	-0,3	-0,4	-2	-1,7	-1	-1	-1	-1
2,1	2,1			0,2	0,1	0,7	0,9	1,8	1,9	-2,1	-2
2,7	2,9			1,1	1	-1	-1	0,3	0,2	-1,7	-1,7
0	0			0,1	0,1	-1,9	-2	3	3	-1,9	-1,7
				-1,1	-1,1	-1,3	-1,2	0,1	0	0,8	0,9
				0,5	0,5	-2	-2	-1	-1	-0,7	-0,7
				-0,6	-0,7	-1,8	-1,8	0,7	0,7	-2	-2
				0,8	0,8	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-1	-0,9
				0,2	0,2			0,3	0,2	-2	-2
				0,9	1			1,4	1,5	-2,6	-2,7
				2,6	2,7			2,5	2,5	-2,9	-2,9
				2,1	2,2			1,4	1,4	-1,7	-1,7
				2	2,2			0	0,1	-0,9	-0,9
				0,1	0,1			-0,8	-0,4		
				2,5	2,8			-1,4	-1,4		
				0,8	1,1			-0,1	0		
				-1,1	-1,1			2,7	2,7		
				2,4	2,4			-0,7	-0,7		
				0,3	0,4			2	2,1		
				1	1,1			-1,2	-1,1		

$m_1$  და  $e_1$  მრავალარხიანი მეთოდით, ხოლო  $m_2$  და  $e_2$  არანრფივი მეთოდით გამოთვლილი, შესაბამისად დღისა და ღამის ზზტ-ის გადახრების მონაცემები:

$$m_1 + e_1 = 39$$

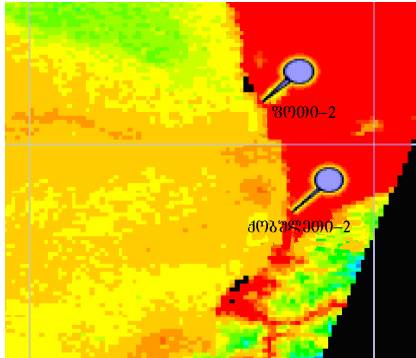
$$m_2 + e_2 = 33$$

ტემპერატურის მინიმალური გადახრების სიხშირე:  
ქობულეთი-15 ქობულეთი1-27, ქობულეთი2-30; ჯამი=72

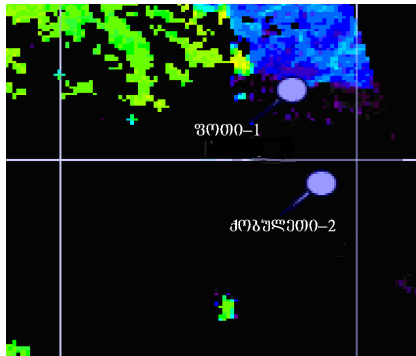
ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებიდან დადებითი გადახრები გამოწვეულია თანამგზავრული ინფორმაციის ავტომატური დამუშავების ხარვეზებით, ანუ პიქსელის კოორდინატების არაზუსტი გეოლოკაციით და ხმელეთისკენ გადახრით, რაც უღრუბლო ამინდის შემთხვევაში ვიზუალურადაც შესამჩნევია. ზაფხულში დილის გაზომვების დროს, ხმელეთის ზედაპირის ტემპერატურა ზზტ-ზე მაღალია და დადებითი გადახრაც ამით არის განპირობებული. ამის გამოსწორება შესაძლებელია გეოინფორმაციული სისტემების ე.წ. GIS-ის გამოყენებით, რაც საბოლოო ჯამში გაზრდის თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად მიღებული მონაცემების სტატისტიკურ რიგს.

მნიშვნელოვანი უარყოფითი გადახრა ფიქსირდება იმ შემთხვევაში, თუ შერჩეული პიქსელი ღრუბლით არის დაფარული, მაგრამ ღრუბლიანობის ალგორითმით მისი გამორიცხვა ვერ მოხერხდა. მომავალში, ღრუბლით დაფარული რაიონებისათვის შესაძლებელია პასიური მიკროტალღოვანი სენსორების მონაცემების გამოყენება. მიკროტალღოვანი გამოსხივებისთვის ღრუბლის საფარი დაბრკოლებას არ წარმოადგენს. ამ შემთხვევაში მოიხსნება ღრუბლიანობით გამოწვეული უარყოფითი გადახრების შემთხვევები, რაც ასევე გაზრდის თანამგზავრიდან მიღებული მონაცემების სტატისტიკურ რიგს.

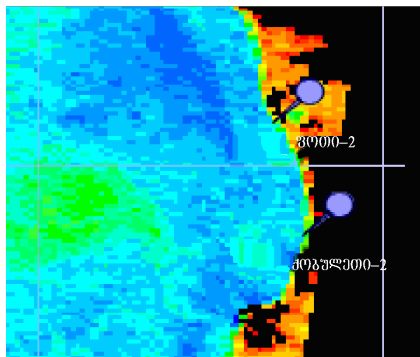
თანამგზავრ Metop-A-დან მიღებული ინფორმაციით გამოთვლილი ზზტ-ის დადებითი (ა), უარყოფითი (ბ) და მცირე (გ) გადახრის მაგალითები მოყვანილია ნახ. 3.1.1-ზე. დადებითი გადახრა დაფიქსირებულია 2007 წლის 12 აგვისტოს დილას და შეადგენს: ქობულეთი2-ში  $\Delta T_1 = +3,9^{\circ}\text{C}$ , ფოთი2-ში  $\Delta T_2 = +3,7^{\circ}\text{C}$ . უარყოფითი გადახრა დაიკვირვება 2007 წლის 5 აგვისტოს ღამის და შეადგენს: ქობულეთი2-ში  $\Delta T_1 = -9,5^{\circ}\text{C}$ , ხოლო ფოთი2-ში მონაცემი უკუგდებულია ღრუბლიანობის გამო. მცირე გადახრა დაიკვირვება 2007 წლის 26 ივნისის დღის ტემპერატურული ველის სურათზე, ქობულეთი2-ში  $\Delta T_1 = -0,3^{\circ}\text{C}$ , ხოლო ფოთი2-ში  $\Delta T_2 = -0,8^{\circ}\text{C}$ . ისრის წვერი მიუთითებს საზღვაო მეტეოროლოგიური სადგურის შესაბამის პიქსელზე.



ა



ბ



გ

ნახ. 3.1.1. დადებითი (ა), უარყოფითი (ბ) და მცირე (გ) გადახრის მაგალიტები. თანამგზავრი Metop-A/AVHRR.

ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამგზავრული დაკვირვებების საფუძველზე მრავალარხიანი მეთოდით განსაზღვრული შავი ზღვის ზზტ-ის (ქობულეთი, ფოთი) მონაცემები, საკმაოდ კარგად შეესაბამება ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის რეალურ მნიშვნელობებს.

ზემოთმოყვანილი კვლევითი მასალის შეჯამების საფუძველზე შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს შავი ზღვის საქართველოს სანაპიროსთვის თანამგზავრული მონაცემების ხმ/ხკ - ის მეთოდოლოგია პიქსელის დონეზე.

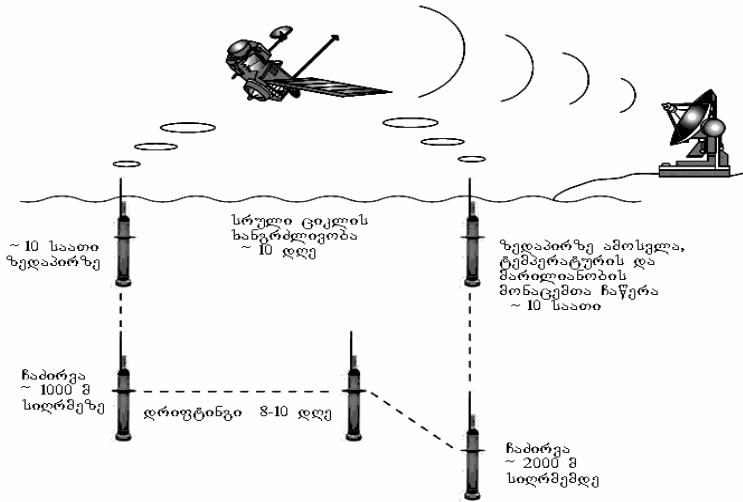
იგი მდგომარეობს შემდეგში:

1. ზზტ-ის გამოთვლის დროს საჭიროა იმ პიქსელების უკუგდება, რომელთათვისაც:
  - ა. თანამგზავრის ზენიტის კუთხე  $53^{\circ}$ -ს აღემატება;
  - ბ. მზის ზენიტის კუთხე ნაკლებია  $1^{\circ}$ -ზე;
  - გ. ღრუბლიანობის მაჩვენებელი 0-ის ტოლი არ არის;
  - დ. თანამგზავრული მონაცემების გადახრა მეტეოროლოგიური მონაცემებიდან  $3.0^{\circ}\text{C}$ -ზე მეტს შეადგენს.
2. თუ მზის ზენიტის კუთხე  $75^{\circ}$ -ს აღემატება, ზზტ-ის გამოთვლა ხდება ღამის ალგორითმით; წინააღმდეგ შემთხვევაში – დღის ალგორითმით;
3. თანამგზავრული სურათებისათვის, რომელთა გარჩევადობა 30 მ-ის ტოლია ან უფრო დაბალია, საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის კონტური ნახ. 2.2.6-ზე მოყვანილი სახით უნდა იყოს წარმოდგენილი.
4. საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროს ორი ქალაქის ქობულეთისა და ფოთის შესაბამისი პიქსელებისათვის (ქობულეთი – აღმ. გრძ.  $41,76399^{\circ}$ , ჩრდ. გან.  $41,82869^{\circ}$  და ფოთი – აღმ. გრძ.  $41,75873^{\circ}$ , ჩრდ. გან.  $42,10637^{\circ}$ ) ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემები უნდა გამოითვალოს მრავალარხიანი მეთოდით.

### **§3.2. თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლი და ხარისხის შეფასება ბადურ დონეზე**

პიქსელის დონეზე პროცედურების განხორციელების შემდეგ საჭიროა ხკ/ხშ-ის პროცედურები ჩავატაროთ ბადურ დონეზე. ამისათვის გამოიყენება „არგოს“ სახელწოდებით ცნობილი საერთაშორისო პროგრამის მონაცემები. პროგრამის ძირითადი მიზანია ოკეანისა და ზღვის წყლის ტემპერატურისა და მარილიანობის პროფილების შესწავლა. ამ მიზნის მისაღწევად დრიფტერების ვრცელი სისტემის შექმნა 2000 წლიდან დაიწყო [29]. პროგრამაში მონაწილეობს 23 ქვეყანა და ამჟამად ზღვებსა და ოკეანეებში, მთელი მსოფლიოს მასშტაბით „არგოს“ სისტემის დაახლოებით 6000 დრიფტერი მოქმედებს. ზღვის წყლის ტემპერატურისა და მარილიანობის პროფილები ინტერნეტით „არგოს“ პორტალით ([www.argo.net](http://www.argo.net)) არის ხელმისაწვდომი.

თითოეული დრიფტერი ავტონომიური ხელსაწყოა, რომლის სამუშაო ციკლის ხანგრძლივობა 10 დღეს შეადგენს. ათი დღის განმავლობაში, ხელსაწყო 10 საათი რჩება ზღვის ზედაპირზე, შემდეგ იძირება 1000 მ სიღრმეზე, სადაც 8-10 დღის განმავლობაში რჩება და დინებას მიჰყვება. შემდეგ 2000 მ-ის სიღრმემდე იძირება, რის შემდეგაც 10 საათის განმავლობაში ზედაპირისაკენ მიემართება და ზღვის წყლის ტემპერატურის და მარილიანობის პროფილს (წყლის წნევაზე დამოკიდებულებას) აკვირდება. დრიფტერის ზედაპირზე ამოსვლის შემდეგ გაზომვის მონაცემები გადაეცემა „იაზონის“ თანამგზავრების სისტემას, რომლებიც თავის მხრივ მონაცემებს მიმღებ სადგურებს უგზავნიან. მიღებული პროფილების 90% ხელმისაწვდომია 24 სთ-ის განმავლობაში, ხოლო 48 სთ-ის განმავლობაში ყველა დრიფტერის მონაცემი მზად არის. „არგოს“ მონაცემები კორიოლისის (საფრანგეთი) და GODAE-ს (დანვრილებით იხ. ქვემოთ) ცენტრების საშუალებით ვრცელდება, თუმცა, მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის გლობალური სატელეკომუნიკაციო სისტემის საშუალებით მონაცემების რეალურ დროში მიღება კლიმატის და ამინდის ოპერატიულ ცენტრებსაც შეუძლიათ (ნახ. 3.2.1).



**ნახ. 3.2.1. საერთაშორისო პროექტის „არგოს“ დრიფტერების მოქმედების სქემატური სურათი.**

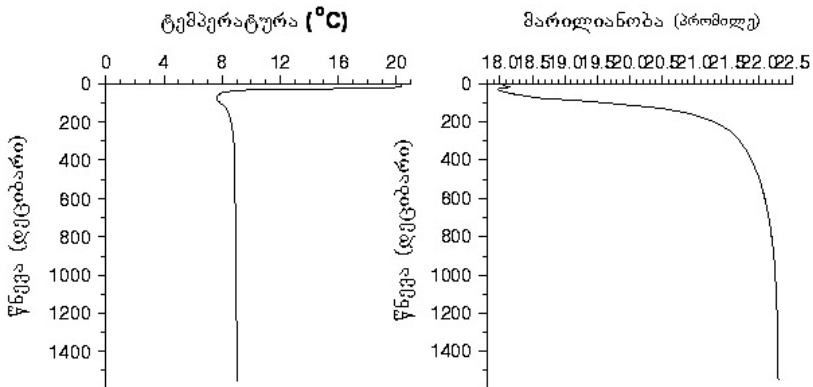
დრიფტერის მონაცემების საკმარისი სტატისტიკურ მონაცემთა რიგის შექმნის შემთხვევაში დრიფტერები ეფექტური საშუალებაა თანამგზავრული მონაცემების ხკ/ხმ პროცედურების განსახორციელებლად, რაც განპირობებულია დრიფტერების მონაცემთა დიდი სიზუსტითა და სიმრავლით (სხვა ოკენე/ზღვის ზედაპირზე განლაგებულ სადამკვირვებლო საშუალებებთან შედარებით). ეს მონაცემთა სივრცითი განაწილების დეტალიზაციაში ჰპოვებს ასახვას. არსებული გამოცდილება საშუალებას იძლევა თანამგზავრული ინფორმაციით და დრიფტერების გამოყენებით ხკ/ხმ პროცედურების ჩატარებით დიდი სიზუსტით განისაზღვროს შავი ზღვის მთელი ზედაპირის (აკვატორიის) ტემპერატურა.

უნდა აღინიშნოს, რომ მინიმალური სიღრმე, რომელზეც დრიფტერი ტემპერატურას ზომავს 4 მ-ია. ცხადია, რომ ზღვის ტემპერატურის მნიშვნელობა 4 მ სიღრმეზე არ შეესაბამება ზღვის ტემპერატურის მნიშვნელობას ზედაპირზე. დადგენილია, რომ შავი ზღვისათვის ტემპერატურული ველის

სივრცითი განაწილების საშუალო ვერტიკალური გრადიენტია  $1^{\circ}\text{C}/1\text{მ}$ -ზე, ანუ 4 მ სიღრმეზე ზედაპირიდან გადახრა  $4^{\circ}\text{C}$ -ია. მარტივად, რომ ვთქვათ იმისათვის, რომ შავი ზღვის რომელიმე წერტილში (კვანძში) თანამგზავრული მონაცემებით განსაზღვრული ზზტ-ის მნიშვნელობები შედარდეს დრიფტერით იმავე წერტილში გაზომილ ტემპერატურის მონაცემებს საჭიროა დრიფტერის მიერ 4 მ სიღრმეზე გაზომილ მნიშვნელობას დაემატოს დონეების გამათანაბრებელი სიდიდე  $4^{\circ}\text{C}$ . დრიფტერების მონაცემების დასამუშავებლად გამოიყენება სპეციალური პროგრამა [30].

„არგოს“ დრიფტერების საშუალებით ტემპერატურის გაზომვის სიზუსტე  $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$  -ს შეადგენს, სიღრმის გაზომვის სიზუსტე – 5 მ-ს. თითოეული დრიფტერის „სიცოცხლის ხანგრძლივობა“ საშუალოდ ოთხი წელია.  $3^{\circ}$  -იანი სივრცითი განაწილების უზრუნველსაყოფად ყოველწლიურად დაახლოებით 800 ახალი დრიფტერის გაშვება არის საჭირო.

ნახ 3.2.2-ზე წარმოდგენილია შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში 2007 წლის ოქტომბერში მოქმედი 4900540 დრიფტერის მიერ გაზომილი მონაცემებით აგებული ზღვის ტემპერატურის და მარილიანობის პროფილები.



**ნახ. 3.2.2. შავ ზღვაში 4900540 დრიფტერის მიერ გაზომილი ტემპერატურისა და მარილიანობის პროფილები. ოქტომბერი 2007 წ.**



პროგრამა „არგო“ უშუალო კავშირშია თანამგზავრულ ალტიმეტრულ მისია „იაზონთან“. „არგო“ და „იაზონი“ ერთობლივად, ოპერატიული მონაცემებით უზრუნველყოფენ ოკეანის მონაცემების ასიმილაციის გლობალური ექსპერიმენტის პროგრამას (Global Ocean Data Assimilation Experiment – {ლატინური აკრონიმი – GODAE}), რაც შესაბამისი მონაცემთა ბაზების დაგროვების შემთხვევაში ოკეანის კლიმატის პროგნოზირების საშუალებას იძლევა [31].

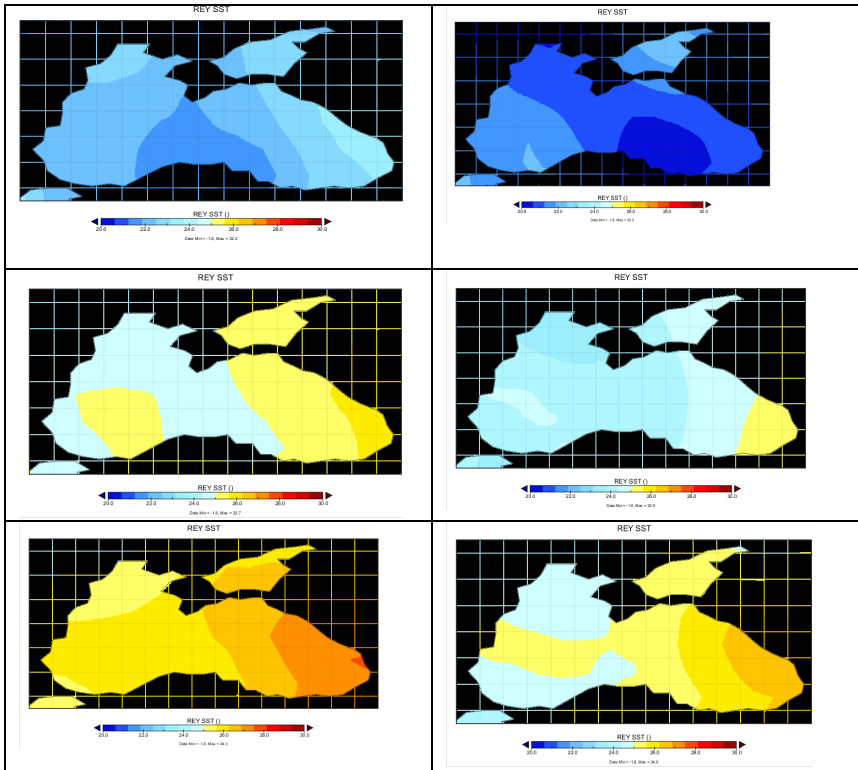
დრიფტერების ძირითადი ნაკლია მათ მიერ მოცემული მასივების არასრულობა, რადგანაც მათი მონაცემები არასაკმარისია ზღვის მთელი ზედაპირის ტემპერატურული ველის აღსადგენად.

მეორეს მხრივ, როგორც ზემოთ აღინიშნა, დრიფტერების სათანადო გამოყენებით შესაძლებელია ზღვის მთელი ზედაპირის ტემპერატურული ველის მნიშვნელობების განსაზღვრა თანამგზავრული მონიტორინგის საფუძველზე, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ზღვის მდგომარეობის პროგნოზი და შესაბამისად სტიქიური მოვლენების შემთხვევაში – ადრეული გაფრთხილება.

აშშ-ის ოკეანისა და ატმოსფეროს ეროვნული ადმინისტრაციის კლიმატის პროგნოზირების ცენტრი (CPC/NOAA) ატარებს ზზტ-ის კლიმატოლოგიური მონაცემების ანალიზს. კლიმატოლოგიური მონაცემების ერთი გრადუსი სივრცითი გარჩევადობის უზრუნველსაყოფად ცენტრი იყენებს, როგორც საზღვაო გემებიდან და დრიფტერებიდან ჩატარებული, ასევე თანამგზავრული გაზომვების შედეგებს. გარდა ყოველთვიური ანალიზისა, ცენტრი ყოველკვირეულად ერთი გრადუსი სივრცითი გარჩევადობის სიზუსტით ზზტ-ის ანალიზს ოპტიმალური ინტერპოლაციის მეთოდიდან აწარმოებს [32-33].

ნახ. 3.2.3-ზე ფერადი სკალის მიხედვით წარმოდგენილია რეინოლდსის საშუალო კლიმატოლოგიური ტემპერატურების მნიშვნელობები 2007 და 2008 წლების ივნისის, ივლისისა და აგვისტოს თვეებისათვის (ზაფხულის სეზონი). ზზტ-ის კლიმატოლოგიური მონაცემები [34]-ში მითითებული ინ-

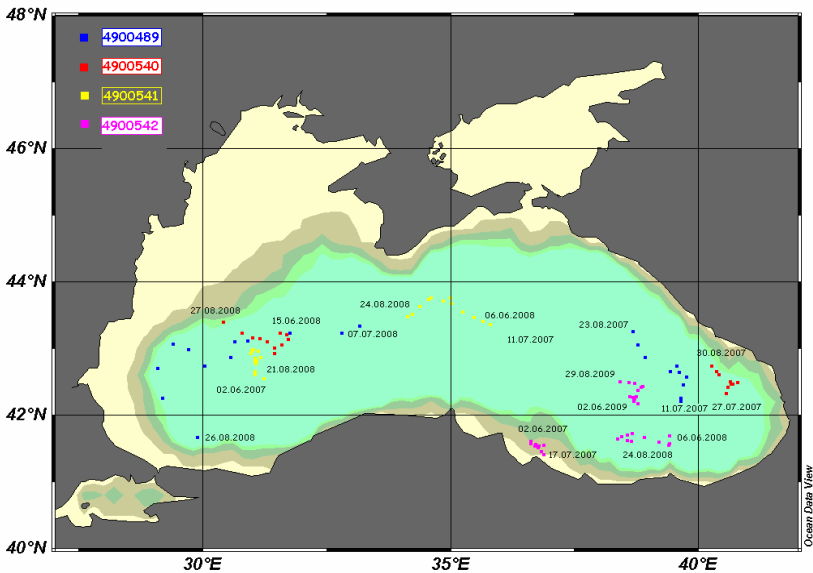
ტერნეტის წყაროდანაა ხელმისაწვდომი. რეგულარულად განახლებადი მონაცემთა ბაზა მოიცავს კლიმატოლოგიურ მონაცემებს დაწყებული 2004 წლის იანვრიდან.



**ნახ. 3.2.3 შავი ზღვის ზზტ-ის საშუალო თვიური კლიმატოლოგიური მნიშვნელობები. 2007-2008 წ.წ. ზაფხულის სეზონი.**

წინამდებარე ნაშრომში შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული ველის განსაზღვრისას ღრუბლებით დაფარულ რეგულარული ბადის კვანძით წერტილებში ზზტ-ის მნიშვნელობების აღდგენისათვის გამოყენებულია აშშ-ის ოკეანისა და ატმოსფეროს ეროვნული ადმინისტრაციის კლიმატის პროგნოზირების ცენტრის კლიმატოლოგიური მონაცემები (იხ. § 5.2).

2007-2009 წ.წ. განმავლობაში შავ ზღვაში მოქმედებდა „არგოს“ ფლოტილის ოთხი დრიფტერი, 4900489, 4900540, 4900541, 4900542. ნახ. 3.2.4-ზე წარმოდგენილია დრიფტერების მიერ შავი ზღვის წყლის ტემპერატურის და მარილიანობის პროფილების გაზომვის წერტილები 2007-2009 წ.წ. ზაფხულის სეზონისათვის. დრიფტერების მდებარეობა სურათზე შეესაბამება მათ მიერ ზღვის წყლის ტემპერატურისა და მარილიანობის პროფილების გაზომვის ადგილმდებარეობას.



**ნახ. 3.2.4. დრიფტერების მიერ შავი ზღვის წყლის ტემპერატურისა და მარილიანობის პროფილების გაზომვის წერტილთა სივრცითი განაწილება. 1 ივნისი-31 აგვისტო 2007-2009 წ.წ.**

მაგალითისათვის, ცხრ. 3.2.1-ში მოყვანილია 4900489 დრიფტერის მიერ 2007 წლის 4 ივნისს, გარკვეულ წერტილში გაზომილი ზღვის წყლის წნევისა და ტემპერატურის პროფილის შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობები.

### ცხრილი 3.2.1

**4900489 დრიფტერის მიერ გაზომილი შავი ზღვის წყლის წნევის  
და ტემპერატურის პროფილის შესაბამისი მონაცემები წერ-  
ტილში კოორდინატებით აღმ გრძ. 39.633<sup>0</sup>,  
ჩრდ. გან. 42.224<sup>0</sup> (04.06.2007 წ.)**

წნევა (დეცი ბარი)	ტემპ (°C)	წნევა (დეცი ბარი)	ტემპ (°C)	წნევა (დეცი ბარი)	ტემპ (°C)
4.6	17.695	149.7	8.368	524.5	8.886
9.6	13.679	159.4	8.421	549.5	8.89
14.5	11.47	169.3	8.496	573.9	8.893
19.3	10.013	179.3	8.54	599.1	8.897
24.3	9.082	189.4	8.581	649.5	8.902
29.1	8.6	199.5	8.614	699.5	8.908
34.4	8.082	209.5	8.637	749.1	8.915
39.4	7.878	219.2	8.665	799.4	8.923
44.3	7.75	229.5	8.686	849.1	8.931
49.6	7.67	239.5	8.705	899.1	8.939
54.6	7.707	249.1	8.728	949.5	8.947
59.5	7.604	259.1	8.742	998.9	8.956
64.6	7.583	269.3	8.756	1049.6	8.964
69.8	7.573	279.1	8.768	1099.3	8.972
74.4	7.464	289.1	8.779	1148.9	8.98
79.4	7.496	298.8	8.791	1199.3	8.988
84.8	7.552	324.6	8.814	1249.5	8.996
89.5	7.609	349.4	8.83	1299.2	9.003
94.3	7.676	374	8.843	1349	9.011
99.5	7.751	399.1	8.852	1399	9.018
109.7	7.892	424.1	8.863	1449.1	9.026
119.1	8.046	449.2	8.87	1499.1	9.033
129.4	8.157	474.2	8.876	1549.4	9.04
139.3	8.3	499.2	8.881		

შავ ზღვაში სხვადასხვა დრიფტერის მიერ გაზომილი წყლის წნევის და ტემპერატურის პროფილის შესაბამისი რიცხვითი მონაცემებით და ამ პროფილების შესატყვისი გეოგრაფიული კოორდინატების და გაზომვის დროის მითითებით

შედგენილია ცხრილები 2007-2009 წწ. ზაფხულის სეზონისათვის. 3.2.2 ცხრილში, თვალსაჩინოებისათვის მოყვანილია ზემოთაღნიშნული მონაცემები 2007 წლისათვის. დრიფტერების გაზომვის მონაცემების დასამუშავებლად გამოყენებულია სპეციალური პროგრამა „Ocean Data View“ [30]

**ცხრილი 3.2.2.**

**2007 წ.-ის ზაფხულის სეზონისათვის დრიფტერებით დროის მითითებულ მომენტში, შავი ზღვის გარკვეულ წერტილებში, გაზომილი წნევისა და ტემპერატურის მნიშვნელობები**

დრიფტერი	წწ-თვ-დღ სთ:წთ:წმ	გრძედ-დი(E)	განედ-დი(N)	წნევა(დ.ბარი)	ტემპ. (°C)
2007 წელი					
4900489	2007-06-04 08:35:38.001	39.633	42.224	4.6	17.695
4900489	2007-06-11 15:07:09.002	39.631	42.205	4.5	15.15
4900489	2007-06-18 23:42:55.995	39.638	42.257	4.9	20.787
4900489	2007-06-26 07:54:49.998	39.687	42.454	4.9	16.985
4900489	2007-07-03 11:48:15.000	39.757	42.571	4.5	10.614
4900489	2007-07-10 14:44:53.999	39.608	42.643	4.8	24.098
4900489	2007-07-18 00:46:13.000	39.551	42.74	4.7	22.076
4900489	2007-07-25 08:11:42.001	39.425	42.655	4.9	15.947
4900489	2007-08-08 19:24:09.002	38.921	42.868	4.9	27.005
4900489	2007-08-15 21:55:32.998	38.762	43.053	4.8	26.575
4900489	2007-08-23 07:14:44.999	38.676	43.253	4.9	27.003
4900540	2007-06-04 14:34:05.999	40.784	42.486	4.8	19.801
4900540	2007-06-11 16:43:37.002	40.687	42.47	4.7	15.841
4900540	2007-06-18 23:43:21.997	40.64	42.5	4.8	22.477
4900540	2007-06-26 06:13:39.000	40.654	42.464	4.9	23.756
4900540	2007-07-10 17:13:21.999	40.59	42.415	4.8	19.959
4900540	2007-07-17 23:35:34.999	40.553	42.321	4.9	16.309
4900540	2007-08-16 02:34:02.000	40.408	42.607	8.1	14.523
4900540	2007-08-23 07:15:04.999	40.36	42.651	4.6	24.358
4900540	2007-08-30 13:51:24.000	40.266	42.736	4.9	27.14
4900541	2007-06-02 08:47:54.001	31.221	42.542	4.8	19.241

4900541	2007-06-09 14:18:29.995	31.046	42.602	4.8	20.634
4900541	2007-06-16 19:47:21.004	31.047	42.653	4.8	21.857
4900541	2007-06-24 01:57:30.000	31.07	42.765	4.6	24.201
4900541	2007-07-01 07:40:17.000	31.051	42.803	4.4	24.095
4900541	2007-07-08 14:10:42.997	31.052	42.854	4.6	24.512
4900541	2007-07-15 20:16:56.000	30.974	42.928	4.8	24.408
4900541	2007-07-23 02:06:18.000	30.983	42.966	5	25.895
4900541	2007-07-30 08:06:38.001	30.986	42.957	4.7	25.83
4900541	2007-08-06 14:36:12.994	31.021	42.982	4.5	25.345
4900541	2007-08-13 20:29:37.003	31.11	42.954	4.6	25.245
4900541	2007-08-21 02:14:47.001	31.171	42.865	4.9	26.464
4900541	2007-08-28 08:39:26.000	31.087	42.818	4.9	25.919
4900542	2007-06-02 08:48:03.000	36.618	41.61	4.6	20.04
4900542	2007-06-09 11:06:28.000	36.608	41.566	4.8	19.951
4900542	2007-06-16 18:07:00.000	36.711	41.553	4.5	22.215
4900542	2007-07-08 10:50:43.002	36.751	41.512	4.6	23.877
4900542	2007-07-15 18:36:54.998	36.688	41.533	4.3	22.867
4900542	2007-07-22 22:43:57.998	36.83	41.458	4.5	24.818
4900542	2007-07-30 04:19:15.000	36.865	41.4	4.7	26.101

თანამგზავრის საშუალებით ზზტ-ის გაზომვისა და დრიფტერების ზღვის წყლის ტემპერატურის მონაცემები 2007-2009 წწ. ზაფხულის სეზონისათვის მოყვანილია 3.2.3 ცხრილში.

თანამგზავრული ზზტ-ის მონაცემების დაზუსტებისათვის დრიფტერების მიერ ზღვის ტემპერატურის უფრო ზუსტ გაზომვებზე დაყრდნობით შეიძლება იმ დრიფტერების მონაცემები, რომლებსთვისაც ზღვის წყლის ტემპერატურის გაზომვის დროსა და თანამგზავრის სენსორის მიერ დრიფტერის გაზომვის წერტილში ინფრანითელი გამოსხივების რეგისტრირების დროთა შორის სხვაობა 1.5 საათს არ აღემატება.

დრიფტერების მონაცემების რიცხვი, რომლებიც ამ მოთხოვნას აკმაყოფილებენ 2007-2009 წლების ზაფხულის სეზონისათვის 31-ია. მათგან 24 შეესაბამება დღის, ხოლო 7 – ღამის გაზომვებს.

უნდა აღინიშნოს, რომ დრიფტერის რამდენიმე მონაცემს თანამგზავრული შესატყვისი არ მოეძებნა. ასეთი შემთხვევები 3.2.3 ცხრილში „-“-თია აღნიშნული. ეს ის შემთხვევებია, როდესაც თანამგზავრის გაზომვების შედეგებმა ვერ დააკმაყოფილეს ზზტ-ის გამოთვლის მოთხოვნები, კერძოდ, ღრუბლიანობის გამო თანამგზავრული მონაცემების განსაზღვრა შეუძლებელი იყო.

მაშასადამე, დრიფტერის რამდენიმე მონაცემს თანამგზავრული შესატყვისი ვერ მოეძებნა: ა) ღრუბლიანობის გამო და ბ) რადგან, ზემოთაღნიშნული დროითი მოთხოვნის დაცვა შეუძლებელი იყო.

ცხრილის განხილვა გვიჩვენებს, რომ დრიფტერებით ზღვის წყლის ტემპერატურის პროფილის გაზომვის სიღრმე (დაახლოებით 4 მ) შეესაბამება 4-5 დეციბარ წნევას, ამიტომ ზზტ-ის თანამგზავრულ მონაცემებთან შესაჯერებლად ამ მონაცემების ექსტრაპოლაცია არის საჭირო, რაც როგორც აღვნიშნეთ სპეციალური პროგრამის საშუალებით ხდება. ცხრილის მონაცემების მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მოცემული პერიოდისათვის (2007—2009 წწ. ზაფხულის სეზონი) დრიფტერებით გაზომილ ზღვის წყლის ტემპერატურასა და ზზტ-ის თანამგზავრულ მონაცემებს შორის სხვაობა, ორი შემთხვევის გარდა (შესაბამისი მონაცემები ვარსკვლავითაა აღნიშნული), არ აღემატება 3°C, რაც შავი ზღვის თანამგზავრული მონაცემების ხკ/ხშ შემუშავებულ მეთოდოლოგიას (იხ. § 3.1.) სავსებით შეესაბამება.

ცხრილი 3.2.3

დრიფტერით შავი ზღვის წყლის ტემპერატურის გაზომვის და თანამგზავრული მონაცემებით ზზტ გამოთვლის შედეგები (2007-2009 წწ ზაფხულის სეზონი)

დროშტ.	გრძ. (E)	გან. (N)	მწვებ (დეცი ბარი)	ტემპ. (°C)	ზზტ MCSST	ზზტ NLSST	თარიღი	დროშ. კოორდინატების დრო	თანამგზავრული მონაცემების დრო
4900489	39.633	42.224	4.6	17.695	-	-	6/4/2007	8:35	-
4900489	39.687	42.454	4.9	16.985 *	23.282	23.220	6/26/2007	7:54	8:06
4900489	39.425	42.655	4.9	15.947 *	26.462	26.470	7/25/2007	8:11	8:04
4900489	38.676	43.253	4.9	27.003	-	-	8/23/2007	7:14	-
4900489	31.75	43.228	4.9	20.964	22.633	22.482	6/22/2008	7:25	7:28
4900489	30.037	42.737	4.4	24.117	24.437	24.510	7/21/2008	8:49	7:28
4900489	29.182	42.253	4.8	25.802	-	-	8/19/2008	7:32	-
4900540	40.36	42.651	4.6	24.358	-	-	8/23/2007	7:15	-
4900540	31.69	43.211	4.7	18.538	-	-	6/8/2008	8:45	-
4900540	31.441	42.929	4.8	24.17	-	-	7/7/2008	8:55	-
4900541	31.221	42.542	4.8	19.241	18.883	18.929	6/2/2007	8:47	8:15
4900541	31.051	42.803	4.4	24.096	-	-	7/1/2007	7:40	-
4900541	30.986	42.957	4.7	25.83	-	-	7/30/2007	8:06	-
4900541	31.087	42.818	4.9	25.919	-	-	8/28/2007	8:06	-
4900541	35.641	43.408	4.7	19.343	19.541	19.516	6/13/2008	8:30	7:14
4900541	34.998	43.76	4.6	22.887	23.015	22.972	7/12/2008	8:54	7:14
4900541	34.363	43.633	4.7	24.549	24.450	24.448	8/10/2008	7:46	7:57
4900542	36.618	41.61	4.6	20.04	19.592	19.570	6/2/2007	8:48	8:18
4900542	39.394	41.575	4.3	18.271	-	-	6/13/2008	7:11	-
4900542	38.646	41.718	4.6	24.353	22.953	22.638	7/12/2008	7:19	7:14
4900542	38.543	41.621	4.5	25.496	-	-	8/10/2008	7:19	-
4900542	38.65	42.27	4.9	23.853	22.442	22.407	6/25/2009	7:37	7:28
4900542	38.748	42.371	4.6	25.761	25.499	25.456	7/24/2009	8:01	8:03
4900542	38.571	42.486	4.7	23.186	22.731	22.666	8/22/2009	7:18	8:01
4900489	38.921	42.868	4.9	27.005	26.348	26.428	8/8/2007	19:24	18:27
4900540	40.687	42.47	4.7	15.841	-	-	6/11/2007	16:43	-
4900540	40.59	42.415	4.8	19.959	22.680	22.909	7/10/2007	17:13	18:35
4900540	31.288	43.099	4.5	25.155	-	-	7/21/2008	17:12	-
4900542	36.711	41.553	4.5	22.215	23.0875	23.074	6/16/2007	18:07	18:34
4900542	36.688	41.533	4.3	22.867	-	-	7/15/2007	18:36	-
4900542	39.183	41.597	4.6	23.347	23.229	23.190	6/27/2008	19:29	18:47



რეგულარული ბადის კვანძებში შავი ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრისათვის აუცილებელია ბადის კვანძების კოორდინატების განსაზღვრა. ამ მიზნით ვისარგებლეთ LANDSAT-7 თანამგზავრის არქივული მონაცემების საშუალებით შედგენილი შავი ზღვის სანაპირო ზოლის მოზაიკური სურათით (იხ. ნახ. 2.2.4), რომლის სივრცითი გარჩევადობა 30 მ-ს შეადგენს. როგორც აღვნიშნეთ რეგულარული ბადის კვანძებს შორის მანძილი 5 კმ-ია, შესაბამისად, ამ სურათების სივრცითი გარჩევადობა სავსებით საკმარისია. ბადის წერტილების კოორდინატების დადგენისას LANDSAT-ის სურათების გარჩევადობა 100 მ-მდე გავაუარესეთ.

ბადის წერტილების სათავის კოორდინატები წინასწარ იყო განსაზღვრული – აღმოსავლეთ გრძედის  $27^{\circ} 57'$  და ჩრდილოეთ განედის  $40^{\circ} 51'$ . რეგულარული ბადის კვანძებს შორის 5 კმ მანძილი მერიდიანის გასწვრივ 0.045 გრადუსს შეესაბამება, პარალელის გასწვრივ (ქალაქ ფოთის განედზე) – 0.061513 გრადუსს. რეგულარული ბადის კვანძები განლაგებულია 111 მწკრივად და 225 სვეტად, ამასთან შავი ზღვის აკვატორიაზე მათგან მხოლოდ 15874 კვანძი ხვდება. რეგულარული ბადის კვანძების კოორდინატების დადგენის შემდეგ მოვახდინეთ ზზტ-ის თანამგზავრულ მონაცემებზე ბადის ზედდება და კვანძით წერტილებში ტემპერატურის მნიშვნელობების განსაზღვრა.

მაგალითისათვის 3.2.4 ცხრილში მოყვანილია 2007 წლის 24 ივნისს თანამგზავრ MetOp-A-ს AVHRR სენსორის დღის გაზომვის მონაცემების საფუძველზე გამოთვლილი ზზტ-ის მნიშვნელობები რეგულარული ბადის კვანძებში (პირველი 10 კვანძის მონაცემები). ცხრილის პირველ სვეტში მოცემულია კვანძის რიგითი ნომერი, მეორე-მესამე სვეტებში გრძედი და განედი, მეოთხე სვეტში კვანძის პირობითი ნიშანი. პირველი სამი ციფრი აღნიშნავს ბადის კვანძების სტრიქონის ნომერს, მეორე

სამი ციფრი – სვეტის ნომერს (მაგ. 000 ნიშნავს პირველ სვეტს). მეხუთე და მეექვსე სვეტებში მოყვანილია მრავალარხიანი და არანრფივი ალგორითმებით თანამგზავრული ინფორმაციის საფუძველზე გამოთვლილი ზბტ-ის მნიშვნელობები. რეგულარული ბადის კვანძები აითვლება, როგორც მატრიცის ნერტილები, რიგების და სვეტების მიხედვით. შედეგი, რომელიც ფაქტობრივად შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურულ ველს წარმოადგენს, შედგება 15874 კვანძის მონაცემისაგან.

#### ცხრილი 3.2.4.

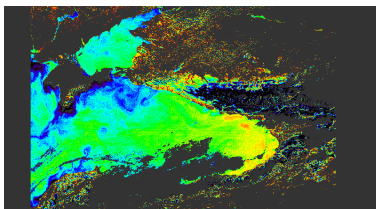
**თანამგზავრ Metop-A-ს AVHRR სენსორის 2007 წლის 24 ივნისის გაზომვის მონაცემების მიხედვით გამოთვლილი ზბტ-ის მნიშვნელობები შავი ზღვის რეგულარული ბადის კვანძებში (პირველი 10 კვანძის მონაცემები).**

No	გრძედი	განედი	ნიშანი	$T_{MCSST}$	$T_{NLSST}$
pin_1	27.95	42.11005	028_000	26.17179	26.19524
pin_2	27.95	42.15506	029_000	25.95029	25.97895
pin_3	27.95	42.20006	030_000	25.95133	25.98001
pin_4	27.95	42.24506	031_000	26.68198	26.70247
pin_5	27.95	42.29006	032_000	26.57939	26.59721
pin_6	27.95	42.33506	033_000	26.39842	26.41909
pin_7	27.95	42.38007	034_000	26.53128	26.55027
pin_8	27.95	42.42507	035_000	26.39944	26.42016
pin_9	27.95	42.47007	036_000	25.94088	25.97
pin_10	27.95	42.51507	037_000	26.25217	26.27485

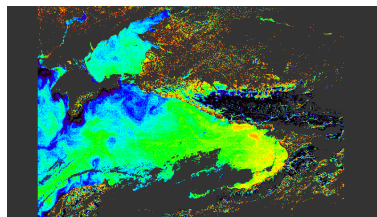
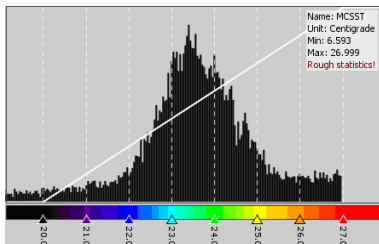
დრიფტერების გამოყენებით შავი ზღვის მთელი ზედაპირის თანამგზავრულ მონაცემთა ხკ/ხშ-ის პროცედურების (ბადური დონე) პრაქტიკული განხორციელების ორი მაგალითი მოყვანილია ნახ. 3.2.5-ზე [35]. სურათზე გამოსახულია შავი ზღვის ზბტ-ის ველები შესაბამისი ჰისტოგრამებით:

- თანამგზავრულ და დრიფტერულ მონაცემებს შორის მცირე სხვაობის მაგალითი: ა – შავი ზღვის ზზტ-ის ველის თანამგზავრული სურათი ხკ/ხშ-ის პროცედურების ჩატარების გარეშე, ბ – შესაბამისი ჰისტოგრამა; გ – შავი ზღვის ზზტ-ის ველის თანამგზავრული სურათი დრიფტერული მონაცემებით ხკ/ხშ-ის პროცედურების ჩატარების შემდეგ, დ – შესაბამისი ჰისტოგრამა. მონაცემები მიღებულია MetOp-A/AVHRR-ის ინფორმაციაზე დაყრდნობით (2008 წლის 12 ივლისი);
- თანამგზავრულ და დრიფტერულ მონაცემებს შორის შედარებით მნიშვნელოვანი სხვაობის მაგალითი: ე – შავი ზღვის ზზტ-ის ველის თანამგზავრული სურათი ხკ/ხშ-ის პროცედურების ჩატარების გარეშე, ვ – შესაბამისი ჰისტოგრამა; ზ – შავი ზღვის ზზტ-ის ველის თანამგზავრული სურათი დრიფტერული მონაცემებით ხკ/ხშ-ის პროცედურების ჩატარების შემდეგ, თ – შესაბამისი ჰისტოგრამა. მონაცემები მიღებულია MetOp-A/AVHRR-ის ინფორმაციაზე დაყრდნობით (2007 წლის 16 ივნისი).

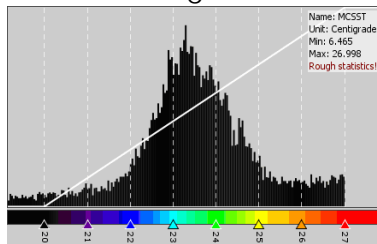
ჰისტოგრამებზე ნათლად ჩანს ერთნაირი ტემპერატურის (შესაბამისი ფერის) მქონე პიქსელების რაოდენობა და ის განსხვავება, რომელიც არსებობს თანამგზავრულ სურათებს შორის ხკ/ხშ-ის პროცედურების ჩატარებამდე და დრიფტერული მონაცემებით თანამგზავრული ინფორმაციის ხკ/ხშ პროცედურების ჩატარების შემდეგ. ასე მაგალითად, 2008 წლის 12 ივლისის თანამგზავრული ტემპერატურული ველის ინფორმაციის შეჯერებამ დრიფტერების მონაცემებთან ცხადყო, რომ სხვაობა შეადგენს  $0.128^{\circ}\text{C}$  -ს, ხოლო 2007 წლის 16 ივნისის ამავე მონაცემების ურთიერთშეჯერებით სხვაობამ შეადგინა  $0.873^{\circ}\text{C}$ .



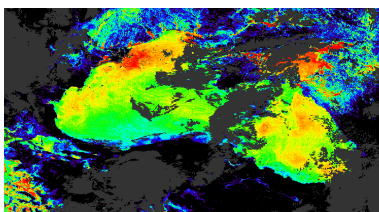
ა



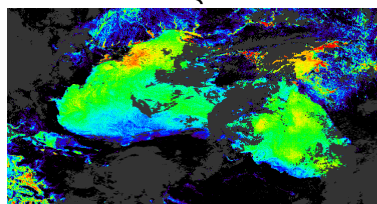
ბ



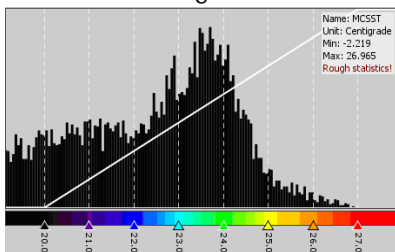
გ



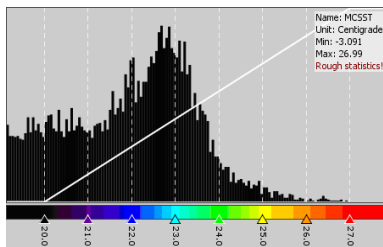
დ



ე



ვ



ჰ

თ

**ნახ. 3.2.5. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული ველის თანამგზავრული სურათები შესაბამისი ჰისტოგრამებით, დრიფტერული მონაცემებით სკ/სმ პროცედურების განხორციელებამდე და განხორციელების შემდეგ.**

დასმული ამოცანის გადანყვეტისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება თანამგზავრული და დრიფტერული გაზომვების სივრცულ და დროით თანხვედრას, აგრეთვე სხვადასხვა ხარვეზების გავლენის გათვალისწინებას.

უნდა აღინიშნოს, რომ შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების ხშ/ხკ პროცედურები დრიფტერების შესაბამისი ინფორმაციის გამოყენებით საკმაოდ ზუსტადაა ფორმულირებული და გადანყვეტილი, რამაც განაპირობა აღნიშნული მონაცემების განსაზღვრა საჭირო სიზუსტით სივრცესა და დროში.

## **თავი 4. შავი ზღვის ზელაპირის ტექნოლოგიის მონაცემთა ბაზა**

### **§ 4.1. თანამგზავრულ მონაცემთა ბაზები**

შავი ზღვის ზზტ-ის რეალური მონაცემების განსაზღვრა მოიცავს ხკ/ხმ პროცედურების განხორციელებას. ზზტ-ის თანამგზავრული ინფორმაცია საჭიროებს გარკვეულ შესწორებებს და შესაბამისი ცდომილებების გამორიცხვას. თანამგზავრულ მონაცემთა ხკ/ხმ პროცედურების პრაქტიკულად განსახორციელებლად გამოყენებულია:

- სხვადასხვა ზოგადი მახასიათებლები;
- პიქსელის დონეზე – საზღვაო მეტეოროლოგიური სადგურები;
- ბადურ დონეზე – დრიფტერები.

ბუნებრივია, რომ ამ სამუშაოს ეფექტურად წარმართვისათვის აუცილებელია შექმნილიყო შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული, ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერების მონაცემთა განახლებადი ბაზები [36, 37].

ზღვის მეტეოროლოგიურ მონაცემთა ბაზის შექმნა არის თანამედროვე საზღვაო ინფორმაციული სისტემებისა და ტექნოლოგიების დარგში მუშაობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულება.

მონაცემთა ბაზა წარმოადგენს ურთიერთდაკავშირებულ მონაცემების ერთობლიობის ინფორმაციულ მოდელს. მონაცემთა ბაზის ორგანიზაცია და ტექნოლოგია დაკავშირებულია მონაცემთა სტრუქტურისებთან და მათ მართვასთან.

ჩატარებული კვლევის ფარგლებში დაიგეგმა თანამგზავრული, ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერების მონაცემთა ბაზების შექმნა, რომელთა საფუძველზე შესაძლებელია შავი ზღვის ზზტ-ის რეალური მონაცემების განსაზღვრა და ამავდროულად მიღებული შედეგების საბოლოო მომხმარებლისათვის მოსახერხებელი ფორმით მიწოდება.

მონაცემთა მართვისათვის აუცილებელია ისეთი სისტემის შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა შევსე-

ბას, ახალი ცხრილების დამატებას, ბაზის სტრუქტურის შეცვლას აუცილებლობის შემთხვევაში, რამდენიმე მონაცემთა ბაზის (ჩვენ შემთხვევაში თანამგზავრულ, ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერების მონაცემთა ბაზების) ერთდროული მუშაობის უზრუნველყოფას.

თანამგზავრული, ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერული მონაცემების ბაზა, აგრეთვე უნდა უზრუნველყოფდეს მონაცემთა ბაზების სხვადასხვა სტანდარტულ ოპერაციებს: მონაცემთა შეტანა-შენახვას, შევსება-განახლებას, ხარისხის შეფასებასა და ხარისხის კონტროლს.

შავი ზღვის ზზტ-ის ველის თანამგზავრულ მონაცემთა განახლებადი ბაზის შესაქმნელად საჭირო იყო თანამგზავრული მონაცემების მიღება-განსაზღვრა. ამისათვის შეიქმნა MetOp-A თანამგზავრი. არქივიდან მიღებულ AVHRR რადიომეტრის 1B საფეხურის ციფრულ ფაილებში მოცემულია AVHRR რადიომეტრის მიერ 6 სპექტრალურ არხში დედამიწის ზედაპირის სკანირების შედეგად ზედაპირიდან არეკვლილი გამოსხივების რეგისტრირებული მონაცემები, აგრეთვე პირველადი დამუშავების შედეგად მიღებული ალბედოს (1, 2, 3A არხები) და სიკაშკაშის ტემპერატურის (3B, 4, 5 არხები) მნიშვნელობები, თანამგზავრული მონაცემების გეოლოკაციის და ღრუბლების საფარის დეტექტირების შედეგები.

თანამგზავრული მონაცემები ჩანერილია ე.წ. სრული გარჩევადობა (FRAC), ლოკალური არეალის დაფარვის (LAC), გლობალური არეალის დაფარვის (GAC) და მაღალი გარჩევადობა (HRPT) ციფრული ფორმატის ფაილების სახით. FRAC ფორმატს იყენებენ მხოლოდ MetOp-A თანამგზავრის მონაცემებისათვის, GAC ფორმატს გლობალური მასშტაბით 1978 წლიდან იყენებენ. LAC და HRPT ფორმატის მონაცემები 1985 წლიდან გამოიყენება. არსებული შეთანხმების თანახმად, HRPT ფორმატის მონაცემებს აშშ-ის ტერიტორიისა და სანაპირო ზოლისათვის იყენებენ, ხოლო LAC ფორმატს კი აშშ-ის ფარგლებს გარეთ ხმელეთის მონაცემების ჩასანერად. FRAC ფორმატი 2006 წლის ოქტომბრის შემდეგ გლო-

ბალური მასშტაბით არის ხელმისაწვდომი. მონაცემთა ბაზის შესაქმნელად გამოვიყენეთ FRAC და GAC ციფრული ფორმატის ფაილები.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, მიღებული თანამგზავრული ფაილების დამუშავება ხდებოდა ევროკავშირის კოსმოსური სააგენტოს პლატფორმა BEAM პროგრამული პაკეტის საშუალებით [25]. ეს პროგრამა სხვადასხვა თანამგზავრის საშუალებით მიღებული დისტანციური ზონდირების მონაცემების ვიზუალიზაციისა და დამუშავების შესაძლებლობას იძლევა. მოცემულ კვლევაში დადგინდა, რომ ამ პროგრამის გამოყენება შავი ზღვის ზზტ-ის მნიშვნელობების გამოსათვლელად მეტად მოხერხებული და ეფექტურია.

BEAM პროგრამული პაკეტი მიღებული მონაცემების სხვადასხვა ციფრული ფაილების რასტრული ფორმატის სახით შენახვის შესაძლებლობას იძლევა. ეს ფორმატებია, როგორც ამ პროგრამული პაკეტისათვის სპეციფიკური BEAM ფორმატი, ასევე ფართოდ გავრცელებული: GeoTiff, NetCDF და HDF-EOS ფორმატები. რასტრულ ფორმატში მონაცემების წარმოდგენა ნიშნავს სივრცული მონაცემების წარმოდგენას ბადის უჯრედების (წერტილების ე.წ. პიქსელების) მასივის სახით, რომლებიც ორგანიზებული არიან სტრიქონებსა და სვეტებში. თვითოეულ უჯრედს გააჩნია ატრიბუტი და ადგილმდებარეობის კოორდინატები. რასტრული კოორდინატები ასახავენ მატრიცის უჯრედების თანმიმდევრობას, განსხვავებით ვექტორული სტრუქტურისაგან, რომლის თითოეული წერტილი ასოცირდება ზუსტ კოორდინატებში ატრიბუტის მნიშვნელობასთან.

თანამგზავრული მონაცემების დამუშავების შედეგების ამ ფორმატის ფაილების სახით შენახვა ფაქტობრივად ციფრულ მონაცემთა ბაზის შექმნის შესაძლებლობას იძლევა.

შავი ზღვის ზზტ-ის მონაცემთა ბაზისათვის შეიქმნა GeoTiff ფორმატი, როგორც ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული რასტრული ფორმატი. ამ ფორმატით ჩანერილი მონაცემების წაკითხვა GIS პროგრამული პაკეტის საშუალებით არის შესაძლებელი. BEAM პროგრამული პაკეტის საშუალებით



ბით შექმნილი GeoTiff ფორმატის ფაილები სამი შრისგან შედგება. ეს შრეებია მრავალარხიანი და არანრფივი ალგორითმებით გამოთვლილი ზზტ-ის მონაცემები და ღრუბლის საფარის მონაცემები. მონაცემთა ბაზა შედგება 2007-2010 წ.წ. ზაფხულის სეზონის ყველა იმ მონაცემისაგან, რომლებმაც შავი ზღვის საქართველოს სანაპიროსათვის თანამგზავრული მონაცემების ხკ/ხშ პროცედურების განხორციელების მეთოდოლოგიით განსაზღვრული პირობები დააკმაყოფილეს. შავი ზღვის საქართველოს აკვატორიისათვის ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის მეთოდოლოგია და შესაბამისი გამოცდილება ჩამოყალიბებულია [23, 28, 35, 38-40]-ში.

#### **§ 4.2. ზღვის მეტეოლოგიურ მონაცემთა და დრიფტერების მონაცემთა ბაზები.**

ქობულეთისა და ფოთის საზღვაო მეტეოსადგურების 2007 - 2010 წლების ზაფხულის თვეების შავი ზღვის ზზტ-ის მონაცემები შეგროვდა ბათუმის ობსერვატორიის მონაცემებზე დაყრდნობით. ბათუმში ფუნქციონირებს მეტეოპოსტი, რომლის მონაცემები დამრგვალებულია 0.5-ის სიზუსტით და სალამოს 21 სთ-ზე არ ხდება დაკვირვება, რაც დასახული ამოცანისთვის გამოუსადეგარია. ბათუმში მოპოვებული მონაცემები დაზუსტდა ქობულეთის და ფოთის საზღვაო მეტეოსადგურების მონაცემებით. შეგროვილი მასალებით შეიქმნა ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემთა ბაზა.

საზღვაო მეტეოროლოგიური სადგურების ზზტ-ის მონაცემები შედარდა MetOp-A თანამგზავრებიდან მიღებულ შესაბამის ინფორმაციას. ზემოთ აღინიშნა, რომ კვლევის შედეგად სხვადასხვა ტიპის პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრებიდან შეიჩრა MetOp-A თანამგზავრი. ეს არჩევანი განპირობებული იყო ერთის მხრივ იმით, რომ MetOp-A თანამგზავრებიდან მიღებული ინფორმაცია NOAA-ს თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკაში გაცილებით უფრო სრულად არის წარმოდგენილი (მაგალითად NOAA-15-19 ტიპის

თანამგზავრების მონაცემებთან შედარებით) და მეორეს მხრივ იმით (რაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია), რომ MetOp-A თანამგზავრის გაზომვების დრო უფრო ახლოს იყო საზღვაო მეტეოსადგურის დღისა და ღამის გაზომვის მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ დადგენილ სტანდარტულ დროის მნიშვნელობებთან. თანამგზავრული და ზღვის მეტეოროლოგიურ მონაცემთა ბაზების ერთდროული მუშაობის უზრუნველყოფის შედეგად დათვლილი იქნა სხვადასხვა სტატისტიკური პარამეტრები (იხ. § 3.1).

2007-2009 წლების ზაფხულის სეზონის დრიფტერული მონაცემების მიხედვით შეიქმნა დრიფტერების მონაცემთა განახლებადი ბაზა.

დრიფტერული მონაცემების მიღების და მათი დამუშავების საკითხები § 3.2-ში დანვრილებით არის განხილული. როგორც აღინიშნა, შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების დაზუსტებისათვის შეირჩა იმ დრიფტერების მონაცემები, რომლებისთვისაც ზღვის წყლის ტემპერატურის გაზომვის დროსა და თანამგზავრის სენსორის მიერ დრიფტერის გაზომვის წერტილში ინფრანითელი გამოსხივების რეგისტრირების დროთა შორის სხვაობა 1.5 საათს არ აღემატებოდა.

დრიფტერის რამდენიმე მონაცემს თანამგზავრული შესატყვისი არ მოეძებნა. ეს ის შემთხვევებია, როდესაც თანამგზავრის გაზომვების შედეგებმა ვერ დააკმაყოფილეს შავი ზღვის ზზტ-ის გამოთვლის მოთხოვნები, კერძოდ, დრიფტერის მიერ ზღვის წყლის ტემპერატურის გაზომვის წერტილებში, გარკვეულ შემთხვევებში, ადგილი ჰქონდა ღრუბლიანობას. შავი ზღვის თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის კონტროლის და შეფასების მეთოდოლოგიის თანახმად ასეთ შემთხვევებში გამოთვლების დროს ხდება ღრუბლებით დაფარული პიქსელების უკუგდება.

ამგვარად, შეიქმნა თანამგზავრული, ზღვის მეტეოროლოგიური სადგურების და დრიფტერული მონაცემების ბაზა, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა ბაზების სხვადასხვა სტანდარტულ ოპერაციებს: მონაცემთა შეტანა-შენახვას, შევსება-განახლებას, ხარისხის შეფასებასა და ხარისხის კონტროლს.

## **თავი 5. კვლევის შედეგების ექსპერიმენტული შემოწმება**

### **§ 5.1. შავი ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზისა და პროგნოზის ოპერატიული სისტემის ფუნქციონირების საფუძველები.**

შავი ზღვის ზზტ-ის მონაცემების განსაზღვრა რთული სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემაა, რომლის გადაჭრა აუცილებელია რამდენიმე მნიშვნელოვანი გამოყენებითი საკითხის გადასაწყვეტად, მათ შორის ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზისა და მისი ევოლუციის ოპერატიული პროგნოზის მეთოდის შესაქმნელად.

ნაშრომის წინა თავებში დაწვრილებითაა განხილული ამ ინფორმაციის განსაზღვრა თანამგზავრული მონიტორინგის საფუძველზე და მისი ხარისხის კონტროლის და ხარისხის შეფასების პრაქტიკული განხორციელება პიქსელისა და ბადურ დონეებზე.

მიღებული ზზტ-ის მონაცემების ხარისხში დასარწმუნებლად ჩატარებულია რიცხვითი ექსპერიმენტები. ამ ექსპერიმენტების არსი მდგომარეობს თანამგზავრული ინფორმაციით განსაზღვრული ზზტ-ის მნიშვნელობების ზღვის მდგომარეობის ზედა სასაზღვრო პირობის სახით გამოყენებაში ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელის პროგნოზულ გათვლებში.

ზღვის მდგომარეობის პროგნოზული სისტემა უნდა ეფუძნებოდეს ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მათემატიკურ მოდელებს, რომლებიც დიდი მიახლოებით აღწერენ გარემოს დამახასიათებელი პარამეტრების სივრცით-დროითი განაწილების ხასიათს. ამავდროულად უნდა იყოს შესაძლებლობა, რომ ზღვის დინამიკის მოდელი იყენებდეს ზღვის რეალურ მონაცემებს.

ამჟამად, საქართველოს გააჩნია საკმარისი მეცნიერულ-ტექნიკური პოტენციალი, რათა თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენებითა და უკვე არსებული შავი ზღვისა და ატმოსფეროს რეგიონალური ჰიდროდინამიკური მოდელების საფუძველზე შემუშავებულ იქნას ტექნოლოგიური სისტემა, რომე-

ლიც უახლოეს მომავალში შავი ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზისა და პროგნოზის ოპერატიული სისტემის ფუნქციონირების საფუძველი გახდება.

აღნიშნული საკითხები თავისთავად უაღრესად რთულ, დამოუკიდებელ სამეცნიერო-პრაქტიკულ პრობლემებს წარმოადგენენ. საქართველოში ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მათემატიკური მოდელები პრაქტიკულად რეალიზებულა, ხოლო ზღვის დინამიკის მოდელის თვლისათვის საჭირო ზღვის ზედაპირის რეალური ტემპერატურული ველის განსაზღვრა დისტანციური ზონდირების საფუძველზე, პრაქტიკულად გადანყდა წინამდებარე სამეცნიერო ნაშრომში.

რეგულარული ბადის კვანძით ნერტილებში (ნახ. 2.1.1) სანყისი ველების განსაზღვრისა და ზოგიერთი თანმდევი ტექნიკური ამოცანის გადანყვეტის შემთხვევაში შესაძლებელი გახდება ოპერატიულ პრაქტიკაში დაინერგოს შავი ზღვის აუზის დინამიკის მათემატიკური მოდელი და ამ მოდელის რეგიონალური ვერსია. შავი ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემა კომპლექსურია. ამ სისტემის შემადგენელი ნაწილია შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელი. ამ მოდელის გამოყენება პროგნოზული მიზნებისათვის მოითხოვს მოდელში შემავალი მთელი რიგი მონაცემების ცოდნას, რომელთა შორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია ზზტ.

## **§ 5.2. შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის რეალური მნიშვნელობების განსაზღვრა.**

შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების განსაზღვრისათვის შეირჩა პერიოდები: 1. 2010 წლის 23 აგვისტო – 28 აგვისტო, 2. 2010 წლის 29 ივნისი – 4 ივლისი, 3. 2009 წლის 22 ივლისი – 27 ივლისი, რადგან ამ პერიოდებში, სხვა დროით ინტერვალებთან შედარებით, შავი ზღვის აკვატორია ღრუბლებით ნაკლებად იყო დაფარული.

ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემების პრაქტიკულად განსაზღვრის ამოცანა განვიხილოთ 2010 წლის 23 აგვისტო – 28 აგვისტოს მაგალითზე. აღნიშნულ პერიოდში თანამგზავრული მონაცემების ციფრული ბიბლიოთეკის ელექტრონული არქივიდან გამოყენებული იქნა MetOp-A თანამგზავრის მონაცემები. მათი საშუალებით აღნიშნული პერიოდის თითოეული დღისათვის განისაზღვრა შავი ზღვის ზედაპირის ორი, დღისა და ღამის ტემპერატურული ველები. საწყის ველებზე რეგულარული ბადის ზედდებით განისაზღვრა ზზტ-ის მნიშვნელობები ბადის თითოეულ წერტილში.

2010 წლის 23 და 24 აგვისტოს შავი ზღვის ზედაპირის რეგულარული ბადის კვანძით წერტილებში ზზტ-ის დღისა და ღამის მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის MetOp-A თანამგზავრის მონაცემების ორი ფაილი აღმოჩნდა საკმარისი. აღნიშნული პერიოდის დანარჩენი დღეებისათვის (2010 წ. 25-28 აგვისტო) – სამი ფაილის გამოყენებაა საჭირო, რადგან ამ დღეებში თანამგზავრის რადიომეტრის ხედვის არეში შავი ზღვა მხოლოდ ნაწილობრივ მოხვდა. ბუნებრივია, რომ შავი ზღვის ზედაპირის სრული, თუ არასრული დაფარვის შემთხვევებში ზზტ-ის განსაზღვრისათვის გამოიყენება მოცემულ სამუშაოში ადრე განვითარებული მეთოდოლოგია.

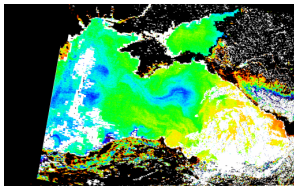
შავი ზღვის ზედაპირის არასრული თანამგზავრული სურათის მიღების შემთხვევაში მონაცემების დამუშავებისას ამა თუ იმ ობიექტის ფრაგმენტული სურათების საშუალებით სრული სურათის მიღებისათვის სურათების მონტაჟს მიმართავენ, ანუ ადგენენ მოზაიკურ სურათს. მოზაიკური სურათის შედგენა, როგორც წესი, გულისხმობს თანამგზავრული მონაცემების გეოლოკაცციას, რაც ამა თუ იმ კარტოგრაფიული პროექციის შესაბამის დამახინჯებასთან არის დაკავშირებული.

AVHRR სენსორის ხედვის არეში შავი ზღვის ზედაპირის ნაწილობრივ მოხვედრის შემთხვევაში, აღნიშნული დამახინჯების თავიდან აცილების მიზნით, ხდება ზზტ-ის მონაცემების გამოთვლა, შემდეგ ტემპერატურულ ველზე ბადის წერტილების ზედდება და ბოლოს, მიღებული მონაცემების გაერ-

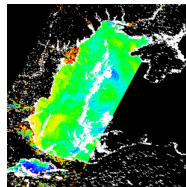
თანება – მათი გადაფარვის არეში ერთი და იგივე კოორდინატის მქონე წერტილებში ზზტ-ის მნიშვნელობების გასაშუალების გზით.

ცხადია, AVHRR სენსორის ხედვის ზონაში შავი ზღვის ზედაპირის სრულად მოხვედრის შემთხვევაში შავი ზღვის ზზტ-ის სრული ველის გამოსათვლელად თანამგზავრული მონაცემების ერთი ფაილია საკმარისი და რეგულარული ბადის ზედდებით სანყისი მონაცემების მიღება ზღვის სრული ზედაპირისთვისაა შესაძლებელი.

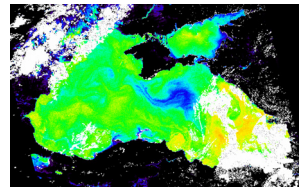
სურათზე (ნახ. 5.2.1) წარმოდგენილია თანამგზავრ MetOp-A -დან 2010 წ. 25 აგვისტოს მიღებული მონაცემების დამუშავების შედეგად მიღებული შავი ზღვის ტემპერატურული ველები. სურათზე თბილისის დროა მითითებული. მოყვანილ შემთხვევაში შავი ზღვის ზზტ-ის მნიშვნელობები ბადის წერტილებში მოიხსნა 25.08.2010 07:51-ზე და იმავე დღის 09:44-ზე. გადაფარვის არეში მიღებული შედეგების დამუშავება ჩატარდა მონაცემთა გასაშუალების გზით. თეთრი ფერით ნაჩვენებია ღრუბლების საფარი.



ა. 07:51 სთ



ბ. 09:44 სთ



გ. 18:15 სთ

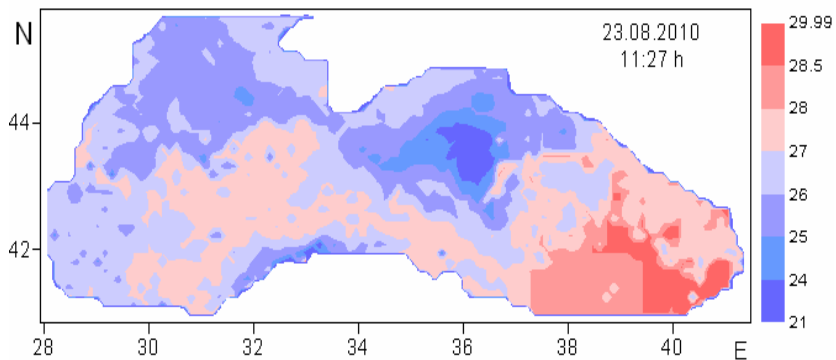
**ნახ. 5.2.1. MetOp-A თანამგზავრის რადიომეტრის ხედვის არეში შავი ზღვის არასრული (ა, ბ) და სრული (გ) დაფარვის მაგალითები. 25.08.2010 წ.**

რეგულარული ბადის ზომებია 111X225, ანუ ბადის წერტილების მთლიანი რაოდენობაა 24975. მათგან შავი ზღვის ზედაპირზე მოხვდა 15874 წერტილი. ბადის თითოეული წერტილის შესაბამის პიქსელს ზზტ-ის გარკვეული მნიშვნელობა შეესაბამება.

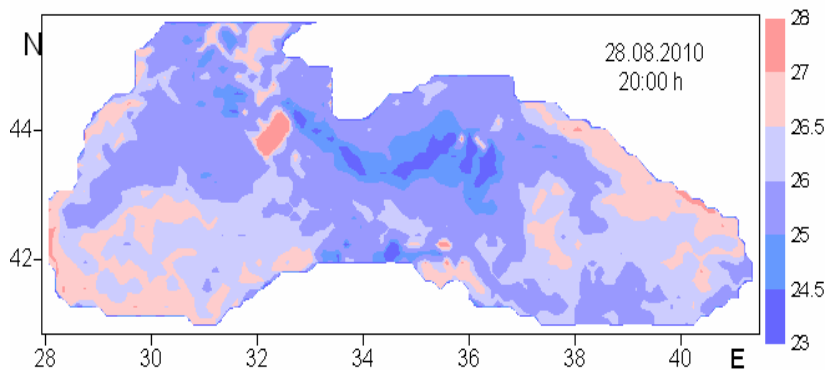
ღრუბლით დაფარულ არეში თანამგზავრული მონაცემებით ზზტ-ის მნიშვნელობების გამოთვლა შეუძლებელია, ამიტომ ბადის ამ წერტილებში ზზტ-ის მნიშვნელობების მისაღებად დისტანციური ზონდირებისა და სხვადასხვა სადამკვირვებლო ობიექტების: ზღვისპირა სადამკვირვებლო სადგურების, პლატფორმების, ცალკეული გემების, სტაციონარული ტივტივებისა და დრიფტერების (in-situ) გაზომვების მონაცემების საფუძველზე შედგენილი ზზტ-ის საშუალო კლიმატოლოგიური მონაცემებია [34] გამოყენებული. აღნიშნულ პერიოდში (2010 წლის 23-28 აგვისტო) ღრუბლიანობა 30%-ს არ აღემატებოდა, გარდა 26 აგვისტოსი, როდესაც თანამგზავრის მიერ გრინვიჩის დროით 09:00 სთ-ზე მიღებულ მონაცემებში ღრუბლიანობამ 70%-ს მიაღწია.

ნახ. 5.2.2-ზე, როგორც მაგალითი, ნაჩვენებია თანამგზავრული დაკვირვების საფუძველზე განსაზღვრული ზზტ-ის ველის სურათები დროის სანყის და საბოლოო მომენტებში (2010 წლის 23 და 28 აგვისტო). ციფრული სახით მოცემული ტემპერატურული ველების ვიზუალიზაცია ჩატარდა პროგრამული სისტემა Surfer-ის საშუალებით. მოყვანილ ნახატზე კარგად ჩანს შავი ზღვისთვის დამახასიათებელი ზზტ-ის განაწილების თავისებურებანი, კერძოდ ის, რომ უმეტეს შემთხვევაში შავი ზღვა ყველაზე მეტად თბება უკიდურეს აღმოსავლეთ ნაწილში, ხოლო ჩრდილო-დასავლეთი ნაწილი ხასიათდება შედარებით ცივი წყლებით.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე გამოთვლილი შავი ზღვის ზზტ-ის ველების მოდელში გამოყენებამდე, მოხდა მათი შემოწმება შემთხვევითი შეცდომების გამოვლენისა და კორექტირების მიზნით. ამისათვის შემუშავდა სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფა, რომლის საშუალებით ხდებოდა ბადის იმ კვანძების გამოვლენა, რომლებშიც დაიკვირვება ტემპერატურის არარეალური მნიშვნელობები, ანუ ჩატარდა ბადურ ღონეზე ხარისხის კონტროლი და ხარისხის შეფასება.



ა



ბ

**ნახ. 5.2.2. თანამგზავრული დაკვირვების საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურული ველები დაკვირვების სანყისი და საბოლოო მომენტისათვის.**

**§ 5.3. მოდელური გათვლები თანამგზავრულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით**

უაღრესად მნიშვნელოვანია დისტანციური ზონდირების საფუძველზე მიღებული შავი ზღვის ზბტ-ის რეალური მნიშ-



ვნელობების გამოყენების შესაძლებლობებში დარწმუნება და მიღებული შედეგების ხარისხის შეფასება. ამ მიზნით ჩატარებულია სპეციალური რიცხვითი ექსპერიმენტები შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელის გამოყენებით. ეს მოდელური ექსპერიმენტები ატარებენ მეთოდოლოგიურ ხასიათს და მათში განვითარებული ზღვის მდგომარეობის წინასწარმეტყველება არ წარმოადგენს ზღვის რეალურ ოპერატიულ პროგნოზს. ეს განპირობებულია იმ ფაქტით, რომ მოცემულ ეტაპზე ბოლომდე არაა ჩამოყალიბებული რეალური პროგნოზის გათვლისათვის საჭირო მოდელში შემავალი ყველა აუცილებელი ფაქტიური მონაცემის მიღების შესაძლებლობა.

შავი ზღვის მდგომარეობის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემა კომპლექსურია. ამ სისტემის შემადგენელი ნაწილია შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელი. ამ მოდელის გამოყენება პროგნოზული მიზნებისათვის მოითხოვს მოდელში შემავალი მთელი რიგი მონაცემების ცოდნას, რომელთა შორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია ზზტ-ის თანამგზავრული მონაცემები. პროგნოზული გათვლებისათვის გამოყენებულია მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტში შემუშავებული შავი ზღვის დინამიკის ბაროკლინური პროგნოსტიკული მოდელი, რომელიც დაფუძნებულია ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის სრულ განტოლებათა სისტემაზე ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში. ამ მოდელში გათვალისწინებულია შემდეგი ფაქტორები:

- ატმოსფეროს ქარისმიერი და თერმოხალინური ზემოქმედება;
- მზის მოკლევადლოვანი რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენის მიერ;
- წყლის მასების გაცვლა ხმელთაშუა ზღვასთან ბოსფორის სრუტის მეშვეობით;
- მდ. დუნაის ჩამონადენი;
- ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების ცვალებ-

- დობა დროსა და სივრცეში;
- ზღვის კონფიგურაცია და ფსკერის რელიეფი.

მოდელის გამოყენება ზღვის მდგომარეობის პროგნოზული გათვლებისათვის რამდენიმე დღის წინასწარობით, გარდა ზღვის ზედაპირის რეალური ტემპერატურისა, დაკავშირებულია მეტეოროლოგიური ველების პროგნოზთან (ატმოსფერული ნალექები, აორთქლების ინტენსიურობა, სითბოს ნაკადები, ქარი). ზღვის მდგომარეობის პროგნოზს წინ უნდა უსწრებდეს მეტეოელემენტების პროგნოზი ზღვის ზედაპირის ზემოთ, რაც შესაძლებელი მხოლოდ ატმოსფეროს ჰიდროდინამიკური მოდელის გამოყენებით.

ზღვის პროგნოზის გათვლებისათვის ძალზედ მნიშვნელოვანია ასევე ზღვის სანყისი მდგომარეობა, რომელიც გამოიყენება სანყისი პირობების სახით მოდელის განტოლებებისათვის. ატმოსფეროსაგან განსხვავებით, მსოფლიო ოკეანეში (მათ შორის შავ ზღვაში) დროში რეგულარულ დაკვირვებათა სისტემა არ არსებობს. ზღვის სანყისი მდგომარეობის განსაზღვრა, ე. ი. ამ მდგომარეობის დამახასიათებელი პარამეტრების – ქარის სიჩქარის, ტემპერატურის, მარილიანობის სამგანზომილებიანი სანყისი ველების აღდგენა ზღვის აუზში საჭირო სიზუსტით მეტად მნიშვნელოვანი ამოცანაა. თუ ამ პარამეტრების აღმწერი რეალური სამგანზომილებიანი სანყისი ველები ხელმისაწვდომი არაა, მაშინ გამოყენებულია ის ფაქტი, რომ ზღვაში განვითარებული დინამიკური პროცესები არსებითადაა დამოკიდებული გარეშე ფაქტორებზე, კერძოდ, ატმოსფერული პროცესების ზემოქმედებაზე. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ განტოლებათა ინტეგრირების პროცესში სანყისი პირობების გავლენა თანდათან სუსტდება და გარკვეული დროის შემდეგ ჰიდროფიზიკური ველების სივრცით-დროითი განაწილება პრაქტიკულად განისაზღვრება ატმოსფერული ზემოქმედებით.

მოდელის განტოლებათა ინტეგრირების მთელი დროითი ინტერვალი შეიძლება დაიყოს შემდეგ ეტაპებად:

1. მოდელური კლიმატური ჰიდროფიზიკური ველების

- მიღება;
2. ადაპტაციის ეტაპი;
  3. საკუთრივ პროგნოზული ინტერვალი.

პირველ ეტაპზე ხდება მოდელის განტოლებათა ინტეგრირება ნულოვანი საწყისი პირობებით და ზღვის ზედაპირზე ცნობილი კლიმატური მონაცემების გამოყენებით (სასაზღვრო პირობა). განტოლებათა ინტეგრირება ხდება კვაზისტაციონარულ კლიმატურ რეჟიმზე გასვლამდე. ამ გზით გამოთვლილი ჰიდროფიზიკური ველები (დინებები, ტემპერატურა, მარილიანობა) გამოიყენება, როგორც საწყისი პირობები ადაპტაციის ეტაპისათვის. მაშასადამე, ადაპტაციის ეტაპზე მოდელის განტოლებათა ინტეგრირება ხდება უკვე არა ნულოვანი საწყისი პირობებით, არამედ მოდელური კლიმატური მდგომარეობიდან, რომელიც წინასწარ მიღებულია იმავე დინამიკის მოდელით კლიმატური შემავალი მონაცემების გამოყენებით.

ადაპტაციის ეტაპზე საწყისი პირობების გავლენა თანდათან სუსტდება და ამონახსნი პრაქტიკულად განისაზღვრება ატმოსფერული ზემოქმედებით. მაშასადამე, ადაპტაციის ეტაპზე მიმდინარეობს ზღვის მდგომარეობის მიახლოება ზღვის რეალურ, საწყის რეჟიმთან. წინასწარი შეფასებების თანახმად ადაპტაციის ეტაპი შეიძლება მოიცავდეს დროით ინტერვალს რამდენიმე დღის ხანგრძლივობით. ამ დროითი ინტერვალის განმავლობაში შავი ზღვის ზზტ ცნობილია და იგი გამოიყენება, როგორც რეალური სასაზღვრო პირობა ზღვის ზედაპირზე. გარდა ამისა, მოითხოვება მეტეოროლოგიური ველების ცოდნა ზღვის ზედაპირის ზემოთ (ქარი, ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება).

ადაპტაციის ეტაპზე გამოთვლილი დინების, წყლის ტემპერატურისა და მარილიანობის სამგანზომილებიანი ველები გამოიყენება შავი ზღვის საწყისი მდგომარეობის დასახასიათებლად პროგნოზულ ინტერვალში. ამ ინტერვალშიც აუცილებელია გვექნდეს მეტეოროლოგიური პარამეტრების პროგნოზული მნიშვნელობები ზღვის აუზის ზემოთ, რომლებიც ასევე გამოითვლება ატმოსფეროს დინამიკის მოდელის სა-

ფუძველზე.

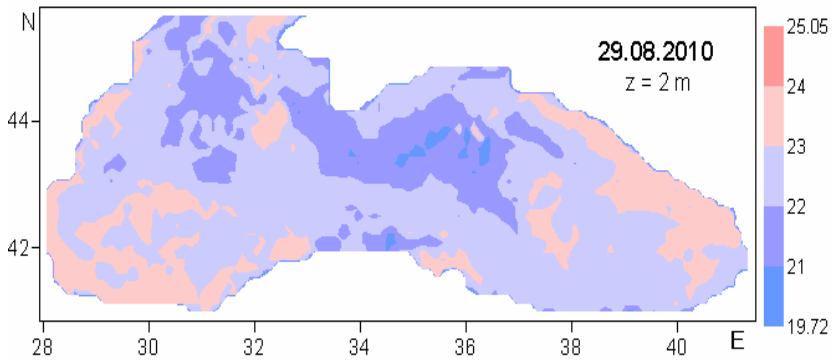
ჩატარდა გამოთვლითი ექსპერიმენტები, სადაც ზემოთაღნიშნული პერიოდებისათვის ზზტ-ის რეალური ველებია გამოყენებული. მაგალითისათვის განვიხილოთ პირველი პერიოდისათვის განხორციელებული ექსპერიმენტი, რადგან დანარჩენი ორი მისი ანალოგიურია. მიღებული შედეგების შეფასება განხილული და მოყვანილი იქნება სამივე მათგანისათვის.

ზემოთაღნიშნული მოდელის განტოლებათა სისტემა იხსნება გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდით, რის უფლებასაც მახასიათებელი ფიზიკური პროცესები იძლევა [41]. ვერტიკალზე აღებულია 32 სათვლელი დონე არათანაბარი ვერტიკალური ბიჯებით. ბადის ბიჯი 5 კმ-ია, ხოლო დროითი ბიჯი 1 სთ-ს შეადგენს.

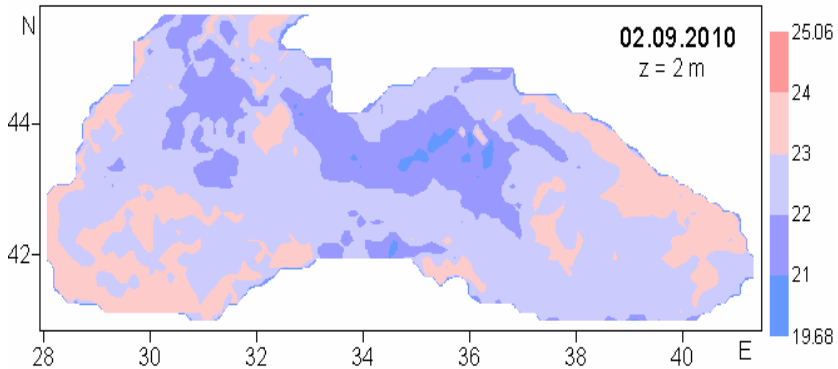
ადაპტაციის ეტაპის დასაწყისად მიღებულია 2010 წლის 23 აგვისტოს 12:00 სთ. რადგანაც არ იყო შესაძლებლობა ზედა სასაზღვრო პირობებად გამოგვეყენებინა რეალური მეტეოროლოგიური ველები, ამიტომ აღებულია ქარის ხახუნის ტანგენციალური დაძაბულობისა და ზღვის ზედაპირის მარილიანობის კლიმატური ველები ზაფხულის სეზონისათვის. თანამგზავრული გაზომვების საფუძველზე განსაზღვრული ზზტ-ის რეალური მნიშვნელობები გამოიყენება, როგორც ზედა სასაზღვრო პირობა ადაპტაციის ეტაპზე. მოდელის განტოლებათა ინტეგრირება ხდებოდა 10 მოდელური დღის ხანგრძლივობით 2010 წლის 2 სექტემბრის 12:00 სთ-მდე. რადგანაც მოდელში გამოყენებული ზზტ-ის რეალური მნიშვნელობები მოიცავდა პერიოდს თვლის დაწყებიდან 28 აგვისტოს 20:00 სთ-მდე, ამიტომ ამ მომენტიდან დაწყებული გამოთვლითი ექსპერიმენტის დასრულებამდე, ე. ი. 2 სექტემბრის 12 სთ-მდე, შავი ზღვის ზზტ აღარ იცვლებოდა და იგივე იყო რაც 28 აგვისტოს 20:00 საათისათვის. ზემოთ აღნიშნულ პროგნოსტიკულ ინტერვალად პირობითად მიღებულია დროითი ინტერვალი ამ მომენტიდან 2 სექტემბრის 12:00 სთ-დე.

ნახ. 5.3.1-ზე მაგალითისათვის მოყვანილია შავი ზღვის პროგნოზული ტემპერატურული ველები გამოთვლილი 2 მ სიღრმეზე (ესაა მოდელის უახლოესი სათვლელი დონე ზღვის

ზედაპირიდან) 2010 წლის 29 აგვისტოსათვის და 2 სექტემბრისათვის.



ა



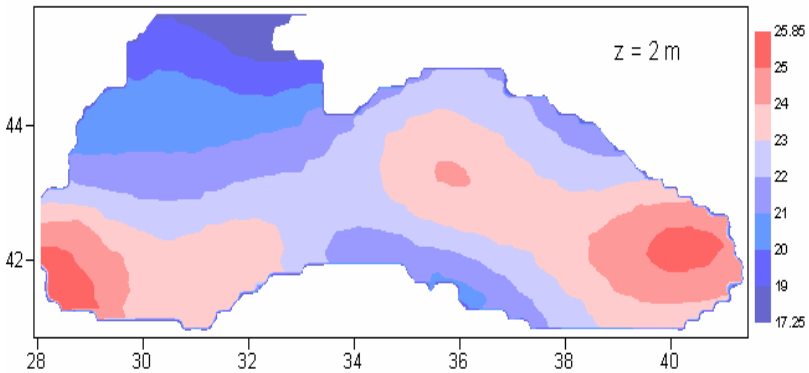
ბ

**ნახ. 5.3.1. მოდელის საფუძველზე გამოთვლილი შავი ზღვის პროგნოზული ტემპერატურული ველები 2 მ სიღრმეზე 2010 წლის 29 აგვისტოსათვის (ა) და 2010 წლის 2 სექტემბრისათვის (ბ).**

საჭიროა ამ პროგნოსტიკული მნიშვნელობების ინტერპოლაცია ზღვის ზედაპირზე, რათა შედარდეს ზზტ-ის რეალურ მნიშვნელობებს და შეფასდეს პროგნოზის გამართლება.

ზემოთ აღინიშნა, რომ შავი ზღვისათვის ტემპერატურული ველის სივრცითი განაწილების საშუალო ვერტიკალური გრაფიკითაა  $1^{\circ}\text{C}/1\text{მ-ზე}$ . ამდენად 2 მ სიღრმიდან ზღვის ზედაპირზე გადასასვლელად ანუ იმისათვის, რომ შავი ზღვის რომელიმე წერტილში (კვანძში) თანამგზავრული მონაცემებით განსაზღვრული ზბტ-ის მნიშვნელობა შედარდეს მოდელით იმავე წერტილში ტემპერატურის პროგნოსტიკულ მნიშვნელობას, საჭიროა ამ უკანასკნელს დაემატოს დონეების გამათანაბრებელი სიდიდე  $2^{\circ}\text{C}$ .

ნახ. 5.3.2-ზე გამოსახულია შავი ზღვის ტემპერატურის მოდელური კლიმატური ველი 2 მ სიღრმეზე, რომელიც გამოიყენება როგორც საწყისი პირობა ადაპტაციის ეტაპისთვის, იმ შემთხვევაში თუ არ არსებობს ზბტ-ის რეალური მნიშვნელობები.



**ნახ. 5.3.2. შავი ზღვის ტემპერატურის მოდელური კლიმატური ველი (ზაფხულის სეზონი) 2 მ სიღრმეზე.**

სურათებს წარმოდგენილს ნახ. 5.3.1-ზე, თუ შევადარებთ კლიმატური ტემპერატურული ველის სურათს იგივე ჰორიზონტზე (ნახ. 5.3.2), შეიძლება დავასკვნათ, რომ ზღვის ზედაპირზე რეალური თანამგზავრული ტემპერატურების მოცემა (კლიმატურის ნაცვლად) მნიშვნელოვნად ცვლის ზღვის ტემპერატურულ პროგნოზულ მნიშვნელობებს და მკვეთრად

განასხვავებს მას კლიმატური ტემპერატურული მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრული პროგნოზული მნიშვნელობებისაგან. მიღებული შედეგები მეტყველებს, რომ თანამგზავრული ინფორმაციის საფუძველზე მიღებული ზზტ-ის რეალური მნიშვნელობების გათვალისწინება აუცილებელია შავი ზღვის აუზის დინამიკის დიაგნოზისა და პროგნოზისათვის.

#### **§ 5.4 მიღებული შედეგების რაოდენობრივი შეფასება.**

ზღვის დინამიკის მოდელის საშუალებით გამოთვლილი პროგნოზული ტემპერატურული ველის რეალურთან მიახლოების ხარისხის შეფასების მიზნით სამივე ექსპერიმენტისათვის (ინტეგრების პერიოდი: 1. 2010 წლის 23 აგვისტო – 2 სექტემბერი, 2. 2010 წლის 29 ივნისი – 9 ივლისი, 3. 2009 წლის 22 ივლისი – 1 აგვისტო) ჩატარდა გამოთვლილი შავი ზღვის ტემპერატურის რიცხვითი სიდიდეების შედარება იმავე დღის შესაბამის ზზტ-ის რეალურ მნიშვნელობებთან, რომელიც მიღებული იქნა თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ შედარება ხდებოდა სათვლელი ბადის იმ კვანძებისათვის, სადაც შესაძლებელი იყო ზზტ-ის განსაზღვრა თანამგზავრული მონაცემებით. რადგანაც შედარება ხდებოდა 2 მ სიღრმეზე გამოთვლილ ტემპერატურულ ველთან, ამიტომ ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის მნიშვნელობებს თითოეულ კვანძში აკლდება ზაფხულის სეზონისათვის ზღვის ტემპერატურის საშუალო ვერტიკალური გრადიენტი ( $1^{\circ}\text{C} / 1\text{მ}$ ) ანუ 2 მ სიღრმისათვის  $2^{\circ}\text{C}$ . მთლიანად ბადის კვანძების რაოდენობა, რომლითაც დაფარულია შავი ზღვის ზედაპირი, არის 15874.

პირველი ექსპერიმენტში, 2010 წლის 2 სექტემბრისათვის გამოთვლილი შავი ზღვის ტემპერატურული ველის შედარება მოხდა იმავე დღის შესაბამის ზღვის ზედაპირის რეალურ ტემპერატურულ ველთან, რომელიც მიღებული იქნა თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად. სათვლელი ბადის იმ კვანძების რაოდენობა სადაც შესაძლებელი იყო ზზტ-ის განსაზღვრა 6504-ია. ამგვარად, აღნიშნულ დღეს ღრუბლები-

საგან თავისუფალი იყო შავი ზღვის ტერიტორიის დაახლოებით 41%.

რაოდენობრივი შეფასების მიზნით გამოითვალა საშუალო კვადრატული გადახრა შემდეგი ფორმულის საშუალებით:

$$\delta = \sqrt{\sum (D_{ij} - M_{ij})^2 / N}, \quad (5.4.1)$$

სადაც  $D_{ij}$  არის დაკვირვების შედეგად მიღებული შავი ზღვის ზზტ-ის მნიშვნელობა ბადის (i j) კვანძში,  $M_{ij}$  არის მოდელის საფუძველზე გათვლილი შავი ზღვის ზზტ-ის პროგნოზირებული მნიშვნელობა ბადის (ij) კვანძში.  $N$  არის ბადის იმ კვანძების რაოდენობა, რომლებიც ღრუბლებით არ არიან დაფარული. შეფასებული იქნა აგრეთვე მაქსიმალური და მინიმალური აბსოლუტური ცდომილებები:

$$\varepsilon_{\max} = \max |(D_{ij} - M_{ij})|, \quad (5.4.2)$$

$$\varepsilon_{\min} = \min |(D_{ij} - M_{ij})|. \quad (5.4.3)$$

გამოთვლების შედეგად მივიღეთ, რომ პირველი ექსპერიმენტისათვის:

- საშუალო კვადრატული გადახრა  $\delta_1 = 1.4055$ ;
- მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\varepsilon_{\max 1} = 4.11$ ;
- მინიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\varepsilon_{\min 1} = 0.0010$ .

ანალოგიური შეფასებები ჩატარდა ზაფხულის კლიმატური ტემპერატურული ველის მიმართაც. შეფასებებმა აჩვენა რომ საშუალო კვადრატული გადახრა, მაქსიმალური და მინიმალური აბსოლუტური ცდომილების მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია:  $\delta_1^* = 1.9336$ ,  $\varepsilon_{\max 1}^* = 7.053$ ,  $\varepsilon_{\min 1}^* = 0.021$ .

მეორე ექსპერიმენტში, 2010 წლის 8 ივლისისათვის ზზტ-ის გამოთვლილი მნიშვნელობები შედარდა ამავე დღის თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად მიღებულ შესაბამის ზზტ-ის რეალურ მნიშვნელობებს. სათვლელი ბადის იმ კვანძების რაოდენობა, სადაც შესაძლებელია ზზტ-ის განსაზღვრა



არის 8540. ამგვარად, აღნიშნულ დღეს ღრუბლებისაგან თავისუფალია შავი ზღვის ტერიტორიის დაახლოებით 54%.

გამოთვლების შედეგად მივიღეთ, რომ მეორე ექსპერიმენტისათვის საშუალო კვადრატული გადახრა, მაქსიმალური და მინიმალური აბსოლუტური ცდომილება შესაბამისად შეადგენს:  $\delta_2 = 1.653$ ,  $\epsilon_{\max 2} = 5.2$ ,  $\epsilon_{\min 2} = 0.021$ .

ჩატარებულმა შეფასებებმა ზაფხულის კლიმატური ტემპერატურული ველის მიმართ აჩვენა რომ ამ შემთხვევაში:

- საშუალო კვადრატული გადახრა  $\delta_2^* = 2.182$ ;
- მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\epsilon_{\max 2}^* = 6.3$ ;
- მინიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\epsilon_{\min 2}^* = 0.051$ .

მესამე ექსპერიმენტის დროს ზღვის დინამიკის მოდელის საშუალებით გამოთვლილი ზზტ-ის პროგნოზული ველის რეალურთან მიახლოების ხარისხის შეფასების მიზნით ჩატარდა 2009 წლის 29 ივლისისათვის გამოთვლილი ზზტ-ის მნიშვნელობები შედარება ამავე დღის შესაბამის ზზტ-ის რეალურ მნიშვნელობებთან, რომელიც მიღებული იქნა თანამგზავრული დაკვირვებების შედეგად. სათვლელი ბადის იმ კვანძების რაოდენობა, სადაც შესაძლებელი იყო ზზტ-ის აღდგენა თანამგზავრული მონაცემებით იყო 9225. ამგვარად, აღნიშნულ დღეს ღრუბლებისაგან თავისუფალი იყო შავი ზღვის ტერიტორიის დაახლოებით 58%.

მოცემულ შემთხვევაშიც გამოთვლილი იქნა საშუალო კვადრატული გადახრა და მაქსიმალური და მინიმალური აბსოლუტური გადახრები. მივიღეთ, რომ

- საშუალო კვადრატული გადახრა  $\delta_3 = 1,586$ ;
- მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\epsilon_{\max 3} = 5,43$ ;
- მინიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\epsilon_{\min 3} = 0,016$ .

ანალოგიური შეფასებები ჩატარდა ზაფხულის კლიმატური ტემპერატურული ველის მიმართაც. შეფასებებმა აჩვენა რომ ამ შემთხვევაში:

- საშუალო კვადრატული გადახრა  $\delta_3^* = 2,117$
- მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება  $\epsilon_{\max 3}^* = 6,15$
- მინიმალური აბსოლუტური გადახრა  $\epsilon_{\min 3}^* = 0,042$

შავი ზღვის დაკვირვებული და კლიმატური მნიშვნელობებით გამოთვლილი პროგნოზების ურთიერთშედარება სამივე ექსპერიმენტისათვის აჩვენებს, რომ:

- კლიმატური ველებით გათვლილი პროგნოზის საშუალო კვადრატული გადახრა შესამჩნევად (მინიმუმ 30%-ით) მეტია ზზტ-ის დაკვირვებული მნიშვნელობებით დათვლილ საშუალო კვადრატულ გადახრაზე;
- კლიმატური ველებით გათვლილი პროგნოზის მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება მეტია ზზტ-ის დაკვირვებული მნიშვნელობებით დათვლილ მაქსიმალური აბსოლუტურ გადახრაზე;
- კლიმატური ველებით გათვლილი პროგნოზის მინიმალური აბსოლუტური ცდომილება შესამჩნევად მეტია ზზტ-ის დაკვირვებული მნიშვნელობებით დათვლილ მინიმალურ აბსოლუტურ გადახრაზე.

ამრიგად ერთმნიშვნელოვნად შეიძლება დავასკვნათ, რომ შავი ზღვის ზზტ-ის კლიმატური მონაცემებით გათვლილი პროგნოზის ხარისხი გაცილებით უარესია, ვიდრე დისტანციური ზონდირების საფუძველზე მიღებული ზზტ-ის რეალური მნიშვნელობებით დათვლილი პროგნოზისა.

მიღებული შედეგები კიდევ ერთხელ მეტყველებს, რომ თანამგზავრული ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზზტ-ის პროგნოზული მნიშვნელობები დიდ მიახლოებაშია ფაქტიურთან.

## დასკვნა

შავი ზღვის ზზტ-ის განსაზღვრა აუცილებელია სხვადასხვა მნიშვნელოვანი პრობლემის გადასაწყვეტად. თვითონ ზზტ-ის მონაცემების მიღება რთულია, რადგან ზღვებსა და ოკეანეებში სტაციონალური სადამკვირვებლო მოწყობილობის განლაგება ეკონომიკურად ძვირია და ასეთი რეგულარული ქსელი ფაქტიურად არ არსებობს.

დედამინის ხელოვნური თანამგზავრების შექმნასთან ერთად მოინახა პრობლემის გადაწყვეტის გზები. შეიქმნა გარკვეული ინფრასტრუქტურა, კერძოდ ამერიკული და ევროპული თანამგზავრების სახით.

თანამგზავრების მწყობრში შესვლამ თავის მხრივ ბიძგი მისცა ოკეანეებსა და ზღვებში პლატფორმების, სტაციონალური და მოდრეიფე ტივტივების განლაგებას, რადგანაც ერთის მხრივ მათგან ინფორმაციის შეგროვება თანამგზავრების საშუალებით იოლია და მეორეს მხრივ უშუალოდ მიღებულ ზუსტ ინფორმაციას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია. თუმცა ეს სადამკვირვებლო საშუალებები, ზღვისპირა სადამკვირვებლო სადგურების და ცალკეული გემების ჩათვლით, ზზტ-ის რეპრეზენტატული ველის მოცემას ვერ უზრუნველყოფენ, რადგან მათ ამისათვის მნიშვნელოვანი სივრცითი წყვეტა გააჩნიათ.

შავი ზღვის ზზტ-ის დაკვირვებისათვის ყველაზე ეფექტური საშუალებაა დისტანციურ ზონდირება დედამინის ხელოვნური თანამგზავრების გამოყენებით. შეიქმნა იმ თანამგზავრების ტიპები, რომლებიც დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად ეფექტურია და მოსახერხებელი.

დედამინის ზედაპირთან შედარებით ყველაზე ახლოს მყოფი თანამგზავრი რამდენიმე ასეული კილომეტრითაა დაშორებული სადამკვირვებლო ობიექტს, რის გამოც ბუნებრივია, ზზტ-ის გამოსათვლელად რამდენიმე ტექნიკური და პრინციპული ხელშემშლელი გარემოება არსებობს. ეს პრობლემები დღის წესრიგში მწვავედ აყენებს თანამგზავრიდან მი-

ღებულის მონაცემების გამოყენების და ამ ინფორმაციის ხარისხის უზრუნველყოფის საკითხებს.

კვლევაში ეს საკითხები საკმაოდ ზუსტი ფორმულირებითაა გადანყვეტილი. შავი ზღვის ზზტ-ის თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის კონტროლის და ხარისხის შეფასებისათვის შექმნილია მეთოდოლოგია, როგორც პიქსელის ასევე ბადურ დონეზე, გადალახულია სხვადასხვა ტექნიკური ხასიათის პრობლემა.

მოცემულმა კვლევამ ბუნებრივად განაპირობა მონაცემთა ბაზების შექმნა და როგორც შედეგი, მიღებულია შავი ზღვის ზზტ-ის რეალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ფორმატში.

თანამგზავრული ინფორმაციის ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლის პროცედურების წარმატებული რეალიზაციის მიუხედავად მნიშვნელოვანი იყო ზზტ-ის გამოთვლილი და რეალური მნიშვნელობების შესაბამისობის რაოდენობრივი მახასიათებლების დადგენა.

ამავდროულად მნიშვნელოვანია მომავლისთვის შეფასდეს შავი ზღვის მდგომარეობის ოპერატიული რიცხვითი პროგნოზების სრულყოფა ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის რეალური მონაცემების გამოყენებით.

ჩატარდა სპეციალური რიცხვითი ექსპერიმენტები მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში შემუშავებული შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკური მოდელის გამოყენებით. ზღვის პროგნოზის გათვლებისათვის თანამგზავრული მონაცემებით განსაზღვრული ზზტ გამოიყენება, როგორც რეალური სასაზღვრო პირობა ზღვის ზედაპირზე.

თანამგზავრული მონაცემებით განსაზღვრული ზზტ-ის მნიშვნელობები გამოიყენება აგრეთვე, ზღვის დინამიკის მოდელის საშუალებით გამოთვლილი პროგნოზული ტემპერატურული ველის რეალურთან მიახლოების ხარისხის შესაფასებლად.

ოპერატიულ პრაქტიკაში საყოველთაოდ მიღებული სტატისტიკური მახასიათებლების გამოყენებით დადგინდა, რომ:

- თანამგზავრული ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრული შავი ზღვის ზზტ-ის მონაცემების გამოყენება მოდელურ ექსპერიმენტებში მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს შავი ზღვის მდგომარეობის პროგნოზს.
- ნაშრომში განვითარებული მეთოდოლოგია ეფექტურია დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად – შავი ზღვის ზედაპირის რეალური ტემპერატურული მონაცემების განსაზღვრისათვის.

მონოგრაფიაში შესულია “შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის” სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტის №GNSF/St08/5-432 „თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენების სისტემის შექმნა საქართველოში საზღვაო გადაზიდვებისა და ზღვის ეკოლოგიური უსაფრთხოებისათვის“ ფარგლებში (წამყვანი ორგანიზაცია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თანამონაწილე ორგანიზაცია ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტი) და ავტორების მიერ ბოლო წლებში შესრულებულ სამეცნიერო ნაშრომებში მიღებული შედეგები.

ავტორები მადლობას უხდებიან ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს დემურ დემეტრაშვილს კვლევის შედეგების ექსპერიმენტულ შემოწმებაში განეული დახმარებისათვის და უკრაინის მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს, აკადემიკოსს გენადი კოროტაევის და მის თანამშრომლებს თანამგზავრული და დრიფტერების მონაცემების დამუშავების საკითხებში განეული კონსულტაციებისათვის.

## ლიტერატურა –REFERENSIS —ЛИТЕРАТУРА

1. Charney J.G., R.G. Fleagle, V.E.Lally, H.Riehl and D.K. Wark, 1966: The feasibility of a global observation and analysis experiment. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 47, 200-220.
2. WMO/ICSU, 1978: Report of the Fifth Session of the WMO Executive Committee Intergovernmental Panel on the First GARP Global Experiment, Geneva, December 1977. GPS No. 26, WMO/ICSU, Geneva, Switzerland.
3. Демьшев С.Г., Коротаев Г.К., 1996: Численное моделирование сезонного хода синоптической изменчивости в Чёрном море. Изв. РАН, Физика атм. и океана, Т. 32, №1, с.108-116.
4. Oguz T., Mallanotte-Rizzoli P., Aubrey D., 1995: Wind and thermohaline circulation of the Black Sea driven by yearly mean climatological forcing. Journ. Geophys. Research, V.100, № C4, p. 6845-6863.
5. Kordzadze A., Demetrashvili D., 2003: Numerical modeling of inner-annual variability of the hydrological regime of the Black Sea with taking into account 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 Climpse into the future”. Kiev /Ukraine, Oct. 27-30.
6. Ратнер Ю.Б., Соловьев Д.М., Калинин Е.И., 2004: Сопоставление величин поверхностной температуры Черного моря, по данным аппаратуры NOAA AVHRR-3 и SVP-дрифтеров в марте-августе 2003 г. Сборник научных трудов. Дистанционное зондирование морских экосистем. Вып. 11. Морской гидрофизический институт. Севастополь, с.155-173.
7. Pison V., B. Nechad, 2005: Towards an assimilation of MODIS-derived Sea Surface Temperature (SST) by Optos\_nos model. Proceedings of the Fourth International Conference on EuroGOOS. pp154-159.
8. Nirupama, P. Simonovic, 2002: Role of Remote Sensing in Disaster management. Institute for Catastrophic Loss Reduction. The University of Western Ontario. ICLR Research, Paper Series - № 21.
9. კორძაძე გიორგი, ლარისა შენგელია, გენადი თვაური, მარიკა ტატიშვილი, ირინე მკურნალიძე, 2008: საქართველოს ტერიტორიაზე ჰიდრომეტეოროლოგიური კატასტროფების ადრეუ-

ლი შეტყობინებისათვის თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. №115, გვ. 255-265.

10. Pichel W., E. Maturi, P. Clemente-Colon and J. Sapper, 2001: Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coefficients for NOAA-15 AVHRR/3. X.Li, Int.J. Remote Sensing, vol.22, no 4, p.699-704.
11. Sea surface temperatures derived from NOAA satellite data. <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/podug/index.htm>.
12. Stephen Chriswell, Basil Stanton, 1992: Comparison of AVHRR measurements of sea surface temperature with surface observations around New Zealand. New Zealand J. of Marine and Freshwater Research, vol. 26: p. 303-309.
13. Monaldo F., 1997: Primer on the Estimation of Sea Surface Temperature Using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite data, version 2.0 SIR-96-03. The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory: 1-21. [http://sd-www.jhuapl.edu/fermi/avhrr/primer/primer\\_html.html](http://sd-www.jhuapl.edu/fermi/avhrr/primer/primer_html.html).
14. McClain, E. P., W. G. Pichel and C. C. Walton, 1985: Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperature, J. Geophys. Res., 90, 11587-11601.
15. Bernstein, R. L., 1982: Sea surface temperature estimation using the NOAA-6 advanced very high resolution radiometer, J. Geophys. Res., 87, 9455- 9465.
16. Goodrum G., Kidwell K., Wayne W., 2000: NOAA KLM users's guide, Satellite and data description of NOAA's Polar-orbiting satellites from NOAA-15 and later. <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm> .
17. Walton C.C., 1988: Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data. J. of Appl. Meteorology, 27, 115-124.
18. NESDIS SST Equations. COAST WATCH REGION SST VALIDATION. <http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/sst/cwIntroduction.html> .
19. SST Equations. [www.neodaas.ac.uk/faq/sst\\_equations](http://www.neodaas.ac.uk/faq/sst_equations).
20. Comprehensive Large Array-data Stewardship system. <http://www.class.noaa.gov/> .
21. EUMETSAT Archive Service. [http://www.eumetsat.int/HOME/Main/Access\\_to\\_Data/Archive\\_Service/index.htm](http://www.eumetsat.int/HOME/Main/Access_to_Data/Archive_Service/index.htm).

22. AVHRR Level 1b Product Guide.  
<http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/eps-pg/AVHRR/AVHRR-PG-4ProdOverview.htm>.
23. Kordzakhia George, Larisa Shengelia, Genadi Tvauri, Irine Mkurnalidze, 2010: Receiving and Processing of the Black Sea Surface Temperature Satellite Data for Georgian Water Area. Bulletin of Georgian National Academy of Sciences, vol. 4, №3, pp. 54-57. <http://www.science.org.ge/>.
24. Prasanjit Dash, Aleksander Ignatov, John Sapper, Yury Kihai, Alexander Frolov, Dilkushi de Alvis, 2007: Development of a global QC/QA processor for operational NOAA 16-18 and METOP AVHRR SST products. Joint 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference and the 15th Satellite Meteorology & Oceanography Conference of the American Meteorological Society, Amsterdam, the Netherlands, 24-28 September 2007.
25. BEAM, Earth Observation Toolbox and Development Platform, <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam>.
26. Landsat ETM <http://glsfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.
27. Global Land Cover Facility (GLSF)  
<http://glsf.umiacs.umd.edu/index.shtml>.
28. შენგელია ლარისა, გიორგი კორძახია, გენადი თვაური, მარიკა ტატიშვილი, ირინე მკურნალიძე, 2009: დისტანციური ზონდირების გამოყენებით საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის კონტურის დადგენა ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის შეფასებისა და კონტროლისათვის. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 114, გვ. 171-176. <http://www.ecohydmnet.ge/>.
29. ARGO, <http://www.argo.ucsd.edu/index.html>.
30. Schlitzer, R., 2010: Ocean Data View, <http://odv.awi.de>.
31. GODAE [http://www.usgodae.org/cgi-bin/argo\\_select.pl](http://www.usgodae.org/cgi-bin/argo_select.pl).
32. Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994: Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. J. Climate, 7, 929-948.
33. Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. J. Climate, 15, 1609-1625.
34. Global Land Cover Facility (GLSF)  
<http://glsf.umiacs.umd.edu/index.shtml>.



35. შენგელია ლ., გ. კორძახია, გ. თვაური, 2010: თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის მეთოდოლოგიური საფუძვლები. თბილისი: ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, №10-12, გვ. 30-35.
36. Суворов А.М., Халиулин А.Х., Ингеров А.В., 2002: Програмное обеспечение базы океонологических данных МГИ НАНУ. Система контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: - Севастополь, с. 181-184.
37. План и программа осуществления ОГСОС на 1996-2003гг, 1996: МОК Техническая серия 43, Юнеско.
38. Shengelia Larisa, George Kordzakhia, Genadi Tvauri, Marika Tatishvili, Irine Mkurnalidze, 2009: Peculiarities of the Use of Satellite Information for Early Warning of Natural Meteorological and Hydrological Disasters in Georgia. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 3, №1, 79-83.
39. კორძახია გ.ი., შენგელია ლ.დ., თვაური გ.ა., მკურნალიძე ი.პ., 2010: ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრა თანამგზავრული მონიტორინგის საფუძველზე. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მასალები, 10-12 ნოემბერი 2010 წ. გვ. 65-66.
40. Шенгелия Л.Д., Кордзахия Г.И., Тваури Г.А., 2011: Методические основы определения температуры поверхности Черного моря с использованием спутниковых данных. Санкт-Петербург: Ежегодная Международная научно-практическая конференция LXIV Герценовские чтения «География: проблемы науки и образования», посвященная памяти Анатолия Михайловича Алпатьева 21 – 23 апреля 2011 года, с. 154-156.
41. Марчук Г. И., 1974: Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: “Гидрометеиздат”, 303 с.

**გიორგი კორძახია, ლარისა შენგელია, გენადი  
თვაური**

**თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება  
შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის გან-  
საზღვრისათვის**

**GEORGE KORDZAKHIA, LARISA SHENGELIA,  
GENADI TVAURI**

**THE USE OF SATELITE INFORMATION  
FOR THE BLACK SEA SURFACE TEMPERATURE  
DETERMINATION**

**ГЕОРГИЙ КОРДЗАХИЯ, ЛАРИСА ШЕНГЕЛИЯ,  
ГЕНАДИЙ ТВАУРИ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ  
ЧЕРНОГО МОРЯ**



გამომცემლობა „უნივერსალი“

თბილისი, 0179, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19, ☎: 22 36 09, 8(99) 17 22 30  
E-mail: [universal@internet.ge](mailto:universal@internet.ge)