

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

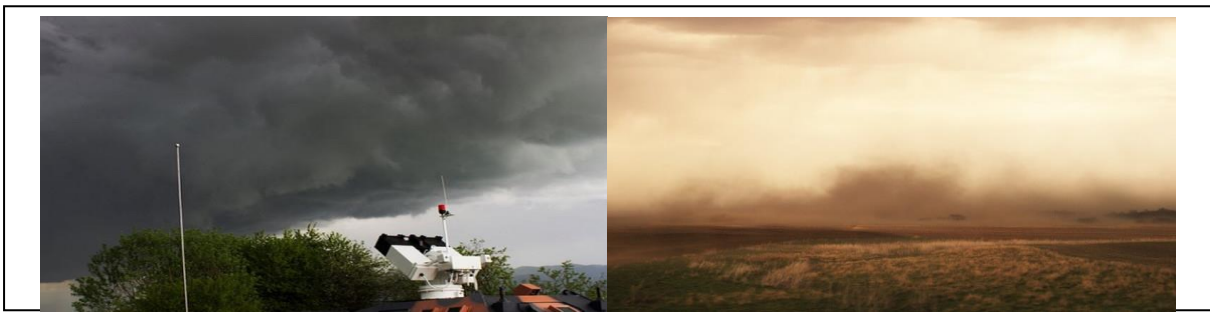
შიშრი № IHM-19-42- GTU-CD-5702

“ გ ა მ ტ კ ი ც ე ბ ”

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის

დირექტორი თ.ცინცაძე

“ 25 “ დეკემბერი 2019 წ.



**აღმოსავლეთ საქართველოს აჭტიური ზემოქმედების რეგიონების  
ეკონისტიმეგში მიიგე ლითონების ფონური კონცენტრაციების  
ბანსაზღვრა და ურბანიზაციის ცენტრებში ეკოლოგიური  
მდგომარეობის შეფასება რიცხვითი მოდელირებითა და ნატურული  
დაკვირვების საშუალებით**  
(დასკვნითი ანგარიში)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის  
სამეცნიერო საბჭოს თავჯდომარე

გიორგი მელაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის  
ბუნებრივი გარემოს გაჭუჭყიანების მონიტორინგის  
და პროგნოზირების განყოფილების გამგე

ლიანა ინწკირველი

პროექტის ხელმძღვანელები: ბუნებრივი გარემოს  
გაჭუჭყიანების მონიტორინგის და პროგნოზირების  
განყოფილების მთავარი მეცნიერი თანამშრომელები

ლიანა ინწკირველი  
ალექსანდრე სურმავა

თბილისი  
2 0 1 9

## ანგარიშის რეზიუმე

### აღმოსავლეთ საქართველოს აქტიური ზემოქმედების რეგიონების ეკოსისტემებში მძიმე ლითონების ფონური კონცენტრაციების განსაზღვრა და ურბანიზაციის ცენტრებში ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება რიცხვითი მოდელირებითა და ნატურული დაკვირვების საშუალებით

თემის პროგრამით გათვალისწინებული ყველა სამუშაო შესრულებულია.

ანგარიშში აღმოსავლეთ საქართველოში სექციის ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოების განახლებასთან დაკავშირებით შესწავლილია ამ რეგიონის ნიადაგებსა და ზედაპირულ წყლებში ზოგიერთი მძიმე ლითონის (Cu, Pb, Ag) შემცველობები. დადგენილია, რომ მძიმე ლითონების შემცველობა წყალსაცავების წყლებში ნორმის ფარგლებშია და დაბინძურებას ადგილი არ აქვს. ნიადაგებში სპილენძის და ტყვიის შემცველობები ზედა 0-10 სმ-იან ნიადაგის ფენაში გაცილებით მაღალია ქვედა-10-20 სმ ფენასთან შედარებით და ხშირად აღემატება კლარკის შესაბამის მნიშვნელობებს. ვერცხლის შემცველობა კი დაბალია და მერყეობს მეთაფი და მეთაფი მგ/კგ ფარგლებში.

დამუშავებულია აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში ატმოსფერული პროცესების ევოლუციისა და მტვრის გავრცელების მათემატიკური მოდელი. განხილულია 4 მეტეოროლოგიური სიტუაცია: ფონური სტაციონალური აღმოსავლეთის, დასავლეთის, ჩრდილოეთისა და სამხრეთის ქარების შემთხვევები. დადგენილია, რომ მტვერი კონცენტრირებულია უშუალოდ დაბინძურების პუნქტის მიდამოებში.

ქალაქებიდან ატმოსფეროში მოხვედრილი მტვრის სივრცულ განაწილებაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს ჰაერის დინებისა და ტურბულენტობის დროში ცვლილება. ჰაერში მტვერი ვრცელდება რეგიონის დიდ ნაწილზე. მიუხედავად ამისა, 0.1 საშუალო დღეღამური ზღკ-ზე მეტი კონცენტრაცია მიიღება მხოლოდ ქქ. თბილისისა და რუსთავის უშუალო სიახლოვეს. მტვრის გავრცელების ვერტიკალური არე შემოსაზღვრულია ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენით, მის ზევით თავისუფალ ატმოსფეროში დამტვერიალება მიღებულია ცალკეული ლაქების სახით.

## Report Summary

### **Determination of background concentrations of heavy metals in ecosystems and estimation the ecological state in the urbanization centers using numerical modeling and natural observations in the regions of active impacts of East Georgia**

All activities envisaged by the program was performed.

Report reveals in connection with the resumption of work of active exposure to hail clouds in Eastern Georgia the content of some heavy metals (Cu, Pb, Ag) in the soils and surface waters of this region was studied. It was established that the content of heavy metals in the waters of water bodies is within normal limits. The content of copper and lead in soils is much higher in the 0-10 cm layer than in the 10-20 cm and often exceeds the value of the corresponding clarke. Silver content is low and it ranges between tenth and hundredths (mg/kg).

A mathematical model of the evolution of atmospheric processes and the spread of dust is processed in the central part of Eastern Georgia. Four meteorological situations are discussed: background stationary east, west, north and south winds cases. It was found that dust is concentrated in the area of the contamination point itself.

The spatial distribution of urban dust in the atmosphere is influenced to a certain extent by the change in time of air flows and turbulence. In the air, dust spreads over a large part of the region. Nevertheless, dust concentrations of more than 0.1 of the MPC were obtained only in the vicinity of the cities - Tbilisi and Rustavi. The vertical area of dust distribution is limited by the boundary layer of the atmosphere, above it in the free atmosphere dust content is obtained only in the form of individual spots.

## Резюме отчета

### **Определение фоновых концентраций тяжелых металлов в экосистемах районов активных воздействий и оценка экологического состояния в центрах урбанизации путем численного моделирования и натурных наблюдений**

Все работы, предусмотренные программой темы, выполнены в полном объеме.

В научном отчете в связи с возобновлением работ активных воздействий на градовые облака в Восточной Грузии, изучено содержание некоторых тяжелых металлов (Cu, Pb, Ag) в почвах и поверхностных водах этого региона. Установлено, что содержание тяжелых металлов в водах водоемов находится в пределах нормы. Содержание меди и свинца в 0-10 см слое почвы значительно выше, чем в 10-20 см-ом, и часто превышает значение соответствующего кларка. Содержание серебра незначительно и колеблется в пределах десятичной и сотовой доли мг / кг.

Разработана математическая модель эволюции атмосферных процессов и распространения пыли в центральной части Восточной Грузии. Рассмотрены 4 метеорологические ситуации: случаи фоновых стационарных восточных, западных, северных и южных ветров. Выяснилось, что пыль сконцентрирована непосредственно в области источника загрязнения. Пространственное распределение городской пыли в атмосфере в определенной степени зависит от изменения во времени воздушных потоков и турбулентности. В воздухе пыль распространяется на большую часть региона. Несмотря на это, концентрации пыли более 0,1 ПДК были получены только в окрестностях городов Тбилиси и Рустави. Вертикальная область распространения пыли ограничена пограничным слоем атмосферы, над ним в свободной атмосфере запыленность наблюдается только в виде отдельных пятен.

## ეფერატი

ანგარიში შეიცავს: 105 გვერდს, 30 ცხრილს, 79 ნახაზს, 80 ლიტერატურულ წყაროს.

**საკვანძო სიტყვები:** ფონური კონცენტრაცია, მძიმე ლითონები, ნიადაგები, ზედაპირული წყლები, რიცხვითი ინტეგრირება, სინოპტიკური სიტუაცია, მტვერი, ადვექტიური და ადვექციური გადატანა.

კახეთის რეგიონში სექციის ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოების განახლებასთან დაკავშირებით გარემოს ობიექტებში (ნიადაგი, ზედაპირული წყლები) განსაზღვრულია მძიმე მეტალების და ზოგიერთი დამაბინძურებელი ინგრედიენტის კონცენტრაციები. დადგენილია, რომ გრუნტის წყლები ხასიათდება მაღალი მინერალიზაციით. აღინიშნება მთავარი იონების მაღალი შემცველობა. ხელოვნურ წყალსაცავებში კი მხოლოდ ამონიუმის იონის შემცველობა აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას; მიკრობიოლოგიური თვალსაზრისით სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი დაბინძურებულია E-coli-ით. მძიმე ლითონების (Cu, Pb, Ag) კონცენტრაცია კი უმნიშვნელოა და მხოლოდ ზოგჯერ აღწევს ან მცირედ აღემატება შესაბამისი ზღვას მნიშვნელობას. განსაკუთრებით დაბალია ვერცხლის იონის შემცველობა, როგორც ზედაპირულ წყლებში, ასევე ნიადაგში.

მოდელირებული და შესწავლილია შიდა და ქვემო ქართლის, სამცხე-ჯავახეთის და მცხეთა-მთიანეთის რეგიონებში ატმოსფერული პროცესების განვითარება და ქალაქებში არსებული მტვრიანობის გავრცელება ზაფხულის სეზონში. განხილულია 4 მეტეოროლოგიური სიტუაცია: ფონური სტაციონალური დასავლეთის, აღმოსავლეთის, ჩრდილოეთის და სამხრეთის ქარების შემთხვევები. მოდელირებისას დაშვებულია, რომ ქალაქების ტერიტორიაზე 2 მეტრის სიმაღლეზე კონცენტრაციის მნიშვნელობები მუდმივია და სიდიდით ტოლია საშუალო წლიური მნიშვნელობის. დადგენილია, რომ მტვერი კონცენტრირდება უშუალოდ დაბინძურების პუნქტის მიდამოებში და დასახლებული პუნქტიდან პორიზონტალური მიმართულებით; ჰაერში მტვერი ვრცელდება რეგიონის დიდ ნაწილზე, დაბინძურების პუნქტიდან 2 - 4 კმ მანძილზე მისი კონცენტრაცია დაახლოებით 10 ჯერ მცირდება, ხოლო უფრო დაშორებით 20 - 30 კმ მანძილზე კონცენტრაცია დაახლოებით  $10^2$  -  $10^3$  ჯერ არის შემცირებული. მიუხედავად ამისა 0.1 ზღვ-ზე მეტი კონცენტრაცია მიღებულია მხოლოდ ქქ. თბილისისა და რუსთავის სიახლოვეს. ჩატარებულმა კვლევებმა პასუხი გასცა აღმოსავლეთ საქართველოს მეტეოროლოგიის მრავალ საკითხს. ამასთან წამოაჩინა საკითხები, რომლებიც მოითხოვენ შედგომ დაზუსტებასა და გაუმჯობესობას.

**შემსრულებელთა სია**

პასუხისმგებელი შემსრულებელი:	სახელი, გვარი	ხელისმოწერა
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ფიზ.მათ. მეცნიერებათა დოქტორი	ალექსანდრე სურმავა	
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ქიმიის აკადემიური დოქტორი	ნუგზარ ბუაჩიძე	
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, სოფ/მეურნ აკადემიური დოქტორი	ლალი შავლიაშვილი	
შემსრულებლები:		
1	მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი	ნათელა ძევისაშვილი
2	უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი	ნაზიბროლა ბეგლარაშვილი
3	უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი	მარიამ ტაბატაძე
4	მეცნიერი თანამშრომელი, ქიმიის აკადემიური დოქტორი	გულჩინა კუჭავა
5	მეცნიერი თანამშრომელი, ფიზ.მათ. აკად. დოქტორი	გიორგი კორძაია
6	მეცნიერი თანამშრომელი	ეკატერინე შუბლაძე
7	მეცნიერი თანამშრომელი	სოფიო მდივანი
8	მეცნიერი თანამშრომელი, გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი	მანანა კაიშაური
9	მეცნიერი თანამშრომელი, ქიმიის აკადემიური დოქტორი	ნათია გიგაური
10	წამყვანი ინჟინერი	მერაბ ხატიაშვილი
11	წამყვანი ინჟინერი	ანა გიორგიშვილი

**შინაარსი**

<b>1</b>	<b>თავი I. შესავალი</b>	<b>7</b>
1.1.	აღმოსავლეთ საქართველოს დრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების რეგიონში სექციის კლიმატური მახასიათებლების კვლევა	7
1.2	აღმოსავლეთ საქართველოში ჩატარებული სექციის საწინააღმდეგო სამუშაოების მოკლე დახასიათება	17
<b>2</b>	<b>თავი II. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების რეგიონების ზედაპირულ წყლებსა და ნიადაგებში მიწვე ლითონების შემცველობის შეფასება</b>	<b>19</b>
2.1	აღმოსავლეთსაქართველოსდრუბლებზეაქტიურიზემოქმედებისრეგიონებისჰიდროლოგიურიქსელისადანიადაგებისმოკლედახასიათება	19
2.2	ქიმიური ანალიზის შედეგები	21
<b>3</b>	<b>თავი III. ქართლის, მცხეთა-მთიანეთის, სამცხე-ჯავახეთის კლიმატისა და ატმოსფეროს დაბინძურების შესწავლის რიცხვითი მონაცემების მოკლედ დახასიათება</b>	<b>43</b>
3.1	რეგიონის გეოგრაფიული დახასიათება	43
3.2	რეგიონის კლიმატის მოკლე დახასიათება	45
3.3	რეგიონალური და ლოკალური ატმოსფერული და ეკოლოგიური პროცესების რიცხვითი მონაცემების მოკლე დახასიათება	47
3.4	საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების მათემატიკური მოდელი	51
<b>4</b>	<b>თავი IV. შიდა და გარე ქართლის, მცხეთა-მთიანეთის და სამცხე-ჯავახეთი სრებიონებში მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების და დამტკიცების მონაცემების შედეგები</b>	<b>62</b>
4.1	ჰიდროტერმოდინამიკური ველების და მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური აღმოსავლეთის ქარის დროს	62
4.2	ჰიდროტერმოდინამიკური ველების და ურბანული მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური დასავლეთის ქარის დროს	73
4.3	ჰიდროტერმოდინამიკური ველების და ურბანული მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური სამხრეთის ქარის დროს	85
4.4	ჰიდროტერმოდინამიკური ველების და ურბანული მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური ჩრდილოეთის ქარის დროს	91
<b>დასკვნა</b>		<b>99</b>
<b>ლიტერატურა (პირველი, მეორე, მესამე და მეოთხე თავები)</b>		<b>101</b>

## თაზო I. შესავალი

ეკოლოგიურ პრობლემებთან ერთად დღეს მეურნე ადამიანს უაღრესად დიდ ზიანს აყენებს სტიქიური მოვლენები, რომელთაგან სეტყვა ერთ-ერთი ყველაზე ვერავი მტერია საქართველოს სოფლის მეურნეობისათვის. 25-წლიანი იძულებითი შესვენების შემდეგ 2015 წლის გაზაფხულიდან საქართველოში ამუშავდა ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამსახური, რომელსაც ამჟამად სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკური ცენტრი “დელტა” ხელმძღვანელობს. მოქმედების პრინციპია სეტყვის ღრუბლებზე სარაკეტო სისტემით ზემოქმედება. რაკეტებში განთავსებულია რეაგენტი ვერცხლის იოდით, რომლის გაფრქვევა სტარტიდან მე-7 წმ-ზე იწყება. სტარტიდან 41-ე წმ-ზე კი რაკეტა თვითლიკვიდაციას განიცდის. ბუნებრივია, ისმის კითხვა: რამდენად საშიშია ადამიანის ჯანმრთელობისა და გარემოსათვის რაკეტიდან გაფრქვეული რეაგენტი? ან რამდენად აუცილებელია ამ სამსახურის ამოქმედება. სწორედ ამ პრობლემას, კონკრეტულად კი აღმოსავლეთ საქართველოს ეკოსისტემებში (ნიადაგი, ზედაპირული წყლები) მძიმე ლითონების კონცენტრაციების განსაზღვრას ეხება წარმოდგენილი სამეცნიერო პროექტი. კვლევა დაწყებულია 2014 წლიდან. წინამდებარე ანგარიში წარმოადგენს ამ კვლევების მე-2 ნაწილს (პირველი ნაწილი დასრულდა 2016 წელს). მიღებული შედეგები შეიძლება ჩაითვალოს აღმოსავლეთ საქართველო რეგიონის ეკოსისტემებში (ნიადაგი, წყალი) მძიმე ლითონების ფონურ კონცენტრაციებად.

ცნობილია, რომ ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესები განაპირობებენ წარმოქმნილი შეწონილი ნაწილაკებისა და მტვრის გავრცელების არეალს, რაც უდაოდ დიდ როლს ასრულებს დამაჭუჭყიანებელ ნივთიერებათა გადატანა - დაღეკვის პროცესში. ამ კუთხით სტუჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში ჩატარებულია კვლევები, რომლებშიც კავკასიაში ატმოსფერული პოცესის განვითარების რეგიონალური მოდელის გამოყენებით და პასიური მინარევის გადატანა - დიფუზიის არასტაციონალური სამგანზომილებიანი განტოლების რიცხვითი ინტეგრირებით, შესწავლილია კახეთის (2014-2016) და შიდა ქართლის (2017-2019) ტერიტორიებზე მტვრის გავრცელება ოთხი ძირითადი სინოპტიკური სიტუაციისა და დაბინძურების სტაციონალური წყაროების შემთხვევებში. ჩატარებულია რიცხვითი ექსპერიმენტები. ექსპერიმენტების მიზანი იყო შესწავლილ რეგიონებში გამოკვლეულიყო ბეტა- და გამა - მეზომასტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების ჰიდროთერმოდინამიკური თავისებურებები და კინემატიკით გამოწვეული ქალაქებში გაბნეული მტვრის კონცენტრაციის სურათები.

ჩატარებულმა კვლევებმა პასუხი გასცა შესწავლილი რეგიონების მეტეოროლოგიის მრავალ საკითხს და წარმოაჩინა საკითხები, რომლებიც მოითხოვენ შემდგომ დაზუსტებასა და გაუმჯობესებას.

### 1.1 აღმოსავლეთ საქართველოს ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების რეგიონებში სეტყვის კლიმატური მახასიათებლების კვლევა

საქართველოს მოსახლეობას სეტყვიანობა ოდითგანვე დიდ ზიანს აყენებდა და ბუნებრივია, რომ ამ საკითხის კვლევას დიდი ხნის ისტორია აქვს. შესაბამისად, მრავალრიცხოვანია ამ პრობლემისადმი მიძღვნილი ლიტერატურაც. ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევები ფართო სპექტრს მოიცავს, როგორცაა: სეტყვიანობის კლიმატოლოგია, სეტყვის ჩამოყალიბების მექანიზმი, სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების მეტეოლოგია და შედეგები.

ყურადღებას შევანერებთ სეტყვის კლიმატური მახასიათებლების მახვენებლების კვლევაზე, რათა შევაფასოთ და დავასაბუთოთ აღმოსავლეთ საქართველოში მოქმედი სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების მართებულობა.

სეტყვა დიდ ზიანს აყენებს ქვეყნების ეკონომიკას და განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობას. სეტყვა იმ სტიქიურ მეტეოროლოგიურ მოვლენათა რიცხვს მიეკუთვნება, რომლებიც ქმნიან საგანგებო სიტუაციებს. მათი ექსტრემალურად ანომალური გადახრები ხშირად კატასტროფულ ხასიათს ატარებს და არსებით მატერიალურ ზარალს იწვევს. ამიტომ ამინდის მსგავსი სტიქიური მოვლენებისგან მოსალოდნელი ნეგატიური შედეგების პრევენციისთვის მნიშვნელოვანია ამ მოვლენების ექსტრემალური და ანომალური მახასიათებლების ინტენსივობის და განმეორადობის სივრცითი-დროითი განაწილების ცოდნა.

სეტყვა განსაკუთრებით საშიშია იმ რაიონებში, რომლებიც ხასიათდება რელიეფის სირთულით, ზღვის დონიდან დიდი სიმაღლით, ჰაერის მასების მაღალი ტენიანობით, ასევე, დედამიწის ზედაპირის მაღალი ტემპერატურით, რომელიც ხელს უწყობს კონვექციის გაძლიერებას [1].

სეტყვა – სხვადასხვა ზომის, სფეროსებრი ყინულოვანი მასაა, რომლის რადიუსი საშუალოდ 5-დან 25მმ-მდე მერყეობს, იგი შედგება უმთავრესად გამჭვირვალე გულისაგან, რომლის გარშემოც გამჭვირვალე და გაუმჭვირვალე ყინულოვანი ფენები ცვლიან ერთმანეთს. შეტყვა წარმოადგენს ყინულოვან ნალექს, ის წარმოიშობა ჭექა-ქუხილის გროვა-წვიმის ღრუბლების წინა ნაწილში, სადაც ინტენსიურია აღმავალი დენები. აღნიშნულ ღრუბლებში ხდება კონვექციური პროცესების ინტენსიური განვითარება, რომლის დროსაც თბილი ჰაერის აღმავალი დენების სიჩქარე 10მ/წმ-ზე მეტია და ხშირ შემთხვევაში იგი 25-35 მ/წმ-საც აღწევს.

სეტყვის ღრუბლების წარმოშობა ხდება ღრუბლების გადაცივებულ ნაწილში - 0°-იანი იზოთერმას ზემოთ. ამ ზონაში მიმდინარეობს ჩანასახოვან მდგომარეობაში მყოფი გადაცივებული წყლის წვეთების და ყინულის კრისტალების ზრდა, საწყის ფაზაში ეს პროცესი მიმდინარეობს კონდენსაციური და სუბლიმაციური, ხოლო შემდგომ გრავიტაციული კოაგულაციის გზით. მათი დიდ ზომამდე დამსხვილება ხდება წყლის წვეთების მნიშვნელოვანი აკუმულაციის დონეზე, რომელიც განლაგებულია იმ სიმაღლეზე, სადაც შეინიშნება ვერტიკალური მიმართულებით აღმავალი ჰაერის ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარე (ღრუბლების შუა ნაწილი ან ცოტა მაღლა). რაც უფრო მატულობს ჰაერის ვერტიკალური სიჩქარე და ღრუბლების წყლიანობა, მით უფრო ინტენსიურად იზრდება ჩანასახოვანი სეტყვის ზომა. ვერტიკალური სიჩქარეც და ღრუბლების წყლიანობაც დამოკიდებულია ღრუბლების სიძლიერეზე, რომლის ზრდითაც მატულობს ორივე ელემენტის მნიშვნელობა.

ხშირ შემთხვევაში, ღრუბლებიდან გამოყოფილი სეტყვის მარცვლები ვარდნის პროცესში გზაშივე დნება და დედამიწაზე მსხვილი წვიმის წვეთების სახით გვევლინება. ეს დამოკიდებულია 0°-იანი იზოთერმას განლაგების სიმაღლეზე, ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტის სიდიდეზე და სეტყვის მარცვლის ზომაზე. ლოგორც გამოკვლევები გვიჩვენებენ, 4 მმ რადიუსის მქონე სეტყვის მარცვალე შეიძლება მთლიანად გადნეს თუ 0°-იანი იზოთერმა განლაგებულია 2-3 კმ სიმაღლეზე, ხოლო 8მმ-იანი რადიუსისთვის - 4-5 კმ-ზე.

სტიქიურ მოვლენებს შორის საქართველოსთვის, მეტ წილად მისი აღმოსავლეთი ნაწილისთვის განსაკუთრებით საშიში მოვლენაა სეტყვა. ამიტომ სეტყვა უძველესი დროიდან



იპყრობდა მოსახლეობის, ისტორიკოსების და მოგზაურების ყურადღებას. ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან მიმდინარეობდა სეტყვის პროცესების აქტიური თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები. საქართველოში განსაკუთრებით აღსანიშნავია გეოფიზიკის და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტებში ჩატარებული სამუშაოები, რის საფუძველზეც შემუშავდა სეტყვის ღრუბელზე ზემოქმედების ეფექტური მეთოდები. ეს მეთოდები დაინერგა სეტყვასთან ბრძოლის სპეციალურ სამსახურში, რომელიც სეტყვისგან იცავდა დაახლოებით 1.2 მლნ. კვადრატობზე განლაგებულ სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს. აღნიშნული სამუშაოების შედეგად ზარალი შემცირდა დაახლოებით 70-80%-ით. საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ, დაუფინანსებლობის გამო, სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოები შეწყდა, თუმცა სეტყვის პრობლემამ აქტუალობა არ დაკარგა. პირიქით, ჩატარებული გამოკვლევების თანახმად, გლობალური დათბობის პირობებში შეინიშნება ამინდის მრავალი ექსტრემალური მოვლენის გააქტიურება, რაც უკვე საგრძნობია საქართველოს ეკოსისტემებისა და ეკონომიკისთვის (გვალვების გახშირება, გაუდაბნობა, მთის მყინვარების დნობა და სხვ.).

პოსტსაბჭოთა პერიოდში დაფიქსირებული ძლიერი სეტყვის და შესაბამისი ზარალის უამრავი მაგალითია ასახული ქვეყნის მასშტაბით, მათ შორის: 2012 წლის 19 ივლისს ღამის საათებში სტიქიას ქონდა ადგილი აღმოსავლეთ საქართველოში, თელავის და გურჯაანის რაიონებში. გრივალურ ქარბორბალას თან ახლდა ძლიერი სეტყვა. დაზიანდა შენობები, მთლიანად განადგურდა მოსავალი; 2012 წლის 10 აპრილს მოსულმა სეტყვამ თელავის, ყვარლის და ახმეტის რაიონები დააზარალა. ყვარლის რაიონში, კუჭატანსა და სანავარდოში მთლიანად განადგურდა მრავალწლიანი ნარგავები [2]; 2014 წლის 2 ივნისს ძლიერმა სეტყვამ გორის მუნიციპალიტეტის ათზე მეტი სოფელი დააზარალა. სტიქიის მასშტაბურობიდან გამომდინარე, ზარალმა რამდენიმე მილიონს გადააჭარბა [3]; სიღნაღის რაიონის სოფლებში 2015 წლის 28 მაისს მოსული სეტყვის სიმაღლემ ზოგიერთ ადგილზე 30 სანტიმეტრს მიაღწია. სეტყვამ რამდენიმე სოფელში მთლიანად გაანადგურა სასოფლო-სამეურნეო კულტურები, ქერის და ხორბლის მოსავალი, რომელიც ორ კვირაში უნდა აეღოთ [4]; 2015 წლის 22 ივლისს გვიან ღამით მოსულმა სეტყვამ ყვარლის რაიონის სოფლებში. რამდენიმე ასეულ ჰექტარზე ვენახები, საზამთროს ბაღები, სიმინდის ყანები 70-90%-ით განადგურა. სეტყვას თან ძლიერი ქარიც ერთვოდა [5]; 2015 წლის 20 აგვისტოს მოსულმა ძლიერმა სეტყვამ ყურძენი 100%-ით განადგურა ყვარელსა და მიმდებარე სოფლებში, განადგურდა სიმინდის ყანები და საზამთროს ბაღებიც [6].

სეტყვისგან მიყენებული ზარალის მასშტაბები დამოკიდებულია მოსული სეტყვის მარცვლების სიდიდეზე. სასოფლო სამეურნეო კულტურებს მნიშვნელოვან ზარალს აყენებს წვრილი ინტენსიური სეტყვა, თუმცა, განსაკუთრებით საშიშია 10-15 მმ დიამეტრის მქონე სეტყვის მარცვლები, ხოლო 30-40 მმ და მეტი დიამეტრის მქონე სეტყვის მარცვლებს შეუძლიათ მთლიანად გაანადგუროს ნათესები, დახვრიტოს სახლების სახურავები, დაამსხვრიოს ფანჯრები, დახოცოს შინაური ფრინველი და წვრილფეხა საქონელი. სეტყვიანობისიშვით შემთხვევებში, როდესაც სეტყვის მარცვალი იწონის 100-200გ-ს და ქათმის კვერცხის ტოლიცაა, შეუძლია იყოს ადამიანის დაღუპვის მიზეზი. საქართველოსთვის უმეტეს შემთხვევებში დამახასიათებელია წვრილი ინტენსიური სეტყვის მოსვლა - დაახლოებით 70%; სეტყვიანობის განმეორადობა, საშუალო (20-30 მმ) და მსხვილი (30 მმ და მეტი) დიამეტრის მქონე სეტყვის მარცვლებისა, შეადგენს 25-30%-ს. ამასთან, (30-50მმ) დიამეტრის მქონე სეტყვის მარცვლების მოსვლის განმეორადობა საქართველოში შეადგენს 10%-ს, და ბოლოს, სეტყვიანობის შემთხვევათა 4% მოდის 50 მმ და მეტი დიამეტრის მქონე სეტყვის მარცვლების მოსვლა-

ზე. ჩვეულებრივ სეტყვა მოდის გროვა-წვიმის ღრუბლებიდან, თუმცა, ხშირად სეტყვის მოსვლა სხვა სახის ღრუბლებიდანაც შეინიშნება, უმეტესად სეტყვის მოსვლა ფიქსირდება დადებითი ჰაერის ტემპერატურის შემთხვევაში 15-20°C დიაპაზონში, თუმცა, ხშირია სეტყვის მოსვლის შემთხვევები 10-15 და 21-25 °C დიაპაზონშიც. მეტეოსადგურების დაკვირვებათა მონაცემებით, 5°C -ზე ნაკლები და 30°C -ზე მეტი ჰაერის ტემპერატურისას, სეტყვიანობა იშვიათად გვხვდება[7].

**ცხრილი 1.1 საქართველოს ტერიტორიაზე სეტყვის მოსვლის შემთხვევათა რიცხვი (დღე) დამიყენებული ზარალი (1995-2011 წ.წ)**

წელი	შემთხვევათა რიცხვი (დღე)	ზარალი მლ.ლ.
1995	7	12.7
1996	11	17.0
1997	14	35.0
1998	12	8.5
1999	9	6.9
2000	7	5.8
2001	8	10.4
2002	8	6.8
2003	7	6.0
2004	11	12.5
2005	19	6.9
2006	11	6.2
2007	7	5.0
2008	5	2.9
2009	15	9.5
2010	15	6.9
2011	14	6.2
	180	165.2

სეტყვიან დღეთა სტატისტიკური ანალიზი საქართველოს რეგიონების მიხედვით მოცემულია ცხრ. 1.2.-ში.

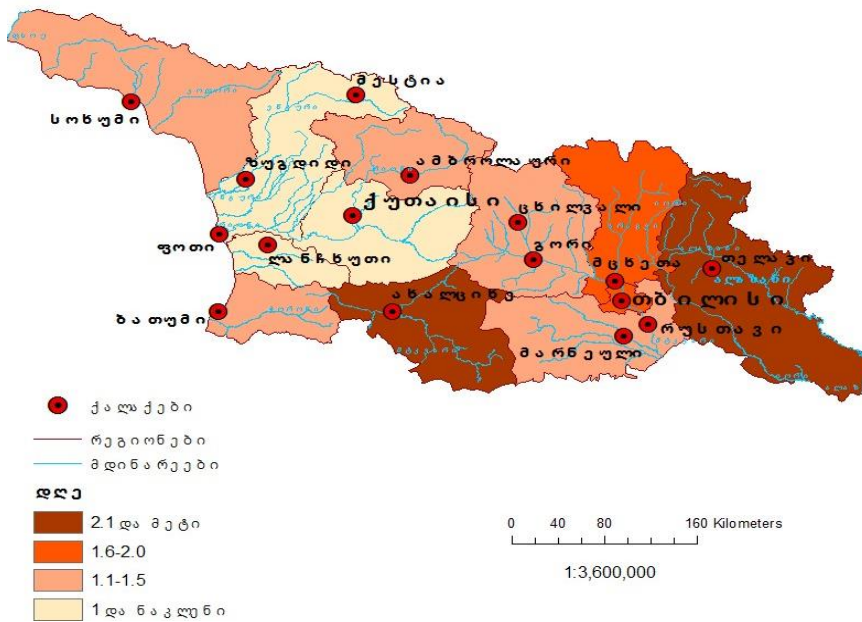
**ცხრილი 1.2. საქართველოს რეგიონებში საშუალო მრავალწლიურ სეტყვიან დღეთა რაოდენობა 1961-2006 წლების მონაცემებით**

რეგიონი	ფართობი, კმ2	სეტყვიან დღეთა საშუალო წლიური რაოდენობა
თბილისი	400	1.6
აფხაზეთი	8700	1.48
სამეგრელო-ზემო სვანეთი	7400	0.82
რაჭა-ლეჩხუმი ქვ. სვანეთი	2500	1.22
იმერეთი	6600	0.94
გურია	2000	0.55
აჭარა	2900	1.35

სამცხე-ჯავახეთი	6400	2.11
შიდა ქართლი	3400	1.32
ქვემო ქართლი	6900	1.31
მცხეთა-მთიანეთი	6700	1.76
კახეთი	12200	2.29

ამ ცხრილის ანალიზმა გამოავლინა, რომ საშუალო მრავალწლიურ სეტყვიან დღეთა რიცხვის მაქსიმალურ გაოდენობით გამოირჩევა კახეთი.

ცხრ.1.2-ის სტატისტიკურ ანალიზზე დაყრდნობით მ.ფიფიას მიერ შეიქმნა სეტყვიან დღეთა საშუალო წლიური რაოდენობის გეოინფორმაციული რუკა საქართველოს რეგიონებისთვის, მათი მუნიციპალური საზღვრების ფარგლებში (ნახ. 1.1).



**ნახ.1.1 სეტყვიან დღეთა საშუალო რაოდენობის წლიური განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე რეგიონების მიხედვით.**

ცხრ.1.3-ში მოყვანილია ძლიერი სეტყვის შემთხვევები, როდესაც განსაკუთრებით დიდი ფართობები დაზიანდა კახეთში.

**ცხრილი 1.3. ძლიერი სეტყვის შემთხვევები კახეთის რეგიონში (1877-2012წწ)**

წელი	თვე	რიცხვი	დაზიანებული ფართობი, კმ2	დაზარალებული ტერიტორიები, უდიდესი ინტენსიურობის ცენტრი
1877	ივლისი	4	60	გურჯაანი, ვეჯინი, ბაკურციხე
1953	ივნისი	19	45	საგარეჯო
1978	მაისი	28	129	სიღნაღი
1982	მაისი	20	34	გურჯაანი, დედოფლისწყარო
1986	მაისი	21	30	გურჯაანი, რუისპირი
1987	მაისი	9	121	უდაბნო, ნუკრიანი

1987	მაისი	12	42	ნაფარეული
1987	ივნისი	4	18	გავაზი
2012	ივლისი	19	35	თელავი

ცხრ.1.4-ში მოცემულია 100% დაზიანებული ტერიტორიის შესახებ ინფორმაცია და შესაბამისი ზარალი სექციანობის ზოგიერთი შემთხვევისას საქართველოში, ჩანს, რომ ყველაზე მეტად მნიშვნელოვან ტერიტორიაზე სექციანობა აღინიშნება კახეთში, ძირითადად ალაზნის ვაკეზე და ციფ-გომბორის ქედზე. ამასთან, იგი საკმაოდ მნიშვნელოვან ზარალს იწვევს, რომელიც იანგარიშება რამდენიმე ათეული მილიონი აშშ დოლარით.

**ცხრილი 1.4.სექციანობის ზოგიერთი შემთხვევისას 100% დაზიანებული ტერიტორიები დაშესაბამისი ზარალი**

წელი	თვე	რიცხვი	ფართობი, კმ2	ზარალი მლნ. აშშ დოლარი	რაიონი (ყველაზე დიდი ინტენსივობის ცენტრი)
1978	V	28	129	21.552	კახეთი (სიღნაღი)
1982	V	20	34	7.370	კახეთი (გურჯაანი, დედოფლისწყარო)
1982	VII	5	72	9.360	სამხრეთ-საქართველოს მთიანეთი (ახალქალაქი)
1986	V	21	30	5.840	კახეთი (რუისპირი, გურჯაანი)
1987	V	9	121	26.0	კახეთი (უღაბნო, ნუკრიანი)
1987	V	12	42	9.130	კახეთი (ნაფარეული)
1987	VI	4	18	3.810	კახეთი (გავაზი)
2012	VII	19	35	30.150	კახეთი (თელავი)

სექციანობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს სექციან დღეთა რაოდენობა. სექციან დღეთა რაოდენობის განაწილება მეტწილად დამოკიდებულია მის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებზე, განსაკუთრებით ოროგრაფიასა და ზღვის სიახლოვეზე. რთული მეტეოროლოგიური, კერძოდ, კონვექციური პროცესების განვითარებაზე დიდ გავლენას ახდენს მთები, ზეგნები და მადლობები. მთიან და მაღალმთიან რაიონებში, წინააღმდეგობის დაძლევისას ჰაერის მიწისპირა შრეებში ძლიერდება ტურბულენტულობა და იზრდება კონვექციური ღრუბლიანობა, ყველაფერი ეს გავლენას ახდენს სექციან დღეთა რაოდენობის განაწილების ხასიათზე, რაც კარგად იყო ნაჩვენები გამოკვლევებში, რომელიც წარმოდგენილია ცხრ. 1.5-ის სახით [8].

**ცხრილი 1.5. სეტყვიან დღეთა რაოდენობა და სეტყვის მოსვლის პერიოდები (თვე)**

რეგიონი	დაკვირვებათა პუნქტები	სიმაღლე ზ.დ.(მ)	საშუალო დღეთა რაოდენობა (წლიური)	უდიდეს დღეთა რაოდენობა (წლიური)	სეტყვის მოსვლის პერიოდები (თვეები)
კახეთი	თელავი	568	2.8	7	III-XI
	საგარეჯო	802	2.6	5	III-X

ცხრ.1.5-დან ნათლად ჩანს, რომ ადგილის სიმაღლის მატებასთან ერთად იზრდება სეტყვიან დღეთა რაოდენობა. სეტყვიანობის ზრდა გრძელდება 2500-2800 მ-მდე, ხოლო შემდეგ მცირდება. თუმცა, სეტყვიან დღეთა ცვლილება სიმაღლის ცვლილებასთან მიმართებაში, დამოკიდებულია კონკრეტული რაიონის კლიმატურ თავისებურებებსა და სხვა ფაქტორებზე.

მონაცემთა ანალიზები აჩვენებს რომ კახეთში ხშირად სეტყვის 54-76% გრძელდება 10 წუთი, გამონაკლისია დედოფლისწყარო, სადაც ამ ხანგრძლივობის, სეტყვის მხოლოდ 36%-ია (ცხრ.1.6).

**ცხრილი 1.6. კახეთის რეგიონში სეტყვის ხანგრძლივობისა და დღეღამის განმავლობაში მოსვლის (საათები) ალბათობა (%)**

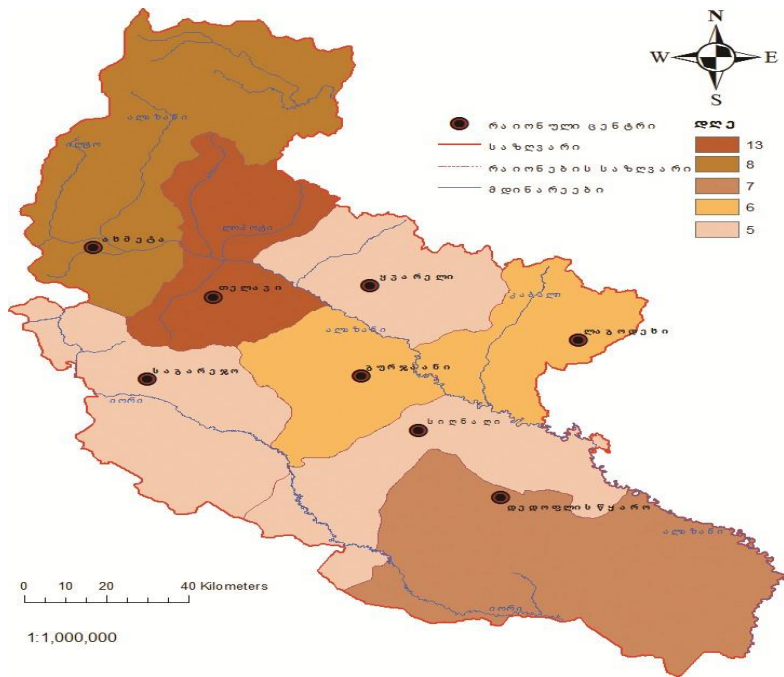
სადგური	ხანგრძლივობა, წთ				დღეღამის საათები		
	10	11-20	21-30	30 და მეტი	21-06	06-12	12-21
	%				%		
ახმეტა	54	37	9	-	9	3	88
თელავი	76	20	4	-	14	10	76
გურჯაანი	74	26	-	-	2	2	96
ყვარელი	67	21	12	-	14	8	78
სიღნაღი	69	23	2	6	4	2	94
საგარეჯო	74	20	2	4	6	8	86
ედოფლისწყარო	36	47	10	7	3	-	97

მე-1.6. ცხრილიდან ირკვევა, რომ სეტყვის მოსვლის უდიდესი ალბათობა დღეღამის განმავლობაში 12-21 სთ ინტერვალშია და შეადგენს 76-97%. უმცირესი კი 06-12 სთ ინტერვალშია (0-10%), რაც აიხსნება ატმოსფეროს არასაკმარისი გათბობით დღეღამის ამ პერიოდისთვის და კონვექციური დენების არარსებობით.

სეტყვის მოსვლის ხანგრძლივობა ერთ ჰექტარზე შეადგენს 3-5 წუთს და სეტყვის წარმომქმნელი ღრუბლები გადაადგილდება საშუალოდ 20-30 კმ/სთ სიჩქარით [9].

ცხრ.1.7.-ში წარმოდგენილია სეტყვიან დღეთა საშუალო და უდიდესი რაოდენობა წლის განმავლობაში კახეთის რეგიონის მუნიციპალიტეტებისათვის.



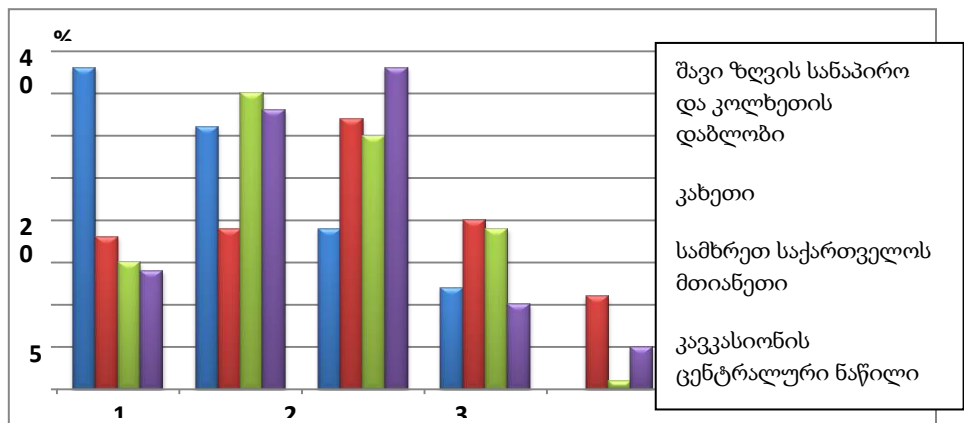


**ნახ. 1.3. სეტყვიან ღღეთა უდიდესი წლიური რაოდენობის განაწილება კახეთის რაიონების მიხედვით [10].**

1.2 ნახაზიდან ჩანს, რომ სეტყვის პროცესები ყველაზე აქტიურია თელავის რაიონში, სადაც სეტყვიან ღღეთა რაოდენობა წელიწადის განმავლობაში საშუალოდ აღემატება 3-ს. გურჯაანის რაიონში სეტყვიან ღღეთა რაოდენობა რამდენადმე ნაკლებია (2.6-3.0), ახმეტის, საგარეჯოსა და სიღნაღის რაიონებში კი მათი რაოდენობა შეადგენს 2.1-2.5-ს, ყვარლისა და დედოფლისწყაროს რაიონებში - 1.6-2.0-ს, ხოლო ლაგოდეხის რაიონში რაოდენობა 1.5-ზე ნაკლებია.

ნახ.1.3-ის თანახმად, წლის განმავლობაში სეტყვიან ღღეთა უდიდესი რაოდენობა თელავის რაიონშია და შეადგენს 13-ს, ახმეტის რაიონში 8-ს, დედოფლისწყაროს რაიონში 7-ს, გურჯაანისა და ლაგოდეხის რაიონებში 6-ს, ხოლო სიღნაღის, საგარეჯოსა და ყვარლის რაიონებში მათი რაოდენობა არ აღემატება 5-ს.

ნახ.1.4-ზე წარმოდგენილია სეტყვის სხვადასხვა ინტენსივობის განმეორებადობის ჰისტოგრამა საქართველოს სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში



**ნახ.1.4. სეტყვიანობის სხვადასხვა ინტენსივობის განმეორებადობა რაიონების მიხედვით.**

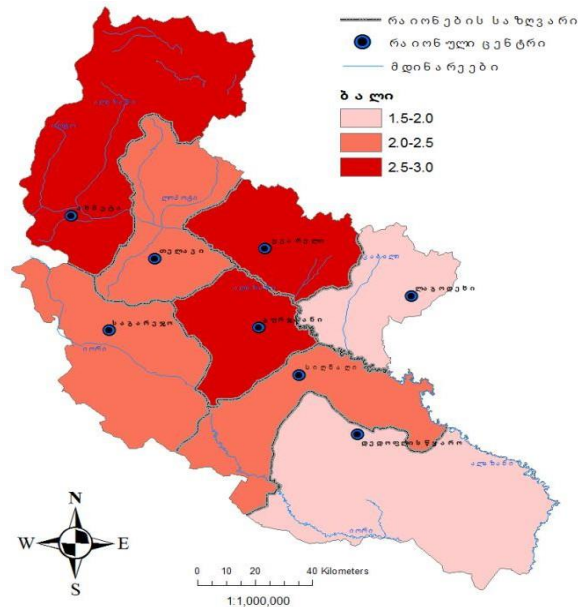
კახეთის რეგიონისთვის შეფასებულია სეტყვის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობები 1983-1991 წწ პერიოდის მონაცემების მიხედვით, რომელიც წარმოდგენილია ცხრ.1.8 [10].

**ცხრილი 1.8. კახეთის რეგიონში სეტყვის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობა რაიონების მიხედვით**

რაიონები	საშუალო ინტენსივობა (ბალი)	მაქსიმალური ინტენსივობა (ბალი)
ახმეტა	2.6	5
თელავი	2.0	5
საგარეჯო	2.2	5
გურჯაანი	2.5	5
დედოფლისწყარო	1.6	3
ლაგოდეხი	1.7	4
ყვარელი	2.8	5
სიღნაღი	2.3	5

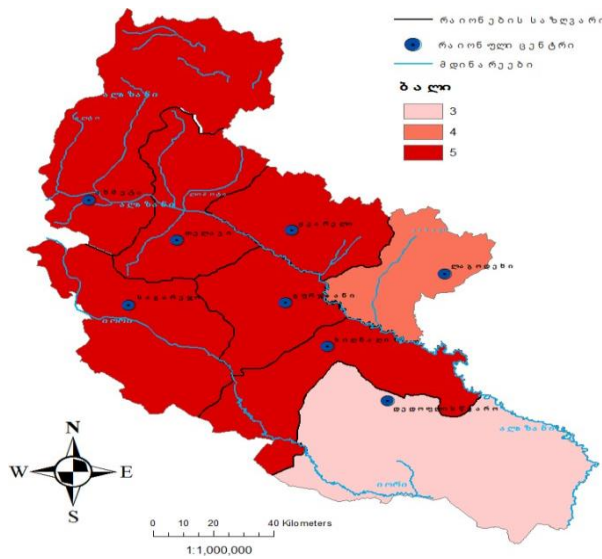
ცხრილი 1.8-დან კარგად ჩანს, რომ კახეთის რეგიონში სეტყვის შედარებით დაბალი ინტენსივობა მხოლოდ დედოფლისწყაროსა და ლაგოდეხის რაიონებში ფიქსირდება, საშუალოდ 1.6 და 1.7 ბალი, ხოლო კახეთის დანარჩენ რაიონებში სეტყვის საშუალო ინტენსივობა 2-3 ბალის ფარგლებშია, ასეთივე მდგომარეობაა სეტყვის მაქსიმალური ინტენსივობის შემთხვევაში, კახეთის რეგიონის ყველა რაიონში, გარდა დედოფლისწყაროსა და ლაგოდეხის რაიონებისა ფიქსირდება სეტყვის ინტენსივობის მაქსიმუმი - 5 ბალი, რაც ასევე მოსალოდნელი იყო.

ცხრილი 1.8-ზე დაყრდნობით შედგენილ იქნა კახეთის რეგიონის რაიონების მიხედვით სეტყვის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობის გეოინფორმაციული რუკები (ნახ. 1.5. და 1.6)



**ნახ.1.5 კახეთის რეგიონის სეტყვის საშუალო ინტენსივობა რაიონების მიხედვით [10].**

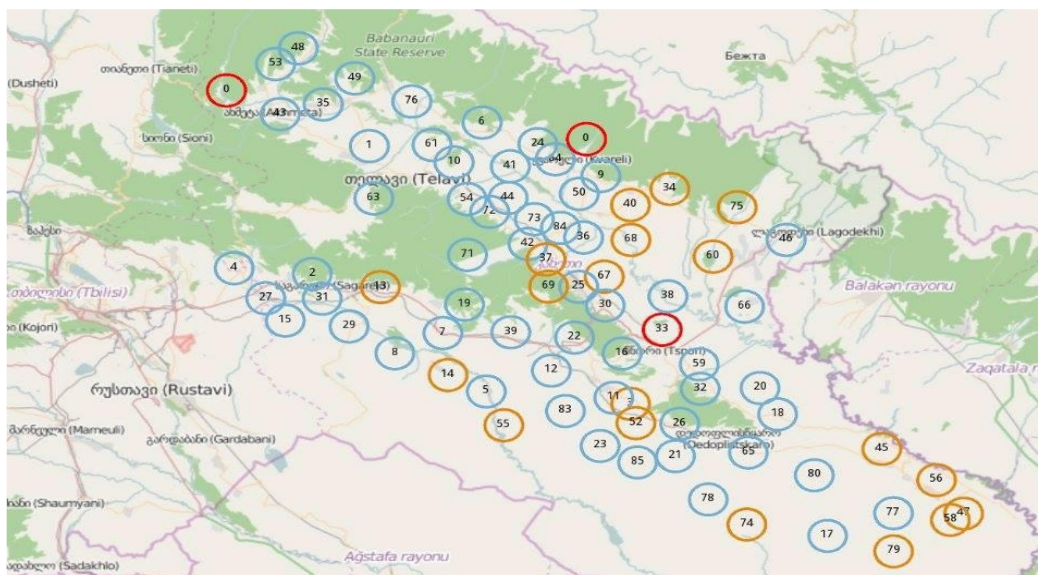




ნახ.1.6. კახეთის რეგიონის სეტყვის მაქსიმალური ინტენსივობა რაიონების მიხედვით [10].

## 1.2 აღმოსავლეთ საქართველოში ჩატარებული სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების მოკლე დახასიათება

კახეთში 2015 წელს დაიწყო და კვლავ გრძელდება სეტყვის დრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოები. საანგარიშო პერიოდში (2017-2019წწ.) სეტყვისგან დასაცავი ტერიტორიის ფართობი არ შეცვლილა და შეადგინა 800 ათასი ჰა, მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობია 565 ათასი ჰა, ანუ მთლიანი ფართობის 70%-ზე მეტი. დასაცავ ტერიტორიაზე განლაგებული სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტების გამშვები დანადგარების საერთო რაოდენობაა 83, მათი განლაგების სქემა მოცემულია ნახ.1.7-ზე [11].



ნახ.1.7. სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტების გამშვები დანადგარების განლაგების სქემა

საანგარიშო პერიოდში გამოყენებული რეაგენტის შედგენილობა ასეთია:

- აქტიური ნაერთი ანუ შერეული რეაგენტის რეაქტიული საწვავი—400 გრ-ია;
- აქედან უშუალოდ ვერცხლის იოდიდი შეადგენს - 50–70 გრ-ს;
- 2017 და 2018 წლებში დახარჯული რაკეტების რაოდენობამ შეადგინა-3790, ხოლო 2019 წელს- 4 440.

რაკეტების ძირითადი ნაწილი (დაახლოებით 75%) დაიხარჯა გურჯაანის, თელავის, ახმეტის, დადოფლისწყაროს და სიღნაღის რაიონებში (ნახ.1.8) [11].



ნახ.1.8. სეტყვისაგან დასაცავი ტერიტორია კახეთის მხარეში

სეტყვის ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების პარალელურად გრძელდებოდა კახეთის რეგიონში გარემოს ობიექტებში (ნიადაგი, წყალი) ზოგიერთი მძიმე ლითონის (Cu,Pb,Ag) შემცველობის კონტროლი. ამასთან ერთად გასათვალისწინებელია, რომ კახეთი სოფლის მეურნეობის ძირითადი რეგიონია, სადაც ინტენსიურად გამოიყენება მინერალური სასუქები და შხამქიმიკატები, ამასთან, ნიადაგის ნაყოფიერების შენარჩუნებისათვის საკვები ელემენტების ანაზღაურება ხდება სხვადასხვა სასუქის შეტანით. მათთან ერთად ნიადაგში შეიტანება მრავალი ტოქსიკური ნივთიერება. ასე მაგალითად, მინერალური სასუქების სისტემატიურად გამოყენებისას ნიადაგის დაბინძურება ხდება შემდეგი მძიმე მეტალებით: ტყვიით, კადმიუმით, დარიშხანით, ვერცხლიწყლით, სპილენძით, ქრომით, თუთიით, რაც გარკვეულ საშიშროებას უქმნის ადამიანებისა და ცხოველების ჯანმრთელობას. აქედან გამომდინარე მძიმე ლითონების შემცველობის კონტროლს გარემოს ობიექტებში აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა. ჩვენი კვლევის თემატიკიდან გამომდინარე ვაკონტროლებდით სპილენძის, ტყვიისა და ვერცხლის შემცველობას ნიადაგებსა და ზედაპირულ წყლებში.

საანგარიშო პერიოდში ჩატარებული ანალიზების შედეგები მოცემულია მე-2 თავში და დასკვნებში. აქ აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ მძიმე ლითონების, მათ შორის ვერცხლის, კონცენტრაციები ზედაპირულ წყლებში უმნიშვნელოა და არც ერთ შემთხვევაში არ აღჭარბებს შესაბამისი ზღვ-ს მნიშვნელობას. ნიადაგში კი მძიმე ლითონებიდან პრიორიტეტული დამაბინძურებელია სპილენძი, თუთია და ტყვია. ვერცხლის კონცენტრაცია ნიადაგის ნიმუშებში დაფიქსირდა მხოლოდ კვალური მინარევის დონეზე.

## თავი II. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების რეგიონების ზედაკირულ წყლებსა და ნიადაგებში მძიმე ლითონების შემცველობის შეფასება

### 2.1. აღმოსავლეთ საქართველოს ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების რეგიონების ჰიდროლოგიური ქსელისა და ნიადაგების მოკლე დახასიათება

გარემოს დაბინძურება უნდა გავიგოთ, როგორც არასასურველი მოვლენა, რომლის შედეგად გარემოში ისეთი რაოდენობით ხვდება უცხო, მავნე ნივთიერებები, რომ იცვლება მისი ფონური კონცენტრაცია. გარემოს დაბინძურება არღვევს ბუნებრივი პროცესების ჩვეულებრივ მიმდინარეობას, რის გამოც ცოცხალ ორგანიზმებს არსებობა-განვითარებისთვის ექმნებათ არახელსაყრელი პირობები და/ან დისკომფორტი.

კახეთი სოფლის მეურნეობის ძირითად რეგიონია, სადაც ინტენსიურად გამოიყენება მინერალური სასუქები და შხამქიმიკატები. ნიადაგის ნაყოფიერების შენარჩუნებისათვის საკვები ელემენტების ანაზღაურება ხდება სხვადასხვა სასუქების შეტანით, მათთან ერთად ნიადაგში მრავალი ტოქსიკური ნივთიერებაც შეიტანება. ასე მაგალითად, ფოსფორიანი სასუქების სისტემატურად მაღალი ნორმებით გამოყენებისას ისინი ანაგვიანებენ ნიადაგს მძიმე მეტალებით-ტყვიით, კადმიუმით, დარიშხანით, ვერცხლისწყლით, სპილენძით, ქრომით, თუთიით, აგრეთვე რადიოაქტიური ელემენტებით სტრონციუმით, ურანით, რადიუმით და თორიუმით, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის ადამიანისა და ცხოველთა ჯანმრთელობას. კალიუმიანი სასუქების უმრავლესობა იწვევს გარემოს დაბინძურებას ქლორით, ნატრიუმით და მნიშვნელოვანი რაოდენობით დარიშხანით და მძიმე მეტალებით ტყვიით, თუთიით, ქრომით და ვერცხლისწყლით [1].

გამოყენებული სასუქების 50 და პესტიციდების 90% იფანტება გარემოში და იწვევს ეკოსისტემების დაბინძურებას [2]. გამოყენებულ პესტიციდებში წამყვანი ადგილი შაბიამანს, კუპრაზანს, კუპერვალს, იროკოს, ციანიდებს და სხვ. უკავიათ. მათი უმეტესობის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტი სპილენძია, რომელიც ხვდება ჰაერში, წყალში, საკვებ პროდუქტებში და ადამიანის ორგანიზმში.

სპილენძი ჭარბი რაოდენობით ცოცხალ ორგანიზმში მაღალი ტოქსიკურობით ხასიათდება და აქტიურად რეაგირებს ამინომჟავებთან და ცილებთან, წარმოქმნის მდგრად კომპლექსებს, რითაც არღვევს ფერმენტების კატალიზურ ფუნქციას. გარდა ამისა, ზრდის მიტოქონდრიების მემბრანის განვლადობას, შლის ერთროციტებს, იწვევს ნერვული სისტემის, ღვიძლის, თირკმელების დისფუნქციას, ასუსტებს ორგანიზმის იმუნიტეტს, მოქმედებს პირის ღრუს ლორწოვან გარსზე, იწვევს გასტრიტებს [3].

ტყვია იწვევს ცვლილებას ნერვიულ სისტემაში, სისხლში და ქსოვილებში. აქტიურად მოქმედებს ცილების სინთეზზე, უჯრედის ენერგეტიკულ ბალანსზე და მის გენეტიკურ აპარატზე. ძირითადად გროვდება თირკმელში, თმებში, ცენტრალურ ნერვიულ სისტემაში. მისი მაღალი შემცველობა არღვევს იმ რეაქციებს, რომლის დროსაც გემოგლობინი წარმოიშევა. ტყვიის ორგანული ნაერთები ტეტრაეთილ და ტეტრაამეთილ ტყვია იწვევს უძილობას, კრუნჩხვებს და პერიფერიულ ნერვოზს [3].

ტყვიის გაზრდილი კონცენტრაციები გარდა ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი აირებისა შესაძლებელია გამოწვეული იყოს რეგიონის ეკოსისტემებში ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების გავლენით (რეაგენტი - PbI<sub>2</sub>), რომელიც ინტენსიურად გამოიყენებოდა კახეთის რეგიონში გასული საუკუნის 60-90-იან წლებში, 1990 წლის შემდეგ აღნიშნული სამუშაოები შეწყდა [2; 4]. 2015 წლიდან კახეთში განახლდა სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოები, სადაც რეაგენტად ტყვიის იოდიდი (PbI<sub>2</sub>) აღარ გამოიყენება, ამჟამად ამ სამუშაოებში გამოიყენება ვერცხლის იოდიდი (AgI). ამიტომ ჩვენს მიერ დაგეგმილია სხვადასხვა ეკოსისტემაში სხვა ელემენტებთან ერთად, ვერცხლის კონცენტრაციების განსაზღვრა.

ვერცხლის ჭარბი შემცველობა, ისე როგორც სპილენძი და ტყვია, მავნეა როგორც გარემოს ობიექტებისათვის, ისე ადამიანის ორგანიზმისათვის.

ყოველივე ზემოთქმულიდან ნათლად ჩანს, თუ რაოდენ აქტუალური და საჭიროა მძიმე ლითონების შემცველობის ცოდნა სხვადასხვა ეკოსისტემაში. ამიტომ, ჩვენი კვლევის მიზანს შეადგენდა დაგვედგინა ზოგიერთი ნორმირებული, პრიორიტეტული ელემენტის შემცველობა კახეთის რეგიონის ნიადაგებსა და ზედაპირულ წყლებში.

ნორმირებული ნივთიერებების გავლენით იცვლება ნიადაგის ბუნება, მისი ქიმიური და ბიოლოგიური თვისებები, დეგრადირდება მიკროფლორა და ნელდება მცენარის განვითარება. ცოცხალ ორგანიზმებში აკუმულირების შემდეგ ისინი ხვდებიან ნივთიერებათა ცვლის ბიოქიმიურ ჯაჭვში.

მავენე ნივთიერებებით ნიადაგის დაბინძურების ხარისხის დასადგენად ნორმირებული ელემენტების შემცველობას ადარებენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას, კლარკს ან ფონურ მნიშვნელობებს. ამავე დროს, გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ფიტოტოქსიკური ზემოქმედება ნორმირებული ხსნადი (მოძრავი) ფორმებით არის განპირობებული. სწორედ ამიტომ ჩვენს მიერ კვლევის ობიექტად არჩეულია კახეთი, საქართველოში სოფლის მეურნეობის ძირითადი რეგიონი, სადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოები და სადაც 5 წელია განახლდა სექცევის დრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოები, რომელთა მიმდინარეობის დროს, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, რეაგენტად გამოიყენება ვერცხლის იოდიდი (AgI) [4]. ეს სამუშაოები აღნიშნული რეაგენტით დაიწყო 2015 წელს. სოფლის მეურნეობის სამინისტროს მონაცემების მიხედვით ეს არის წარმატებული პროექტი და ის გაგრძელდება მრავალი წლის განმავლობაში. ამიტომ ნიადაგის ნიმუშებსა და წყლის სინჯებში ჩვენს მიერ განსაზღვრული ვერცხლის კონცენტრაციები შეიძლება მივიჩნიოთ ფონურ მნიშვნელობებად, რაც მეტად მეტად მნიშვნელოვანია შემდგომი კვლევებისათვის.

ამ ფაქტიდან გამომდინარე მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ კახეთის რეგიონში ჩაგვეტარებინა ზედაპირული წყლებისა და ნიადაგების ქიმიური ანალიზი, მათში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციების განსაზღვრის მიზნით. განსაკუთრებულ ყურადღებას კივაქცევდით ამ ეკოსისტემებში მძიმე ლითონების შემცველობას.

შესწავლილია კახეთის რეგიონის ნიადაგების და ზედაპირული წყლები, ნიმუშების აღება ხდებოდა წელიწადში ორჯერ: აქტიური ზემოქმედების და არაზემოქმედების პერიოდებში მონიტორინგის ჩატარებით სიღნაღისა და გურჯაანის მუნიციპალიტეტებში 2017-2019 წლებში. ზედაპირული წყლებისა და გრუნტის წყლის სინჯების აღების ადგილები შერჩეულია სიღნაღის მუნიციპალიტეტის სოფ. ძველი ანავის ტერიტორიის მდელის დამლაშებულ ნიადაგებზე, ხოლო გურჯაანის მუნიციპალიტეტში - მდელის ყავისფერ ნიადაგებზე განთავსებული ხელოვნური წყალსაცავი.

დამლაშებული ნიადაგებისთვის დამახასიათებელია ცუდი ფიზიკური, წყლოვანი, ჰაეროვანი თვისებები და საკმაოდ მაღალი ტუტე რეაქცია. დამლაშებული ნიადაგები აერთიანებენ ორ ჯგუფს: 1. ბიც-ბიცნარ (მლაშობები) და 2. ბიცობ-ბიცობნარ ნიადაგებს [5].

დამლაშებული ნიადაგების რელიეფი წარმოდგენილია მთათაშორის დეპრესიებით, ალუვიური ვაკეების, დახშული ტბებისა და ნატბეურების ელემენტებით. ბიციანი ნიადაგები ძირითადად განვითარებულია დეპრესიული ახალგაზრდა რელიეფის ელემენტებზე, ხოლო ბიცობიანი - შედარებით ძველი შემადლებული რელიეფის პირობებში. ნიადაგწარმოქმნელი ქანები წარმოდგენილია ალუვიური, პროლუვიურ-დელუვიური, დამლაშებული ნაფენებით და დამლაშებული თიხებით. ბუნებრივი მცენარეული საფარი წარმოდგენილია ვეძიანებით, ავშნიანებით, ავშნიან-ყარღანიანი და ურო-ავშნიანი ფორმაციებით.

ბიცი და ბიცნარი ნიადაგები, ჰიდროლოგიური პირობების მიხედვით, იყოფიან ჰიდრომორფულ (გრუნტის წყალი 1,5-3 მ-მდე) და ავტომორფულ ნიადაგებად (გრუნტის წყალი ღრმადაა - 10 მ-მდე).

ბიცი და ბიცნარი ნიადაგები ხასიათდებიან მძიმე მექანიკური შედგენილობით. მიეკუთვნებიან თიხებს. შთანქმულ კათიონებში ჭარბობს კალციუმი. ჰუმუსის შემცველობა დაბალია. ეს ნიადაგები ადვილად ხსნად მარილებს განსხვავებული რაოდენობით შეიცავს. ბიცებში

ადვილად ხსნადი მარილების შემცველობა ზედა ფენებში 1,76 – 3,18 % შეადგენს, სიღრმეში კი - 3,5 – 3,6 % აღწევს. ბიციები ადვილად ხსნადი მარილებს შეიცავს ზედაპირიდანვე, ბიციარები - ქვედა ფენების სხვადასხვა სიღრმიდან.

მელიორაციული ღონისძიებებიდან ძირითადი ქიმიური მელიორაციაა, რისთვისაც იყენებენ თაბაშირს, ფოსფორთაბაშირს, კალციუმის ქლორიდს და სხვ. მოთაბაშირებას თხოულობენ ისეთი ნიადაგები, რომლებშიც შთანთქმული ნატრიუმის შემცველობა > 10 %-ზე.

მდელოს-ყავისფერი ნიადაგებისთვის დამახასიათებელია მძლავრი პროფილი, გაღებების ნიშნები და მძიმე მექანიკური შედგენილობა [5]. მდელოს-ყავისფერი ნიადაგების საერთო ფართობი შეადგენს 1,9 % (130 400 ჰა). ეს ნიადაგები გავრცელებულია ქვემო და ზერო ქართლში, კახეთში (ალაზნის მარჯვენა ნაპირი) და მესხეთში. მდელოს-ყავისფერი ნიადაგებს უკავია რელიეფის დებრესიული ნაწილები. ნიადაგწარმომქმნელი ქანები წარმოდგენილია მძიმე მექანიკური შედგენილობის ალუვიური და დელუვიურ-პროლუვიური ნალექებით, რომელთა სიღრმე ზოგჯერ 100 მ აღწევს. კლიმატი ზომიერად თბილია. საშუალო წლიური ტემპერატურა შეადგენს 9,9 – 10,6°C. ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა 464 – 512 მმ ფარგლებში მერყეობს.

მდელოს-ყავისფერი ნიადაგები ხასიათდება სუსტი ტუტე ან ტუტე რეაქციით, ღრმა ჰუმუსირებით, ჰუმუსის ფულვატურ-ჰუმატური ტიპით, ზედაპირიდანვე კარბონატულობით, შთანთქმული ფუძეების დაბალი ჯამით, ძირითადი ჟანგეულების თანაბარი განაწილებით. ნიადაგები მიეკუთვნება მსუბუქ და საშუალო თიხებს.

სიღნაღის მუნიციპალიტეტში - სოფ. ძველი ანაგის ტერიტორიაზე შევარჩიეთ ხელოვნური წყალსაცავების (ძველი და ახალი, სადაც ხდება სხვადასხვა ჯიშის თევზების მოშენება-კარპი, ბრტყელშუბლა, ალაზნის ლოქო და სხვა), სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის და გრუნტის წყლის სინჯების აღების ადგილები. სინჯების აღება მოხდა შემდეგი წერტილებიდან: ახალი წყალსაცავი, ძველი წყალსაცავი, სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი, ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყალი და გრუნტის წყალი. ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყალი ზამთრის თვეებში იკეტება, ამიტომ სინჯის აღება ვერ მოხერხდა. ძველი და ახალი წყალსაცავები ივსება ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყლით, რომელიც მარაგდება მდ.ალაზნის წყლით.

შერჩეული წყალსაცავების გარშემო 20 მ-ის დაცილებით სხვადასხვა ადგილებიდან მოხდა ნიადაგის ნიმუშების აღება 0-10, 10-20; 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 და 80-100 სმ სიღრმეზე.

ანალოგიური სამუშაოები ჩატარდა გურჯაანის მუნიციპალიტეტში. შერჩეულ იქნა ხელოვნური წყალსაცავი სოფ.ახაშნის ტერიტორიაზე, სადაც ხდება კალმანის მოშენება. წყალსაცავი ივსება ალექსანდრეს წყაროს წყლით. წყალსაცავიდან 20 მ-ს დაცილებით მოხდა ნიადაგის ნიმუშების აღება იგივე სიღრმეებზე.

აღებულ ნიადაგის ნიმუშებში (0-10 და 10-20 სმ სიღრმეზე) და ზედაპირული წყლების წყლის სინჯებში განისაზღვრა ზოგიერთი მძიმე ლითონი (Cu, Pb, Ag) თანამედროვე ISO (METHOD 3051A, 2007) მეთოდით პლაზმურ-ემისიური სპექტროფოტომეტრის ICP-OES საშუალებით.

სხვა დაგეგმილი ამოცანების თანამედროვე დონეზე შესასრულებლად გამოყენებული იქნება სტანდარტების საერთაშორისო ორგანიზაციის (The International Organization for Standards) მიერ შემუშავებული სტანდარტები-ISO 17025, კერძოდ [6-14]:

## 2.2 ქიმიური ანალიზის შედეგები

ანალიზის შედეგები (2017წ.) წარმოდგენილია ცხრ. 2.1-ში. როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს წყალსაცავების წყლის pH ოდნავ ტუტეა, მერყეობს 8,12-8,42 ფარგლებში. ბუნებრივი წყლების ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი არის pH, რომელიც ბუნებრივი თუ ანთროპოგენული ფაქტორების მიხედვით საკმაოდ ცვლადია იგი განსაზღვრავს ჟანგვა-აღდგენით პოტენციალს და მასზეა დამოკიდებული წყლის თვითგაწმენდის უნარი [2].

**ცხრილი 2.1. ალაზნის ველის ზედაპირული წყლების, გრუნტის წყლისა და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, თებერვალი, 2017**

№	აზომილი ინგრედიენტები	ზღკ	სიღნაღი, სოფ.ძველიანაგა				გურჯაანი
			ახალი წყალსაცავი	ძველიწყალსაცავი	რუნტის წყალი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	ს.ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
1	ტემპერატურა, °C		6.2	6.3	6.5	7.0	6.8
2	სუნი, ბალი		0	0	0	0	0
3	გამჭირვალობა, სმ		11	10	12	11	10
4	pH	6.5-8.5	8.22	8.21	6.58	8.12	8.42
5	კარბონატი, მგ/ლ		3.0	3.3	-	2.9	3.1
6	ნახშირორჟანგი, მგ/ლ		-	-	0.88	-	-
7	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ		217.16	146.40	746.6	113.2	155.4
8	სიხისტე, მგ.ქქვ/ლ		3.92	4.22	11.53	5.24	3.22
9	ამონიუმი, მგN/ლ	0.39	0.562	0.684	-	0.496	0.368
10	კალციუმი, მგ/ლ	180	55.78	55.40	131.4	65.46	51.23
11	მაგნიუმი, მგ/ლ		13.78	17.69	60.5	15.61	14.12
12	ელექტროგამტარობა, $\mu\text{sms/cm}$		999	887	6030	520.2	645.3
13	გახსნილი ჟანგბადი, მგ/ლ		6.95	6.01	-	8.5	9.1
14	ჟმპ, მგ/ლ	6.0	4.25	5.75	-	6.0	5.46
15	ნიტრიტი, მგN/ლ	1.0	<0.001	<0.001	0.267	1.223	0.562
16	ნიტრატი, მგN/ლ	10.0	0.003	0.006	-	0.025	0.014
17	ფოსფატი, მგ/ლ	3.5	0.063	0.020	-	0.124	0.095
18	ფტორი, მგ/ლ		0.107	0.133	1.229	0.111	0.075
19	ბრომი, მგ/ლ		0.328	0.135	-	0.325	0.124
20	სულფატები, მგ/ლ	500	396.26	606.59	3160.8	324.62	415.34
21	ქლორიდები, მგ/ლ	350	41.95	40.83	528.9	37.94	35.61
22	ნატრიუმი, მგ/ლ	200	64.0	280.0	580.0	46.5	36.5
23	კალიუმი, მგ/ლ		2.6	4.5	2.7	2.1	1.9
24	მინერალიზაცია, მგ/ლ		791.55	1051.2	5212.3	599.55	678.45
25	სპილენძი, მგ/ლ	1.0	0.0058	0.0044	0.0042	0.0041	0.0029
26	ტყვია, მგ/ლ	0.03	0.0016	0.0036	0.0024	0.0069	0.0017
27	ვერცხლი, მგ/ლ	0.05	0.0006	0.0006	0.0003	0.0003	0.0002

მინერალიზაცია ახალ წყალსაცავში შეადგენს 791,55 მგ/ლ, ხოლო ძველში - 1051,2 მგ/ლ. გახსნილი ნივთიერებების მიხედვით (მგ/ლ-ით) წყალსაცავები მიეკუთვნებიან ზომიერ (500-1000 მგ/ლ) და მაღალ (>1000-ზე) მინერალიზაციის მქონე წყლებს [2]. ხოლო სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მინერალიზაცია გაცილებით ნაკლებია და ტოლია 599,55 მგ/ლ.

გურჯაანის წყალსაცავის წყალში წყლის მინერალიზაცია სიღნაღის რაიონის წყლებთან შედარებით ნაკლებია, 2017 წლის მონაცემებით მინერალიზაცია შეადგენს 678,45 მგ/ლ-ს.

რაც შეეხება გრუნტის წყლებს, მისი მინერალიზაცია გაცილებით მეტია ყველა წყალსაცავის მინერალიზაციაზე (5212,3 მგ/ლ) და ის მიეკუთვნება მაღალ მინერალიზირებულ წყლებს. ამავე დროს აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ალაზნის ველზე გრუნტის წყალი ამოსულია მაღლა 1,5-2,5 მ-მდე და შესაძლებელია მათი შედინება წყალსაცავის წყლებში. აღინიშნება ნატრიუმის, ქლორისა და სულფატების იონების მაღალი შემცველობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ წყალსაცავები გაშენებულია დამლაშებულ ნიადაგებზე.

ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონების კონცენტრაციები აღემატებიან შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას და აღნიშნულ წყლებში მერყეობს 0,368-0,684 მგ/ლ-ს ფარგლებში. ამავე დროს შეინიშნება ტენდენცია, რომ ამონიუმის იონები უფრო მეტი რაოდენობით არის ძველ წყალსაცავში, ვიდრე ახალში, ხოლო გურჯაანის წყალსაცავში არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას.

წყლის დაბინძურების შედეგად იცვლება მისი ფიზიკური თვისებები (ფერი, სუნი, სიმღვრივე), ქიმიური შედგენილობა (ორგანული და ბიოგენური ნივთიერებები, მძიმე ლითონები და სხვ), მიკროფლორა. წყლის ბაქტერიოლოგიურ სისუფთავეს აფასებენ ნაწლავის ჩხირების (E-coli) რაოდენობით 1 ლიტრ წყალში. კოლი ინდექსის მაღალი მნიშვნელობა წყლის ფეკალური დაბინძურების მაჩვენებელია. ცხრ.2.2-ში მოცემულია მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, საიდანაც ჩანს, რომ ძველი წყალსაცავის წყალი დაბინძურებულია და E-coli- ი შეადგენს 1,4 ზდკ-ს, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენში შედარებით უფრო მაღალია და შეადგენს 2 ზდკ-ს.

**ცხრილი 2.2. წყალსაცავების, გრუნტის წყლის და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, თებერვალი, 2017წ.**

გაზომილი ინგრედიენტები	ზდკ	სიღნაღი, სოფ.ძველიანაგა				გურჯაანი სოფ.ახაშნისხ ელოგურიწყა ლსაცავი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	გრუნტის წყალი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	
ტოტალური კოლიფორმები	1 ლმ <sup>3</sup> -ში	8 000	9 000	5 200	10 200	6 000
E-coli	1 ლმ <sup>3</sup> -ში	5 000	7 000	3 400	9.800	4 500
ფეკალური სტრუპტოკოკები	1 ლმ <sup>3</sup> -ში	600	750	540	850	340

**ცხრილი 2.3. ალაზნისველისზედაპირულიწყლების, გრუნტისწყლის,სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენისა და ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, აგვისტო, 2017წ.**

№	დასახელება	ზდკ	სიღნაღი, სოფ.ძველიანაგა					გურჯაანი	
			ახალი წყალსაცავი, შესასველებლთან	ხალი წყალსაცავი, შუაში	ძველი წყალსაცავი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	ქვემო ალაზნის სარწყავი არხი		გრუნტისწყალი
1	ტემპერატურა, °C		22.0	22.5	22.8	22.5	22.1	23.0	23.5
2	გამჭირვალობა, სმ		10	10	9	8	9	11	10
3	pH	6.5-8.5	8.02	8.12	7.45	7.22	8.05	7.51	7.50
4	ელექტროგამტარობა, μsms/cm		522	543	602	612	341	11522	521
5	მინერალიზაცია, მგ/ლ		582.4	595.12	584.14	522.08	299.13	12958.0	487.30
6	კარბონატი, მგ/ლ		1.23	1.35	-	-	-	-	-
7	ნახშირორჟანგი, მგ/ლ		-	-	2.2	1.45	2.09	6.34	1.33
8	მარილიანობა, ppt		0.31	0.33	0.29	0.38	0.20	1.89	0.20
9	სიხისტე, მგ.ექვ/ლ		3.32	4.02	3.17	2.81	2.29	20.22	4.64
10	ამონიუმი, მგN/ლ	0.39	0.735	0.746	0,654	0,555	0,439	0.624	0,435
11	ნიტრიტი,მგN/ლ	1.0	0.125	0.132	0.251	0.116	0.114	<0.001	0.111
12	ნიტრატი,მგN/ლ	10.0	1.423	2.025	1.025	1.412	2.025	0.061	2.489
13	ფოსფატი, მგ/ლ	3.5	0.122	0.178	0.161	0.142	0.099	<0.001	0.088

ცხრილი 2.3-ის გაგრძელება									
14	სულფატები, მგ/ლ	500	322.21	333.82	299.89	311.25	39.48	1365.87	74.20
15	ქლორიდები, მგ/ლ	350	40.21	45.01	22.78	19.45	11.08	297.24	11.05
16	ფტორი, მგ/ლ		0.148	0.111	0.147	0.147	0.088	1.105	0.127
17	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ		181.5	192.24	174.12	180.22	129.0	253.76	314.08
18	კალიუმი, მგ/ლ		1.1	2.1	1.1	1.4	1.1	6.0	1.3
19	ნატრიუმი, მგ/ლ	200	45.6	40.9	15.5	31.5	8.5	350.0	20.5
20	კალციუმი, მგ/ლ	180	74.12	74.38	69.11	85.41	36.04	295.22	69.15
21	მაგნიუმი, მგ/ლ		15.14	17.15	16.45	18.07	9.48	66.08	19.21
22	სილიციუმი, მგ/ლ		9.5	10.2	10.1	9.2	8.1	11.5	9.5
23	სპილენძი, მგ/ლ	1.0	0.0122	0.0133	0.0147	0.0163	0.0146	0.0220	0.0135
24	ტყვია, მგ/ლ	0.03	0.0068	0.0089	0.0079	0.0064	0.0055	0.0012	0.0022
25	ვერცხლი, მგ/ლ	0.05	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002

**ცხრილი 2.4. ალაზნის ველის ზედაპირული წყლებისა და გრუნტის წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები. აგვისტო, 2017წ.**

განსაზღვრული ინგრედიენტები	ერთეული	სიღნაღი, სოფ.ძველიანაგა						გურჯაანი
		ახალი წყალსაცავი, შესასვლელთან	ახალი წყალსაცავი, შუაში	ძველი წყალსაცავი	სასოფლოსა მუერნო ჩამონადენი	ქვემო ალაზნის სარწყავი არხი	გრუნტის წყალი	ს.ახაშნის ელოვნური წყალსაცავი
ტოტალური კოლიფორმები	1ღმპ-ში	8000	9500	9500	7500	8500	7000	7500
E-coli	1ღმპ-ში	7000	6500	4000	6500	3500	6200	3500
ფეკალური სტრეპტოკოკები	1ღმპ-ში	550	650	400	550	250	350	450

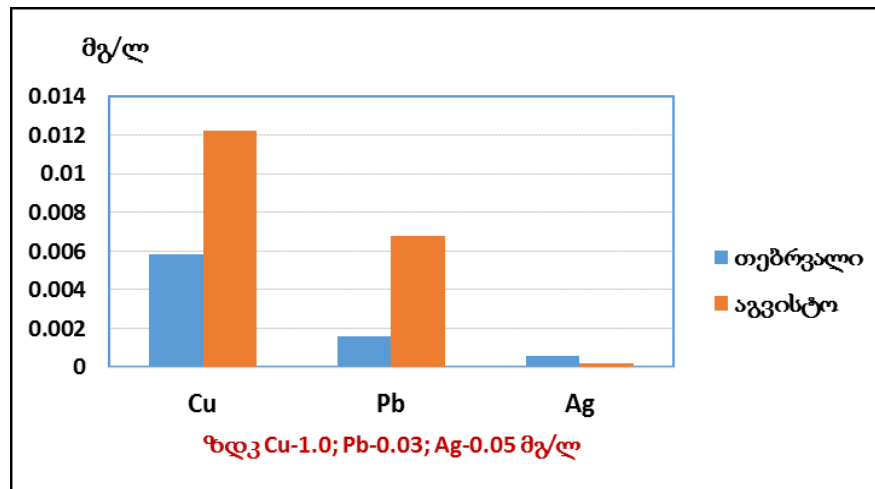
როგორც 2.1 და 2.3 ცხრილებიდან ჩანს:

- წყალსაცავების წყლები მიეკუთვნებიან საშუალოდ მინერალიზირებულ წყალსაცავების კატეგორიას.
  - გრუნტის წყლები ხასიათდებიან მაღალი მინერალიზაციით და მიეკუთვნებიან მაღალი მინერალიზაციის მქონე წყლებს; აღინიშნება ნატრიუმის, ქლორისა და სულფატების იონების მაღალი შემცველობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ წყალსაცავები გაშენებულია დამლაშებულ ნიადაგებზე (სიღნაღის მუნიციპალიტეტში).
  - სიღნაღის რაიონის სოფ. ანაგის და გურჯაანის რაიონის სოფ.ახაშნის ტერიტორიაზე არსებულ ხელოვნურ წყალსაცავებში ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონების კონცენტრაციები აღემატებიან ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, ამავე დროს არის ტენდენცია, რომ მათი რაოდენობა ძველ წყალსაცავებში მეტია ახალ წყალსაცავებთან შედარებით.
  - მიკრობიოლოგიური თვალსაზრისით სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი დაბინძურებულია E-coli-ით (ცხრ.2.2 და 24).
  - მძიმე ლითონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა, დაფიქსირებულია ნორმის ფარგლებში და არ ხდება ამ ლითონებით წყალსაცავების დაბინძურება.
- ცხრ. 2.5 და ნახ. 2.1-2.3 მოცემულია მძიმე ლითონების შემცველობა წყალსაცავების წყლებში. როგორც მონაცემებიდან ჩანს, ისინი ნორმის ფარგლებში დაფიქსირდა და ამ მხრივ დაბინძურებას არა აქვს ადგილი (ცხრ. 2.5, ნახ. 2.1-2.3).

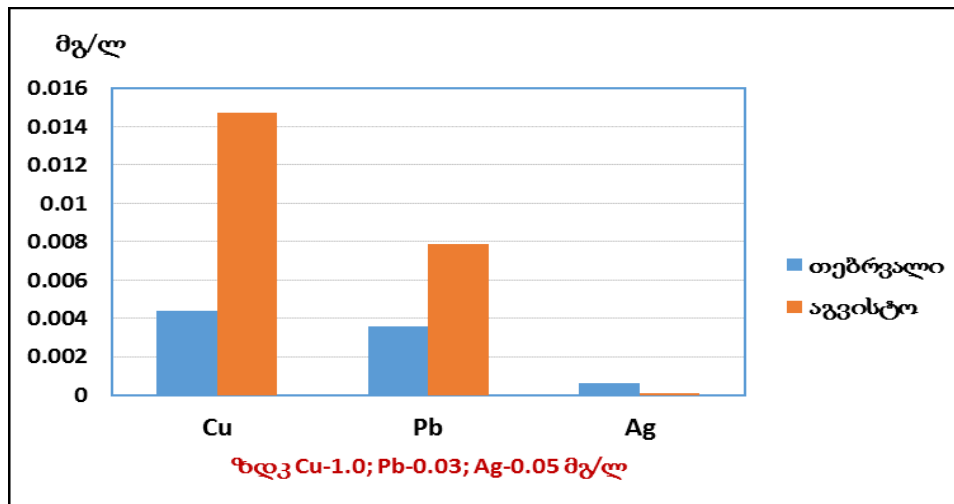


ცხრილი 2.5. სიღნაღისა და გურჯაანის რაიონების ზედაპირულ წყლებში მძიმე ლითონების შემცველობა

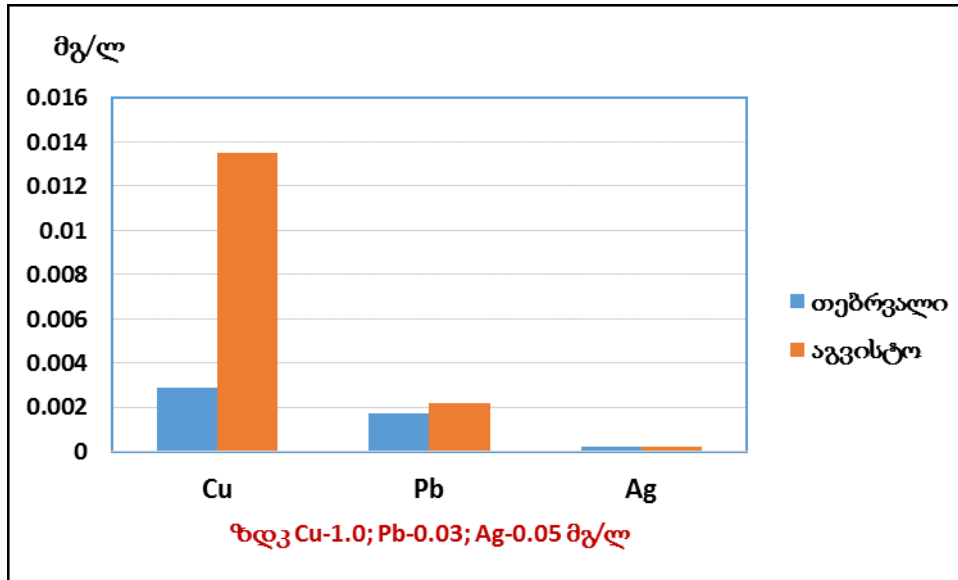
ნიმუშის აღების დრო	ინგრედიენტები	ერთეული	ქვემო ალაზნის სარწყავი არხი	სოფ. ძველი ანაგა, ახალი წყალსაცავი	სოფ. ძველი ანაგა, ძველი წყალსაცავი	სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
02.2017	სპილენძი	მგ/ლ		0.0058	0.0044	0.0029
	ტყვია			0.0016	0.0036	0.0017
	ვერცხლი			0.0006	0.0006	0.0002
08.2017	სპილენძი		0.0146	0.0122	0.0147	0.0135
	ტყვია		0.0055	0.0068	0.0079	0.0022
	ვერცხლი		0.0002	0.0002	0.0001	0.0002



ნახ. 2.1. სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველიანაგის ახალი წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2017).



ნახ. 2.2. სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველიანაგის ძველი წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2017).



ნახ. 3.3. გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშენის წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2017).

ნიადაგის ნიმუშებში ჰუმუსისა და საკვები ელემენტების (N, P, K) შესათვისებელი ფორმების განსაზღვრა ძველი ანაგისა და სოფ.ახაშენის ნიადაგის ნიმუშებში 0-20, 20-40, 40-60 სმ სიღრმეზე. ცხრ. 2.6-ში მოცემულია ჰუმუსისა და N, P, K-ს მიღებული შედეგები.

ცხრილი 2.6. ძველი ანაგის და სოფ.ახაშენის ნიადაგებში ჰუმუსისა და საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების განსაზღვრის შედეგები (02.2017)

ნიადაგის დასახელება	სიღრმე, სმ	ჰუმუსი %	შესათვისებელი მგ/100გ		ჰიდროლიზური N მგ/100გ
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
სოფ. ძველი ანაგა	0-20	2.36	2.2	50.0	4.6
	20-40	1.46	1.8	43.0	4.0
	40-60	1.11	1.2	30.0	3.8
სოფ. ახაშენი	0-20	3.20	3.5	47.8	5.6
	20-40	2.50	3.2	45.0	4.8
	40-60	1.50	1.4	34.0	4.2

ცხრ. 2.6-დან ჩანს ჰუმუსის შემცველობა სოფ.ძველი ანაგის ნიადაგებში ზედა ჰორიზონტში შეადგენს 2,36%, სიღრმეში თანდათან კლებულობს და 40-60 სმ სიღრმეზე შეადგენს 1,11%-ს, ე.ი. ეს ნიადაგები ჰუმუსით ნაკლებად უზრუნველყოფილი ნიადაგებია.

- ნიადაგი მდიდარია შესათვისებელი კალიუმით (50,0 მგ/100 გ ნიადაგში სამაგიეროდ მცირეა შესათვისებელი ფოსფორის რაოდენობა). სიღრმეში მისი რაოდენობა კლებულობს და შეადგენს 30,0 მგ/100 გ ნიადაგში.
- ჰიდროლიზური აზოტის რაოდენობა იცვლება ჰუმუსის შემცველობის მიხედვით, მაქსიმალურია ზედა ჰუმუსიან ფენაში და შეადგენს 4,6 მგ/100 გ ნიადაგში. სიღრმეში მისი რაოდენობა კლებულობს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ საკვლევ ნიმუშებში დაბალია ჰიდროლიზური ანუ შესათვისებელი აზოტის შემცველობა, ე.ი. ნიადაგები ითვლებიან დაბალნაყოფიერ ნიადაგებად.

- სოფ.ახშნის ნიადაგები უკეთესია ყველა კომპონენტის მიხედვით ძველი ანაგის ნიადაგებთან შედარებით.
- ცხრ. 2.7-ში მოცემულია ნიადაგის ნიმუშებში მძიმე ლითონების (Cu, Pb, Ag) განსაზღვრის შედეგები 0-10 და 10-20 სმ სიღრმეზე.

**ცხრილი 2.7. ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა. თებერვალი, 2017 წ**

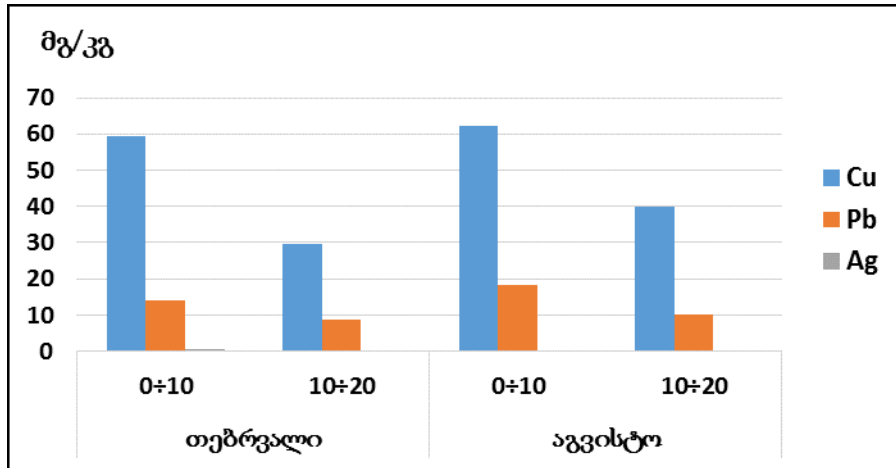
№	ინგრედიენტები	სიღრმე, სმ	Cu	Pb	Ag
			მგ/კგ		
1	სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა	0-10	59.53	14.05	0.53
		10-20	29.72	8.63	0.24
2	გურჯაანი, ს.ახაშენი	0-10	21.45	5.45	0.51
		10-20	27.68	5.72	0.24
		20-30	30.23	5.23	0.29
		30-40	40.04	6.67	0.38
		40-50	29.05	5.88	0.39

**ცხრილი 2.8. ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა. აგვისტო, 2017წ**

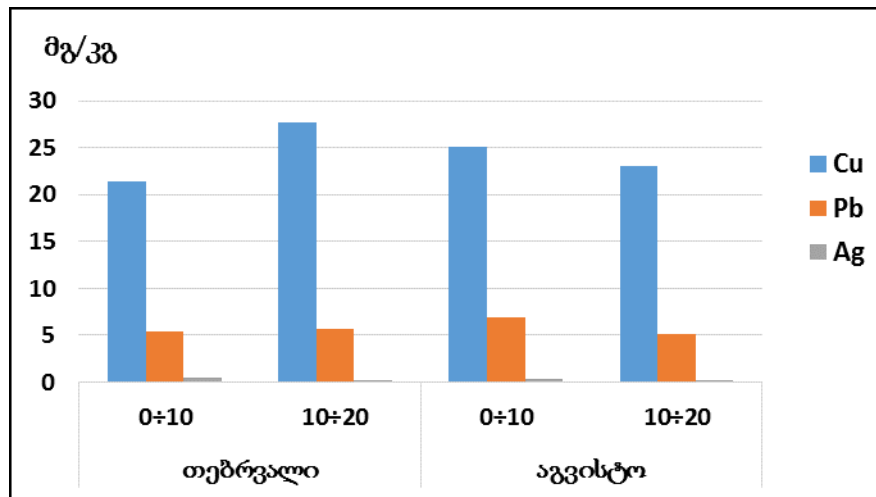
№	ინგრედიენტები	სიღრმე, სმ	Cu	Pb	Ag
			მგ/კგ		
1	სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა	0-10	62.25	18.27	0.25
		10-20	40.05	10.16	0.19
2	გურჯაანი, ს.ახაშენი	0-10	25.10	6.96	0.30
		10-20	23.06	5.17	0.25

როგორც ცხრ. 2.7-2.8-დან ჩანს სპილენძის შემცველობა ზედა 0-10 სმ-იან ფენაში შეადგენს 59,53 მგ/კგ, ხოლო ქვედა 10-20 სმ-იან ფენაში შეადგენს 29,72 მგ/კგ-ზე. გურჯაანის ნიადაგებში მისი შემცველობა შესაბამისად შეადგენს 21,45-27,68 მგ/კგ. სპილენძის შემცველობა კლარკში შეადგენს 47, ხოლო ნიადაგში მისი საშუალო შემცველობა - 20 მგ/კგ. როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, სპილენძის შემცველობა აღემატება როგორც კლარკის ისე ნიადაგში მის საშუალო შემცველობას. გურჯაანის ნიადაგებში სპილენძის შემცველობა ნაკლებია ძველი ანაგის ნიადაგებთან შედარებით. ტყვიის შემცველობა მხოლოდ ზედა 0-10 სმ-იან ფენაში აღემატება მის საშუალო მნიშვნელობას ნიადაგში. ვერცხლის შემცველობა ნორმის ფარგლებშია.

როგორც ნახ. 2.4 და 2.5-დან ჩანს: ნიადაგში მძიმე ლითონებიდან პრიორიტეტული დამაბინძურებელი ელემენტია სპილენძი. სიღნაღის რაიონში საანგარიშო პერიოდში ნიადაგის ზედა 0-10 სმ-იან ფენაში დაფიქსირებულია სპილენძის მაქსიმალური რაოდენობა, რომელიც შეადგენს 62 მგ/კგ, ხოლო ტყვიის შემცველობა 18 მგ/კგ-ზე, გაცილებით ნაკლებია მათი შემცველობა გურჯაანის რაიონში. ნიადაგის 10-20 სმ-იან ფენაში აღინიშნება მძიმე ლითონების უფრო ნაკლები შემცველობა.



ნახ. 2.4. სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა, ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა, თებერვალი, აგვისტო 2017 წ.



ნახ. 2.5. გურჯაანი, სოფ. ახაშენი, ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა, თებერვალი, აგვისტო 2017 წ.

2018 წელს ჩატარდა ორი ექსპედიცია.

სიღნაღის მუნიციპალიტეტში - სოფ. ძველი ანაგის ტერიტორიაზე აღებულია ნიადაგისა და წყლის სინჯები შემდეგი წერტილებიდან: სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი, ახალი წყალსაცავი, ძველი წყალსაცავი და გრუნტის წყალი.

ნიადაგის ნიმუშების აღება მოხდა 0-10, 10-20, 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 სმ სიღრმეზე წყალსაცავების გარშემო 20 მ-ის დაცილებით.

ანალოგიური სამუშაოები ჩატარდა გურჯაანის მუნიციპალიტეტში, სოფ. ახაშენის ტერიტორიაზე წყალსაცავიდან მოხდა წყლის სინჯის აღება, ხოლო წყალსაცავიდან 20 მ-ს დაცილებით მოხდა ნიადაგის ნიმუშების აღება იგივე სიღრმეებზე.

დაგეგმილი იყო წყლის სინჯებში ადგილზე მობილური აპარატის საშუალებით გაზომვების ჩატარება კერძოდ, ტემპერატურის, pH, გახსნილი ჟანგბადის და მარილიანობის [9]. ხოლო ლაბორატორიაში მათში განისაზღვრა ჰიდროქსიმიური და მიკრობიოლოგიური პარამეტრები (იხ. ცხრილები 2.9, 2.10).

**ცხრილი 2.9. ალაზნის ველის ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლისა და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, თებერვალი, 2018 წ**

№	გაზომილი პარამეტრები	ერთეული	სიღნაღი, ძველი ანაბა				გურჯაანი
			ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	გრუნტის წყალი	სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
1	სუნი	ბალი	0	0	0	0	0
2	გამჭირვალობა	სმ	9	9	10	12	11
3	pH	მგ/ლ	7,95	8,12	8,02	6.70	7,65
4	კარბონატი	მგ/ლ	-	2,1	1,92	-	-
5	ნახშირორჟანგი	მგ/ლ	1,06	-	-	0.95	1,15
6	ჰიდროკარბონატი	მგ/ლ	129,32	197,64	149,24	785.1	137,81
7	სიხისტე	მგქვე/ლ	2,36	4,57	3,01	12.25	2,45
8	ამონიუმი	მგN/ლ	0.124	0.778	0,854	0,358	0,623
9	კალციუმი	მგ/ლ	32,58	62,99	29,35	202.3	41,02
10	მაგნიუმი	მგ/ლ	8,99	17,32	9,37	58.5	5,28
11	ელექტროგამტარობა	µsms/cm	213,5	365,2	252,2	5896	240,6
12	გახსნილი ჟანგბადი	მგ/ლ	9,54	9,98	9,20	-	9,41
13	ჰბმ <sub>5</sub>	მგ/ლ	1,02	1,36	0,95	-	1,15
14	ნიტრატი	მგN/ლ	0,535	0,233	0,325	0.253	0,500
15	ნიტრიტი	მგN/ლ	0,019	<0,001	0,085	<0,001	0,002
16	ფოსფატი	მგ/ლ	0,167	0,254	0,135	0,053	0,248
17	ფტორი	მგ/ლ	0,065	0,056	0,044	0,179	0,068
18	ბრომი	მგ/ლ	0,133	0,339	0,140	<0,001	0,120
19	სულფატები	მგ/ლ	20,50	90,25	35,88	3256.8	26,22
20	ქლორიდები	მგ/ლ	4,49	8,13	3,21	498,5	4,28
21	ნატრიუმი	მგ/ლ	7,0	16,5	10,0	524,5	8,5
22	კალიუმი	მგ/ლ	0,9	1,1	1,1	4,1	1,2
23	სილიციუმქაფა	მგ/ლ	4,1	7,1	3,7	11,0	3,8
24	მინერალიზაცია	მგ/ლ	206,21	364,97	258,98	6011.9	238,85
25	სპილენძი	მგ/ლ	0,0082	0,0029	0,0045	0.0053	0,0032
26	ტყვია	მგ/ლ	0,0029	0,0038	0,0021	0.0019	0,0019
27	ვერცხლი	მგ/ლ	0,0038	0,0002	0,0003	0.0002	0,0005

**ცხრილი 2.10. ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლისა და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, 02.2018 წ.**

განსაზღვრული ინგრედიენტები	ერთეული	სიღნაღი, სოფ.ძველი ანაბა				გურჯაანი, ს.ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	გრუნტის წყალი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	
ტოტალური კოლიფორმები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	5500	6500	6000	7000	6 500
E-coli	1 დმ <sup>3</sup> -ში	5 000	6 000	4000	7 500	6000
ფეკალური სტრეპტოკოკები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	400	600	500	650	400

ცხრ. 2.9 და 2.10-ში მოცემულია 2018 წელს აღებული ნიმუშების ქიმიური ანალიზის შედეგები. როგორც ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს:

- წყალსაცავების წყლები მიეკუთვნებიან საშუალოდ მინერალიზირებულ წყალსაცავების კატეგორიას.
- გრუნტის წყლები ხასიათდებიან მაღალი მინერალიზაციით და მიეკუთვნებიან მაღალი მინერალიზაციის მქონე წყლებს; აღინიშნება ნატრიუმის, ქლორისა და სულფატების იონების მაღალი შემცველობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ წყალსაცავები გაშენებულია დამლაშებულ ნიადაგებზე (სიღნაღის მუნიციპალიტეტში).
- სიღნაღის რაიონის სოფ. ანაგის და გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშნის ტერიტორიაზე არსებულ ხელოვნურ წყალსაცავებში ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონების კონცენტრაციები აღემატებიან ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, ამავე დროს არის ტენდენცია, რომ მათი რაოდენობა ძველ წყალსაცავებში მეტია ახალ წყალსაცავებთან შედარებით.
- მიკრობიოლოგიური თვალსაზრისით სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი განსაკუთრებით დაბინძურებულია E-coli-ით.
- მძიმე ლითონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა, დაფიქსირებულია ნორმის ფარგლებში და არ ხდება ამ ლითონებით წყალსაცავების დაბინძურება.

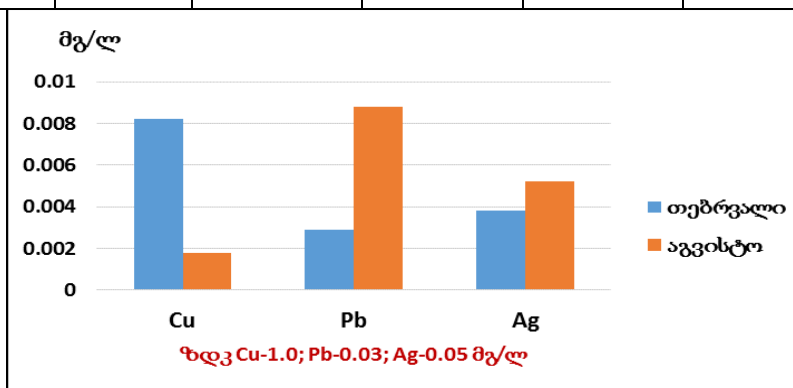
**ცხრილი 2.11. ალაზნის ველის ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლის, სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენისა და ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყლის ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, აგვისტო, 2018წ.**

№	გაზომილი პარამეტრები	ერთეული	სიღნაღი, ძველი ანაგა					გრუნტის წყალი	სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
			ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	ქვემო ალაზნის სარწყავი არხი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	გრუნტის წყალი		
1	სუნი	ბალი	0	0	0	0	0	0	
2	გამჭირვალობა	სმ	9	9	9	11	11	10	
3	pH	მგ/ლ	8,23	7,98	8,40	7,82	8,12	8,77	
4	კარბონატი	მგ/ლ	1,25	-	2,1	-	1,5	1,5	
5	ნახშირორჟანგი	მგ/ლ	-	2,82	-	1,23	-	-	
6	ჰიდროკარბონატი	მგ/ლ	197,64	229,36	192,76	142,27	272,33	200,1	
7	სიხისტე	მგქმ./ლ	4,92	7,21	3,82	2,92	15,22	3,32	
8	ამონიუმი	მგN/ლ	0,356	0,688	0,345	0,543	0,355	0,578	
9	კალციუმი	მგ/ლ	75,48	116,47	55,35	28,25	397,20	67,52	
10	მაგნიუმი	მგ/ლ	14,02	16,99	12,88	9,11	71,0	28,67	
11	ელექტროგამტარობა	µsms/cm	630	835	360	302	3156	455	
12	ნიტრატი	მგN/ლ	0,479	0,015	0,635	1,235	1,675	0,876	
13	ნიტრიტი	მგN/ლ	0,005	0,045	0,034	0,123	0,458	0,056	
14	ფოსფატი	მგ/ლ	0,183	0,090	0,040	0,145	0,197	0,190	
15	ფტორი	მგ/ლ	0,293	0,250	0,335	0,098	0,098	0,045	
16	ბრომი	მგ/ლ	0,924	0,042	0,095	0,045	0,123	0,089	
17	სულფატები	მგ/ლ	130,89	207,18	63,31	52,30	1349,5	111,45	
18	ქლორიდები	მგ/ლ	28,41	30,52	7,28	8,20	178,5	11,98	
19	ნატრიუმი	მგ/ლ	78,5	125,5	14,5	10,5	366,8	15,7	
20	კალიუმი	მგ/ლ	1,6	4,0	1,2	1,2	9,5	1,5	
21	სილიციუმმწკავა	მგ/ლ	6,1	10,2	4,5	4,5	7,5	7,5	
22	მინერალიზაცია	მგ/ლ	627,83	827,07	350,21	351,76	3296	479,82	
23	სპილენძი	მგ/ლ	0,0018	0,0060	0,0025	0,0086	0,0060	0,0069	
24	ტყვია	მგ/ლ	0,0088	0,0068	0,0109	0,0019	0,0020	0,0056	
25	ვერცხლი	მგ/ლ	0,0052	0,0009	0,0035	0,0002	0,0003	0,0003	

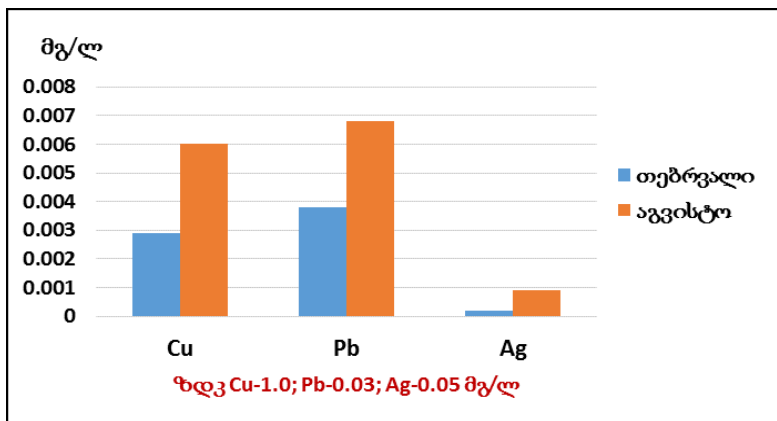
- აგვისტოს თვის მონაცემების მიხედვით, ბუნებრივი წყლების ერთ-ერთი ძირითადი მახვენებელი არის pH, რომელიც ბუნებრივი თუ ანთროპოგენული ფაქტორების მიხედვით საკმაოდ ცვლადია (7,82-8,77). იგი განსაზღვრავს უანგვა-აღდგენით პოტენციალს და მასზეა დამოკიდებული წყლის თვითგაწმენდის უნარი.
- მინერალიზაცია ახალ წყალსაცავში შეადგენს 627,83 მგ/ლ, ხოლო ძველში - 827,07 მგ/ლ. გახსნილი ნივთიერებების მიხედვით (მგ/ლ-ით) წყალსაცავები მიეკუთვნებიან ზომიერი (500-1000 მგ/ლ) მინერალიზაციის მქონე წყლებს. ხოლო სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მინერალიზაცია გაცილებით ნაკლებია და ტოლია 351,76 მგ/ლ.
- გურჯაანის წყალსაცავის წყალში წყლის მინერალიზაცია სიღნაღის რაიონის წყლებთან შედარებით ნაკლებია და შეადგენს 479,82 მგ/ლ.
- რაც შეეხება გრუნტის წყლებს, მისი მინერალიზაცია გაცილებით მეტია ყველა წყალსაცავის მინერალიზაციაზე (3296 მგ/ლ) და ის მიეკუთვნება მაღალ მინერალიზირებულ წყლებს. ამავე დროს აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ალაზნის ველზე გრუნტის წყალი ამოსულია მაღლა 1,5-2,5 მ-მდე და შესაძლებელია მათი შედინება წყალსაცავის წყლებში.
- როგორც ცხრ. 2.11-დან ჩანს, აღინიშნება ნატრიუმის, ქლორისა და სულფატ-იონების მაღალი შემცველობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ წყალსაცავები გაშენებულია დამლაშებულ ნიადაგებზე.
- ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონები აღემატებიან შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას და აღნიშნულ წყლებში მერყეობს 0,345-0,688 მგ/ლ-ს ფარგლებში. ამავე დროს შეინიშნება ტენდენცია, რომ ამონიუმის იონები უფრო მეტი რაოდენობით არის ძველ წყალსაცავში, ვიდრე ახალში, ხოლო გურჯაანის წყალსაცავში ყოველთვის არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას.
- რაც შეეხება მძიმე ლითონების შემცველობას წყალსაცავების წყლებში, ისინი ნორმის ფარგლებში დაფიქსირდა და ამ მხრივ დაბინძურებას ადგილი არ აქვს

**ცხრილი 2.12. ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლის და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, აგვისტო, 2018 წ.**

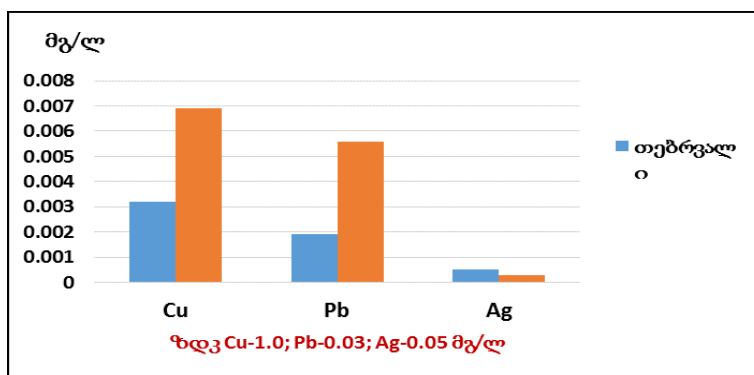
განსაზღვრული ინგრედიენტები	ერთეული	სიღნაღი, სოფ. ძველი ანაგა				გურჯაანი, ს.ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	გრუნტის წყალი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	
ტოტალური კოლიფორმები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	3 500	4 500	5 500	6 400	4 000
E-coli	1 დმ <sup>3</sup> -ში	2 000	6 000	5 500	6 500	5 000
ფეკალური სტრეპტოკოკები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	250	300	550	500	200



**ნახ. 2.6. სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველიანაგის ახალი წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2018).**



ნახაზი 2.7. სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველიანაგის ძველი წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2018).



ნახაზი 2.8. გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშენის წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2018).

ლაბორატორიაში ჩამოტანილი ნიადაგის ნიმუშებში ჩატარდა ქიმიური ანალიზები: გაშრობა, დაფხვნა-დაქუცმაცება, დაფქვა, გაცრა და ა.შ., 0-10 და 10-20 სმ სიღრმეზე განისაზღვრა მძიმე ლითონების (Cu, Pb, Ag) შემცველობა (ცხრ. 2.13, 2.14).

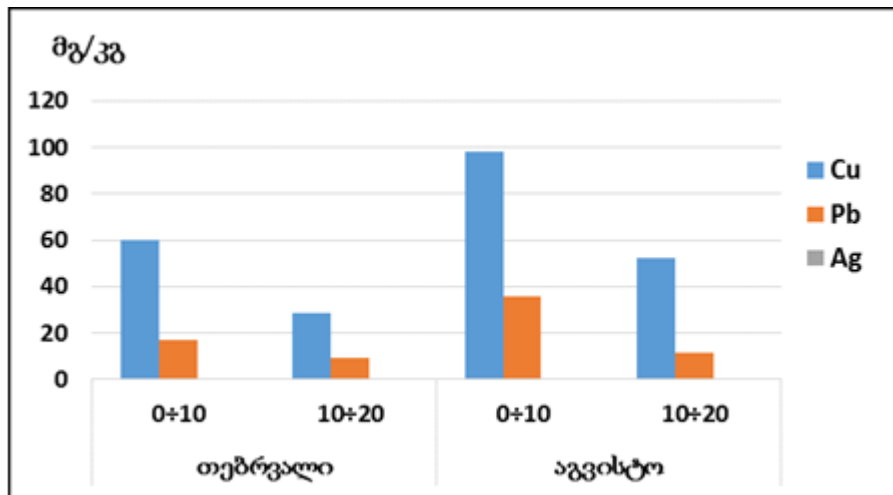
ცხრილი 2.13. ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა. 28.02. 2018

№	ინგრედიენტები	სიღრმე, სმ	Cu	Pb	Ag
			მგ/კგ		
1	სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა	0-10	60.24	17.18	0.45
		10-20	28.52	9.22	0.20
2	გურჯაანი, ს.ახაშენი	0-10	31.35	8.25	0.59
		10-20	26.82	5.89	0.31

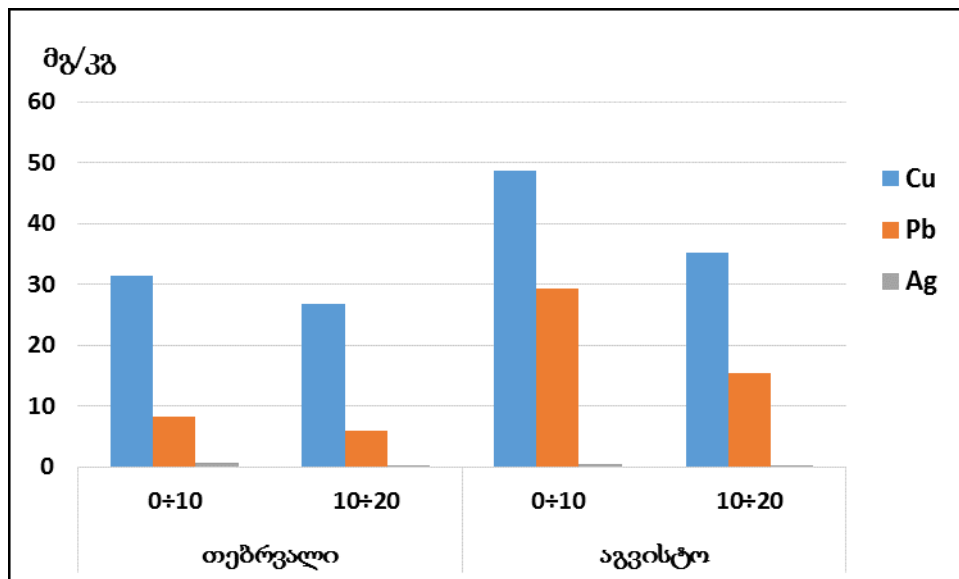


ცხრილი 2.14. ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა აგვისტო, 2018

№	ინგრედიენტები	სიღრმე, სმ	Cu	Pb		Ag
				მგ/კგ		
1	სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა	0-10	98.24	35.66	0.52	
		10-20	52.41	11.78	0.22	
2	გურჯაანი, ს.ახაშენი	0-10	48.63	29.33	0.49	
		10-20	35.21	15.47	0.28	



ნახ. 9. სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა, ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა, თებერვალი, აგვისტო 2018 წ.



ნახ.10. გურჯაანი, სოფ. ახაშენი, ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა, თებერვალი, აგვისტო 2018 წ.

გრაფიკებიდან ჩანს, რომ 2018 წლის თებერვლის თვის ნიადაგში მძიმე ლითონებიდან პრიორიტეტული დამაბინძურებელი ელემენტია სპილენძი. სიღნაღის რაიონში საანგარიშო პერიოდში ნიადაგის ზედა 0-10 სმ-იან ფენაში დაფიქსირებულია სპილენძის მაქსიმალური რაოდენობა 60,24 მგ/კგ, ხოლო ტყვიის შემცველობა 9,22-17,18 მგ/კგ-ის ფარგლებში მერყეობს, შედარებით ნაკლებია სპილენძის შემცველობა გურჯაანის რაიონში და შეადგენს 31,35 მგ/კგ ნიადაგის ზედა ფენაში, ხოლო ტყვია მერყეობს 5,89-8,25 მგ/კგ-ის ფარგლებში. ნიადაგის 10-20 სმ-იან ფენაში აღინიშნება მძიმე ლითონების უფრო ნაკლები შემცველობები.

ნახ. 2.9 და 2.10-დან ჩანს, რომ აგვისტოს თვის ნიადაგშიც მძიმე ლითონებიდან პრიორიტეტული დამაბინძურებელი ელემენტია სპილენძი. სიღნაღის რაიონში (ს.ძველი ანაგა) საანგარიშო პერიოდში ნიადაგის ზედა 0-10 სმ-იან ფენაში დაფიქსირებულია სპილენძის მაქსიმალური რაოდენობა 98,24 მგ/კგ, ხოლო ტყვიის შემცველობა შედგებს 35,66 მგ/კგ, შედარებით ნაკლებია სპილენძის შემცველობა გურჯაანის რაიონში (ს.ახაშენი) და შეადგენს 48,63 მგ/კგ ნიადაგის ზედა ფენაში, ხოლო ტყვია-29,33 მგ/კგ. ნიადაგის 10-20 სმ-იან ფენაში აღინიშნება მძიმე ლითონების უფრო ნაკლები შემცველობები. ვერცხლის შემცველობა როგორც ძველი ანაგის, ისე ახაშნის ნიადაგების ზედა ფენაში უმნიშვნელოა და შესაბამისად შეადგენს 0,52 და 0,49 მგ/კგ ნიადაგზე აგვისტოს თვეში. სიღრმეში ვერცხლის შემცველობა კიდევ უფრო მცირეა.

აღსანიშნავია ნიადაგის დაბინძურება სპილენძით, ვინაიდან სასოფლო-სამეურნეო საგარეულებში გამოყენებული ქიმიკატები შეიცავენ სპილენძს. პესტიციდებში წამყვანი ადგილი შაბიამანს, კუპრაზანს, კუპერვალს, იროკოს, ციანიდებს და სხვას უკავიათ. უმეტესობის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტი სპილენძია, რომელიც ხვდება ჰაერში, წყალში, საკვებ პროდუქტებში და ადამიანის ორგანიზმში; ხოლო ტყვიის გაზრდილი კონცენტრაციები შესაძლებელია გამოწვეული იყოს ალაზნის ველის ნიადაგებსა და მცენარეულ საკვებ პროდუქტებში ავტომანქანების გამონაბოლქვით და ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების გავლენით (რეაგენტი Pb12), თუმცა ეს რეაგენტი აღარ გამოიყენება სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების ჩატარების დროს, ამჟამად ამ სამუშაოებში გამოიყენება ვერცხლის იოდიდი (AgI). ნიადაგში კონცენტრაციის მიხედვით სპილენძის შემდეგ მეორე ადგილზეა ტყვია და ბოლოს ვერცხლი. მათ მიერ ნიადაგის დაბინძურება არ ხდება.

2019 წლის თებერვლისა და აგვისტოს თვეებში ჩატარდა ექსპედიციური სამუშაოები სიღნაღისა და გურჯაანის მუნიციპალიტეტებში. აღებული იყო ბუნებრივი წყლის სინჯები და ნიადაგის ნიმუშები საკვლევი ობიექტებიდან. ლამორატორიაში მოხდა საჭირო ინგრედიენტების განსაზღვრა, მიღებული შედეგებია მოცემულია შესაბამის ცხრ. 2.15-2.20 და ნახ.2.11-2.15.

**ცხრილი 2.15. ალაზნის ველის ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლისა და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, თებერვალი**

გაზომილი პარამეტრები	ერთეული	სიღნაღი, ძველი ანაგა				გურჯაანი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	გრუნტის წყალი	სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
pH	მგ/ლ	7,26	7,85	7,91	7,05	7,35
კარბონატი	მგ/ლ	-	1,3	1,25	-	-
ნახშირორჟანგი	მგ/ლ	1,15	-	-	0,85	1,05
ჰიდროკარბონატი	მგ/ლ	132,56	186,23	152,42	822,25	142,35
სიხისტე	მგ/მგ/ლ	2,22	3,26	2,85	11,88	2,49
ამონიუმი	მგN/ლ	0,251	0,524	0,613	0,333	0,521
კალციუმი	მგ/ლ	35,41	59,12	31,54	198,58	44,25

ცხრილი 2.15-ის გაგრძელება						
მაგნიუმი	მგ/ლ	11,02	16,54	10,23	17,11	7,19
ელექტროგამტარობა	µsms/cm	240,15	389,33	268,49	6124,5	256,9
გასხნილი ჟანგბადი	მგ/ლ	10,51	10,25	11,14	11,46	10,35
უბმ <sub>5</sub>	მგ/ლ	0,95	0,86	0,74	1,28	0,65
ნიტრატი	მგN/ლ	1,125	0,827	0,741	0,522	0,419
ნიტრიტი	მგN/ლ	0,012	0,022	0,061	0,124	0,043
ფოსფატი	მგ/ლ	0,135	0,148	0,148	0,085	0,178
ფტორი	მგ/ლ	0,111	0,087	0,064	0,041	0,102
ბრომი	მგ/ლ	0,161	0,228	0,214	0,189	0,174
სულფატები	მგ/ლ	45,12	102,14	42,84	3876,23	32,17
ქლორიდები	მგ/ლ	6,05	10,45	6,25	512,36	6,47
ნატრიუმი	მგ/ლ	15,20	22,15	12,33	615,23	12,36
კალიუმი	მგ/ლ	1,5	1,9	2,1	6,5	2,1
სილიციუმჟავა	მგ/ლ	5,5	9,1	4,5	10,1	4,1
მინერალიზაცია	მგ/ლ	239,18	390,45	260,78	6222,52	261,48
სპილენძი	მგ/ლ	0,0059	0,0046	0,0065	0,0041	0,0049
ტყვია	მგ/ლ	0,0022	0,0019	0,0030	0,0024	0,0017
ვერცხლი	მგ/ლ	0,0005	0,0003	0,0004	0,0001	0,0002

**ცხრილი 2.16. ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლის და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, თებერვალი, 2019 წ.**

განსაზღვრული ინგრედიენტები	ერთეული	სიღნაღი, სოფ. ძველი ანაგა				გურჯაანი, ს.ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	გრუნტის წყალი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	
ტოტალური კოლიფორმები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	4 000	5500	5000	6500	5 500
E-coli	1 დმ <sup>3</sup> -ში	4500	4 000	3500	6000	4000
ფეკალური სტრეპტოკოკები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	200	300	450	550	200

- წყალსაცავების წყლები მიეკუთვნებიან საშუალოდ მინერალიზირებულ წყალსაცავების კატეგორიას.
- გრუნტის წყლები ხასიათდებიან მაღალი მინერალიზაციით და მიეკუთვნებიან მაღალი მინერალიზაციის მქონე წყლებს; აღინიშნება ნატრიუმის, ქლორისა და სულფატების იონების მაღალი შემცველობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ წყალსაცავები გაშენებულია დამლაშებულ ნიადაგებზე (სიღნაღის მუნიციპალიტეტში).
- სიღნაღის რაიონის სოფ. ანაგის და გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშნის ტერიტორიაზე არსებულ ხელოვნურ წყალსაცავებში ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონების კონცენტრაციები აღემატებიან ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, ამავე დროს არის ტენდენცია, რომ მათი რაოდენობა ძველ წყალსაცავებში მეტია ახალ წყალსაცავებთან შედარებით.
- მიკრობიოლოგიური თვალსაზრისით სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი დაბინძურებულია E-coli1-ით.
- მძიმე ლითონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა, დაფიქსირებულია ნორმის ფარგლებში და არ ხდება ამ ლითონებით წყალსაცავების დაბინძურება.

**ცხრილი 2.17. ალაზნის ველის ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლის, სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენისა და ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყლის ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, აგვისტო, 2019**

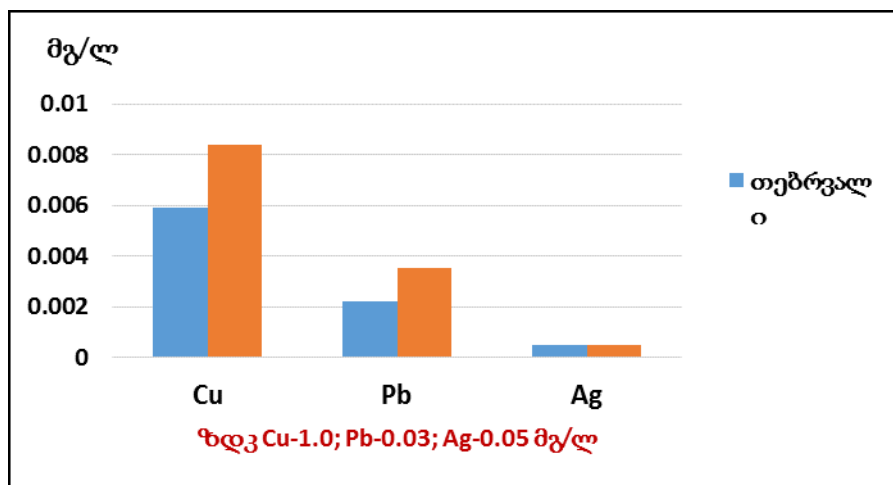
გაზომილი პარამეტრები	ერთეული	სიღნაღი, ძველი ანაგა					გურჯაანი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	ქვემო ალაზნის სარწყავი არხი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	გრუნტის წყალი	სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
pH	მგ/ლ	8,55	8,25	8,61	7,75	7,45	8,56
კარბონატი	მგ/ლ	0,85	0,74	1,22	-	-	1,12
ნახშირორჟანგი	მგ/ლ	-	-	-	1,05	1,14	-
ჰიდროკარბონატი	მგ/ლ	128,19	156,32	202,55	125,84	322,84	153,23
სიხისტე	მგმკვ./ლ	3,21	4,14	2,25	1,88	11,12	2,46
ამონიუმი	მგN/ლ	0,422	0,581	0,411	0,623	0,284	0,485
კალციუმი	მგ/ლ	69,25	99,48	66,89	33,45	412,48	59,78
მაგნიუმი	მგ/ლ	10,22	12,45	9,48	10,47	65,22	30,41
ელექტროგამტარობა	μsms/cm	436	625	425	455	5425	336
ნიტრატი	მგN/ლ	1,885	1,326	0,842	1,322	1,478	0,975
ნიტრიტი	მგN/ლ	0,012	0,048	0,043	0,147	0,321	0,111
ფოსფატი	მგ/ლ	0,105	0,122	0,059	0,105	0,096	0,057
ფტორი	მგ/ლ	0,055	0,023	0,065	0,038	0,101	0,027
ბრომი	მგ/ლ	0,115	0,047	0,024	0,115	0,109	0,122
სულფატები	მგ/ლ	159,02	245,12	76,49	67,32	1486,23	202,45
ქლორიდები	მგ/ლ	36,89	45,18	11,46	19,69	210,23	15,48
ნატრიუმი	მგ/ლ	75,89	134,51	16,78	11,47	435,62	20,15
კალიუმი	მგ/ლ	1,1	3,5	1,5	1,5	10,5	1,1
სილიციუმჟავა	მგ/ლ	7,1	8,5	3,1	3,5	8,1	7,5
მინერალიზაცია	მგ/ლ	440,55	630,40	420,48	460,12	5405,23	339,78
სპილენძი	მგ/ლ	0,0084	0,0056	0,0084	0,0080	0,0059	0,0071
ტყვია	მგ/ლ	0,0035	0,0029	0,0045	0,0035	0,0031	0,0025
ვერცხლი	მგ/ლ	0,0005	0,0004	0,0001	0,0005	0,0002	0,0003

**ცხრილი 2.18. ხელოვნური წყალსაცავების, გრუნტის წყლის და სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, აგვისტო, 2019**

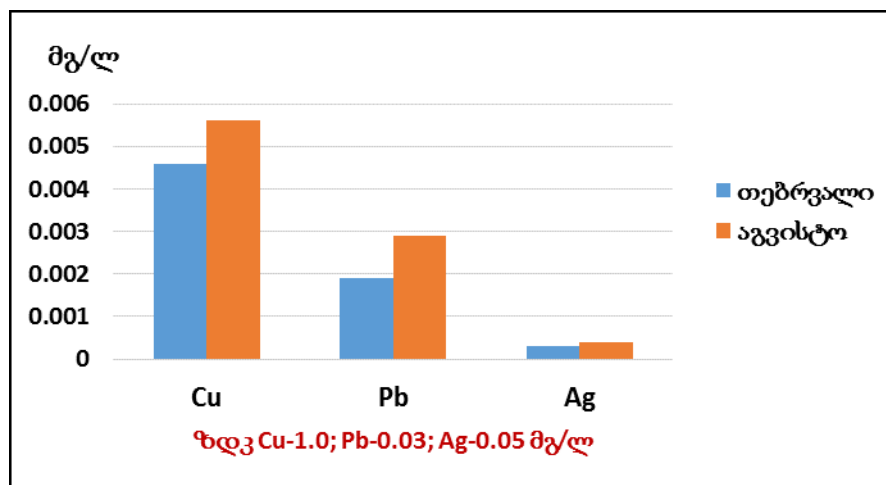
განსაზღვრული ინგრედიენტები	ერთეული	სიღნაღი, სოფ. ძველი ანაგა				გურჯაანი, სახაშნის ხელოვნური წყალსაცავი
		ახალი წყალსაცავი	ძველი წყალსაცავი	გრუნტის წყალი	სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენი	
ტოტალური კოლიფორმები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	3 200	5 500	5 000	5600	3500
E-coli	1 დმ <sup>3</sup> -ში	1500	5 000	4000	5300	2 000
ფეკალური სტრეპტოკოკები	1 დმ <sup>3</sup> -ში	150	250	350	250	100

- აგვისტოსს თვის მონაცემების მიხედვით, ბუნებრივი წყლების ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი არის pH, რომელიც ბუნებრივი თუ ანთროპოგენული ფაქტორების მიხედვით საკმაოდ ცვლადია (7,45-8,61). იგი განსაზღვრავს ჟანგვა-აღდგენით პოტენციალს და მასზეა დამოკიდებული წყლის თვითგაწმენდის უნარი.
- მინერალიზაცია ახალ წყალსაცავში შეადგენს 440,55 მგ/ლ, ხოლო ძველში - 630,40 მგ/ლ. გახსნილი ნივთიერებების მიხედვით (მგ/ლ-ით) წყალსაცავები მიეკუთვნებიან ზომიერი (500-1000 მგ/ლ) მინერალიზაციის მქონე წყლებს. ხოლო სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მინერალიზაცია ტოლია 460,12 მგ/ლ.

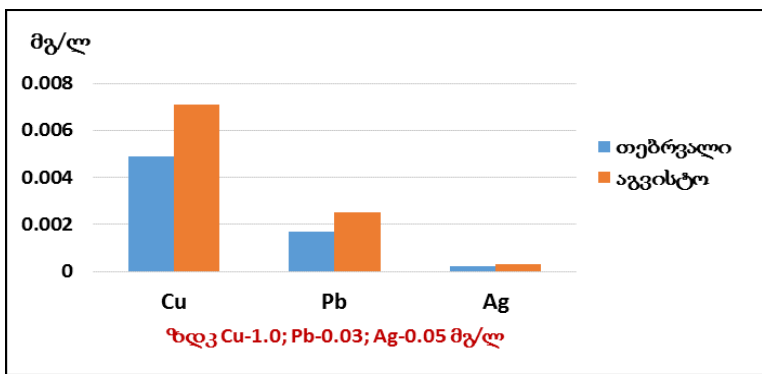
- გურჯაანის წყალსაცავის წყალში წყლის მინერალიზაცია სიღნაღის რაიონის წყლებთან შედარებით ნაკლებია და შეადგენს 339,78 მგ/ლ.
- რაც შეეხება გრუნტის წყლებს, მისი მინერალიზაცია გაცილებით მეტია ყველა წყალსაცავის მინერალიზაციაზე (5405 მგ/ლ) და ის მიეკუთვნება მაღალ მინერალიზირებულ წყლებს. ამავე დროს აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ალაზნის ველზე გრუნტის წყალი ამოსულია მაღლა 1,5-2,5 მ-მდე და შესაძლებელია მათი შედინება წყალსაცავის წყლებში.
- ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონები აღემატებიან შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას და აღნიშნულ წყლებში მერყეობს 0,284-0,623 მგ/ლ-ს ფარგლებში. ამავე დროს შეინიშნება ტენდენცია, რომ ამონიუმის იონები უფრო მეტი რაოდენობით არის ძველ წყალსაცავში, ვიდრე ახალში, ხოლო გურჯაანის წყალსაცავშიც აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას.
- რაც შეეხება მძიმე ლითონების შემცველობას წყალსაცავების წყლებში, ისინი ნორმის ფარგლებში დაფიქსირდა და ამ მხრივ დაბინძურებას ადგილი არ აქვს.



ნახ. 2.11. სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველიანაგის ახალი წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2019).



ნახ. 2.12. სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველიანაგის ძველი წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2019).



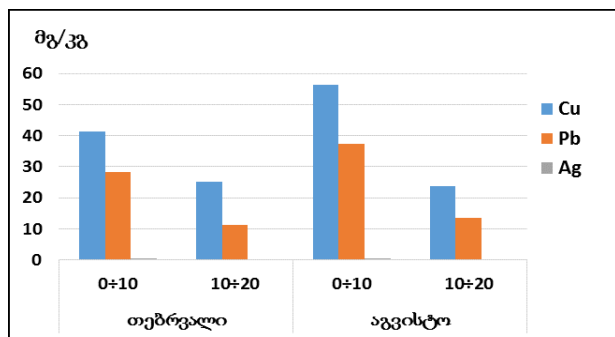
ნახ. 2.13. გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშენის წყალსაცავის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობა (2018).

ცხრილი 2.19. ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა თებერვალი, 2019

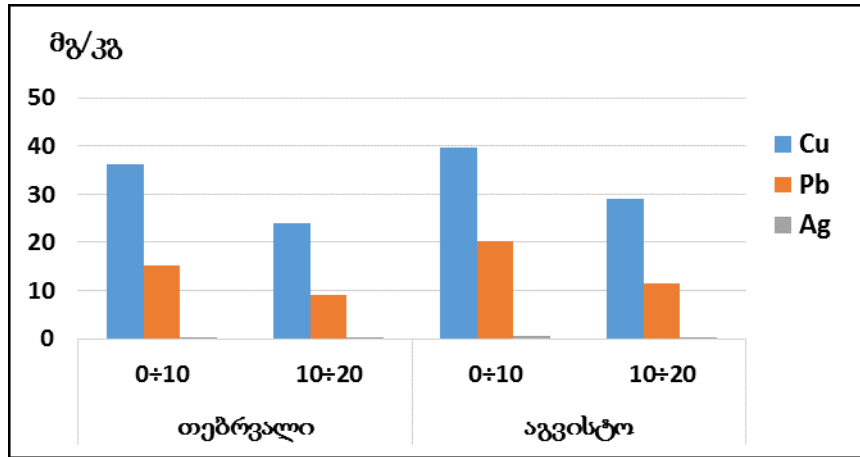
№	ინგრედიენტები	სიღრმე, სმ	Cu	Pb	Ag
			მგ/კგ		
1	სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა	0-10	41.20	28.15	0.36
		10-20	25.22	11.24	0.28
2	გურჯაანი, ს.ახაშენი	0-10	36.21	15.27	0.42
		10-20	24.11	9.22	0.29

ცხრილი 2.20. ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა აგვისტო, 2019

№	ინგრედიენტები	სიღრმე, სმ	Cu	Pb	Ag
			მგ/კგ		
1	სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა	0-10	56.31	37.29	0.45
		10-20	23.63	13.54	0.31
2	გურჯაანი, ს.ახაშენი	0-10	39.59	20.19	0.51
		10-20	29.13	11.45	0.30



ნახ. 2.14. სიღნაღი, ს.ძველი ანაგა, ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა, თებერვალი, აგვისტო 2019 წ.



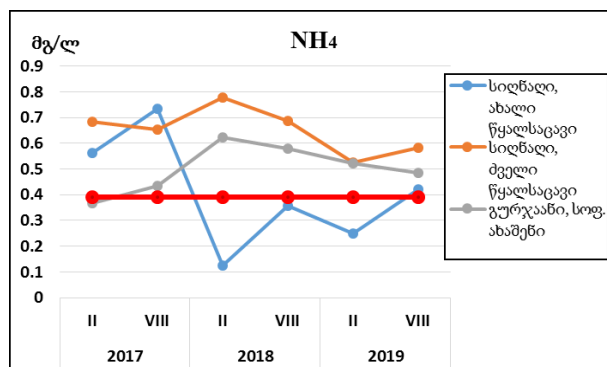
ნახ. 2.15. გურჯაანი, სოფ. ახაშენი, ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგის ნიმუშებში Cu, Pb, Ag შემცველობა, თებერვალი, აგვისტო 2019 წ.

2019 წელს, როგორც ცხრ. 2.19; 2.20-დან და ნახ. 2.14; 2.15-დან ჩანს, ნიადაგის ნიმუშებში სპილენძის შემცველობა სიღრმის თებერვლის თვის მონაცემების მიხედვით შეადგენს 41,20 ზედა 0-10 სმ-იან ფენაში, ხოლო 10-20 სმ-იან ფენაში - 25,22 მგ/კგ, რაც ნაკლებია კლარკის მნიშვნელობაზე. ანალოგიურად ნაკლებია სპილენძის შემცველობა გურჯაანის ნიადაგებში (36,21 – 24,11). შესაბამისად იცვლება ტყვიის შემცველობა, შედარებით მაღალია ზედა და ნაკლებია ქვედა ჰორიზონტებში.

აგვისტოს თვეში ორივე კომპონენტის მატება შესამჩნევია. სპილენძის შემცველობა სიღრმის ნიადაგში აღემატება როგორც კლარკის, ისე მის საშუალო მნიშვნელობას, თუმცა გურჯაანის ნიადაგში მისი მნიშვნელობა ნაკლებია კლარკის მნიშვნელობაზე. უმნიშვნელოდ იზრდება ვერცხლის მნიშვნელობები.

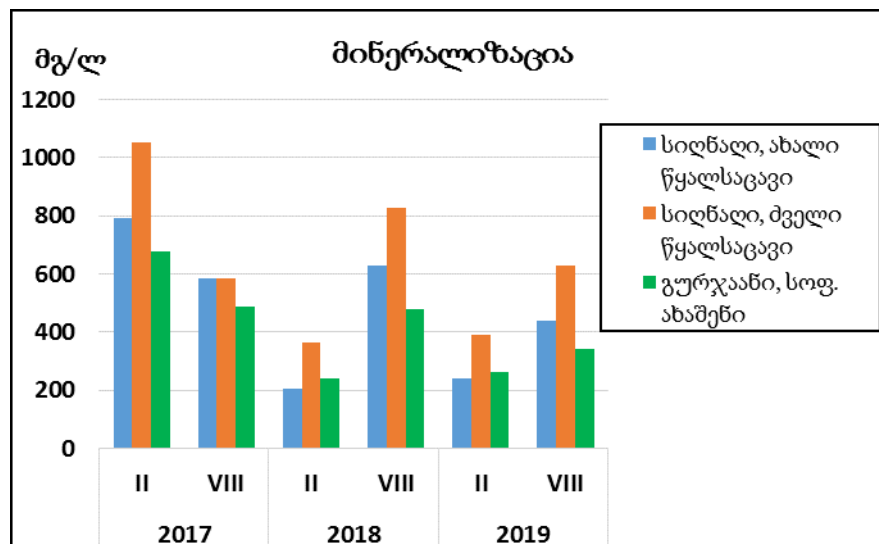
#### 2017-2019 წწ საერთო შედეგების მიმოხილვა

ნახ. 2.16-2.21-ზე მოცემულია სიღრმისა და გურჯაანის მუნიციპალიტეტებში განთავსებული ხელოვნური წყალსაცავების და მათ მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებული ნიადაგების ეკოლოგიური მდგომარეობის შემაჯამებელი მონაცემების გრაფიკული გამოსახვა.



ნახაზი 2.16. ამონიუმის იონის ცვლილების დინამიკა სიღნაღისა და გურჯაანის ხელოვნური წყალსაცავების წყლებში, თებერვალი, აგვისტო, 2017- 2019.

ნახ. 2.16-ზე მოცემულია ამონიუმის იონების შემცველობა წყალსაცავების წყალში 2017-2019 წწ-ში, საიდანაც ნათლად ჩანს, რომ ახალი წყალსაცავის წყალში ამონიუმის იონების კონცენტრაცია ზოგიერთ შემთხვევაში აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (2017წ), მაშინ როცა ძველი წყალსაცავის წყალში მისი კონცენტრაცია, 2017-2019 წწ განმავლობაში ყოველთვის აღემატება ზღვ-ს. მაქსიმალური რაოდენობა აღინიშნება ზამთრის თვეებში და შეადგენს 0,70-0,78 მგ/ლ (1,8-2 ზდკ). სიღნაღის ძველი წყალსაცავის იდენტურია გურჯაანის წყალსაცავის მონაცემები, აქ მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 2018 წ-ის თებერვლის თვეში 0,62 მგ/ლ (1,6 ზდკ). ამონიუმის იონების ჭარბი შემცველობა წყალსაცავების წყლებში ბუნებრივია, ვინაიდან მათში ხდება თევზის მოშენება სარეალიზაციოდ და მათ მიერ ხდება ფეკალიების გამოყოფა. გარდა ამისა, ხშირია ამ წყლებში ევტროფიკაციის პროცესების მიმდინარეობა.

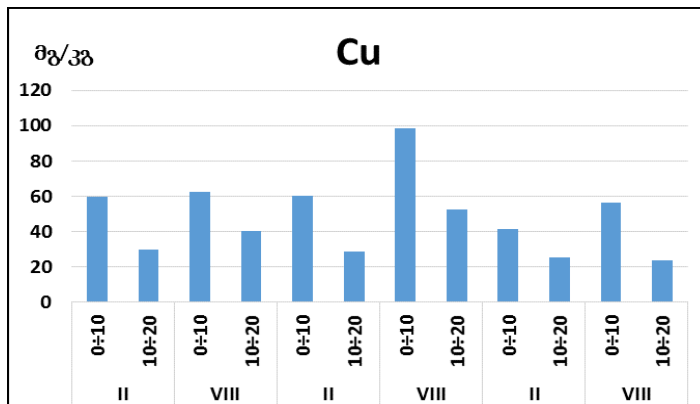


ნახაზი 2.17. მინერალიზაციის ცვლილების დინამიკა სიღნაღისა და გურჯაანის ხელოვნური წყალსაცავების წყლებში, თებერვალი, აგვისტო, 2017-2019.

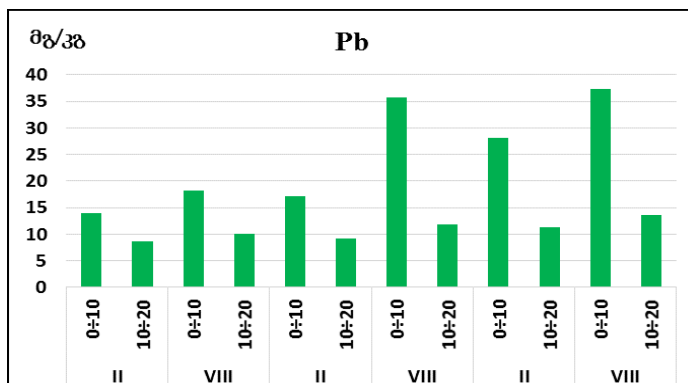
ნახ. 2.17-დან ჩანს, რომ სიღნაღის ახალი წყალსაცავის წყლის მინერალიზაცია იცვლება 200-780 მგ/ლ-ის, ხოლო ძველის - 380-1050 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ახალი წყალსაცავის წყლის მინერალიზაცია გაცილებით ნაკლებია ძველი წყალსაცავის წყლის მინერალიზაციასთან შედარებით. წყალსაცავის წყლის მინერალიზაციის ცვლილება განპირობებულია სხვადასხვა პერიოდში მათში ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყლის ჩაშვებით. როგორც ცნობილია, არხის წყალი ზამთრის თვეებში იკეტება, ამიტომ წყალსაცავის წყლის მინერალიზაცია ზამთრის თვეებში მაღალია. ამავე დროს, ძველ ანაგაში წყალსაცავები განთავსებულია დამლაშებულ ნიადაგზე, სადაც ხდება მაღალი მინერალიზებული გრუნტის წყლების შედინება. მაგალითად, წყალსაცავის მინერალიზაციის სიდიდე 2017 წლის თებერვლის თვეში შეადგენს 1050 მგ/ლ. ზაფხულის თვეებში, როდესაც ხდება წყლის განზავება, მინერალიზაცია დაახლოებით შეადგენს 500-800 მგ/ლ, თუმცა 2018-2019წწ-ში მინერალიზაცია აგვისტოს თვეში აღემატება თებერვლის თვის მონაცემებს. გურჯაანის წყალსაცავი განთავსებულია არადამლაშებულ ნიადაგებზე, ამიტომ მისი მინერალიზაცია სიღნაღის ახალ, ისე ძველ წყალსაცავებთან შედარებით ნაკლებია. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 2017 წ-ის თებერვლის თვეში 640 მგ/კგ. გახსნილი



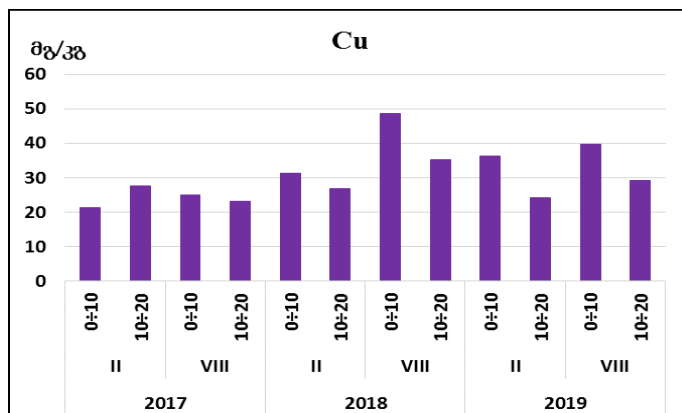
ნივთიერებების მიხედვით (მგ/ლ-ით) წყალსაცავები მიეკუთვნებიან ზომიერ (500-1000 მგ/ლ) და მაღალ (>1000 მგ/ლ) მინერალიზაციის მქონე წყლებს.



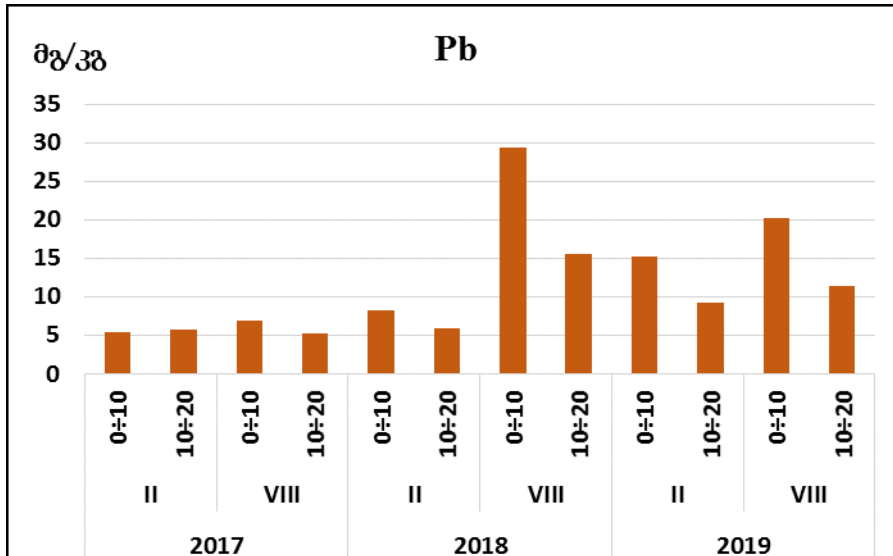
ნახაზი 2.18. სპილენძის კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველი ანაგის ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგებში თებერვალი, აგვისტო, 2017- 2019.



ნახაზი 2.19. ტყვიის კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა სიღნაღის რაიონის სოფ. ძველი ანაგის ხელოვნური წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგებში თებერვალი, აგვისტო, 2017- 2019.



ნახაზი 2.20. სპილენძის კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგებში თებერვალი, აგვისტო, 2017- 2019.



ნახაზი 2.21. ტყვიის კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა გურჯაანის რაიონის სოფ. ახაშნის ხელოვნური წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგებში თებერვალი, აგვისტო, 2017- 2019.

ნახ. 2.18-2.21-ზე მოცემულია სპილენძის და ტყვიის კონცენტრაციების მნიშვნელობები სოფ. ძველი ანაგის და ახაშნის ნიადაგებში. როგორც მონაცემებიდან ჩანს, ძველი ანაგის ნიადაგებში სპილენძის შემცველობა ზედა 0-10 სმ ნიადაგის ფენაში გაცილებით მაღალია ქვედა-10-20 სმ ფენასთან შედარებით. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 100,00 მგ/კგ-ს 0-10 სმ ფენაში 2018 წლის აგვისტოს თვეში, რაც 2-ჯერ აღემატება კლარკში და 5-ჯერ ნიადაგში მის საშუალო შემცველობას. სოფ. ახაშნის ნიადაგებში სპილენძის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 49,0 მგ/კგ, ე.ი.2,5 -ჯერ აღემატება მის საშუალო მნიშვნელობას ნიადაგში. სპილენძის შემცველობა კლარკში შეადგენს 47, ხოლო ნიადაგში მისი საშუალო შემცველობა - 20 მგ/კგ [2]. სოფ. ძველი ანაგის ნიადაგში ტყვიის შემცველობის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 37,00 მგ/კგ-ს, რაც 2,3-ჯერ აღემატება კლარკში და 3,7-ჯერ ნიადაგში მის საშუალო შემცველობას. სოფ. ახაშნის ნიადაგებში ტყვიის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 29,0 მგ/კგ, ე.ი.1,8 -ჯერ აღემატება კლარკის და 2,9-ჯერ მის საშუალო მნიშვნელობას ნიადაგში. ტყვიის მნიშვნელობა კლარკში შეადგენს 16, ხოლო ნიადაგში მისი საშუალო შემცველობა - 10 მგ/კგ [2].

ვერცხლის შემცველობა დაბალია ორივე ტიპის ნიადაგში და მერყეობს მეათედი და მეასედი მგ/კგ-ის ფარგლებში.

### თავი III. ქართლის, მცხეთა-მთიანეთის, სამცხე-ჯავახეთის კლიმატისა და ატმოსფეროს დაბინძურების შესწავლის რიცხვითი მონაცემების მოკლე დახასიათება

#### 3.1 რეგიონის გეოგრაფიული დახასიათება

ქართლი საქართველოს ცენტრალური რეგიონია. ის შედგება ორი მხარისაგან – შიდა და ქვემო ქართლისაგან (ნახ. 3.1). შიდა ქართლის ფართობი 6.2 ათასი კმ<sup>2</sup>-ია, მოსახლეობა - 63.4 ათასი ადამიანი. ქვემო ქართლი მდებარეობს, შიდა ქართლის სამხრეთით. მისი ფართობი 6.9 ათასი კვ. კმ-ია, მოსახლეობა - 432.3 ათასი ადამიანი.



ნახ. 3.1 ქართლის, მცხეთა-თიანეთისა, სამცხე-ჯავახეთისადმინისტრაციული რუკა.

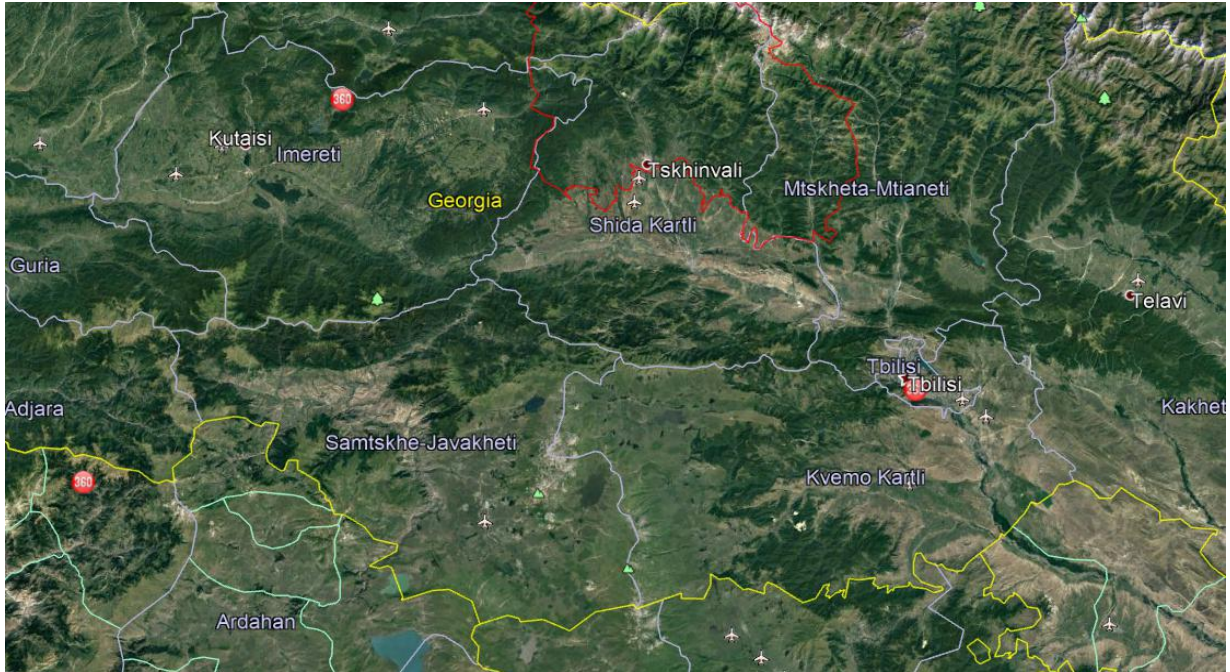
შიდა ქართლის ადმინისტრაციული ცენტრია ქვორი, ადმინისტრაციული ერთეულები – ხაშურის, გორის, ქარელის და კასპის მუნიციპალიტეტები. შიდა ქართლის ჩრდილოეთი ნაწილი შედის ყოფილი სამხრეთ ოსეთის ოლქში და დუშეთის მუნიციპალიტეტში. ქვემო ქართლის ადმინისტრაციული ცენტრია ქ. რუსთავი. მასში შედის 6 მუნიციპალიტეტი - გარდაბნის, მარნეულის, ბოლნისის, დმანისის, თეთრი წყაროს და წალკის.

შიდა ქართლის აღმოსავლეთით მდებარეობს მცხეთა-მთიანეთის ადმინისტრაციული ერთეული. მისი ფართობი 6.7 ათასი კვ.კმ-ია, მოსახლეობა - 125 ათასი კაცი. მცხეთა-მთიანეთის შემადგენლობაშია დუშეთის, თიანეთის, მცხეთის და ყაზბეგის მუნიციპალიტეტები, ადმინისტრაციული ცენტრია ქ.მცხეთა.

სამცხე-ჯავახეთი მდებარეობს საქართველოს სამხრეთ ნაწილში. მისი ფართობი არის 6.4 ათასი კვ.კმ, მოსახლეობა 208 ათასი. სამცხე-ჯავახეთის მხარის შემადგენლობაშია 6 ადმინისტრაციული ერთეული: ახალციხის, ახალქალაქის, ადიგენის, ასპინძის, ბორჯომის და ნინოწმინდის მუნიციპალიტეტები. ადმინისტრაციული ცენტრია ქ.ახალციხე.

აღმოსავლეთ საქართველოს აღნიშნულ რეგიონს ჩრდილოეთით ესაზღვრება რუსეთის ფედერაციის ავტონომური რესპუბლიკები, სამხრეთით – აზერბაიჯანი, სომხეთი და თურქეთი, დასავლეთით - იმერეთი, გურია და აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკა, აღმოსავლეთით კახეთი.

რეგიონს კარგად გამოკვეტილი ბუნებრივი საზღვარი გააჩნია (ნახ.3.2). ჩრდილოეთ საზღვარი იწყება კავკასიონის მწვერვალ ზეკარასთან და გასდევს მთავარი კავკასიონის ქედის წყალგამყოფ თხემს კახეთის კავკასიონამდე. სამხრეთი საზღვარი მდებარეობს მცირე კავკასიონის წერილმთიან-ვაკე-დაბლობ ტერტორიაზე. ის იწყება ქვემო ქართლის ვაკიდან და გადის სამსარის, არსიანის და აჭარა-იმერეთის ქედებზე.



**ნახ. 3.2. ქართლის, მცხეთა-თიანეთისა, სამცხე-ჯავახეთისტოპოგრაფიული რუკა.**

დასავლეთი საზღვარი კვეთს თრიალეთის ქედს, ვრცელდება ბორჯომის ხეობამდე და მისდევს ლიხის ქედს. ლიხის ქედი აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივ საზღვარს წარმოადგენს. აღმოსავლეთით საზღვარი გასდევს თრიალეთის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილს და გადის მდ.მტკვრის გასწვრივ მდებარე ელდარის დაბლობსა და ქართლის ვაკეზე. ამრიგად, თავისი ოროგრაფიით აღმოსავლეთ საქართველოს ქართლის რეგიონი ატმოსფეროს ქვედა ფენებში დაცულია ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან ჰაერის შემოჭრისაგან და ღია სამხრეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის დინებებისათვის, რაც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს რეგიონის კლიმატს.

შიდა ქართლის ჩრდილოეთი ნაწილი განლაგებულია კავკასიონის მთავარ ქედზე და ხასიათდება ნაკლები სიმაღლით. მის სამხრეთით განთავსებულია ქართლის ვაკე. ვაკის სამხრეთ ნაწილში მდებარეობს მდ.მტკვრის ხეობა, რომელიც წარმოადგენს ვიწრო, 2-7 კმ სიგანისა და 90 კმ სიგრძის ზოლს. რეგიონში მდებარეობენ შედარებით მცირე ზომის ფართობის ტირპონ-მუხრანის, საამილახვროსა და მუხრან-საგურამოს ვაკეები. ხეობას ჩრდილოეთიდან მიუყვება მცირე ქედებისა და სერების ზოლი. ქვემო ქართლი განლაგებულია ნახევრად უდაბნო, მშრალი სუბტროპიკული და მაღალმთიანი ალპიური ზონის საზღვრებში, მცხეთა-მთიანეთის მხარე კი - მთავარი კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთაზე. მისი რელიეფი ხასიათდება მაღალი, ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ მიმართული ქედებით. ცალკეული მთების სიმაღლე აღწევს 3.5 - 5 კმ-ს.

სამცხე-ჯავახეთის რელიეფი რთულია. ის მთაგორიანია და კლდოვანი მხარეა. მისთვის დამახასიათებელია ვაკისებრი ტერასები, გორაკ-ბორცვები და ვულკანური წარმოშობის მთები. რელიეფი დასერილია ხეობებით და მდინარეების კალაპოტებით. ჯავახეთის ზედაპირი ტალღოვანი ვაკეა. რეგიონის ჩრდილოეთით თრიალეთის ქედის სამხრეთი კალთებია, აღმოსავლეთით აღმართულია აბულ-სამსარის ქედი.

### 3.2 რეგიონის კლიმატის მოკლე დახასიათება

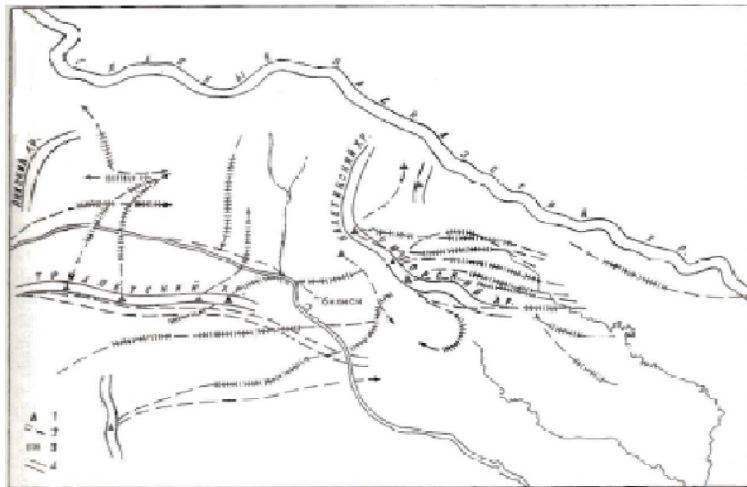
აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიისათვის დამახასიათებელ კლიმატს მისი მდებარეობა და რელიეფის სირთულე განსაზღვრავს [1-4]. ყველაზე დაბალ ადგილს წარმოადგენს მდ.მტკვრის ხეობა. რეგიონის სამხრეთ-დასავლეთი, ჩრდილო, ცენტრალური და აღმოსავლეთი ნაწილები დახრილია მტკვრის ხეობისაკენ - დასავლეთისკენ, სამხრეთისკენ, ჩრდილოეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთისკენ. სამხრეთი ნაწილი, ჯავახეთის ზეგანი, ერთგვარ ტაფობს წარმოადგენს (ბორჯომის, ახალქალაქის, დმანისის პლატოები). ყველაზე დაბალი ადგილია მინგუჩაურის წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორია. იქ რელიეფის სიმაღლე ზღვის დონიდან დაახლოებით 70 მ-ია. ყველაზე მაღალ რაიონს წარმოადგენს მთავარი კავკასიონის ქედი, სადაც ცალკეული მწვერვალის სიმაღლე ზღვის დონიდან 3.5-5 კმ-ს აღწევს. ამასთან, ის შავი და კასპიის ზღვების მხრიდან დაშორებულია დაახლოებით 150 და 200 კმ-ით. ზღვებთან სიახლოვე, მისი ქედებით შემოსაზღვრულობა ქართლს, მცხეთა-მთიანეთს, სამცხე-ჯავახეთს ჰიდრომეტეოროლოგიურ თავისებურებასა და მახასიათებელ რეგიონალურ კლიმატს უქმნის.

ქვემო ქართლის ბარისათვის დამახასიათებელია მშრალი სუბტროპიკული ჰავა. ის ღიაა აღმოსავლეთის მხრიდან, ამიტომ მისთვის დამახასიათებელია აღმოსავლეთის ცივი და მშრალი ჰაერის შემოჭრა. მეორეს მხრივ, მტკვრის ხეობის არსებობა ხელს უწყობს სამხრეთ - დასავლეთის ნოტიო და თბილი ჰაერის შემოდინებას ქართლის ტერიტორიაზე. ამ პროცესებთან არის დაკავშირებული უხვი ნალექები, ელჭექი და სეტყვა. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა 12 °C-ია, იანვრის თვის - 0.2 °C. ყველაზე ცხელი თვეებია ივლისი - აგვისტო. ამ თვეების საშუალო ტემპერატურა იცვლება ინტერვალში 23 - 25°C. აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა -20 - -25°C-ის ფარგლებშია. აბსოლუტურად მაქსიმალური - 40 - 41°C.

შიდა ქართლის კლიმატი კონტინენტურია, ჰავა ზომიერად თბილი და ტენიანია (ზოგან მშრალი). საშუალო წლიური ტემპერატურაა 11°C, შესაძლებელი მაქსიმალური ტემპერატურაა 42°C, მინიმალური - -32°C. [5]

მცხეთა-მთიანეთის მხარის კლიმატი მიეკუთვნება ზომიერად ნოტიო სუბტროპიკულ ჰავას. აქ ზაფხული ცხელია, ზამთარი - ზომიერად ცივი. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურაა 10,8 °C, იანვრის -1,1 °C. ნალექები 590 მმ წელიწადში. მუხრან-საგურამოს ქვაბულში ქარებს მნიშვნელოვანი სიჩქარე აქვთ (წლიური საშუალო დაახლოებით 3,6 მ/წმ). სამცხე-ჯავახეთის უმეტეს ნაწილში მთიანი ველების ჰავაა. ზამთარი ცივი და მცირეთოვლიანია, ხოლო ზაფხული ხანგრძლივი და თბილი. უფრო მაღალ ზონაში, მესხეთის ქედზე, ზღვის ნოტიოდან ზომიერად ნოტიო კონტინენტურზე გარდამავალი ჰავაა. ჰაერის საშუალო ტემპერატურა -3° C გრადუსიდან +9° C გრადუსამდე მერყეობს. რეგიონისათვის დამახასიათებელია საშიში და სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების ფართო სპექტრი. ქთბილისში მაღალი ტემპერატურა (>35° C) დაიკვირება უწყვეტად 6 და 8 საათის განმავლობაში ივლისის და აგვისტოს თვეებში, შესაბამისად. ქვემო ქართლის მნიშვნელოვანი ტერიტორია განეკუთვნება გვალვის ძალიან მაღალი რისკის რეგიონს. შიდა ქართლის დასავლეთი ნაწილი, მდ.მტკვრის ხეობა და ახალციხის ქვაბული - გვალვის საშუალო რისკის რაიონია. ქვემო ქართლში ზემოკარი გვალვის ალბათობა მაღალია. ახალციხის

ტერიტორიისათვის მისი ალბათობა იცვლება 14%-დან აპრილში, 80% -მდე სექტემბერში [3]. სამხრეთ საქართველოს მთიანეთისა და ქვემო ქართლის ტეროტორიის ცალკეულ მცირე ნაწილებში გრივალურმა ქარებმა შეიძლება მაილწიონ და გადააჭარბონ 50 მ/წმ. ასეთი რაიონებია ზეკარის, გოდერძის და მამისონის ურელტეხილები, ფარავანი, დმანისი და მთა-საბუეთი. აღმოსავლეთ საქართველოში სეტყვის მოსვლა დაკავშირებულია დასავლეთიდან და აღმოსავლეთიდან ჰაერის მასების შემოჭრისთან, ან ტალღურ აღრევასთან (ნახ.3.3, ცხრ.3.1). 44% შემთხვევაში სეტყვა დაკავშირებულია ცივი ფრონტის შემოჭრასთან, 22%-ში ტალღურ აღრევასთან, 17%-ში შიდამასიურ პროცესებთან და 15%-ში ფრონტალურ ოკლუზიასთან [6].



ნახ. 3.3. სეტყვის წარმოშობის კერები და სეტყვათცვენის ტრაექტორიები აღმოსავლეთ საქართველოში [2].

ცხრილი 3.1. სეტყვიანი დღეების საშუალო და მაქსიმალური წლიური მნიშვნელობები

მეტეოსადგური	დღეთა რიცხვი	
	საშუალო	მაქსიმალური
თბილისი	1,6	7
ახმეტა	1,8	4
თელავი	2,7	5
ნაფარეული	1,4	5
წინანდალი	1,6	5
ზეგაანი	2,1	5
გურჯაანი	1,8	6
ყვარელი	2,1	8
კარდანახი	3,0	6
ალაზანი	1,3	4

ამრიგად, აღმოსავლეთ საქართველოს განხილული რეგიონი ხასიათდება მეტად საინტერესო და მრავალფეროვანი ლოკალური კლიმატით. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ის წარმოადგენს საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო და საექსპორტო დანიშნულების პროდუქტების წარმოების ერთ-ერთი ძირითად რაიონს, მისი ჰიდრომეტეოროლოგიური და ეკოლოგიური პრობლემების შესწავლას გააჩნია მნიშვნელოვანი პრაქტიკული და თეორიული მნიშვნელობა.

### 3.3. რეგიონალური და ლოკალური ატმოსფერული და ეკოლოგიური პროცესების რიცხვითი მოდელების მოკლე დახასიათება

მათემატიკური მოდელირება არის ამინდის პროგნოზირების, ლოკალური და რეგიონალური ატმოსფერული პროცესების კვლევის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ეფექტური საშუალება. ის ემყარება  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $\gamma$  მეზმასშტაბური მოდელების ფართო გამოყენებას. მათში განხორციელებულია ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის სამგანზომილებიანი არასტაციონალური არაწრფივი განტოლებათა სისტემების რიცხვითი ინტეგრირება თანამედროვე ცხადი და არაცხადი რიცხვითი სქემების საშუალებით.

ლოკალური მასშტაბის რეგიონებში ატმოსფერული პროცესების ევოლუციის თეორიული კვლევის ორი მიმართულებაა გამოკვეთილი:

I – კვლევა, რომელიც ტარდება ამინდის მოკლევადიანი და ზემოკლევადიანი პროგნოზის ოპერატიული პროგნოზირების სქემების ფუნქციონირებისას მიღებული შედეგების ანალიზის საშუალებით;

II – კვლევები, რომლებიც ტარდება კონკრეტული ტერიტორიებისათვის სპეციალურად დამუშავებული  $\beta$  და  $\gamma$  მეზო მასშტაბის პროცესების ჰიდროთერმოდინამიკული მოდელის საშუალებით.

ორივე მიმართულებით მიღებულია მნიშვნელოვანი თეორიული შედეგები.

დღეისათვის, ჰიდრომეტეოროლოგიური კვლევების თვალსაზრისით წამყვან სამეცნიერო ცენტრებში დამუშავებულია და ოპერატიულად გამოიყენება ათამდე რეგიონალური პროგნოსტიკული სისტემა (ცხრ.3.2).

მეზომეტეოროლოგიური მასშტაბის ოპერატიული პროგნოზული სისტემის ექსპლუატაციისა და გაუმჯობესებისათვის ევროპის ქვეყნების მეტეოროლოგიური სამსახურები დაიყენენ რამდენიმე ჯგუფად. ეს ჯგუფებია:

- ALADIN (Aire Limited Adaptation dynamique Developpement Inter-National)-სისტემის დამუშავებელ ძირითად ქვეყანას წარმოადგენს საფრანგეთი-ავსტრია. უნგრეთმა, რუმინეთმა, სლოვაკეთმა, სლოვენამ, ჩეხეთმა და ხორვატიამ შექმნეს ALADIN-ის ქვეჯგუფი LACE (Limited Areamodellingin Central Europe). ვეჯგუფის ცენტრი მდებარეობს ქ. პრადაში;
- COSMO (Consortium for Small-scale Modelling) — სისტემის ძირითადი შემქმნელი ქვეყანაა გერმანია. პოლონეთი და რუმინეთი ერთდროულად მონაწილეობდნენ ALADIN- ის ასევე COSMO-ს შექმნის პროცესში.
- HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) — სისტემის ძირითად შემქმნელია სკანდინავიური ქვეყნები და ესპანეთი. პროექტის დამუშავებაში მონაწილეობს საფრანგეთიც.

**ცხრილი 3.2. ატმოსფეროს ოპერატიული რეგიონალური მოდელის დახასიათება 2007 წ. დასაწყისისათვის [3].**

ქვეყანა	გვერდითი სასაზღვრო და საწყისი პირობები	მოდელი	ბადის ბიჯი, კმ
HIRLAM	ISF	HIRLAM UK708	5-20
დიდი ბრიტანეთი	UM	NAE38	12
რუსეთი	GFS	L31	75
		MM5	15
		Z-model	10
აშშ	GFS	NAML60	12

		NMML60	5-8
საფრანგეთი	ARPEGE/ ALADIN	AROMEL41	2.5
გერმანია	GME COSMO-EU	COSMO-EUL40 COSMO-DEL50	7 2.8
შვეიცარია	ISF	COSMO-7L60 COSMO-2L60	6,6 2,2
იაპონია	GSM RSM	PSM140 MSML50	20 5

დიდი ბრიტანეთი დამოუკიდებლად თავისი ძალებით ამუშავებს პროგნოსტიკულ სისტემებს. ის ამასთანავე თანამშრომლებს სხვა ქვეყნებთან და სისტემებთან.

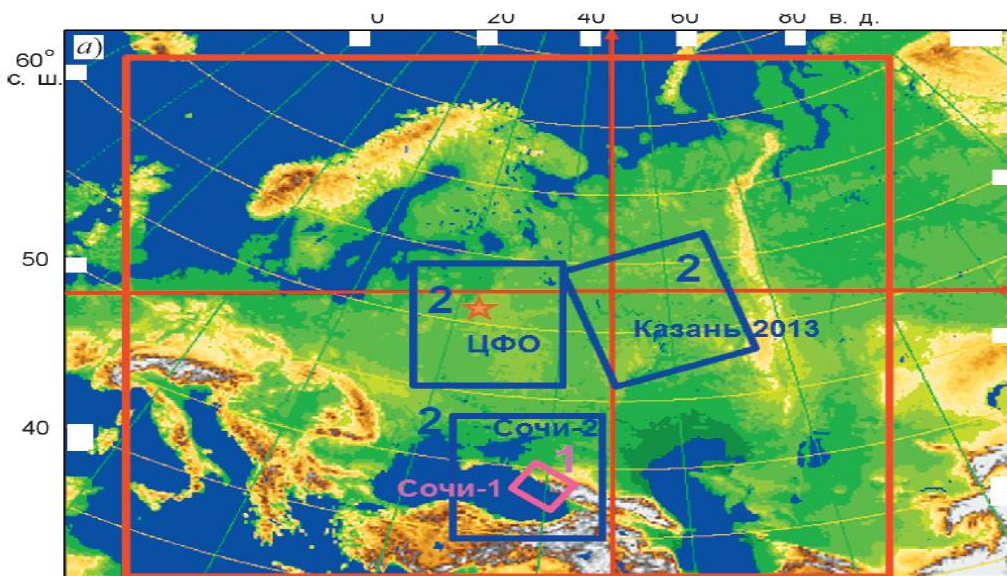
რუსეთის ჰიდრომეტეოროლოგიური კომიტეტი 2007 წლიდან იმყოფება COSMO-ს შემადგენლობაში და მონაწილეობს პროგნოსტიკული სისტემის გაუმჯობესებაში.

აღნიშნული პროგნოსტიკული სისტემები შედგება 6 ტოლფასოვანი ქვესისტემებისაგან. ეს სისტემებია:

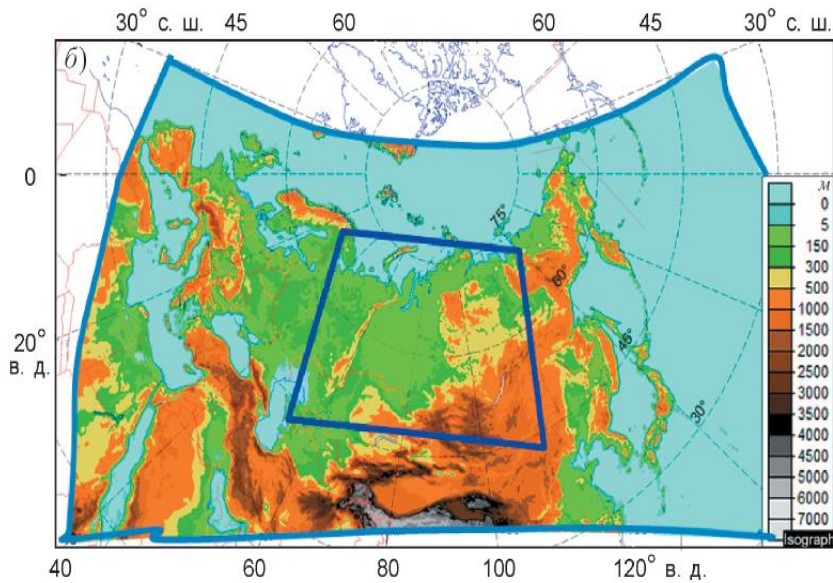
- დაკვირვებათა ქვესისტემა;
- ტელეკომუნიკაციური ქვესისტემა;
- გამოთვლითი ქვესისტემა;
- მონაცემთა ათვისების ქვესისტემა;
- ატმოსფეროში ნიადაგსა და ოკეანეში (ზღვაში) მიმდინარე პროცესების ქვესისტემა;
- პროცესების შემდგომი ქვესისტემა;

ყველა ამ ქვესისტემის მუშაობაზე ერთნაირადა დამოკიდებული მიღებული შედეგები.

რუსეთის ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახური 2009 წლიდან გახდა კონსორციუმ COSMO-ს წევრი და კონსორციუმის წესდების შესაბამისად რუსეთისათვის დაამუშავა COSMO-Ru ვარიანტი. დღეისათვის შექმნილია COSMO-Ru7 ვერსია [9] (ნახ. 1.4.) დღეისათვის რუსჰიდრომეტის გამოთვლითი სისტემებისათვის მოსკოვსა და ნოვოსიბირსკში ექსპლუატირებს მეზომეტეოროლოგიური პროგნოზირების ხაზები [10].







**ნახ. 34. COSMO-Ru –ს ინტეგრირების არე: a) COSMO-Ru1 (სოჩა), ) COSMO-Ru2- (ცენტრალური ფედერაციული ოლქი, სოჩა 2, ) COSMO-Ru7 (წითელი ხაზით შემოსაზღვრული არე); b) COSMO-RuEna (mTeli are) da COSMO-RuSib (შიდა არე).**

COSMO-Ru-ს რიცხვითი ინტეგრირებისათვის გამოიყენება გ.ი.მარჩუკის მიერ დამუშავებულ გახლენის მეთოდი [11]. სივრცითი პორიზონტალური ბიჯები სხვადასხვა ვერსიებში იცვლება რამდენიმე ათეული კმ-დან რამდენიმე კმ-მდე, ვერტიკალური - კმ-დან რამდენიმე ასეულ მეტრამდე, დროითი ბიჯები - რამდენიმე ათეული წმ-დან რამდენიმე წმ-მდე. მაგალითად, გამოთვლებს 78 სთ-იანი პროგნოზირებისათვის SGI ICE-X სუპერკომპიუტერზე 288 ბირთვის პარალელური გამოყენებით,  $700 \times 620 \times 40$  წერტილებისაგან შემდგარ ბაღეზე პორიზონტალური ბიჯით 7 კმ, სჭირდება 50 წთ ფიზიკური დრო.

პროგნოსტიკული მოდელების გამოყენებით ჩატარებული კვლევებით მიღებულია საინტერესო შედეგები. მათი გათვალისწინება იძლევა პროგნოსტიკული სისტემების შემდგომი გაუმჯობესების და რიცხვითი მოდელების სრულყოფის საშუალებას.

მეზომეტეოროლოგიური მოდელები, რომლებიც მიზნად არ ისახავენ ამინდის პროგნოზირებას, დამუშავებულია სხვადასხვა პიდრომეტეოროლოგიური პროცესების წარმოშობის და ევოლუციის კანონზომიერების კვლევებისათვის. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა რთული რელიეფის პირობებში მეზომასშტაბის პროცესების განვითარების მოდელირებას. ამოცანა რთულია და მისი გადაწყვეტა პირდაპირაა დაკავშირებულია დინამიკური მეტეოროლოგიის სხვადასხვა პრეობლემებთან - მათ შორის სხვადასხვა მასშტაბის ატმოსფერული ტურბულენტობის განვითარებასთან მთიან რეგიონებში. მთიან ტერიტორიებზე ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის შესწავლა ძირითადად ფოკუსირებულია მათ გლობალურ თვისებებზე. ისეთებზე, როგორცაა ატმოსფეროს თერმიული სტრატეფიკაცია, სასაზღვრო ფენის სისქის ცვლილება. უკანასკნელ პერიოდში ჩატარებულ ზოგიერთ ნაშრომში [7, 8] შესწავლილია მთიან ტერიტორიაზე ტურბულენტობის სტრუქტურა, ტურბულენტობისკინეტიკური ენერჯის განაწილება. მოდელირების და დაკვირვების მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ რთული რელიეფის ტერიტორიაზე წარმოშობილი ტურბულენტობის სტრუქტურა მნიშვნელოვნად განსხვავდება კლასიკურ კონვექციურ სასაზღვრო ფენის სტრუქტურისაგან. კვლევებმა აჩვენა, რომ მიზანშეწონილია მიღებული შედეგების შემდგომი განზოგადოება სხვადასხვა სივანისა, ორიენტაციის ხეობებისათვის და მთავორიანი ტერიტორიისათვის.

ნაშრომებში [12-15] რთული რელიეფის მქონე ტერიტორიებზე მოდელირებულია რეგიონალური ლოკალური ცირკულიაციების განვითარება და დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელება. მოდელირებისათვის გამოყენებულია რეგიონალური მასშტაბის ატმოსფერული პროცესისა და მეზომასშტაბის სასაზღვრო ფენის რიცხვითი მოდელები. მოდელირებით გამოკვლეულია ლოკალური ცირკულაციის თავისებურებები და ატმოსფეროს დამაბინძურებელი ნივთიერებების გადატანის ტრაექტორიები, შეფასებულია ნიადაგზე დალექილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზედაპირული კონცენტრაციები.

ამინდის პროგნოზირების დამუშავებული მათემატიკური და რიცხვითი მოდელირება გამოიყენება ჰიდრომეტეოროლოგიური ველების მისაღებად ატმოსფეროში აეროზოლების გავრცელების კანონზომიერების კვლევისა და დაბინძურების პროგნოზირებისათვის. დღეისათვის დამუშავებულია მოდელები, რომლებიც შეიძლება სისტემატიზირდეს ოთხი ჯგუფის სახით: გაუსის, ემპირიული, ლაგრანჟის და ეილერის მოდელები.

გაუსის სტაციონალური და არასტაციონალურ მოდელები [16-17] გვაძლევენ ამონაფრქვევის შლეიფში კონცენტრაციის სივრცული განაწილების ანალიზურ გამოსახულებას. ისინი ეყრდნობიან დაშვებას, რომ დაბინძურების ღრუბელში კონცენტრაციის განაწილება ახლოსაა გაუსის ნორმალურ განაწილებასთან და წარმოადგენენ დიფუზიის განტოლების ანალიზურ ამოხსნას იმ შემთხვევაში, როდესაც ქარის სიჩქარე მუდმივია დროსა და სივრცეში. დიფუზიის კოეფიციენტები არაა დამოკიდებული კოორდინატებზე და ინგრედიენტის ადვექტიური გაედატანა მინარევის გავრცელების მიმართულებით გაცილებით ძლიერია დიფუზიურ გადატანაზე.

ემპირიული მოდელები მიღებულია მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური გაზომვებისა და ნატურული დაკვირვების მასალების განზოგადების ბაზაზე. ისინი ანალიზური ფუნქციების საშუალებით გამოსახავენ დამაბინძურებელი ინგრედიენტების კონცენტრაციის განაწილებას სივრცეში ქარის ფიქსირებული და მუდმივი მნიშვნელობის, რეგიონის კლიმატური ზონის მახასიათებელი და ამოფრქვევის წყაროს გეომეტრიული, თერმიული პარამეტრების გამოყენებით [18-19]. ემპირიული მოდელები ფართოდ გამოიყენება გარემოზე ზემოქმედების დონის შეფასების და ზღვრულად დასაშვები ამონაფრქვევების რაოდენობის განსაზღვრისათვის. ემპირიული მოდელები ძირითადად ასახავენ ლოკალური დიფუზიის პროცესებს.

ლაგრანჟის მოდელში კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობა სივრცის მოცემულ წერტილში და დროის განსაზღვრულ მომენტში განისაზღვრება როგორც დროითი და სივრცითი ინტეგრალი ჰაერის მოცულობის ალბათობის ფუნქციის და წყაროს მახასიათებელი ფუნქციების ნამრავლიდან [20-22]. ლაგრანჟის მოდელები ძირითადად გამოიყენება დიდმასშტაბიანი დიფუზიის პროცესების შესწავლისათვის.

განსაკუთრებული გავრცელება ჰპოვა ატმოსფეროს დაბინძურების პროგნოსტიკულმა და დიაგნოსტიკურმა ეილერის ქიმიურმა მოდელებმა [23-25]. მათში დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციები განისაზღვრებიან მინარევის ატმოსფეროში გადატანა-დიფუზიის განტოლების რიცხვითი ინტეგრირებით. თანამედროვე მოდელები ითვალისწინებენ ატმოსფეროში არსებული მინარევის ქიმიური გარდაქმნის, რადიაციული დაშლის, ფოტოლიზაციის, აეროზოლების გამორეცხვას, დალექვას და სხვა ფიზიკური, თუ ქიმიური კინეტიკის პროცესებს. ქიმიური მოდელები ინტეგრირებულია ამინდის თანამედროვე მაღალი გარჩევის უნარის მქონე ჰიდროსტატიკურ და არაჰიდროსტატიკურ მეზომეტეოროლოგიურ მოდელებში. ისინი წარმოადგენენ თანამედროვე რთულ გამოთვლით სისტემებს. მათი რეალიზაცია ხორციელდება მძლავრ სუპერკომპიუტერებზე და ექსპლუატაცია მოითხოვს სპეციალურად მომზადებულ პერსონალს.

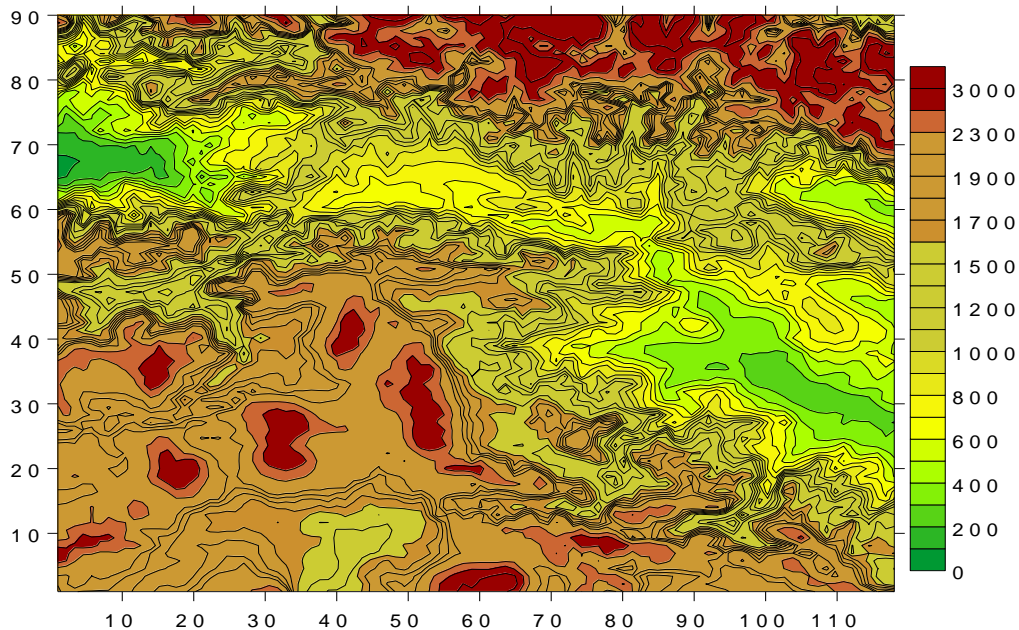
ატმოსფეროს დაბინძურების პროგნოსტიკული სისტემების გარდა შექმნილია მთელი რიგი დიაგნოსტიკური მოდელები, რომლებიც გამოიყენება კვლევითი სამუშაოსა და ცალკეულ

პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად [26-32]. თითოეული მოდელი დამუშავებულია გარკვეული ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობების და დაბინძურების კონკრეტული სიტუაციებისათვის.

კავკასიაში, საქართველოსა და მის ცალკრულ რაიონებში ატმოსფეროს დაბინძურების პრობლემის შესასწავლად დამუშავებულია აეროზოლების გავრცელების დიაგნოსტიკური რეგიონალური და ლოკალური [33-39] მოდელები. ისინი ეყრდნობიან ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის არასტაციონალური არაწრფივი სამგანზომილებიანი კვაზისტატიკურ განტოლებათა სისტემასა და ატმოსფეროში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის განტოლების ერთობლივ ინტეგრირებას რთული რელიეფის ტერიტორიებისათვის. მოდელებში რელიეფის ადეკვატური აღწერისათვის გამოყენებულია რელიეფის მიმყოლი კოორდინატთა სისტემა. ინტეგრირება განხორციელებულია რიცხვითი სქემების საშუალებით ფ.შუმანის ცხადი და გ.მარჩუკის მიერ დამუშავებული არაცხადი გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით. მოდელირებით გამოკვლეულია დამაბინძურებელი ნივთიერებების გადატანის ტრაექტორიები, მერიდიანულად პარალელების გასწვრივ მიმართული ქედების გავლენა რეგიონალურ დინებებზე და პასიურ დაბინძურებელ ნივთიერებათა გადატანაზე, მათი საშუალებით შეფასებულია ნიადაგზე დაღეჭილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზედაპირული კონცენტრაციები, აეროზოლების ლოკალური და რეგიონალური დიფუზიის სხვა თავისებურებები.

### 34. საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების მათემატიკური მოდელი

**ამოცანის მათემატიკური დასმა.** იმისათვის, რომ შევისწავლოთ ლოკალური ჰიდრომეტეოროლოგიური პროცესების განვითარება საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში ტერიტორიაზე განვიხილოთ არე ზომებით 236 კმ×180 კმ. რე, რომლის ცენტრში მოთავსებულია ქართლის, მცხეთა-თიანეთისა, სამცხე-ჯავახეთის რეგიონები. ნახ. 3.5-ზე ნაჩვენებია მათემატიკური მოდელირებისათვის გამოყენებული რელიეფი, საიდანაც ჩანს, რომ რეგიონს ჩრდილოეთიდან ესაზღვრება მტკვარი, კავკასიონის ქედი, სამხრეთიდან - მცირე კავკასიონი, დასავლეთიდან კოლხეთის დაბლობი და გურიის ქედი, ხოლო აღმოსავლეთიდან ივრის ზეგანი, ალაზნის და ქართლის ვაკეების რელიეფი მეტად რთულია და მისი სიმაღლე იცვლება 77 მ-დან 34 კმ-მდე.



ნახ. 3.5 მოდელირების ტერიტორიის რელიეფი.

ძირითად განტოლებებს, რომლებიც აღწერენ მეტეოროლოგიური ველების და პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილებას გარემოში აქვთ შედეგი სახე:

ა) ატმოსფეროსათვის [19, 20] :

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -\frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + lv + g(1+0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial x} + \mu \Delta u + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial u}{\partial \zeta}, \\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial y} - lu + g(1+0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial y} + \mu \Delta v + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial v}{\partial \zeta}, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} &= -\frac{g}{RT}(1+0.61q)\vartheta h, \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w}h}{\partial \zeta} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} wh = 0, (1) \\ \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + v \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial \vartheta}{\partial \zeta} + S_w &= \mu \Delta \vartheta + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial \vartheta}{\partial \zeta} + \frac{L}{\rho C_p} \phi_{con} - \frac{\partial \theta}{\partial t}, \\ \frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial q}{\partial \zeta} &= \mu \Delta q + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial q}{\partial \zeta} - \phi_{con}, \\ \frac{\partial m}{\partial t} + u \frac{\partial m}{\partial x} + v \frac{\partial m}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial m}{\partial \zeta} &= \mu \Delta m + \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial m}{\partial \zeta} + \phi_{con} - \frac{\partial N}{\partial t}, \\ \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + (\tilde{w} - \frac{w_0}{h}) \frac{\partial c}{\partial \zeta} &= \mu \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial c}{\partial \zeta} - \frac{\partial C}{\partial t} \\ \frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial}{\partial \zeta}, \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad w = \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \tilde{w}h \end{aligned}$$

ბ) ნიადაგის აქტიური ფენისათვის [21, 22]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} D(V) \frac{\partial V}{\partial z} - \frac{\partial E(V)}{\partial z}, \quad \frac{\partial T_{soil}}{\partial t} = K_{soil} \frac{\partial^2 T_{soil}}{\partial z^2}, \quad \text{სადაც } \delta_0 > z > Z_{soil}; \quad (2)$$

სადაც  $t$  დროა;  $x, y$  და  $z$  აღმოსავლეთით, ჩრდილოეთით და ვერტიკალურად ზევით მიმართული დეკარტეს კოორდინატა დერძებია;  $\zeta = (z - \delta)/h$  განუზომადი ვერტიკალური კოორდინატა;  $\delta = \delta(x, y)$  მიწისპირა ფენის სიმაღლეა;  $\delta_0$  რელიეფის სიმაღლეა;  $h = H - \delta$ ;  $H(t, x, y)$  ტროპოპაუზის სიმაღლეა;  $u, v, w$  და  $\tilde{w}$  ქარის სიჩქარის მდგენელებია  $x, y, z$  და  $\zeta$  დერძების გასწვრივ;  $\vartheta = T'/\bar{T}$  და  $\varphi = P'/\bar{P}(z)$  ტემპერატურისა და წნევის ანალოგებია;  $\bar{T} = 300K$ ;  $T', P'$  ტემპერატურის და წნევის გადახრებია მათი სტანდარტული ვერტიკალური განაწილებებიდან  $T(z) = \bar{T} - \gamma z$  და  $\bar{P}(z)$ ;  $\gamma$  - ტემპერატურის სტანდარტული ვერტიკალური გრადიენტი;  $\vartheta$  და  $\theta$  ტემპერატურის ანალოგის მუზომას შტაბური და ფონური შემადგენელი ნაწილებია;  $\vartheta' = \vartheta - \theta$ ;  $q$  და  $Q$  წყლის ორთქლის და ფონური მასური ნაწილებია;  $m$  და  $M$  დრუბლის წყლის და ფონური მასური ნაწილებია;  $T_{soil}$  და  $T_{sea}$  ნიადაგისა და ზღვის წყლის ტემპერატურებია;  $c$  ატმოსფეროს დამაბინძურებელი პასიური ნივთიერების კონცენტრაციაა;  $V$  ნიადაგში წყლის მოცულობითი შემცველობაა;  $\rho(z)$  და  $\rho_{sea}$  მშრალი ჰაერის სიმკვრივის სტანდარტული ვერტიკალური განაწილება და ზღვის წყლის სიმკვრივეა;  $g$  თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა;  $R$  უნივერსალური გაზური მუდმივაა მშრალი ჰაერისათვის;  $C_p$  მშრალი ჰაერის კუთრი სითბოტევადობაა მუდმივი წნევის პირობებში;  $S$  თერმული მდგრადობის

პარამეტრია;  $L$  კონდენსაციის ფარული სითბოა;  $\phi_{con}$  კონდენსაციის სიჩქარეა;  $\mu$  და  $\nu$  პორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კოეფიციენტია;  $\partial N / \partial t$  - ნალექების მოსვლის ინტენსივობაა;  $D$  ნიადაგში წყლის დიფუზიის კოეფიციენტია;  $E$  - ნიადაგის ფილტრაციის კოეფიციენტია;  $I$  ზღვაში მზის ჯამური რადიაციის ნაკადია;  $K_{soil}$  ნიადაგის ტემპერატურაგამტარებლობის კოეფიციენტია.  $\mu$  და  $\nu$  განსაზღვრულია შემდეგი ფორმულებით [39,40]:

$$\mu = \Delta x \Delta y \sqrt{2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}; \nu = (0.05 \Delta z)^2 \sqrt{\left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}}; \quad (3)$$

სადაც  $\Delta x$  და  $\Delta y$  - პორიზონტალური ბიჯებია,  $\Delta z$  - ვერტიკალური ბიჯია.

(1), (2)-ში არსებული კონდენსაციის სიჩქარის, სტატიკური მდგრადობის, დიფუზიისა და ფილტრაციის კოეფიციენტები განისაზღვრებიან ცნობილი ფორმულებით [41-43]:

$$S = \begin{cases} (\gamma_a - \gamma) / \bar{T}, & \text{თუ } q < q_{sat} \\ (\gamma_a - \gamma) / \bar{T}, & \text{თუ } q \geq q_{sat} \end{cases}; \Phi_c = \begin{cases} 0, & \text{თუ } q < q_{sat} \\ \frac{\rho c_p}{L} (\gamma_a - \gamma_m), & \text{თუ } q \geq q_{sat} \end{cases}, \quad (4)$$

სადაც,  $\gamma_m$  ტემპერატურის ნოტიო ადიაბატური გრადიენტი;  $q_{sat}$  ნაჯერი წყლის ორთქლის მასური წილია, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით [44]

$$q_{sat} = 0.622 (\exp(17.5 / (T - 273.2) / (T - 31.8))) / P. \quad (5)$$

ნიადაგში წყლის დიფუზიის და ფილტრაციის კოეფიციენტები განისაზღვრება ფორმულებით [45]:

$$D(C) = D_{max} \left( \frac{C - C_{con}}{C_{por} - C_{con}} \right)^{3.5}, \quad E(C) = E_{max} \left( \frac{C - C_{con}}{C_{por} - C_{con}} \right)^{3.5}, \quad (6)$$

სადაც  $D_{max}$ ,  $E_{max}$  დიფუზიისა და ფილტრაციის კოეფიციენტების ცნობილი მაქსიმალური მნიშვნელობებია;  $C_{con}$ ,  $C_{por}$  - ნიადაგში ბმული წყლის მოცულობითი შენცველობა და ნიადაგის ფორიანობაა, შესაბამისად.

ნალექების ინტენსივობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \begin{cases} (m - m_{max}) / \delta / \delta & \text{თუ } m \geq m_{max} \\ 0 & \text{თუ } m < m_{max} \end{cases} \quad (7)$$

სადაც  $m_{max}$  წყლის მაქსიმალური წილია ღრუბელში;  $\delta t$  - ნალექის მოსვლის დროითი ინტერვალია.

(1), (2) და (3) განტოლებათა სისტემებისათვის განვიხილოთ შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობები.

დავუშვათ, რომ დროის საწყისს  $t = 0$  მომენტში საძიებელი ფუნქციები ( $u, v, \theta', q, m, h, C, T_{sea}, T_{soil}$ ) ცნობილი სიდიდეებია. მათ კონკრეტულ მნიშვნელობებს განესაზღვრავთ ქვემოთ რიცხვითი ექსპერიმენტის განმარტების დროს.

**საწყისი და სასაზღვრო პირობები.** ამოცანის ამოხსნის არის გვერდითსაზღვრებზე მივიღოთ შემდეგი სასაზღვრო პირობები:

$$v = \left( \frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \phi}{\partial x} - g(1 + 0.61q) \vartheta \frac{\partial z}{\partial x} \right) / 1, \quad u = \left( -\frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \phi}{\partial y} + g(1 + 0.61q) \vartheta \frac{\partial z}{\partial y} \right) / 1,$$

$$\vartheta' = 0, \quad q = q(0, x, y, \zeta), \quad m = m(0, x, y, \zeta), \quad c = c(0, x, y, \zeta), \quad \text{როცა } t = 0 \quad (8)$$

$$h = h(0, x, y, \zeta) \quad T_{\text{sea}} = T_{\text{sea}}(0, z), \quad T_{\text{soil}} = T_{\text{soil}}(0, z),$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial y} = \frac{\partial \vartheta'}{\partial y} = \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial m}{\partial y} = 0, \quad \text{როცა } y = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial \vartheta'}{\partial x} = \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial m}{\partial x} = 0, \quad \text{როცა } x = 0, \quad (9)$$

ვერტიკალური სასაზღვრო პირობები შემდეგია:

(1) განტოლებათა სისტემისათვის:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \zeta} = \frac{\partial v}{\partial \zeta} = \frac{\partial \vartheta'}{\partial \zeta} = \frac{\partial q}{\partial \zeta} = \frac{\partial m}{\partial \zeta} = \tilde{w} = 0 \\ \varphi = \bar{\phi}(t, x, y, \zeta) + \frac{g}{RT} \Delta \theta (h(1, x, y) - h(0, x, y)) \end{aligned} \right\} \quad \text{როცა } \zeta = 1; \quad (10)$$

$$u = u_{10m}, \quad v = v_{10m}, \quad \vartheta' = \vartheta'_{2m}, \quad q = q_{2m}, \quad m = 0 \quad \text{როცა } \zeta = 0. \quad (11)$$

სადაც  $\bar{\phi}(t, x, y, \zeta)$  წნევის ანალოგის ფონური მნიშვნელობაა;  $\Delta \theta$  - ტროპოსფერულ ტემპერატურის ანალოგის გრადიენტი;  $T_{\delta}$  - ქვეფენილი ზედაპირის ტემპერატურა;  $u_{10m}, v_{10m}, \vartheta'_{2m}, q_{2m}$  მოცემული ფუნქციების მნიშვნელობებია ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის 10 და 2 მ სიმაღლეებზე.  $q_{\delta}$  - წყლის ორთქლის მასური წილია ქვეფენილ ზედაპირზე:

$$q_{\delta} = \begin{cases} q_{\text{sat}} & \text{zRvis zedapirze} \\ q_{\text{sat}} C / C_{\text{por}} & \text{niadagis zedapirze} \end{cases};$$

$u_{10m}, v_{10m}, \vartheta'_{2m}, q_{2m}$  ფუნქციების მნიშვნელობები განისაზღვრებიან ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის პარამეტრიზაციული მოდელის საშუალებით [ლაზრიევი], რომელიც აღიწერება შემდეგ განტოლებათა სისტემის საშუალებით;

$$\frac{\partial |\mathbf{u}|}{\partial z} = \frac{u_*}{\chi z} \phi_u(\zeta), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p_*}{\chi} \phi_p(\zeta), \quad (p = \vartheta, q), \quad \zeta = \frac{z}{L}, \quad L = \frac{u_*^2}{\lambda \chi^2 \vartheta_*^2}$$

$$|\mathbf{u}| = \frac{u_*}{\chi} f_u(\zeta, \zeta_u), \quad p - p_0 = p_* f_p(\zeta, \zeta_0), \quad \zeta_u = \frac{z_u}{L}, \quad \zeta_0 = \frac{z_0}{L}, \quad \text{if } z \leq z_{\text{sur}}, \quad (12)$$

$$v_i = \frac{u_* \chi z}{\phi_i(\zeta)}, \quad (v_i)_h = \frac{u_* \chi h_s}{\phi_i(\zeta_h)}, \quad (i = u, \vartheta), \quad \zeta_h = \frac{h_s}{L},$$

სადაც  $|\mathbf{u}| = (u^2 + v^2)^{0.5}$  ქარის სიქარის მოდულია;  $u_*$  ხახუნის დინამიკური სიქარეა;  $\vartheta_*$  და  $q_*$  პოტენციალური ტემპერატურისა და წყლის ორთქლის მოცულობითი შემცველობაა ხორკლიანობის დონეზე;  $\chi$  კარმანის მუდმივაა;  $z_0$  და  $z_u$  ხორკლიანობის პარამეტრია ქარის სიქარისა და ტემპერატურისათვის;  $L$  სიგრძის მასშტაბია;  $\lambda = g / \bar{T}$  კონვექციის პარამეტრია;  $\phi_u(\zeta), \phi_p(\zeta), f_u(\zeta, \zeta_u)$ , and  $f_p(\zeta, \zeta_0)$  უნივერსალური ფუნქციებია [46].

(2) და (3) განტოლებათა სისტემებისათვის ვერტიკალური სასაზღვრო პირობები  $z = \delta(x, y)$  ზედაპირზე და  $z = Z_g$  დონეზე შემდეგია:

$$\rho_g c_g K_g \frac{\partial T_g}{\partial z} - \rho c_p v_{2m} (T - T_\delta) / 2 - \rho c_p v_{2m} (q - q_g) / 2 = I_g \quad \text{როცა } z = \delta(x, y)$$

$$C = \begin{cases} C_{por} & \text{if } \int_0^1 \partial N / \partial t \, d\zeta > 0 \\ D \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\rho_w}{\rho} v_{2m} (q - q_\delta) & \text{if } \int_0^1 \partial N / \partial t \, d\zeta \leq 0 \end{cases}; \quad (13)$$

$$\frac{\partial T_g}{\partial z} = \frac{\partial C}{\partial z} = 0, \quad \text{როცა } z = Z_g$$

სადაც, ინდექსი „ $g$ ” აღნიშნავს „sea”-ს ზღვის ზედაპირისთვის და „soil”-ს – ხმელეთის ზედაპირის შემთხვევაში;  $I_g = I_{sum} - J$ ;  $I_{sum}$  არის ქვეფენილ ზედაპირზე ჯამური რადიაციის ნაკადი, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$I_{sum} = \begin{cases} r(1 - A_\lambda) I & \text{, ნიადაგის შემთხვევაში} \\ r[(1 - A_\lambda) I \exp(\text{rad} \times z)] & \text{, ზღვის შემთხვევაში} \end{cases}, \quad (14)$$

სადაც,  $r$  არის ატმოსფეროში დრუბლიანობით გამოწვეული ჯამური რადიაციის ნაკადის შემცირების კოეფიციენტი;  $I$ - მოკლეტალღური რადიაციის ნაკადი;  $J$ - დედამიწის ეფექტური გამოსხივების ნაკადი;  $\text{rad}$ -ჯამური რადიაციის ზღვის წყალში შთანთქმის კოეფიციენტი.

ფუნქცია  $r$  გამოითვლება ფორმულით [14]

$$r = 1 - 0,08H_c - 0,05(L_c - H_c),$$

სადაც  $H_c$  და  $L_c$  არის მაღალი და დაბალი დრუბლიანობის ბალი.

$I$  ნაკადის გამოსათვლელად გამოიყენება ალბრეხტის ფორმულა, რომელიც დახრილი ზედაპირისათვის ჩაიწერება შემდეგი სახით [15]:

$$I = a_0 \cos \alpha - b_0 \sqrt{\cos \alpha},$$

$$\cos \alpha = \sinh_s \cos \alpha_g + \cos \Psi_a (\sin \chi \cos \Omega - \sin \Psi \cos \Psi_a \cos \psi) \times$$

$$\sin \alpha_g + \sin \Psi_a \cos \Psi \sin \Omega \sin \alpha_g,$$

$$\sinh_s = \sin \chi \sin \psi + \cos \chi \cos \psi \cos \Omega,$$

სადაც,  $h_s$  არის მზის ზენიტური კუთხე,  $\Psi$  - მზის მიხრილობა;  $\chi$ - გეოგრაფიული განედი,

$\Omega = (1 - 12)\pi/12$ - მზის საათობრივი კუთხე;  $\Psi_a = \arctg(\frac{\partial \delta}{\partial x} / \frac{\partial \delta}{\partial y}) + k\pi$  არის რელიეფის

ნორმალის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე პროექციის აზიმუტი, რომელიც აითვლება მერიდიანის

ზედაპირიდან (ის ითვლება დადებითად სამხრეთის მიმართულებიდან საათის მოძრაობით ათვლისას);  $\alpha_g = \arctg\left(\left(\frac{\partial \delta}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta}{\partial y}\right)^2\right)^{1/2}$  -ზედაპირზე მზის სხივების დაცემის კუთხეა;  $a_0$  და

$b_0$  ცნობილი მუდმივი სიდიდეებია.

J გამოითვლება ბრენტის ცნობილი ფორმულით [47], რომელშიც გათვალისწინებულია ეფექტური გამოსხივების დამოკიდებულება რელიეფის სიმაღლისაგან კავკასიის რეგიონისათვის:

$$J = (1 + \beta(\delta)) \sigma_{\text{stbol}} f_g T_g (A_c - B_c q^{0.5}) ,$$

სადაც,  $A_c$  და  $B_c$  არის ემპირიული მუდმივები;  $\sigma_{\text{stbol}}$  სტეფან-ბოლცმანის მუდმივაა;  $f_g$  პარამეტრით განისაზღვრება თუ რამდენადაა ნიადაგის ზედაპირი რუხი; პარამეტრი  $\beta(\delta)$  ასახავს ეფექტური რადიაციის ცლილებას რელიეფის სიმაღლის მიხედვით. ის გამოთვლება, ნაშრომში [48] მოყვანილი ცხრილების გამოყენებით მიღებული, კვადრატული ინტერპოლაციური ფორმულების საშუალებით.

ამრიგად ამოცანა მდგომარეობს (1), (3) განტოლებათა სისტემის ამოხსნაში (8) საწყისი და (9) - (13) სასაზღვრო პირობების გამოყენებით.

**ამოცანის რიცხვითი ინტეგრირების ალგორითმი.** ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის ამოცანის რიცხვითი ინტეგრირების ოპტიმალური სქემის შესარჩევად საჭიროა გათვალისწინებული იყოს როგორც ზოგადი, ასევე კონკრეტული მეტეოროლოგიური პროცესის დამახასიათებელი ჰიდროდინამიკური კრიტერიუმები. კერძოდ, სქემა უნდა იძლეოდეს ტალღების გავრცელებისა და ურთიერთქმედების, დიდი გრადიენტების მქონე ველების დროში ევოლუციის აღწერის საშუალებას მნიშვნელოვანი ხელოვნური სიბლანტის და არაწრფივი, არამდგრადი მოკლე ფიქტიური ტალღების ინდუცირების გარეშე, აწარმოებდეს ინტეგრირებას საკმაოდ დიდი დროის განმავლობაში, იყოს თვლის დროის მხრივ ეკომონიური და სხვა. ერთ-ერთ ასეთ სქემას წარმოადგენს

ფ. შუმანის და ჯ. ჰოვერმეილის მიერ დამუშავებული რიცხვითი სქემა [49, 50]. ის არის დისპერსიული და არადისიპაციური, აკმაყოფილებს ზევით მოყვანილ ზოგიერთ თვისებებს და ამასთან, არის მეტად მოსახერხებელი რიცხვითი გამოკვლევების ჩატარებისათვის. აღნიშნული სქემის გამოყენებით შესრულებულმა გამოთვლებმა აჩვენეს, რომ ის ინახავს სისტემის სრულ ენერჯიას დაახლოებით 5% სიზუსტით. აღნიშნულის შესაბამისად, (1) სისტემაში მოძრაობის, სითბოს გადატანის და უწყვეტობის განტოლებები იხსნება ფ. შუმანის ცხადი რიცხვითი სქემით [49, 50]. სინოტივის, წყლიანობის, მტვრის კონცენტრაციის გადატანა-დიფუზიის და (2), (3) განტოლებები იხსნება კრანკლ-ნიკოლსონის არაცხადი სქემითა და გახლჩის მეთოდის გამოყენებით. (12) განტოლებათა სისტემის ინტეგრირებისათვის გამოყენებულია [46]-ში მოცემული მეთოდიკა.

ატმოსფეროში სასრულ სხვაობათა ბადე შედგება  $118 \times 90 \times 31$  წერტილისაგან, ნიადაგში და ზღვაში -  $118 \times 90 \times 20$  წერტილისაგან. ჰორიზონტალური ბიჯებია 2 კმ, ვერტიკალური ბიჯებია 1/31. ნიადაგში და ზღვაში ვერტიკალური ბიჯი უდრის 10 სმ-ს, დროითი ბიჯი 10 წმ-ია.

ჩამოვყალიბოთ ამოცანის ინტეგრირების რიცხვითი სქემა. ატმოსფეროში ამოცანის განსაზღვრის არე დაფუაროთ შემდეგი დროითი - სივრცითი ბადით:



$$x_k = k\Delta x; y_l = l\Delta y; \zeta_m = m\Delta \zeta; t_n = \Delta t; k = 0, 1, \dots, K-1, K; \\ l = 0, 1, \dots, L-1, L; m = 0, 1, \dots, M-1, M; n = 0, 1, \dots, N-1, N, \quad (15)$$

და (1) განტოლებათა სისტემის აპროქსიმაცია (15) ბადეზე მოვასხივოთ შემდეგი ალგორითმის სახით:

$$\begin{aligned} \bar{u}_t^t + \overline{u^{xy} u_x^y}^{xy} + \overline{v^{xy} u_x^x}^{xy} + \overline{\tilde{w}^{xy} u_\zeta^{\zeta xy}}^{xy} &= -RT \overline{\phi_x^y}^{xy} + g \overline{\theta^{xy} z_x^y}^{xy} \\ &+ l \bar{u}^{xyxy} + \mu (\bar{u}_{xx}^{yy} + \bar{u}_{yy}^{xx}), \\ \bar{v}_t^t + \overline{u^{xy} v_x^y}^{xy} + \overline{v^{xy} u_x^x}^{xy} + \overline{\tilde{w}^{xy} v_\zeta^{\zeta xy}}^{xy} &= -RT \overline{\phi_y^x}^{xy} + g \overline{\theta^{xy} z_y^x}^{xy} \\ &- l \bar{v}^{xyxy} + \mu (\bar{v}_{xx}^{yy} + \bar{v}_{yy}^{xx}), \\ \phi_\zeta &= \frac{g}{RT} \overline{\theta}^\zeta, \quad z_{k,l,m}^n = \zeta_m h_{k,l}^n + \delta_{k,l}, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \overline{\theta}_t^t + \overline{u^{xy} \theta_x^y}^{xy} + \overline{v^{xy} u_x^x}^{xy} + \overline{\tilde{w}^{xy} u_\zeta^{\zeta xy}}^{xy} &= S \overline{w}^{xyxy} + \mu (\overline{\theta}_{xx}^{yy} + \overline{\theta}_{yy}^{xx}) - \bar{\theta}_t^t, \\ w_{k,l,m}^n &= \zeta_m \overline{h_t^{xyxy}}^t + \overline{u^{xy} z_x^y}^{xy} + \overline{v^{xy} z_y^x}^{xy} + \overline{\tilde{w}^{xy} h^{xy}}^{xy}. \end{aligned}$$

უწყვეტობის განტოლების ინტეგრირებისა და ვერტიკალური სიჩქარის ანალოგის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ სიჩქარეთა ბაროტროპული და ბაროკლინური მდგენელებად დაშლის მეთოდი. ამ მიზნით შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$U = ue^{-\sigma}, V = ve^{-\sigma}, \bar{U} = \int_0^1 U d\zeta, \bar{V} = \int_0^1 V d\zeta, U' = U - \bar{U}, V' = V - \bar{V}.$$

მაშინ, (1) სისტემის მეოთხე განტოლებიდან და (10) ვერტიკალური სასაზღვრო პირობის გამოყენებით მივიღებთ:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = e^{\sigma h} (F(\bar{U}, \bar{V}) - \int_0^1 F(U', V') d\zeta), \quad (17)$$

$$\tilde{w} = \frac{1}{h} (\zeta (e^{\sigma h} - e^{\sigma \zeta h}) F(\bar{U}, \bar{V}) + e^{\sigma h} \int_0^1 F(U', V') d\zeta - e^{\sigma \zeta h} \int_0^\zeta F(U', V') d\zeta) \quad (18)$$

სადაც

$$F(a, b) = a \frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial a}{\partial x} - \sigma h a \frac{\partial \delta}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial y} + h \frac{\partial b}{\partial y} - \sigma h b \frac{\partial \delta}{\partial y}.$$

წარმოვადგინოთ (17) და (18) სასრულსხვაობიანი ანალოგები შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} \overline{h_t^{xyxy}}^t &= \lambda^{\sigma h_{k,l}} (F_{k,l}(\bar{U}, \bar{V}) - \int_0^1 F_{k,l,m}(U', V') d\zeta), \\ \tilde{w}^{k,l,m} &= \frac{1}{h^{xyxy}} (\zeta_m (\lambda^{\sigma h_{k,l}} - \lambda^{\sigma \zeta_m h_{k,l}}) F_{k,l}(\bar{U}, \bar{V}) + e^{\sigma \zeta_m h_m} \int_0^{\zeta_m} F_{k,l,m}(U', V') d\zeta - \\ &e^{\sigma h_{k,l}} \int_0^1 F_{k,l,m}(U', V') d\zeta), \end{aligned} \quad (19)$$

$$F_{k,l,m}(a, b) = \overline{\overline{a^{xy} h_x^y}} + \overline{\overline{h^{xy} a_x^y}} - \sigma \overline{\overline{h^{xy} a^{xy} \delta_x^y}} + \overline{\overline{b^{xy} h_x^x}} + \overline{\overline{h^{xy} b_y^x}} - \sigma \overline{\overline{h^{xy} b^{xy} \delta_y^x}}.$$

(16) და (19) ალგებრულ განტოლებებში ინტეგრალები გამოითვლება ტრაპეციის ფორმულით და გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$$\overline{\Psi}_t^n = \begin{cases} (\Psi_{k,l,m}^{n+1} - \Psi_{k,l,m}^n) / 2\Delta t & \text{როცა } n > 0, \\ (\Psi_{k,l,m}^1 - \Psi_{k,l,m}^0) / 2\Delta t & \text{როცა } n = 0, \end{cases}$$

$$\Psi_x^n = (\Psi_{k+0.5,l,m}^n - \Psi_{k-0.5,l,m}^n) / 2\Delta x, \quad \overline{\Psi}^x = (\Psi_{k+0.5,l,m}^n + \Psi_{k-0.5,l,m}^n) / 2, \quad (20)$$

$$\Psi_y^n = (\Psi_{k,l+0.5,m}^n - \Psi_{k,l-0.5,m}^n) / 2\Delta y, \quad \overline{\Psi}^y = (\Psi_{k,l+0.5,m}^n + \Psi_{k,l-0.5,m}^n) / 2,$$

$$\Psi_\zeta^n = (\Psi_{k,l,m+0.5}^n - \Psi_{k,l,m-0.5}^n) / 2\Delta \zeta, \quad \overline{\Psi}^\zeta = (\Psi_{k,l,m+0.5}^n + \Psi_{k,l,m-0.5}^n) / 2\Delta \zeta.$$

ატმოსფეროში ორთქლის, წყლისა და მტვრის გადატანა-დიფუზიის განტოლების რიცხვითი ინტეგრირებისათვის გამოვიყენოთ გახლეჩის მეთოდი. ამისთვის ჩავწეროთ ეს განტოლებები ოპერატიული ფორმით

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} + A\Psi - F = 0 \quad \Psi = \Psi_0 \quad \text{როცა } t = 0. \quad (21)$$

სადაც

$$\psi = \begin{pmatrix} q \\ m \\ c \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} u \frac{\partial}{\partial x} - \mu \frac{\partial}{\partial x^2}, & 0, & 0 \\ 0, & v \frac{\partial}{\partial y} - \mu \frac{\partial}{\partial y^2}, & 0 \\ 0, & 0, & \tilde{w} \frac{\partial}{\partial x} - \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial}{\partial \zeta} \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} -\varphi_{\text{con}} \\ \varphi_{\text{con}} - \frac{\partial N}{\partial t} \\ -\frac{\partial C}{\partial t} \end{pmatrix} \quad (22)$$

$\tilde{w} = \tilde{w}$  ორთქლისა და ღრუბლის წყლისათვის და  $\tilde{w} = \tilde{w} - w_0/h$  მტვრის შემთხვევაში.

(21) - (23) -ის აპროქსიმირებისათვის გამოვიყენოთ კრანკ - ნიკოლსონოს სქემა და განტოლების სივრცული კოორდინატების მიმართ გახლეჩვის მეთოდი. მაშინ, ინტეგრირების ალგორითმდროის ნებისმიერი მცირე ინტერვალისათვის  $t_n \leq t \leq t_{n+1}$  ოპერატიული ფორმით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{\phi_{\text{ing},k,l,m}^{n+1/8} - \phi_{\text{ing},k,l,m}^n}{\tau/2} + \Lambda_x \frac{\phi_{\text{ing},k,l,m}^{n+1/8} + \phi_{\text{ing},k,l,m}^n}{2} = 0$$

$$\frac{\Psi_{\text{ing},k,l,m}^{n+2/8} - \Psi_{\text{ing},k,l,m}^{n+1/8}}{\tau/2} + \Lambda_y \frac{\Psi_{\text{ing},k,l,m}^{n+2/8} + \Psi_{\text{ing},k,l,m}^{n+1/8}}{2} = 0$$

$$\frac{\phi_{\text{ing},k,l,m}^{n+3/8} - \phi_{\text{ing},k,l,m}^{n+2/8}}{\tau/2} + \Lambda_\zeta \frac{\phi_{\text{ing},k,l,m}^{n+3/8} + \phi_{\text{ing},k,l,m}^{n+2/8}}{2} = 0$$

$$\frac{\Psi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+5/8} \Psi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+13/8}}{\tau} = f^{j+1/2} \quad (23)$$

$$\frac{\phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{nj+6/8} \phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+5/8}}{\tau/2} + \Lambda_{\zeta} \frac{\phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+6/8} + \phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+5/8}}{2} = 0$$

$$\frac{\phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+7/8} \phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+6/8}}{\tau/2} + \Lambda_y \frac{\phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+7/8} + \phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+5/8}}{2} = 0$$

$$\frac{\phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+1} \phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+7/8}}{\tau/2} + \Lambda_x \frac{\phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+1} + \phi_{\text{ing}_{k,l,m}}^{n+7/8}}{2} = 0$$

$\Lambda_x, \Lambda_y$  და  $\Lambda_{\zeta}$  - შესაბამისი დიფერენციალური ოპერატორების სასრულ სხვაობიანი ანალოგებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ სქემის მონოტონურობასა და განისაზღვრებიან შემდეგი ფორმულებით:

$$\Lambda_x = \frac{1}{2\Delta x} (U^- \Psi_{\text{ing}_{k+1,l,m}} - U^0 \Psi_{\text{ing}_{k,l,m}} - U^+ \Psi_{\text{ing}_{k-1,l,m}}) - \frac{\mu}{\Delta x^2} (\Psi_{\text{ing}_{k+1,l,m}} - 2\Psi_{\text{ing}_{k,l,m}} + \Psi_{\text{ing}_{k-1,l,m}}),$$

$$\Lambda_y = \frac{1}{2\Delta y} (V^- \Psi_{\text{ing}_{k,l+1,m}} - V^0 \Psi_{\text{ing}_{k,l,m}} - V^+ \Psi_{\text{ing}_{k,l-1,m}}) - \frac{\mu}{\Delta y^2} (\Psi_{\text{ing}_{k,l+1,m}} - 2\Psi_{\text{ing}_{k,l,m}} + \Psi_{\text{ing}_{k,l-1,m}}),$$

$$\Lambda_{\zeta} = \frac{1}{2\Delta \zeta} (\tilde{W}^- \Psi_{\text{ing}_{k,l,m+1}} - \tilde{W}^0 \Psi_{\text{ing}_{k,l,m}} - \tilde{W}^+ \Psi_{\text{ing}_{k,l,m-1}}) - \frac{1}{h_{k,l} \Delta \zeta^2} (v_{m+1/2} \Psi_{\text{ing}_{k,l+1,m}} - (v_{m+1/2} + v_{m-1/2}) \Psi_{\text{ing}_{k,l,m}} + v_{m-1/2} \Psi_{\text{ing}_{k,l-1,m}}),$$

$$\text{სადაც } U^- = 0.5(u + |u|), \quad U^0 = |u|, \quad U^+ = 0.5(u - |u|), \quad V^- = 0.5(v + |v|),$$

$$V^0 = |v|, \quad V^+ = 0.5(v - |v|), \quad W^- = 0.5(\tilde{w} + |\tilde{w}|),$$

$$W^0 = |\tilde{w}|, \quad W^+ = 0.5(\tilde{w} - |\tilde{w}|).$$

(2) განტოლებათა სისტემის აპროქსიმაცია ხდება კრანკ - ნიკელსონის არაცხადი რიცხვითი სქემით, მუდმივი ბიჯის მქონე ერთგანზომილებიან სივრცით ბაღეზე:

$t = n\Delta t$ ;  $z_k = k\Delta z$  ( $n = 0, 1, \dots, N-1, N$ ;  $k = 0, -1, \dots, -K_g + 1, -K_g$ ) შემდეგი სახით:

$$\frac{C_k^{n+1} - C_k^n}{\Delta t} = \frac{1}{2\Delta z^2} [(D_{k+1/2}^n C_{k+1}^{n+1} - (D_{k+1/2}^n + D_{k-1/2}^n) C_k^{n+1} + D_{k-1/2}^n C_{k-1}^{n+1}) +$$

$$(D_{k+1/2}^n C_{k+1}^n - (D_{k+1/2}^n + D_{k-1/2}^n) C_k^n + D_{k-1/2}^n C_{k-1}^n)] - \frac{E_{k+1}^n - 2E_k^n + E_{k-1}^n}{2\Delta z}$$

$$\frac{T_{\text{soil } k}^{n+1} - C_k^n}{\Delta t} = \frac{1}{2\Delta z^2} [K_{\text{soil } k}^n (T_{\text{soil } k+1}^{n+1} - 2T_{\text{soil } k}^{n+1} + T_{\text{soil } k-1}^{n+1}) +$$

$$K_{\text{soil } k}^n (T_{\text{soil } k+1}^n - 2T_{\text{soil } k}^n + T_{\text{soil } k-1}^n)] \quad (23)$$

(8) – (13) საწყის და სასაზღვრო პირობებში წარმოებულები აპროქსიმირდება ცენტრალური სხვაობით. განტოლებათა სისტემა (12) აპროქსიმირდება და რიცხობრივად ინტეგრირდება მეთოდით რომელიც მოცემულია [46]-ში.

(16), (19), (22) ალგებრულ განტოლებათა სისტემებს აპროქსიმირებენ შესაბამის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემების დროისა და სივრცის მიხედვით მეორე რიგის სიზუსტით, (23) დროის მიხედვით მეორე რიგის სიზუსტით, ხოლო სივრცული კოორდინატის მიხედვით პირველი რიგის სიზუსტით. აპროქსიმაციის შედეგად მიიღება ალგებრულ განტოლებათა სისტემები, რომლებიც გამოითვლებიან პირდაპირიან ფაქტორიზაციის მეთოდით.

ამოცანის რიცხვითი რეალიზაცია განხორციელებულია  $236 \times 180 \text{ კმ}^2$  ფართობის კავკასიის რეგიონში  $118 \times 90 \times 31$  წერტილისაგან შემდგარ ბადეზე. მოდელში გამოყენებულ პარამეტრთა მნიშვნელობებია:  $R = 287 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} / \text{კ}$ ;  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ ;  $\mu = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ;  $\Delta t = 60 \text{ s}$ ;  $\sigma = 10^{-4} \text{ m}^{-3}$ ;

$T_0 = 270^0 \text{ K}$ ;  $\Delta T = 20^0 \text{ c}$ ;  $\Delta x = \Delta y = 50000 \text{ მ}$ ;  $K = 26$ ;  $L = 24$ ;  $\chi = 42^0$ ;  $M = 16$ ;  $\Delta \theta = 40^0 \text{ C}$ ;  
 $E_{\text{max}} = 1,5 \times 10^{-8} \text{ მ/წმ}$ ;  $D_{\text{max}} = 15 \times 10^{-8} \text{ მ}^2 / \text{წმ}$ ;  $\Delta \zeta_0 = 10^{-2}$ ;  $m_{\text{max}} = 2 \times 10^{-4}$ ;  $K_{\text{sea}} = 15 \times 10^{-6} \text{ მ}^2 / \text{წმ}$ ;  
 $K_{\text{soil}} = 3 \times 10^{-7} \text{ მ}^2 / \text{წმ}$ ;  $\rho_{\text{sea}} = 1,1 \text{ გ/სმ}^3$ ;  $a_0 = 1,396 \times 10^3 \text{ ვტ/მ}^2$ ;  $b_0 = 10,2094 \times 10^3 \text{ ვტ/მ}^2$ ;  
 $A_\lambda = 0,15$  ზღვისა და  $A_\lambda = 0,2$  ნიადაგის შემთხვევაში;  $A_{g,q} = 1,1$ ;  $A_u = 1,6$ ;  
 $A_e = 0,39$ ;  $B_e = 0,058$ ;  $f_g = 0,9$ ;  $C_{\text{por}} = 0,3$ ;  $C_{\text{con}} = 0,01$ ;  $Z_{\text{soil}} = Z_{\text{sea}} = 1 \text{ მ}$ ;  
 $\text{rad} = 0,0023 \text{ მ}^{-1}$ ;  $\Delta z = 0,05 \text{ სმ}$ ;  $\zeta_1 = 3/16$ ;  $\delta_0 = 100 \text{ მ}$ ;  $c_p = 1,005 \times 10^3 \text{ ჯ/კგ გრად}$ ;  
 $c_{p_{\text{soil}}} = 0,4 \text{ კალ/სმ}^3 \text{ გრად}$ ;  $c_{\text{sea}} = 4,09 \text{ ჯ/გ გრად}$ ;  $L = 2,5 \times 10^6 \text{ ჯ/კგ}$ ; მზის დახრილობა  $\psi = 22^0$  რაც შეესაბამება ივნისის თვეს.

განხილულია ზაფხულის უდრუბლო ამინდი, რომლის დროსაც რეგიონში ქრის ფონური დასავლეთის ქარი. შესაბამისად, რიცხვით ექსპერიმენტში გამოყენებულია მეტეოროლოგიური სიდიდეების შემდეგი საწყისი და ფონური მნიშვნელობები:

$$h(t, x, y) = 12000 - \bar{q}(x, y); \quad \mathcal{G}' = q(0, x, y, \zeta) = m = 0;$$

$$\theta(t, x, y, \zeta) \in [T_0 + \Delta T_y(90-y)/180 + \Delta T_x(59-x)/236] / \bar{T};$$

$$\varphi(t, x, y, \zeta) = (U_{\text{Fon}} y + V_{\text{Fon}} x) * 10^{-4} / R \bar{T} + \frac{gh}{RT} \int_{\mu}^{\zeta} \mu \zeta; \quad (24)$$

$$M(t, x, y, \zeta) = 0; \quad T_{\text{soil}}(0, x, y, z) = 273 + T_0 + \Delta T_{y,\text{soil}}(90-y)/180 + \Delta T_{x,\text{soil}}(59-x);$$

$$C(0, x, y, z) = \begin{cases} C_{\text{por}}, & \text{if } z = \bar{q} \\ C_1, & \text{if } z < \bar{q} \end{cases} \quad Q = 0.80 \times .622E / \bar{P};$$

$$C(z_1) = 0.001 + 0.299 \cos(1.57z_1 / H);$$

$$Q = 0.80 \times .622E / \bar{P}; \quad E = 100 \times 6.11 \times 10^{\frac{7.62(t-273.2)}{t-31.1}};$$

$$C_{\text{pol}} = C_{0,\text{pol}}, \text{ როცა } (x, y) \in \Omega_{\text{town}} \text{ და } C = 0 \text{ როცა } (x, y) \notin \Omega_{\text{town}}$$

სადაც,  $C_{0,\text{pol}}$  ქალაქებში 2მ სიმაღლეზე მტვრის კონცენტრაციაა,  $\Omega_{\text{town}}$  ქალაქის დამაბინძურებელი ქალაქის ტერიტორიაა.  $T_0, \Delta T_x, \Delta T_y, \Delta T_{x,\text{sea}}, \Delta T_{y,\text{sea}}$ ,

$\Delta T_{x,soil}$   $\Delta T_{y,soil}$  ატმოსფეროს ტემპერატურის საშუალო თვიური მნიშვნელობა და ფონური ტემპერატურის გრადიენტების მნიშვნელობებია წყლის და ნიადაგის ზედაპირებზე.

( $\Delta T_{x,sea} = \Delta T_{x,soil} = 0$ ;  $\Delta T_{y,sea} = \Delta T_{y,soil} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot C \cdot m^{-1}$ );  $U_{Fon}$ ,  $V_{Fon}$  ფონური ქარის ზონალური და მერიდიანული მდგენელების მნიშვნელობებია ტროპოპაუზაზე. მოცემული თერმობარიული ველის შესაბამისი ფონური ქარის ზონალური მდგენელი,

$$v = \left( \frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial x} - g(1 + 0.61q) \vartheta \frac{\partial z}{\partial x} \right) / 1, \quad v = \left( \frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial x} - g(1 + 0.61q) \vartheta \frac{\partial z}{\partial x} \right) / 1, \quad (25)$$

ზემოთ მოყვანილი პარამეტრების მნიშვნელობების შესაბამისად, (24) და (25) ფორმულებით გამოთვლილი ვფუნქციები განსაზღვრავენ მეტეოროლოგიური ველების საწყის და ფონურ მნიშვნელობებს.

ჩატარებულმა რიცხვითი ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ გამოთვლების დაწყებიდან დაახლოებით 5 საათის განმავლობაში მიმდინარეობს ადაპტაციის პროცესი.

ადაპტაციის პროცესის განმავლობაში დედამიწის ზედაპირზე ჯამური რადიაციის ნაკადი მუდმივია და მისი სიდიდე უდრის ადგილობრივი დროით 0 საათის შესაბამის მნიშვნელობას.

ადაპტაციის ინტერვალის დასასრულს, გამოთვლებით მიღებულ  $u, v, h, \vartheta', q', m', T_{soil}, T_{sea}, C$  საძიებელ ფუნქციათა მნიშვნელობები განიხილება საწყისად და ინტეგრირება გრძელდება (14) გამოსახულებით განსაზღვრული ჯამური რადიაციის ცვლილების პირობებში.

**თავი IV. შიდა და ძვემოქართლის, მცხეთა-მთიანეთის და სამცხე-ჯავახეთის რეგიონებში მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების და დამტვირთების მოდელირების შედეგები**

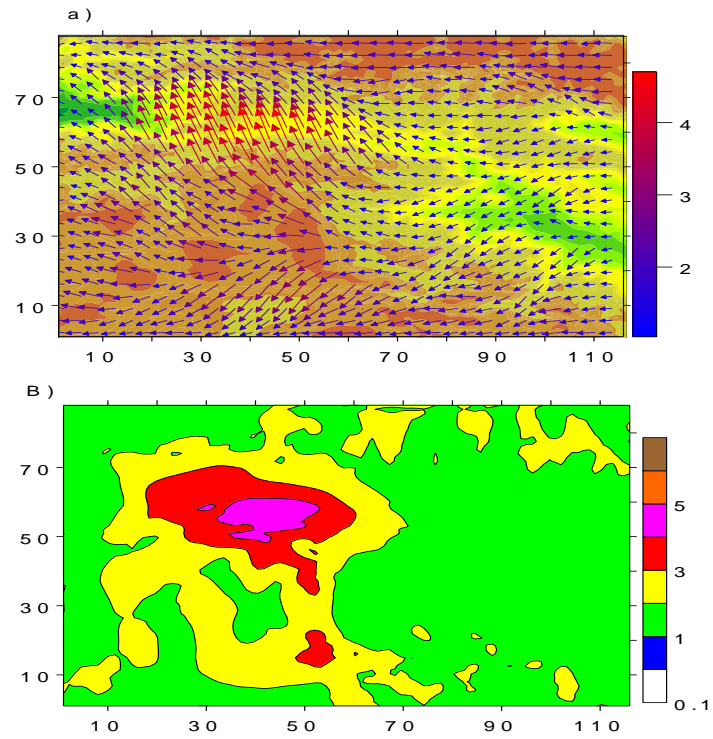
**4.1 ჰიდროთერმოდინამიკური ველების და მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური აღმოსავლეთის ქარის დროს**

მოდელირებული და შესწავლილია შიდა და ქვემო ქართლის, სამცხე -ჯავახეთის და მცხეთა - მთიანეთის რეგიონებში ატმოსფერული პროცესების განვითარება და ქალაქებში არსებული მტვრიანობის გავრცელება ფონური აღმოსავლეთის ქარის დროს ზაფხულის სეზონში. პარამეტრები  $u_{fon} = -23.2$  მ/წმ;  $v_{fon} = 0$ ;  $\Delta T_x = 0$ ;  $\Delta T_x = -7,5 \cdot 10^{-6}$  გრად/მ; ფონური ქარის სიჩქარე გამოთვლილია გეოსტროფიული ქარის განტოლებებით და მისი მნიშვნელობა იზრდება 5 მ/წმ-დან 25 მ/წმ-დე 10 მ სიმაღლიდან ტროპოპაუზის დონეზე. გამოთვლებით მიღებული მეტეოროლოგიური ველების სივრცითი და დროითი განაწილებების სურათები როცა  $t = 12$  სთ ნაჩვენებია ნახ. 4.1-4.10-ზე.

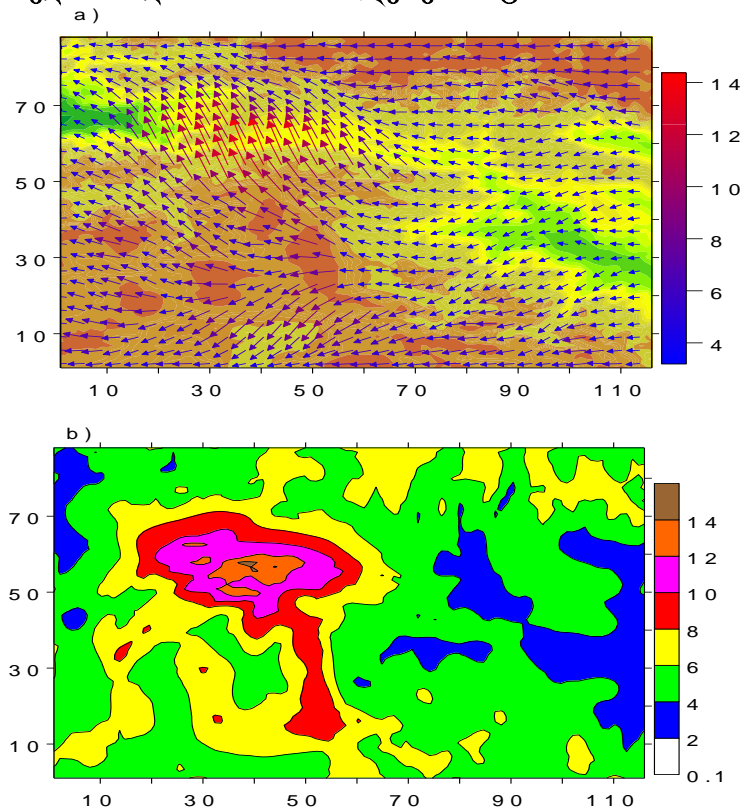
ნახ. 4.1-ზე მოცემულია ქარის სიჩქარის ვექტორის და სიჩქარის მოდულის განაწილება მიწის ზედაპირიდან  $z = 10$  მ სიმაღლეზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ მიწისპირა ქარის სიჩქარე მთელ ტერიტორიაზე იცვლება 1-დან 5 მ/წმ-მდე. რელიეფის ზემოქმედება იწვევს მეზომასშტაბის ტალღების წარმოშობასა და ჰაერის ნაკადის გაყოფას ორ ნაწილად სამხრეთ-აღმოსავლეთისა და ჩრდილო-აღმოსავლეთის ნაკადებად. ჰაერის მასის ნაკადებად გაყოფა ხდება თრიალეთის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილში. სამხრეთ აღმოსავლეთის ნაკადი შიდა ქართლის ვაკის გავლით გადაედინება ღიხის ქედს და ვრცელდება დასავლეთ საქართველოში. ჩრდილო-აღმოსავლეთის ქარი ვრცელდება ჯავახეთის ზეგანზე. მის მოძრაობის მიმართულებას განსაზღვრავს სამსარისა და ჯავახეთის ქედები და მდ. მტკვრის ხეობის ორიენტაცია. ადგილი აქვს, აგრეთვე, ორი ლოკალური ნაკადის წარმოშობას რეგიონის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში. ისინი იწყებიან ქვემო ქართლის ვაკის ტერიტორიაზე და მიემართებიან მდინარეების ხრამისა და არაქსის ხეობების გასწვრივ.

ნახ. 4.2-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ქარის სიჩქარის ვექტორის და მოდულის განაწილება მიწის ზედაპირიდან  $z = 100$  მ სიმაღლეზე  $t = 12$  სთ-თვის. ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ 100 მ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარის სივრცული განაწილება თვისობრივად ანალოგიურია 10 მ სიმაღლეზე მიღებული განაწილების. განსხვავება რაოდენობრივია, განსაკუთრებით შიდა ქართლის ვაკის აღმოსავლეთ ნაწილის და ღიხის ქედის მიდამოებში. ამ ტერიტორიებზე ქარის სიჩქარე აღწევს 12-14 მ/წმ-ს და დაახლოებით 2-ჯერ და მეტად აღემატება 10 მ სიმაღლეზე მიღებულ სიჩქარეებს.

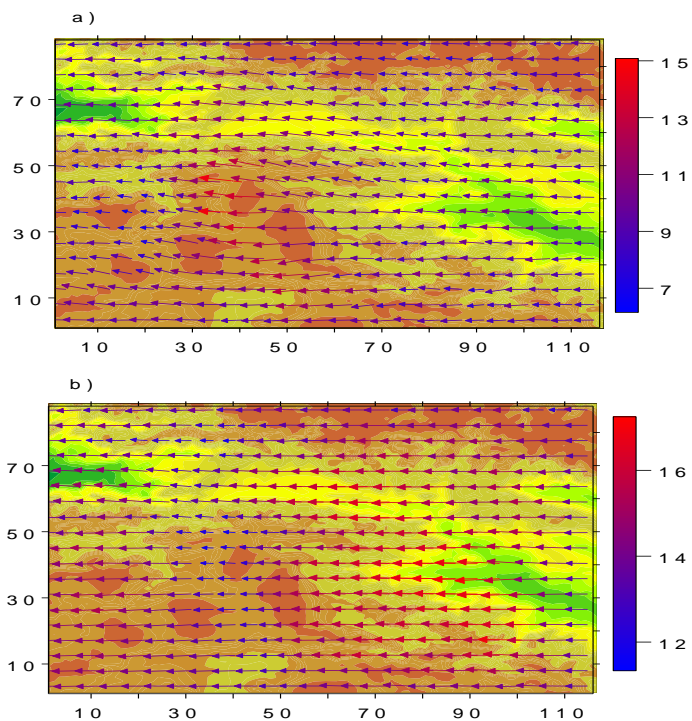
ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ზევით, თავისუფალ ატმოსფეროში რელიეფის გავლენა ქარის სიჩქარის სივრცულ განაწილებაზე მნიშვნელოვნად მცირდება (ნახ. 4.3). მიწის ზედაპირიდან დაშორებისას სიჩქარის სიდიდე იზრდება, მიმართულება კი უახლოვდება ფონურ მიმართულებას. ზღვის დონიდან 3 კმ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარე 7 მ/წმ - 15 მ/წმ-ის ფარგლებშია, 6 კმ-ის ზევით - 12 მ/წმ - 17 მ/წმ-ის ფარგლებში. ერთსა და იმავე დონეზე ქარის ზედაპირული განაწილება არაერთგვაროვანია. 3კმ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარე დიდია ჯავახეთის ზეგანზე სამსარის ქედის მიდამოებში და ნაკლებია ჯავახეთის ზეგანის ქარპირა და ქარზურგა მხარეს. დედამიწის ზედაპირიდან 6 კმ სიმაღლეზე კი პირიქით. სიჩქარე შედარებით ნაკლებია სამსარის ქედის მიდამოებში და მეტია ჯავახეთის ზეგანის აღმოსავლეთ და ცენტრალური ნაწილების თავზე.



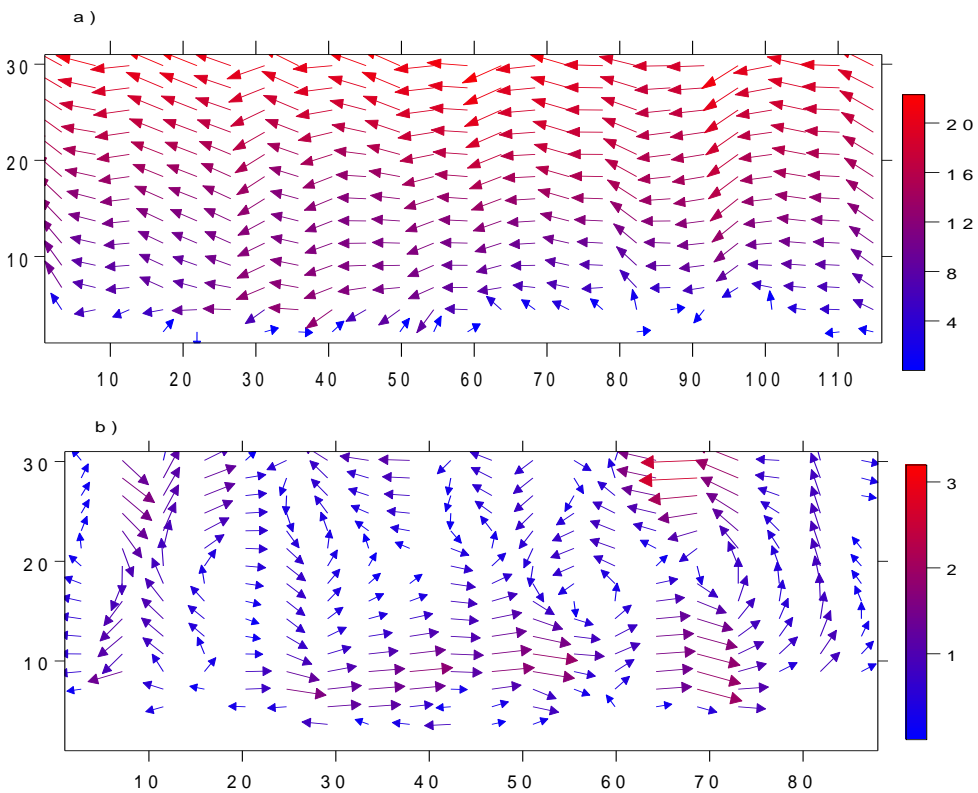
ნახ 4.1. რეგიონის რელიეფი, მიწისპირა ქარის ვექტორი – (a) და მოდული – (b) დედამიწის მიწის ზედაპირიდან 10 მ სიმაღლეზე, როცა  $t = 12$  სთ.



ნახ. 4.2 რეგიონის რელიეფი, მიწისპირა ქარის ვექტორი – (a) და მოდული – (b) დედამიწის მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე, როცა  $t = 12$  სთ.



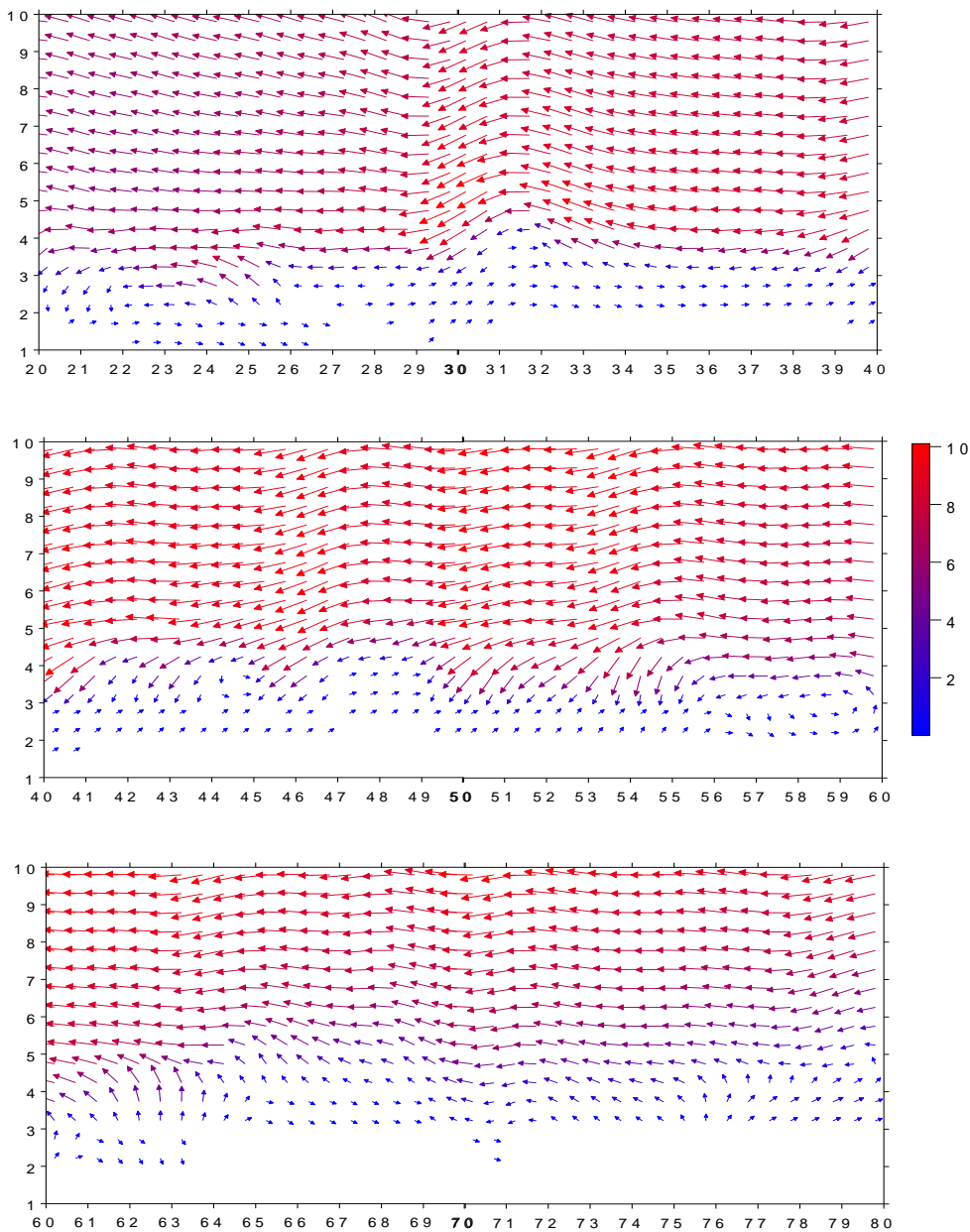
ნახ. 4.3. ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული ზღვის დონიდან 3 კმ (a) და 6 კმ სიმაღლეზე (b), როცა  $t = 120$  სთ.



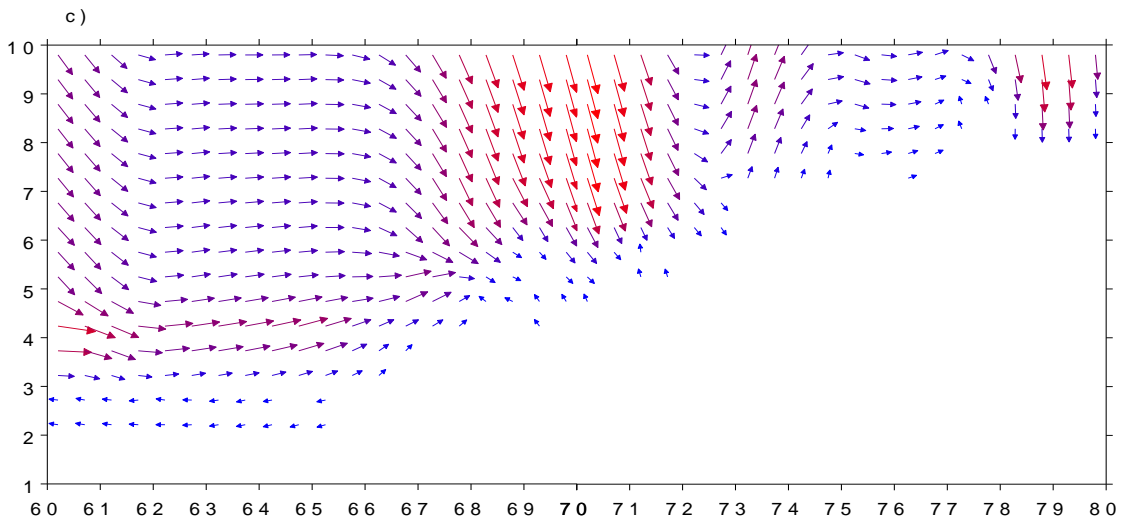
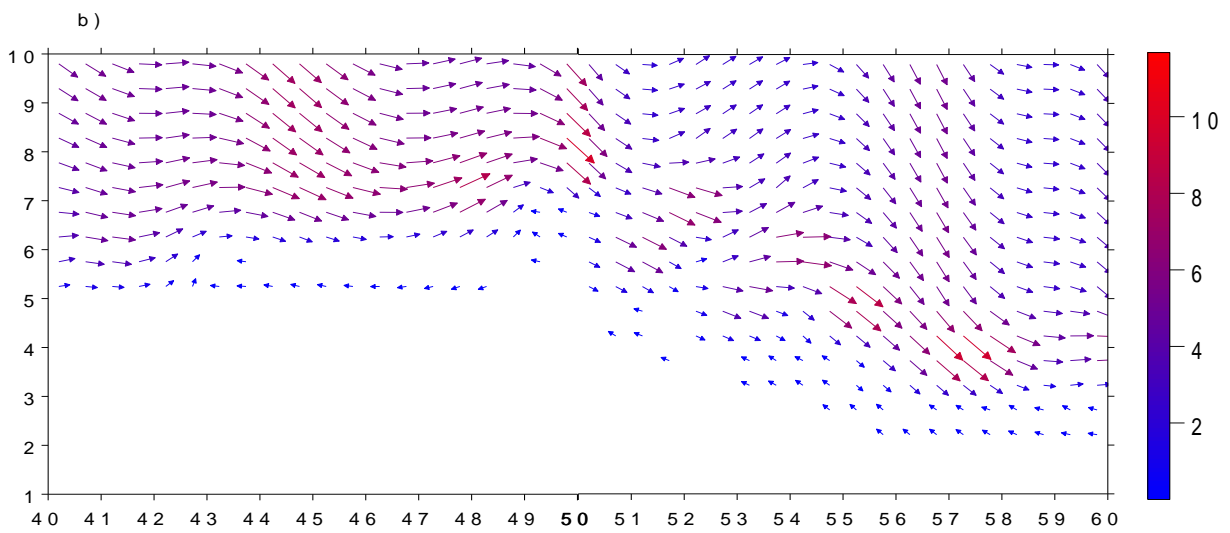
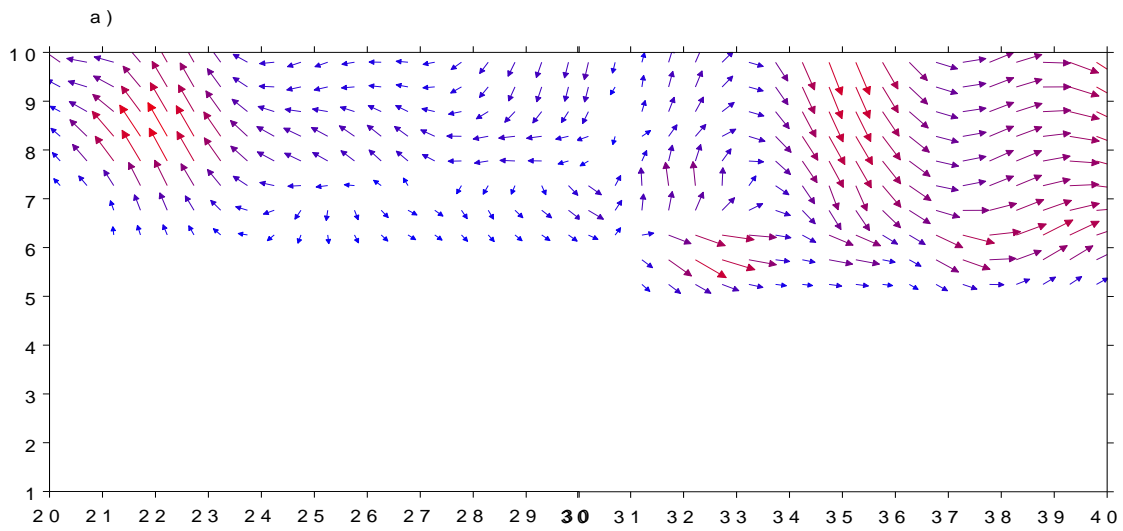
ნახ. 4.4. ქარის სიჩქარის განაწილება XOZ სიბრტყეში (a) როცა ( $Y = 20$ ) და YOZ სიბრტყეში ( $X = 60$  - (b), როცა  $t = 12$  სთ.



ნახ. 4.4-ზე ნახვენებია ქარის სიჩქარის განაწილება XOZ და YOZ სიბრტყეებში. ნახაზიდან ჩანს, რომ ადგილი აქვს ჰაერის ნაკადის მიერ რელიეფის გარსდენის მოვლენას, რომელსაც თან ახლავს ზონალურ ნაკადში ქედების და მაღლობების მიდამოებში ტალღური შეშფოთების წარმოშობა. რასაც ცალკეულ პუნქტებში თანსდევს ლოკალური მასშტაბის ვერტიკალური გრიგალური სტრუქტურების წარმოშობა მცირე ქედების ქარზურგა მხარეს. ქარის სიჩქარის ვერტიკალური გრიგალები ასევე მიღებულია მერიდიანულ კვეთებში (ნახ. 4.4ბ). მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ისინი ფორმირებულნი არიან ტროპოსფეროს შუა ნაწილში. ზედა მათი ზომები აღემატებიან პარალელის გაწვივრე ატმოსფეროს სასახდვრო ფენაში მიღებულ გრიგალების ზომებს. ვერტიკალური გრიგალების არსებობა რელიეფის გარსდენის დროს თეორიულად მიღებული იყო ადრე არა ერთი მკვლევარის მიერ [1, 2].



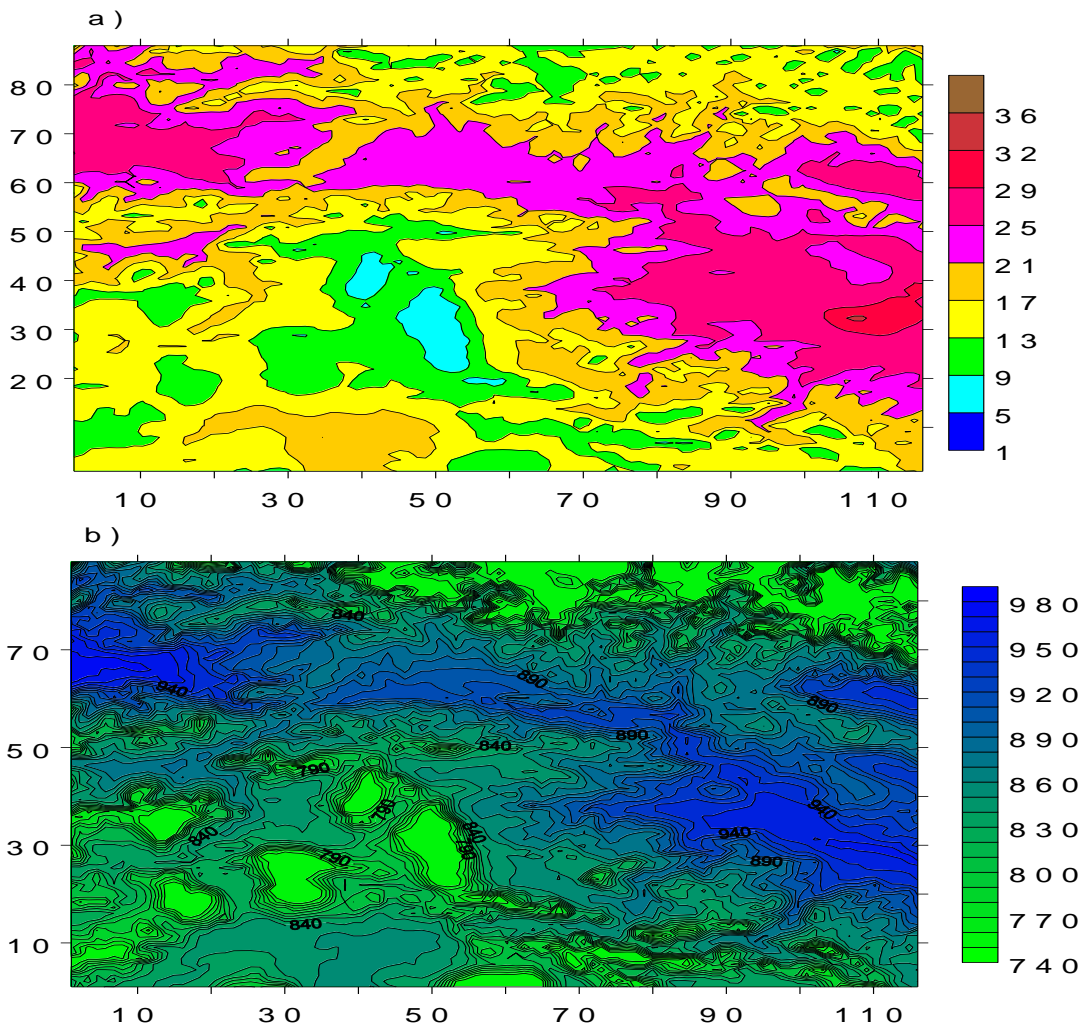
ნახ. 4.5. ქარის სიჩქარის ზონალური გასწვივრივი მდგენელის განაწილება XOZ სიბრტყეში როცა  $Y = 60$  და  $t = 12$  სთ.



ნახ. 4.6. ქარის სიჩქარის განაწილება მერიდიანალურ YOZ სიბრტყეში როცა  $X=60$  და  $t=0$  სთ.

ნახ. 4.5 და 4.6-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარის ზონალური და მერიდიანული მდგენელები ზღვის დონიდან 3 კმ სიმაღლემდე. ნახაზიდან ჩანს, რომ ფონური ქარის ოროგრაფიასთან ურთიერთქმედების გამო ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში წარმოიშვებიან ზონალური და მერიდიანული ტალღები და მეზომასშტაბის გრიგალური სისტემები. მათი ჰორიზონტალური ზომები დამოკიდებულია ოროგრაფიული წინააღობის ზომებზე.

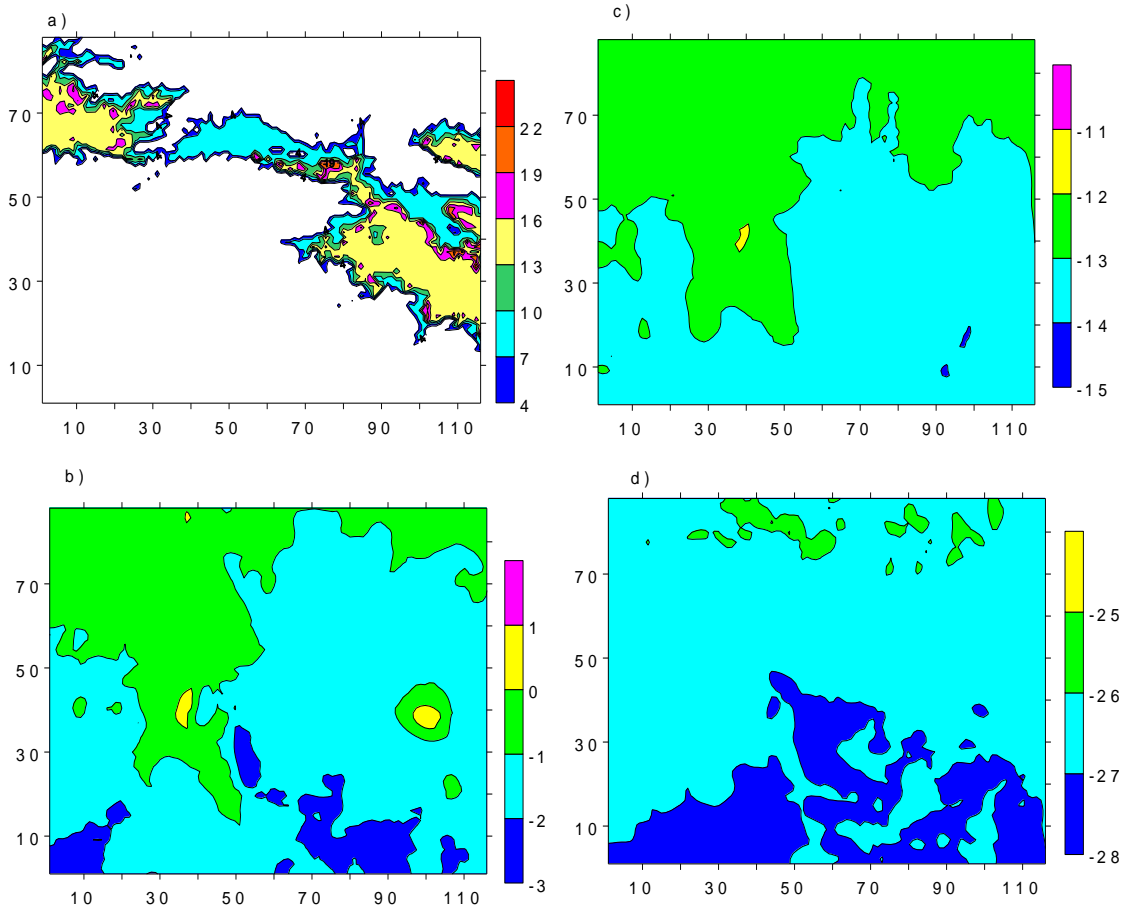
ნახ.4.7 და 4.8-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ტემპერატურისა და მიწისპირა წნევის სივრცული განაწილება. ნახაზებიდან ჩანს, რომ მიწისპირა ტემპერატურა მაქსიმალურია ქვემო ქართლის აღმოსავლეთ ნაწილის, კახეთის და კოლხეთის დაბლობის მიდამოებში. ამ რაიონებში ტემპერატურა იცვლება 21-29°C ინტერვალში. ქართლის ვაკეზე მიწისპირა ტემპერატურა 21-25 °C-ია. ტემპერატურა მინიმალურია სამსარისა და ჯავახეთის ქედების მწვერვალების მიდამოებში. იქ ტემპერატურა დღის 12 სთ-თვის იცვლება 5-9°C ინტერვალის ფარგლებში. მიწისპირა წნევა მაქსიმალურია კახეთის, ქართლის ვაკისა და კოლხეთის დაბლობის მიდამოებში.



ნახ. 4.7 ტემპერატურის (a, °C ) და წნევის (b, mb) განაწილება  $z = 2$  მ სიმაღლეზე როცა  $t = 12$  სთ.

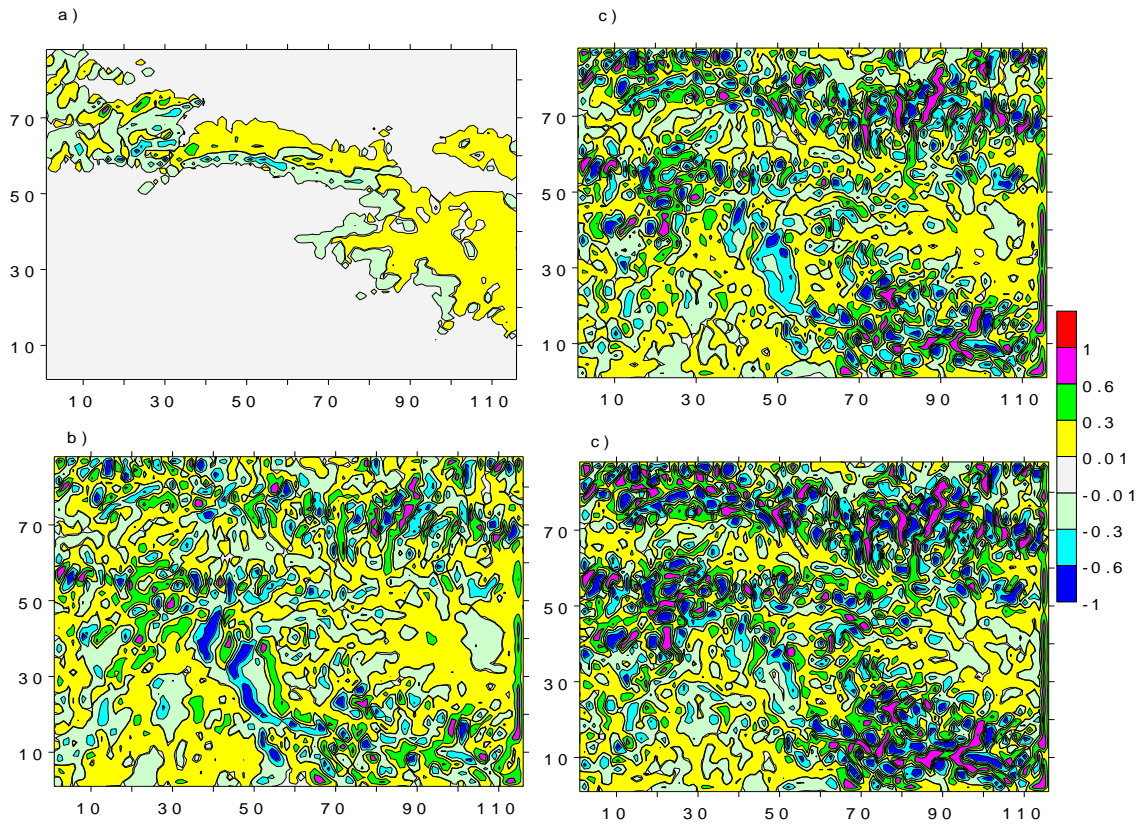
ტემპერატურის ვერტიკალური სივრცული განაწილება იცვლება სიმაღლის ზრდასთან ერთად. 1 კმ სიმაღლეზე ტემპერატურა შედარებით დაბალია რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში

(შიდა ქართლის ტერიტორიაზე) და მაღალია რეგიონის ჩრდილო-დასავლეთ (კოლხეთის დაბლობის) და სამხრეთ-აღმოსავლეთ (ქვემო ქართლის ვაკე) ნაწილებში. 3, 5 და 7 კმ სიმაღლეებზე ტემპერატურის გრადიენტი ძირითადად მიმართულია ჩრდილოეთისკენ. ამავე დროს აღინიშნება რელიეფის გავლენით გამოწვეული ტემპერატურის განაწილების ლოკალური თავისებურება.

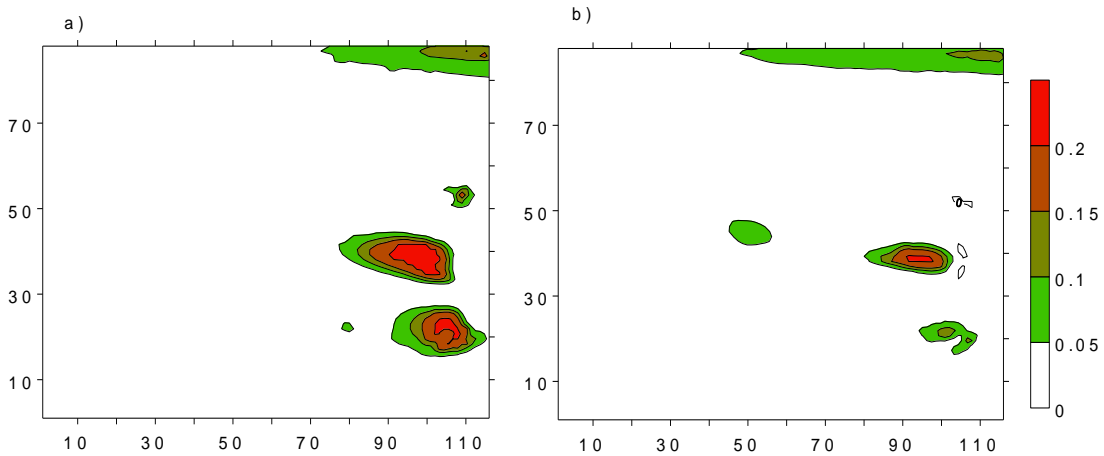


**ნახ. 4.8. ტემპერატურის განაწილება ზღვის დონიდან  $z=1$ -(a),  $3$ -(b),  $5$ -(c) და  $7$ კმ - (d) სიმაღლეებზე, როცა  $t = 12$ სთ.**

ნახ. 4.9-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ვერტიკალური სიჩქარის ველი. ნახაზიდან ჩანს, რომ მას გააჩნია  $\gamma$ -მეზომასშტაბის სტრუქტურა, რომელშიც ერთმანეთს ენაცვლებიან აღმავალი და დაღმავალი დინებები. ქვემო ქართლის ვაკის, ამ მდინარეების ალაზნის, იორის, მტკვარის გასწვრივ და ცივ გომბორის ქედის მიდამოებში ვერტიკალური სიჩქარეების მნიშვნელობები  $0.3$  მ/წმ-ის ფარგლებშია. მთავარი კავკასიონის ქედის ცალკეულ ხეობების და ქედების მიდამოები ვერტიკალური სიჩქარის მოდულები  $1$  მ/წმ-დე აღწევენ.



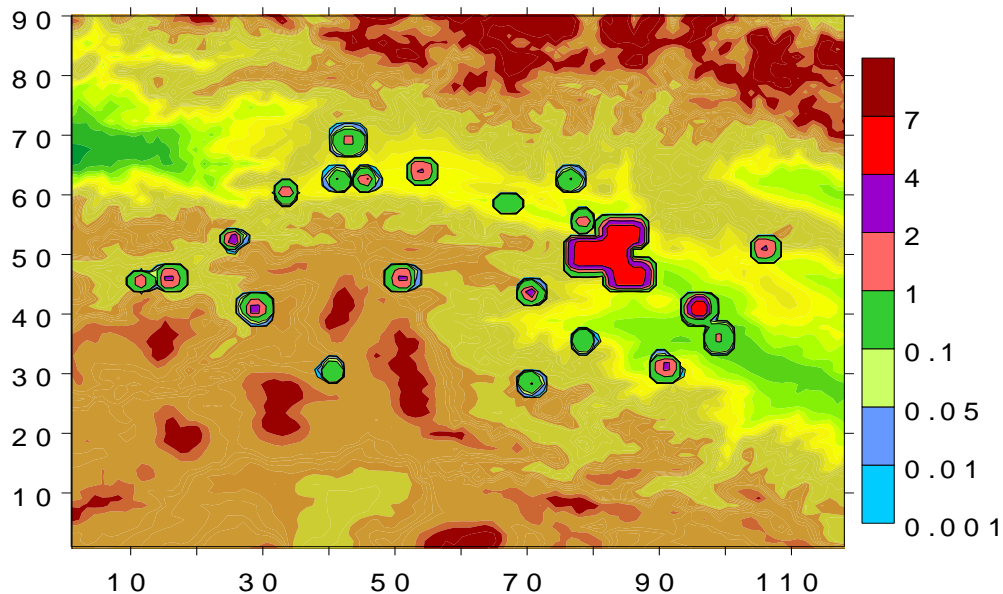
ნახ. 4.9. ვერტიკალური სიჩქარის განაწილება ზღვის დონიდან  $z = 1$ -(a),  $3$ -(b),  $5$ -(c) და  $7$ კმ -(d) სიმაღლეებზე, როცა  $t = 12$ სთ.



ნახ. 4.10. დრუბლების წყლიანობა (გ/კგ)  $z=3$ -(a) და  $5$  კმ (b) სიმაღლეებზე.

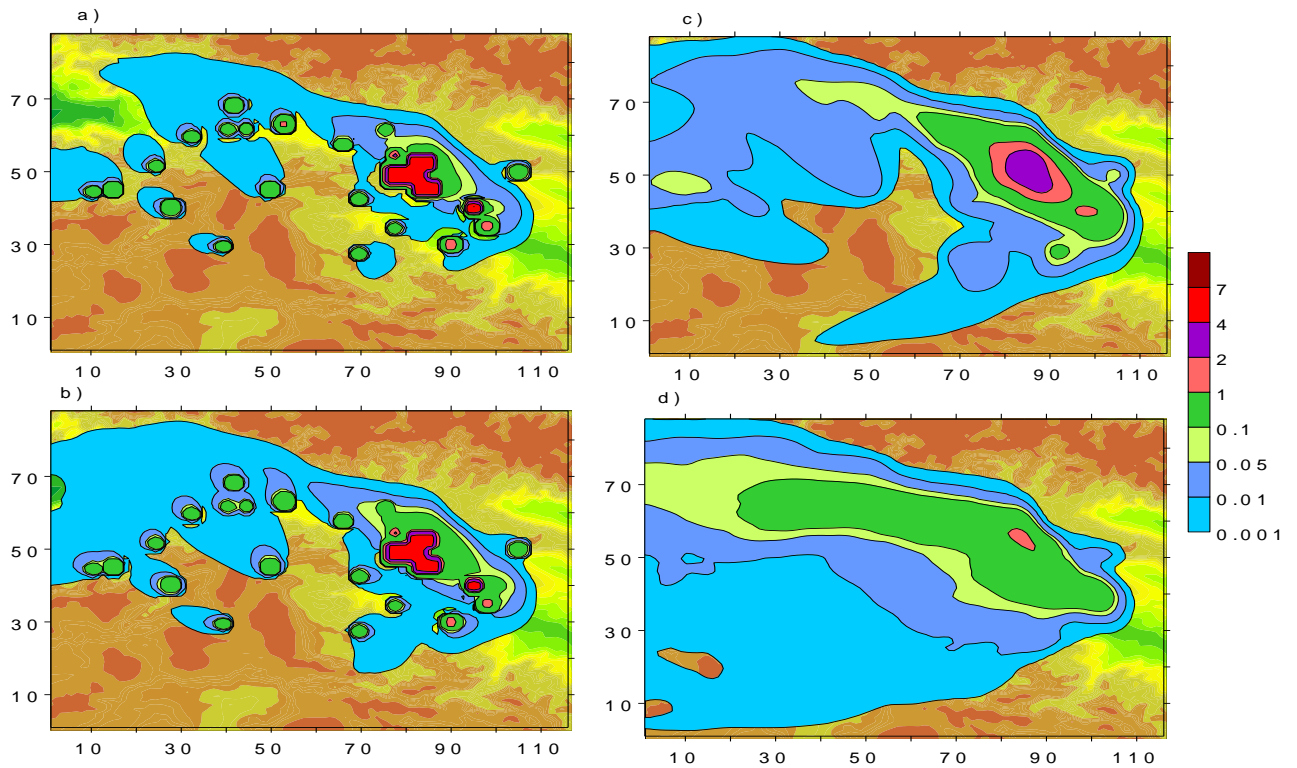
მოდელირებულ შემთხვევაში წარმოიშვებიან დრუბლები, ლოკალიზირებულნი ქვემო ქართლის ვაკის, ქობილისის მიმდებარე ტერიტორიის, რეგიონის ჩრდილოეთ საზღვარის და ორიოდე მცირე პუნქტის მიდამოებში. დრუბლების წყლიანობის სურათი წარმოდგენილია ნახ.4.10-ზე.

რეგიონის დამტვერიანების ძირითად ადგილობრივ წყაროს წარმოადგენს 22 დასახლებულ პუნქტში განლაგებული სამრეწველო ობიექტები (ნახ.4.11) და ავტოტრანსპორტი. ეს ქალაქებია: თბილისი, მცხეთა, რუსთავი, კასპი, ცხინვალი, ქარელი, ხაშური, აგარა, დუშეთი, გორი, ორჯომი, ახალციხე, ვალე, ახალქალაქი, წალკა, თეთერი წყწრო, ბოლნისი, მარნეული, დმანისი, გარდაბანი, საგარეჯო, ნინოწმინდა. ქ.თბილისსა და რუსთავში მტვრის კონცენტრაციის მნიშვნელობები განსაზღვრულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ რეგულარული ნატურული დაკვირვებების მონაცემებით [3; 4], ხოლო დანარჩენში განსაზღვრულია მოსახლეობის რაოდენობის მიხედვით [5]-ის შესაბამისად. დასახლებულ პუნქტებში კონცენტრაციის სიდიდეები 2მ სიმაღლეზე მუდმივია და რიცხვითი ინტეგრირების დროს არ იცვლება. ისინი აღებულია გამოთვლების საწყის მნიშვნელობებად. ნახ.4.11-დან ჩანს, რომ რეგიონის დამტვერიანების ძირითად ობიექტებს წარმოადგენენ ქ. თბილისი და რუსთავი. ამ ქალაქების დამტვერიანების დონე აღწევს 5-7 საშუალო სადღეღამისო ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (სსზდკ). სხვა ქალაქებში და რაიონულ ცენტრებში კონცენტრაციების მნიშვნელობები 1-2 ზღვ-ს ფარგლებშია.

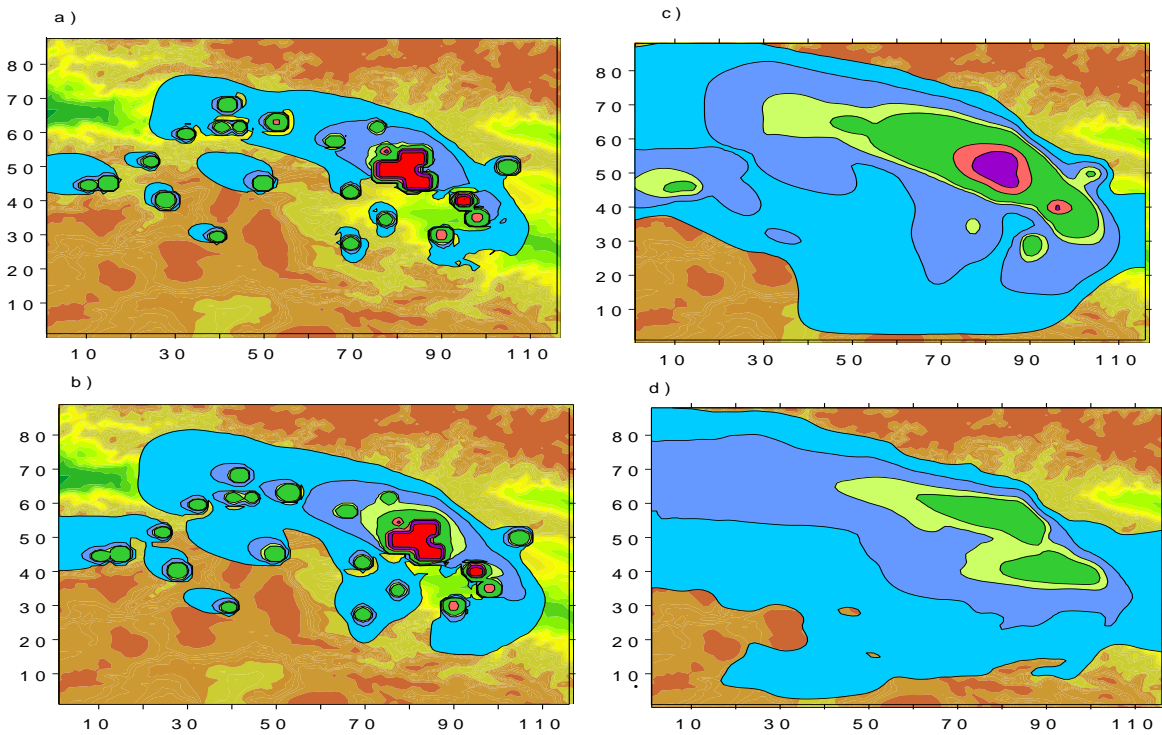


ნახ. 4.11. ატმოსფეროს დამამტვერიანებელი ქალაქების და რაიონული ცენტრების განლაგება და საწყისი კონცენტრაციების მნიშვნელობები (სსზდკ-ერთეულებში).

ნახ.4.12-ზე ნაჩვენებია რიცხვითი მოდელირებით მიღებული მტვრის კონცენტრაციების სივრცული განაწილება დღის 12 საათისათვის აღმოსავლეთის საშუალო სიჩქარის ქარის შემთხვევაში. ნახაზიდან ჩანს, რომ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ქვედა დონეებზე ( $z=2,10$ მ) მტვერი კონცენტრირებულია უშუალოდ დაბინძურების პუნქტის მიდამოებში და დასახლებული პუნქტიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით მხოლოდ მცირე მანძილზე არის გავრცელებული. უფრო დიდ მანძილებზე მიღებულია მტვრის მცირეოდენი კვალი, სადაც კონცენტრაცია 100-ჯერ ნაკლებია ზღვ-ზე.

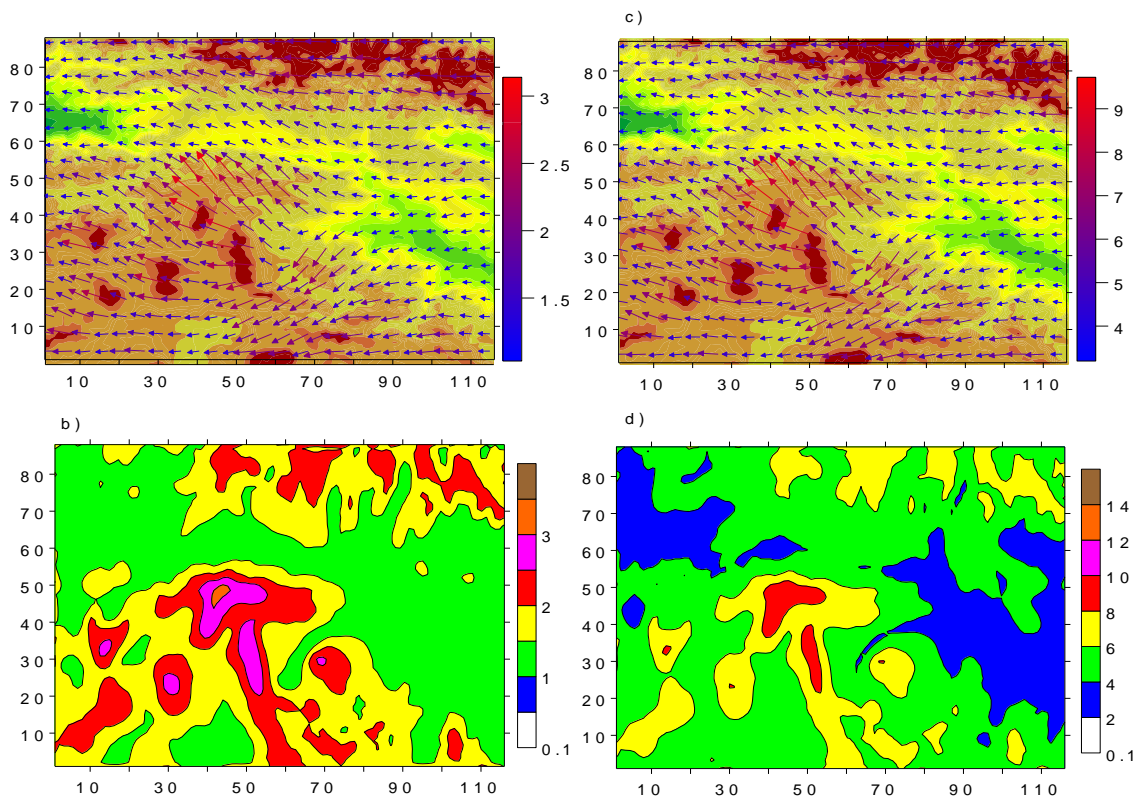


ნახ. 4.12. მტვრის კონცენტრაციები სსზღკ ერთეულებში ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში დელამიწის ზედაპირიდან  $z = 2$  -(a),  $10$  -(b),  $100$  (c) - და  $600$  -(d) მეტრ სიმაღლეებზე როცა  $t = 12$  სთ.



ნახ. 4.13. მტვრის კონცენტრაციები სსზღკ ერთეულებში ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში დელამიწის ზედაპირიდან  $z = 2$  -(a),  $10$  -(b),  $100$  (c) - და  $600$  -(d) მეტრ სიმაღლეებზე,  $t=24$  სთ.

დაბინძურების პუნქტიდან 2 კმ – 4 კმ მანძილზე მისი კონცენტრაცია დაახლოებით 10-ჯერ მცირდება, ხოლო უფრო დაშორებით 20 - 30 კმმანძილზე კონცენტრაცია დაახლოებით  $10^2 - 10^3$  ჯერ არის შემცირებული. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დამაბინძურებელი ნივთიერების ვერტიკალური ტურბულენტური გადატანა უპირატესია ჰორიზონტალურ გადატანასთან შედარებით. ამიტომ, ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ ფენაში მტვრით დაბინძურებული ვერტიკალური სტრუქტურა ფაქტიურად უცვლელია. ის მცირედ არის გაფართოებული მხოლოდ ჰორიზონტალური მიმართულებით. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში ( $z = 600$ მ) დამტვერილი ზონის ჰორიზონტალური ზომები მნიშვნელოვნად იზრდება როგორცჰაერის დინების, ასევე მისი მართობული მიმართულებითაც, რაც, თავის მხრივ, მიუთითებს ჰორიზონტალური ტურბულენტობის მნიშვნელობაზე მტვრის ჰორიზონტალური გადატანის პროცესში. მტვერი ძირითადად გადიტანება მდ.მტკვრის გასწვრივ, ჯავახეთის ზეგანზე კი - ჩრდილო დასავლეთის მიმართულებით.

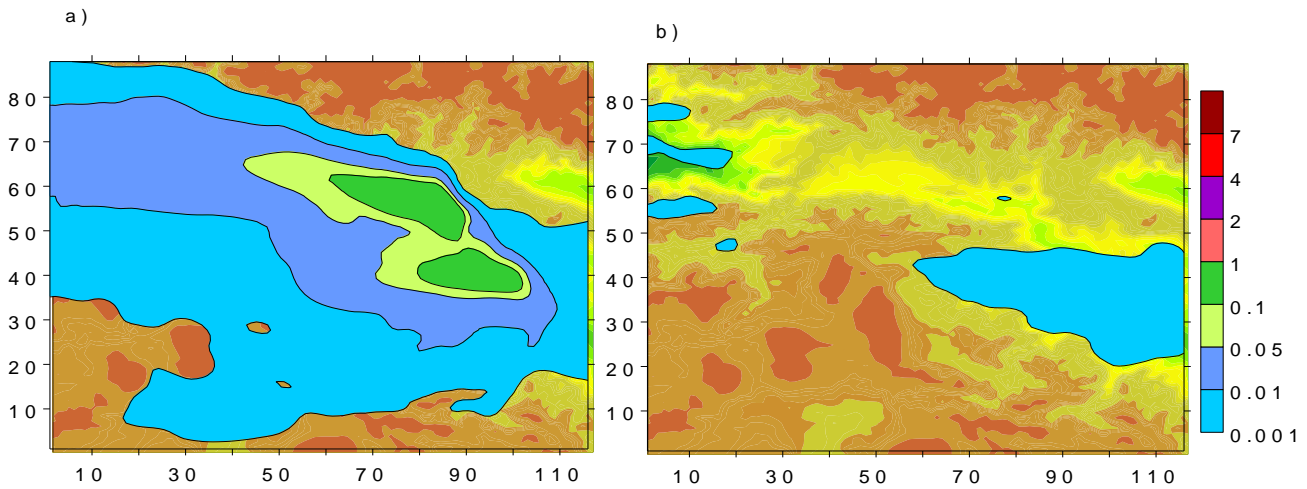


**ნახ 4.14.** რეგიონის რელიეფი და მიწისპირა ქარის ვექტორი და მოდული – (ბ) დედამიწის მიწის ზედაპირიდან 10 მ (ა, ბ) და 100 მ (ც, დ) სიმაღლეებზე, როცა  $t = 24$  სთ.

ატმოსფეროს დღეღამური რადიაციული რეჟიმის ცვლილების შესაბამისად იცვლება ქარის სიჩქარის განაწილება და მეტეოროლოგიური ველები. შესაბამისად ხდება მტვრის გავრცელების ცვლილებაც. კერძოდ, ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში, მცირდება ქარის სიჩქარე მდ. მტკვრის მარჯვენა სანაპიროს გასწვრივ განლაგებული ქედების ქარპირა მხარეს (ნახ. 4.14) და მცირდება მტვრის გავრცელების არეალი ნახ. 4.13. რაც შეეხება მტვრის სივრცულ განაწილებას, როცა  $z$  მეტია ან ტოლია 100მ, ქარის სიდიდის ცვლილება მცირეა და მცირეა ასევე მტვრის სივრცული განაწილების ცვლილებაც.



დედამიწის ზედაპირიდან 1კმ-ზე და უფრო მაღალ დონეებზე (ნახ.4.15) კონცენტრაციის მნიშვნელობა სწრაფად მცირდება და მისი სიდიდე ნაკლებია 0.01-0.001 ზდკ-ზე. ამიტომ, 0.001 ზდკ შეიძლება მიღებული იყოს აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალური ნაწილის დამტვერიანების ფონურ კონცენტრაციად.



**ნახ. 4.15. მტვრის კონცენტრაციები სსზდკ ერთეულებში დედამიწის ზედაპირიდან  $z = 1$  და 3 კმ მეტრ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 24$  სთ.**

ამრიგად ჩატრებულმა რიცხვითმა გამოთვლებმა მოგვცა საშუალება შევესწავლოთ ატმოსფეროს მეტეოროლოგიური ველების სივრცითი და დროითი განაწილება ფონური აღმოსავლეთის დინებების დროს. რელიეფის ფონურ დინებაზე ზემოქმედების შედეგად ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში მიღებულია მეზომასშტაბის დინების გასწვრივ მიმართული ტალღა. მოდელირებით გამოკვლეულია ტემპერატურული ველის ცვლილების სურათი როგორც ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში, ასევე შუა და ზედა ტროპოსფეროში, შესწავლილია ტემპერატურის ვერტიკალური განაწილების თავისებურება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში. ატმოსფეროს სინოტივისა, დრუბლიანობისა და ნალექების სივრცული განაწილება, განსაზღვრულია მიწისპირა წნევის ველი.

შესწავლილია რეგიონის ძირითადი ურბანულ ტერიტორიებში ატმოსფეროში გავრქვეული მტვრით გამოწვეული რეგიონის ჰაერის დამტვერიანების კინემატიკა. ნაჩვენებია, რომ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დამტვერიანების ზონა, რომელშიც კონცენტრაცია მეტია 0,1 ზდკ-ზე, არ აღემატება 10-20 კმ-ის სიგანის არეს ქქ. თბილისისა და რუსთავის მიდამოებში, და 1-2 კმ-ის სისქის რგოლურ არეს მცირე ქალაქების ირგვლივ. მტვრის დიფუზიური და ადვექტიური გადატანით მიღებული დამტვერიანებული მთელი სივრცე წარმოადგენს დიდი ფართობის მქონე, დაახლოებით 3 კმ-მდე სისქის არეს საქართველოს რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში. იგი ორიენტირებულია სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთისაკენ. ამ სივრცის უმეტეს ნაწილში მტვრის კონცენტრაცია 0.001 სსზდკ-ზე ნაკლებია.

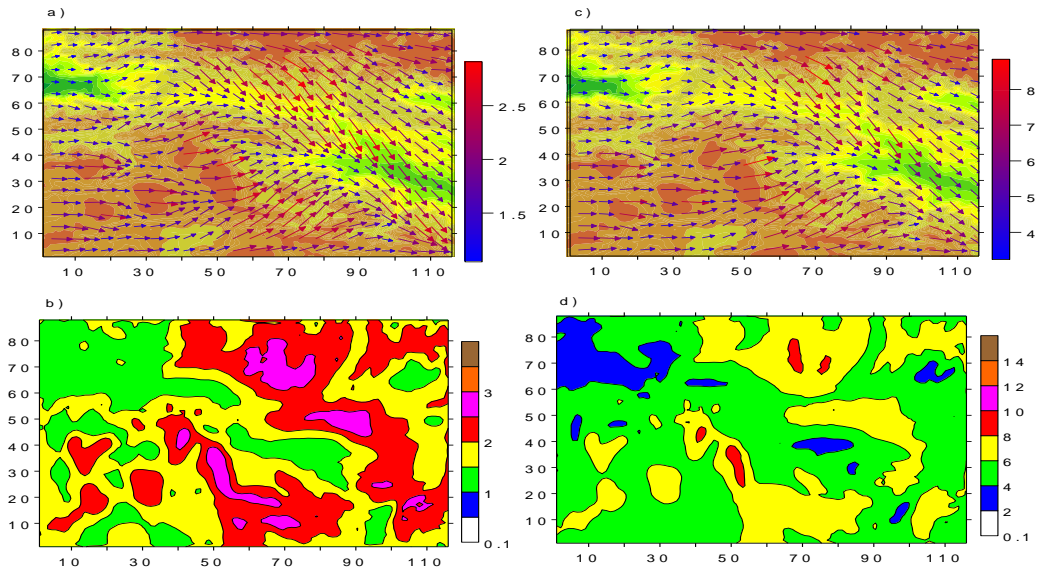
#### **4.2 ჰიდროთერმოდინამიკური ველების და ურბანული მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური დასავლეთის ქარის დროს**

მოდელირებული და შესწავლილია აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში ატმოსფერული პროცესების განვითარება და ქალაქების მტვრის გავრცელება ფონური

დასავლეთის ქარის დროს ზაფხულის სეზონში. პარამეტრები  $u_{fon}=25\text{მ/წმ}$ ;  $v_{fon}=0$ ;  $\Delta T_x = 0$ ;  $\Delta T_y = 7,5 \cdot 10^{-6}$  გრად/მ.

ფონური ქარის სიჩქარე გამოთვლილია გეოსტროფიული ქარის განტოლებებიდან. მისი მნიშვნელობა იცვლება 5 მ/წმ-დან (10 მ სიმაღლეზე) 25 მ/წმ-დე ტროპოპაუზაზე.

ნახ.4.16-4.25-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ლოკალური მეტეოროლოგიური ველების სივრცითი და დროითი განაწილებების სურათები. 2.16 -ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ – a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეებზე – c), d), შესაბამისად, როცა  $t = 12$  სთ. ნახაზებიდან ჩანს, რომ ქარის სიჩქარე ფლუგერის დონეზე მთელ ტერიტორიაზე იცვლება 0-დან 2-3 მ/წმ-მდე. თრიალეთის ქედისა და ჯავახეთის ზეგანის აღმოსავლეთ ფერდობების მიდამოებში ქარის სიჩქარე დაახლოებით 1-1.5 მ/წმ-ის ფარგლებშია. ამ ტერიტორიის ჩრდილო-აღმოსავლეთის და სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებით ქარის სიჩქარე მეტია და შეადგენს დაახლოებით 3 მ/წმ-ს.

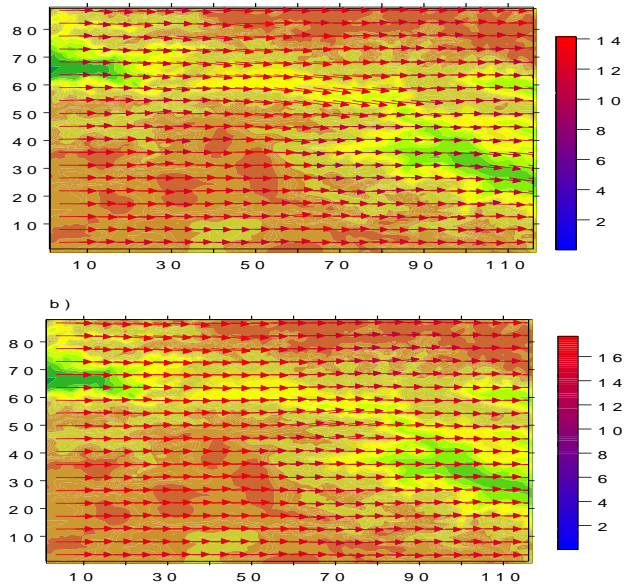


ნახ. 4.16. ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ – a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეებზე – c), d), შესაბამისად, როცა  $t = 12$  სთ.

მიწისპირა ფენის ზედა საზღვარზე ( $z = 100$  მ) რეგიონის ვაკე ტერიტორიებზე ქარის სიჩქარე იზრდება. მისი საშუალო მნიშვნელობა იზრდება და იცვლება 4-8 მ/წმ ინტერვალში. რეგიონში მიღებულია, ასევე, მცირე ზონები სადაც ქარის სიჩქარეები აღწევენ მინიმალურ (2 მ/წმ, კოლხეთის და ქვემო ქართლის დაბლობები) და მაქსიმალურ (10 მ/წმ, კავკასიონის სამხრეთი ფერდობი, სამსარის ქედი) მნიშვნელობებს.

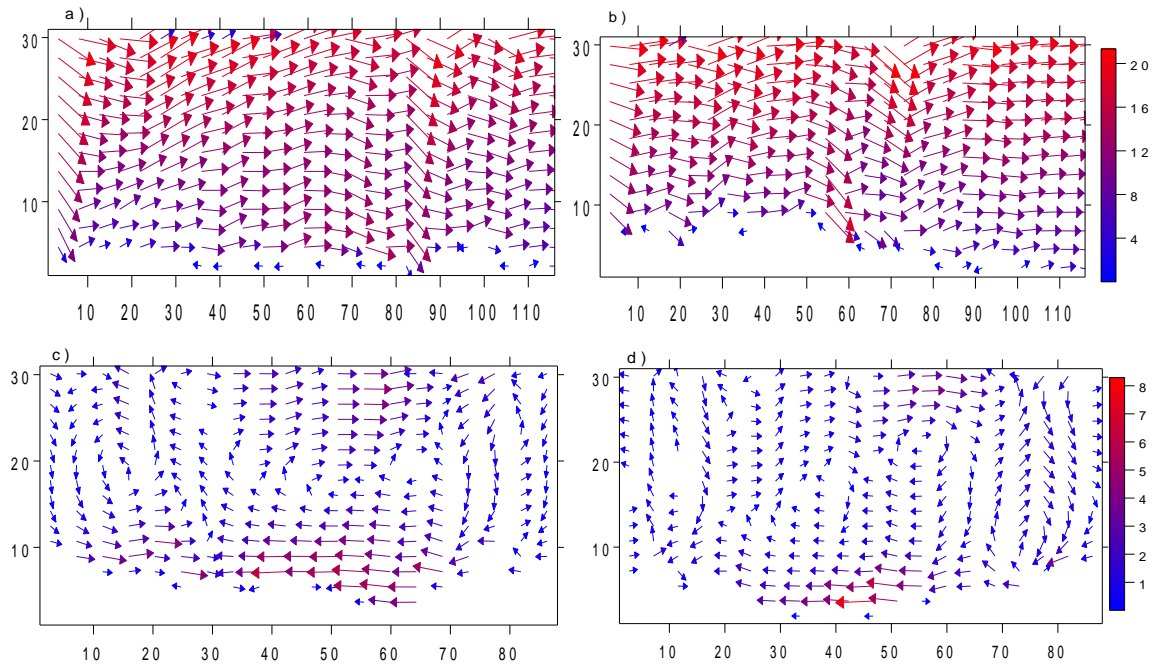
რეგიონის დასავლეთ ნაწილში მოდელირებით მიღებული ქარი ძირითადად დასავლეთისაა (ნახ. 4.16 a) და c)). აღმოსავლეთით გადადგილებისას ქარი იცვლის მიმართულებას, მდ.მტკვრის ხეობასა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე მიღებულია სიჩქარის კონვერგენცია და ქმნის ჩრდილო-დასავლეთის ქარს, რომელიც მიუყვება მტკვრის ხეობას.

ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ზევით რელიეფის გავლენა ქარის სიჩქარის სივრცულ განაწილებაზე მცირეა (ნახ.4.17). მიწის ზედაპირიდან დაშორებისას სიჩქარის სიდიდე იზრდება, მიმართულება კი უახლოვდება ფონურ მიმართულებას. ზღვის დონიდან 3 კმ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარე 8-14 მ/წმ-ის ფარგლებშია, 6 კმ-ის სიმაღლეზე – 10 - 16 მ/წმ-ის ფარგლებში.



ნახ.4.17 ქარის სიჩქარის ველები  $z = 3$  კმ - a) და 6 კმ სიმაღლეზე - b).

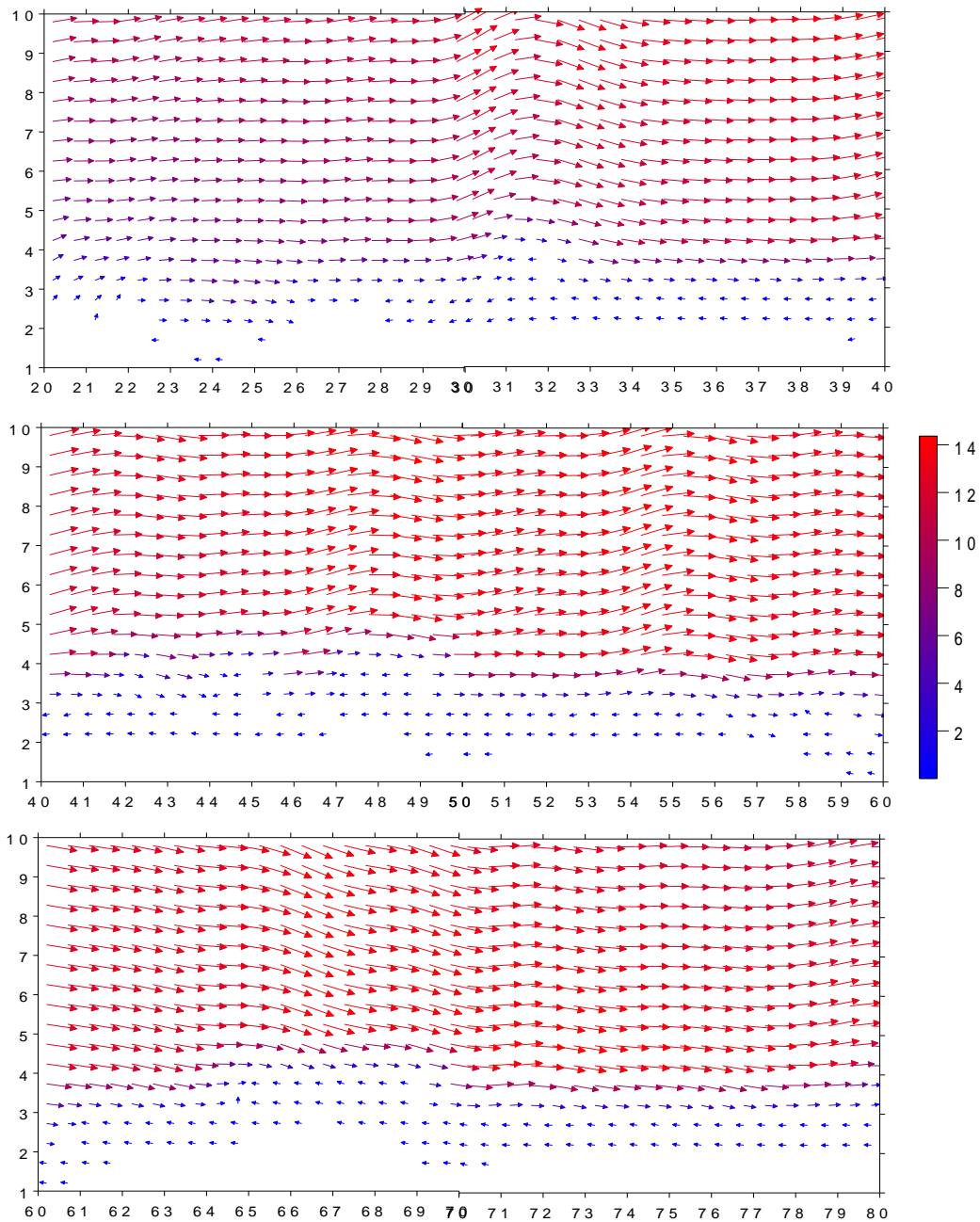
ქარის სიჩქარის ზონალური (ნახ.4.18 a), b)) და მერიდიანული (ნახ.4.18 c), d)) მდგენელების სივრცული განაწილების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფონური ქარის რელიეფთან ურთიერთქმედება წარმოშობს ფონური ქარის გასწვრივ მიმართულ მეზომასტაბურ ტალღებს. ტალღის ამპლიტუდა დამოკიდებულია ოროგრაფიული წინააღმდეგობის სიმაღლეზე. ის მაქსიმალურია მთავარი კავკასიონის, სამსარის, ჯავახეთისა და თრიალეთის ქედების მიდამოებში და მცირეა სხვა დაბალი ქედების თავზე. ასევე, ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში, წარმოიშვება ქარის ჩაკეტილი გრივალური სისტემა.



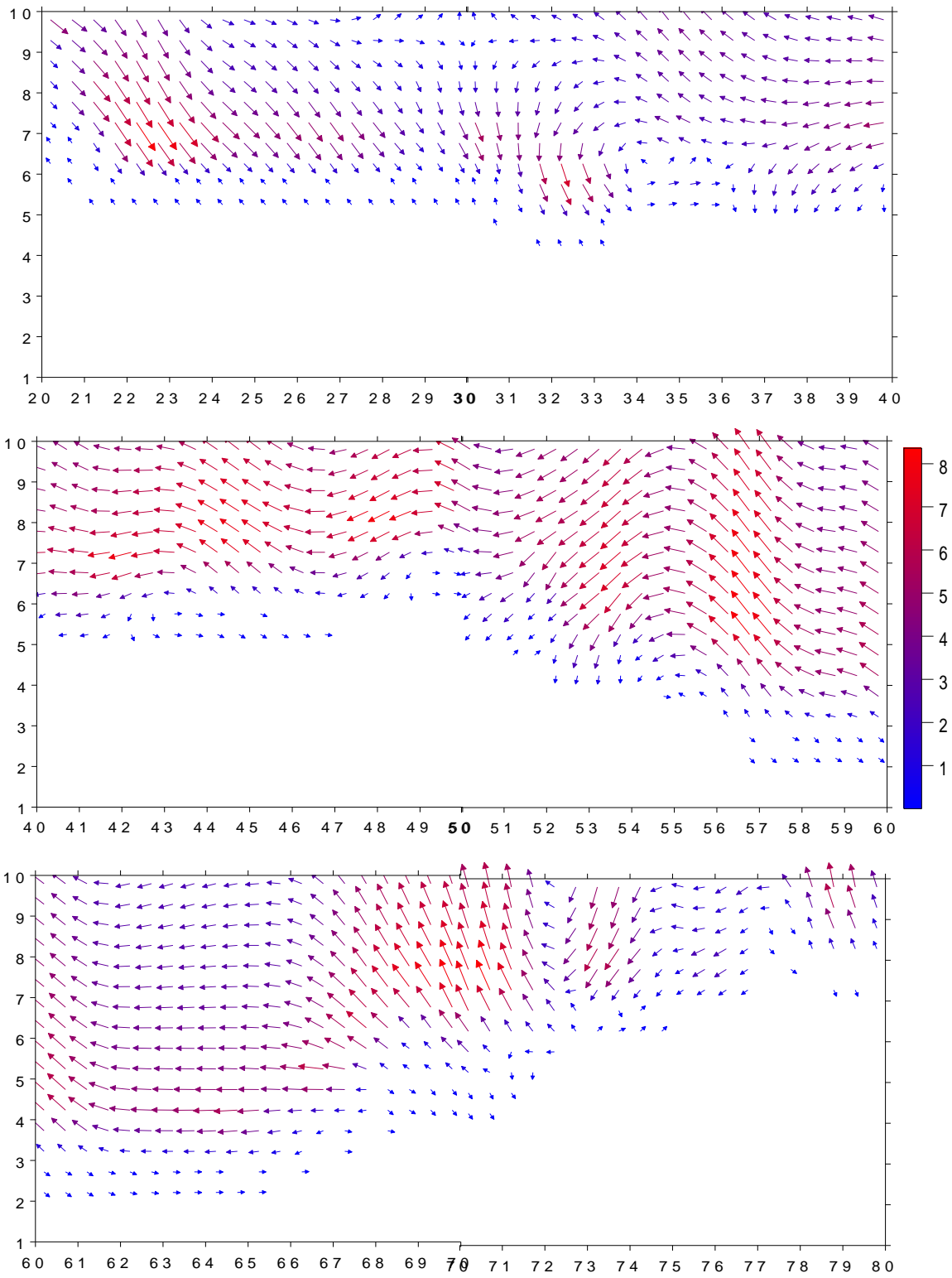
ნახ.4.18. ქარის სიჩქარის ვექტორის პარალელის გასწვრივ მიმართული გეგმილი XOZ სიბრტყეში როცა  $y = 60$ -(a) და 30-(b), და მერიდიანული მდგენელი YOZ სიბრტყეში, როცა  $x = 60$  (c) და 90 -(d), როცა  $t = 12$  სთ.

ქარის სიჩქარის მერიდიანულ მდგენელს გააჩნია რთული ვერტიკალური განაწილება. მერიდიანული მდგენელის ველში ერთმანეთს ენაცვლებიან აღმავალი და დაღმავალი ნაკადები. ქარის ზონალური მდგენელიდან განსხვავებით ზედა ტროპოსფეროში ფორმირებულია ქარის სიჩქარის მერიდიანული გრიგალები.

ნახ.4.19 და 4.20-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარის ზონალური და პარალელის გასწვრივ მიმართული ვექტორები ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში. ამ ნახაზებზე ნათლად ჩანს ნიადაგის სიახლოვეს ფორმირებული ვერტიკალური ზონალური, მერიდიანული გრიგალები და ზონალური ტალღური შეშფოთებები.



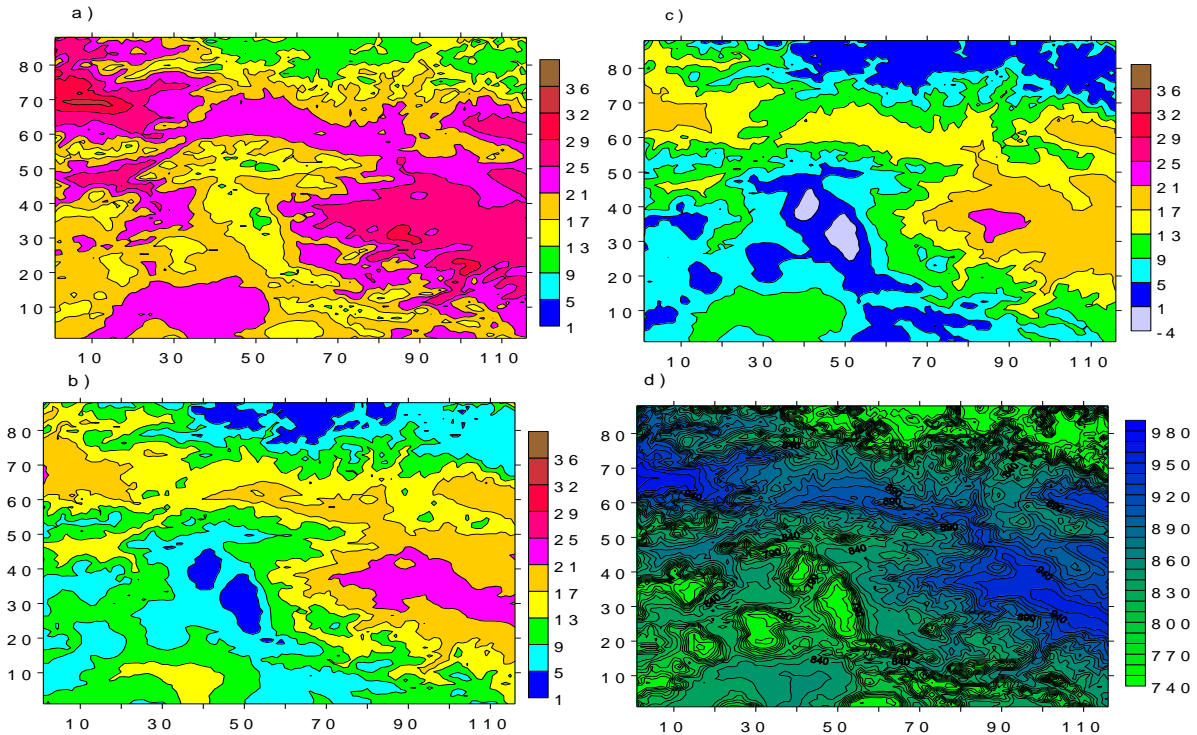
ნახ.4.19. ქარის სიჩქარის ვექტორის პარალელის გასწვრივი მიმართული გეგმილი XOZ სიბრტყეში ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (0-3კმ) როცა  $y = 60$  და  $t = 12$  სთ.



ნახ.4.20. ქარის სიჩქარის ვექტორის მერიდიონალის გასწვრივი მიმართული გეგმილი YOZ სიბრტყეში ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (0-3კმ) სიმაღლეზე, როცა  $x=60$  და  $t=12$  სთ.

ნახ.4.21 და ნახ.4.22-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული თერმობარიული ველი როცა  $t = 0$  სთ. ნახაზებიდან ჩანს, რომ ნიადაგის ტემპერატურა დღის 12 სთ-თვის მაქსიმალურია კოლხეთის დაბლობის და თრიალეთის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილებში, ქართლის ვაკის და კახეთის ტერიტორიაზე. ამ ადგილებში ნიადაგის ტემპერატურა იცვლება  $32-34^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში. მიწისპირაჰაერის ტემპერატურაზე უფრო მაღალია ქვემო ქართლის ვაკისა და მდ. მტკვრის სამხრეთ აღმოსავლეთ ნაწილებში. ამტერიტორიებზე ჰაერის ტემპერატურე იცვლება  $21-25^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში. ატმოსფეროს 100 მ ფენა როცა  $t = 12$  სთ ხასიათდება მცირე ვერტიკალური გრადიენტით. მაქსიმალური ტემპერატურე მირებუღია ქვემო ქართლის დაბლობის მცირე ნაწილში, ხოლო მინიმალური სამსარისა და ჯავახეთის ქედების ტერიტორიაზე. ამ რაიონებში ტემპერატურე ნიადაგის ზედაპირიდან 100მ სიმარლეზე  $1-5^{\circ}\text{C}$  ფარგლებშია.

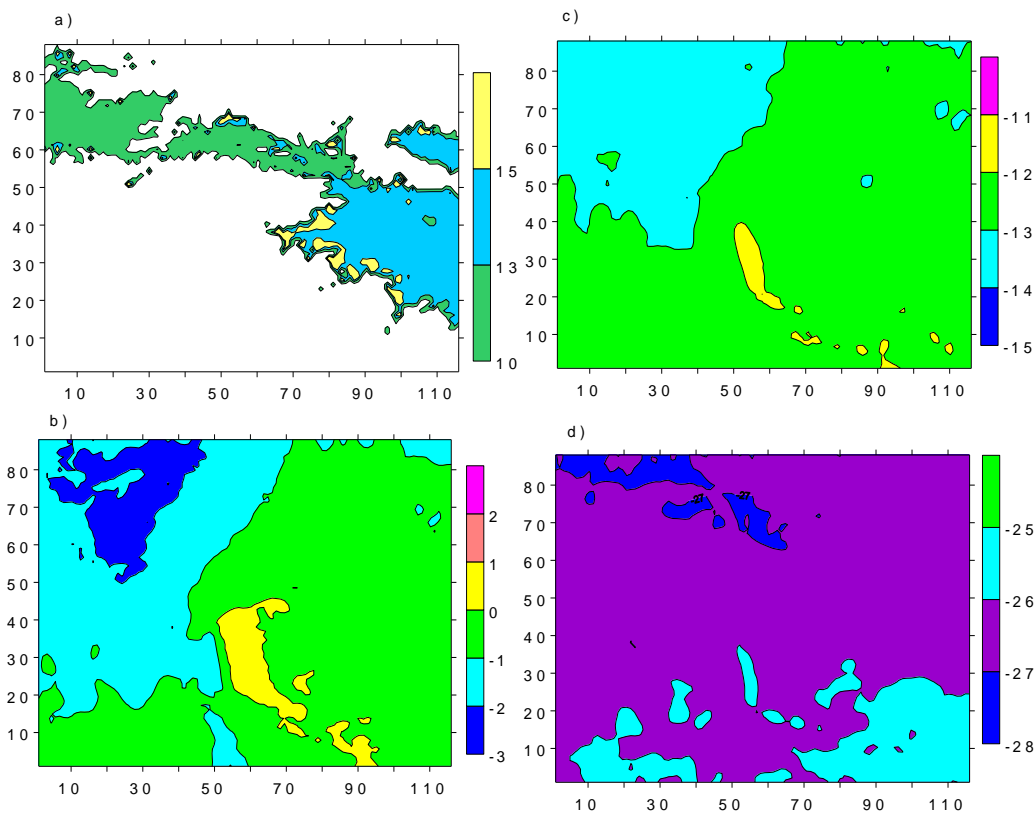
ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენასა და ტროპოსფეროში ტემპერატურული ველი ჰორიზონტალური მიმართულებებით ნაკლებად ცვალებადია (ნახ.4.22), მისი გრადიენტი მიმართულია სამხრეთით და უდრის დაახლოებით  $2^{\circ}\text{C}$ -ს 100 კმ-ზე. აღმოსავლეთის ფონური ქარის შემთხვევისაგან განსხვავებით, დასავლეთის ფონური ქარის დროს, ტროპოსფეროში მერიდიანული ტემპერატურული გრადიენტის მიმართულება არ იცვლება. გამოთვლებით მიღებული მიწისპირა წნევის ველი თვისებრივად ანალოგიურია აღმოსავლეთის ფონური ქარის დროს მიღებული მიწისპირა წნევის ველის. რაოდენობრივი თვალსაზრისით მათ შორის გასხვავება სხვადასხვა წერტილებში 1-2 მბ-ის ფარგლებშია.



ნახ.4.21 ტემპერატურული ველი ( $^{\circ}\text{C}$ ) ქვეფენილ ზედაპირზე – a), ნიადაგის ზედაპირიდან 2 მ – b), 100 მ - c) სიმაღლეებზე და მიწისპირა წნევის (მბ ველი – d)), როცა  $t = 12$  სთ.

ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენასა და ტროპოსფეროში ტემპერატურული ველი პორიზონტალური მიმართულებებით ნაკლებად ცვალებადია (ნახ.4.22), მისი გრადიენტი მიმართულია სამხრეთით და უდრის დაახლოებით 2°C-ს 100 კმ-ზე. აღმოსავლეთის ფონური ქარის შემთხვევისაგან განსხვავებით, დასავლეთი ფონური ქარის დროს, ტროპოსფეროში მერიდიანული ტემპერატურული გრადიენტის მიმართულება არ იცვლება. გამოთვლებით მიღებული მიწისპირა წნევის ველი თვისობრივად ანალოგიურია აღმოსავლეთის ფონური ქარის დროს მიღებული მიწისპირა წნევის ველის. რაოდენობრივი თვალსაზრისით მათ შორის გასხვავება სხვადასხვა წერტილებში 1-2 მბ-ის ფარგლებშია.

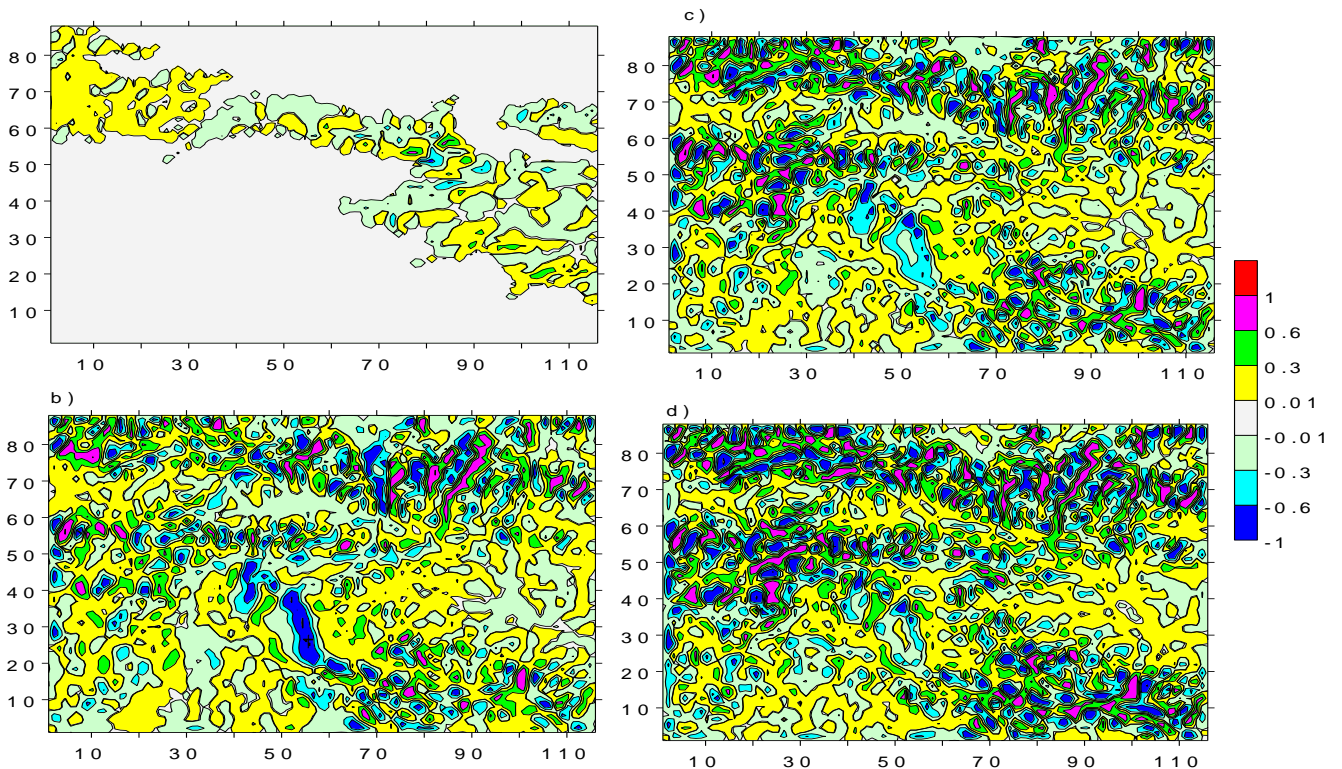
ვერტიკალური სინქარის სიდიდეები 100 მ სიმაღლეზე, ვაკე და დაბლობი ტერიტორიების ფარგლებში, იცვლება - 0.3 მ/წმ-დან 0.3 მ/წმ-მდე ისე, რომ აღმავალი და დაღმავალი ღინებების ვიწრო ზონები ენაცვლებიან ერთმანეთს (ნახ.4.23). აღმავალი მოძრაობა ძირითადად მიღებული ქედების ქარისპირა, ხოლო დაღმავალი - ქარზურგა მხარეს. აღნიშნულ ზოგად სურათს ტროპოსფეროში, მთებისა და ქედების თავზე ზედ ედება ერთმანეთის მონაცვლეობით განლაგებული 2-10 კმ-ის დიამეტრის ვერტიკალური კონვექტიური უჯრედები.



**ნახ.4.22. ტემპერატურული ველი (°C) ნიადაგის ზედაპირიდან 1კმ – a), 3 კმ – b), 5 კმ –c) და 7კმ – d) სიმაღლეებზე, როცა t = 12 სთ.**

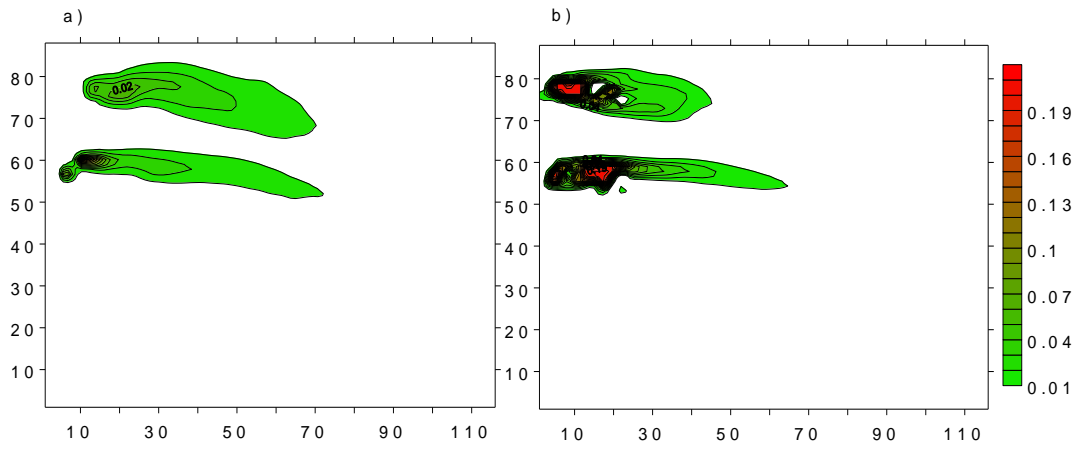
ატმოსფეროში ორთქლისა და ღრუბლების განაწილების ანალიზმა აჩვენა, რომ, რომ წყლის ორთქლის შემცველობა მეტია რეგიონის ჩრდილო - დასავლეთ ნაწილში კავკასიონის და ლიხის ქედების მიდამოებში. ამ რეგიონებში მიღებულია ასევე ღრუბლების 2 ზონა (ნახ.4.24). მათ გააჩნიათ ფონური ქარის მიმართულებით წარგრძელებული ელიფსის მაგვარი ფორმა. წარმოშობილი ღრუბლების მაქსიმალური წყლიანობა არა დიდი და შეადგენს დაახლოებით 0.19 გ/კგ.

ნახ.4.25 და ნახ.4.26-ზე ნახვენებია გამოთვლებით მიღებული მტვრის განაწილება ატმოსფეროს სასახლო ფენაში და ტროპოსფეროში. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მიღებულია დამტვერიანების ერთიანი დრუბელი, რომელშიც მიღებულია კონცენტრაციის მომატებული არეები. ისინი კონცენტრირებულნი არიან ძირითადი დამაბინძურებელი ქალაქების ტერიტორიაზე და მათ მახლობლობაში. მათგან განსაკუთრებით ძლერი დამტვერიანებაა ქ. თბილისისა და რუსთავის მიდამოებში. ადვექციისა და ჰორიზონტალური ტურბულენტობის გამო ატმოსფეროში გაფერქვეული მტვერი, გარდა ქ. თბილისის და რუსთავისა, გადატანილია აღმოსავლეთის მიმართულებით, ხოლო ქ. რუსთავისა და თბილისის მტვერი სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე მტვერის კონცენტრაცია ქ. თბილისისა და რუსთავის მიდამოებში მცირდება 0.1 ზდკ-ის მნიშვნელობამდე დაახლოებით 2 კმ მანძილზე, 0.01 ზდკ-მდე კი 60-80 კმ-ზე. 10 მ სიმაღლეზე მტვერის გავრცელების არეალი უფრო დიდია. ამ დონეზე ქ. თბილისის მტვერი ქარის მიმართულებით ვრცელდება დაახლოებით 20 კმ მანძილზე და ამ მანძილზე კონცენტრაცია 5 ზდკ-დან ეცემა 0.1 ზდკ-მდე. მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე მტვერი გავრცელებულია მნიშვნელოვნად მეტ არეზე. ამ დონეზე დამტვერიანება ქმნის ერთიან დრუბელს, რომელიც ძირითადად გავრცელებულია აღმოსავლეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით.

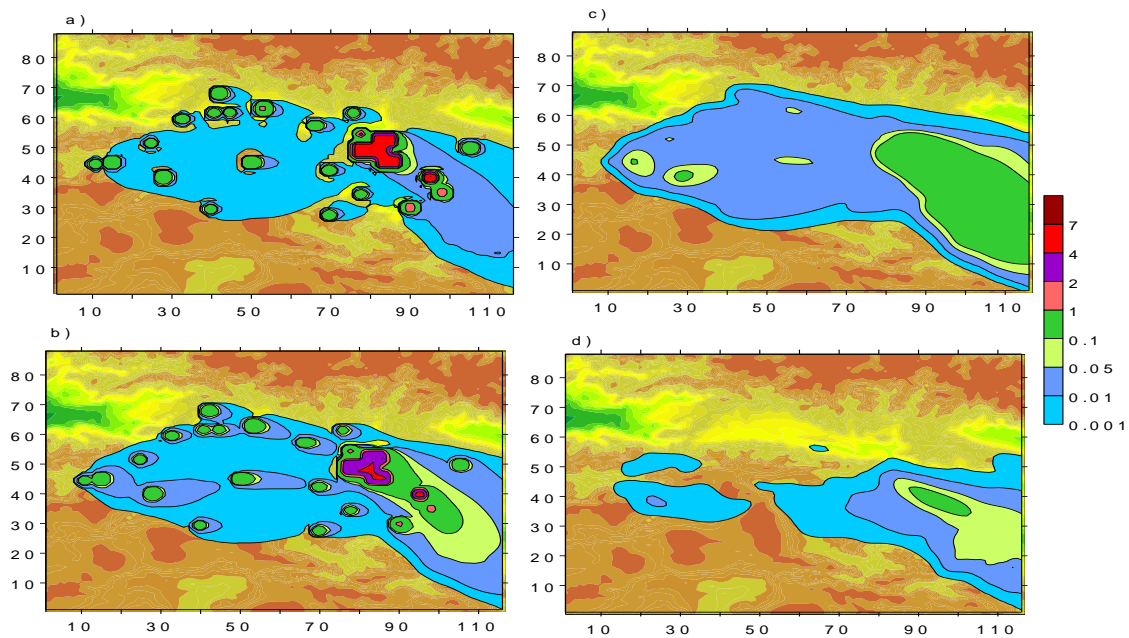


ნახ.4.23. ვერტიკალური სიჩქარის ველი ( $^{\circ} C$ ) ნიადაგის ზედაპირიდან  $z = 1$ კმ 1 კმ – a), 3 კმ – b), 5 კმ –c) და 7 კმ – d)მ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 12$  სთ.

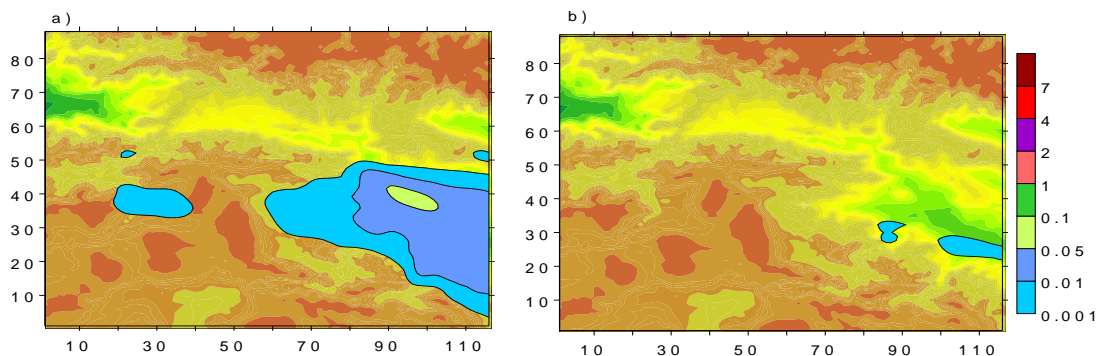




ნახ.4.24. წვიმის წყლის მასიური შემცველობის განაწილება ვერტიკალური ზედაპირიდან  $z = 3$  –(ა) და 5 კმ – (ბ) სიმაღლეებზე როცა  $t = 12$  სთ.



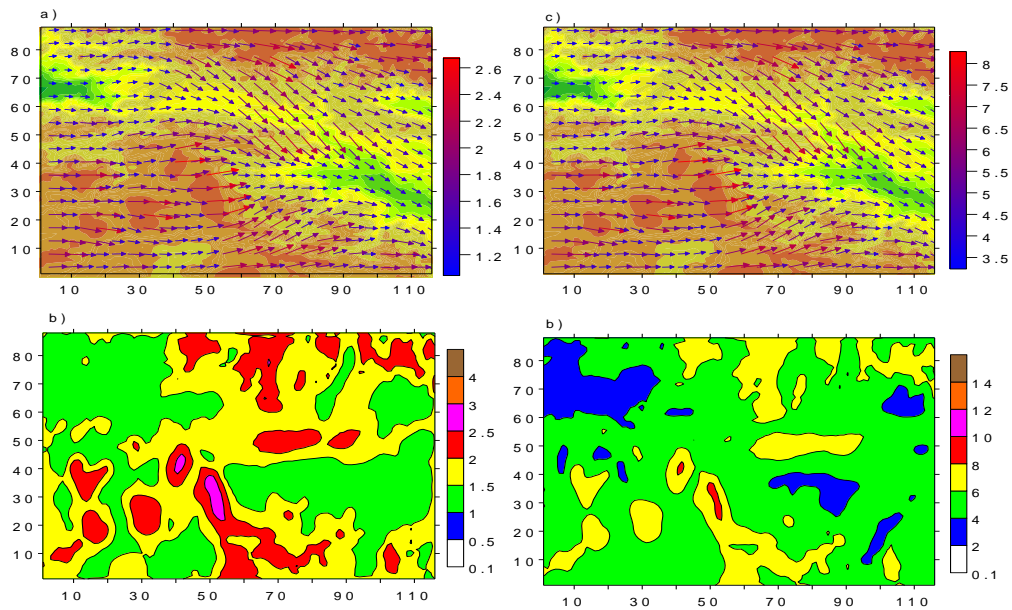
ნახ.4.25 ატმოსფეროში მტერის კონცენტრაციის განაწილება ნიადაგის ზედაპირიდან 2 - (ა), 10 - (ბ), 100 - (გ) და 600 - (დ) სიმაღლეებზე, როცა  $t = 0$  სთ.



ნახ.4.26. ატმოსფეროში მტერის კონცენტრაციის განაწილება ნიადაგის ზედაპირიდან 3 - (ა) და 5 კმ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 0$  სთ.

სიმაღლის ზრდასთან ერთად კონცენტრაცია სწრაფად მცირდება. ქ. თბილისის და რუსთავის თავზე მიწის ზედაპირიდან 600 მ – 1 კმ სიმაღლეზე გამოთვლილი კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები აღწევენ 1 ზდკ-ს, ისიც მეტად მცირე არეში. დანარჩენ ტერიტორიაზე კონცენტრაციის მნიშვნელობები 100 ჯერ ნაკლებია ზდკ-ზე. მიწის ზედაპირიდან 3 კმ სიმაღლეზე კონცენტრაცია 1000 ჯერ, და უფრო მეტად, ნაკლებია ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობაზე.

ჰიდრომეტეოროლოგიური ველებირომლებიც გამოთვლილია როცა  $t = 24$  სთ ნაჩვენებია ნახ. 4.27 - 4.32 -ზე. ნახ.4.27-ზე მოყვანილია ქარის ვექტორისა და მოდულის განაწილება მიწის ზედაპირიდან  $z = 10$  მ - a), b) და 100 მ - c), d) სიმაღლეებზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ ქარის ზედაპირული განაწილება რთულია. რეგიონის დასავლეთ ნაწილში მიღებულია დასავლეთის ქარი, რომელიც განიცდის კონვერგენციას ქალაქ თბილისის მიდამოებში, თრიალეთის ქედზე არსებულ სამ ხეობაში და წარმოქმნილი ჰაერის ნაკადები მიემართებიან ჯეირანის დაბლობისაკენ.



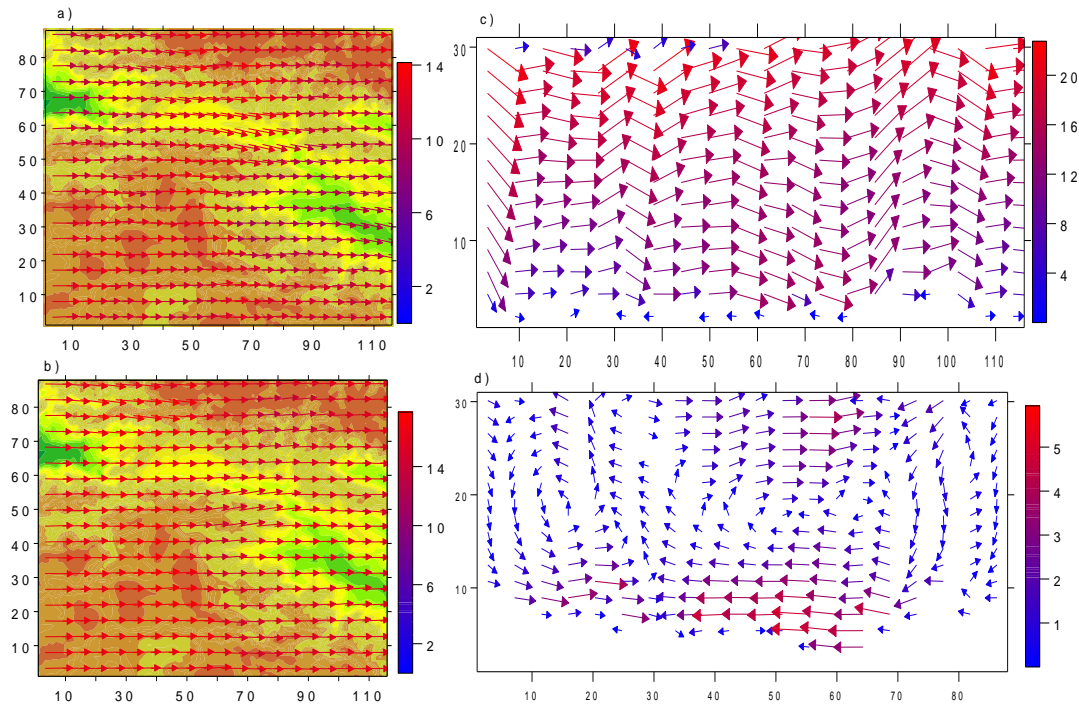
**ნახ.4.27 ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ - a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეებზე - c), d), შესაბამისად, როცა  $t = 24$  სთ.**

ანალოგიური მიმართულებების ქარი ფორმირდება კახეთის რეგიონის ტერიტორიაზე. ქარის სიჩქარე 10 მ დონეზე არაა დიდი, რეგიონის უმეტეს ნაწილში ის არ აღემატება 3 მ/წმ-ს. მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე (ნახ.4.27c) ქარის ვექტორის სივრცული განაწილება, მსგავსია მიწისპირა ქარის ვექტორის განაწილების. ამავე დროს, არსებობს რიგი განსხვავებები: უფრო მეკვეთრადაა გამოხატული ქარის დივერგენციის ზონა როგორც თრიალეთის ქედის მახლობლობაში.

100 მ სიმაღლეზე ქარის სიდიდე იცვლება ფართო ფარგლებში (ნახ.4.27d). რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში, ჯეირანის დაბლობის, ცივ გომბორის ქედის მიდამოებში, მთავარი კავკასიონის ქედის და მისი ჩრდილოეთი ფერდობის გარკვეულ ნაწილებში ქარის სიჩქარე არ აღემატება 5 მ/წმ-ს. ამასთან ერთად, ამ ტერიტორიის ცალკეულ მცირე ნაწილებში მიღებულია შტილის ზონები. 10 მ/წმ ქარის სიჩქარე მიღებულია ჯავახეთის ზეგანის მიდამოებში.

თავისუფალ ატმოსფეროში ოროგრაფიისა და ქვეფენილი ზედაპირის თერმიული ზემოქმედება ზონალური ტალღური შეშფოთებების წარმოშობასა და ვერტიკალური

მერიდიანულ სიბრტყეში მეზომასშტაბის გრიგალების ფორმირებაში (ნახ.4.28). ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში, როგორც ზონალურ ასევე მერიდიანულ კვეთაში, მოღებულია ვერტიკალური ცირკულაციური სისტემები, რომელთა ჰორიზონტალური მასშტაბები დამოკიდებულია ოროგრაფიის არაერთგვაროვნების ზომებზე.

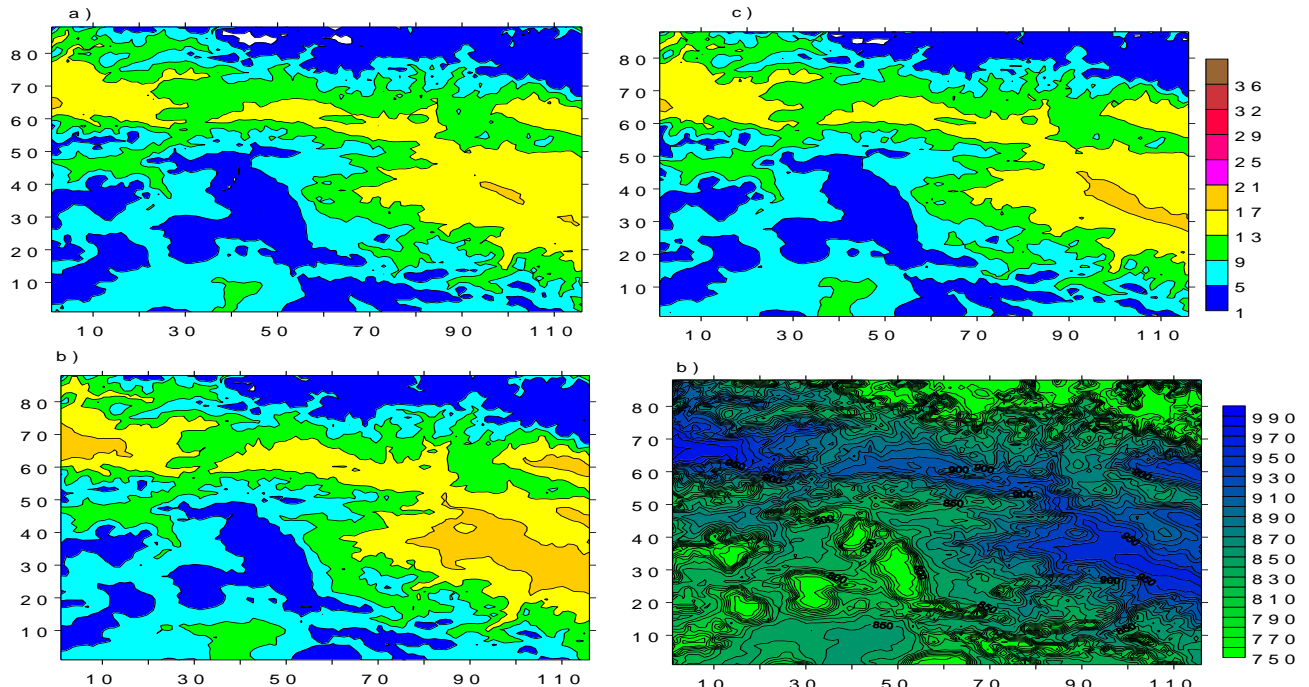


**ნახ.4.28** ქარის სიჩქარის ვექტორის და მოდულის ველები  $z = 3$  კმ სიმაღლეზე, – a) და 6 კმ სიმაღლეზე – b). ქარის სიჩქარის ვექტორის ზონალური მდგენელი XOZ სიბრტყეში – c) და მერიდიანული მდგენელი YOZ სიბრტყეში – d), როცა  $t = 24$  სთ.

დინებების ზოგადი სურათი ისეთია, რომ ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ქვედა ნაწილში, ქედებსა ან მაღლობებს შორის არსებულ დაბლობ ტერიტორიებზე, ჰაერის მოძრაობას აქვს ურთიერთ საპირისპირო მიმართულება და წარმოშობს ციკლონური ან ანტიციკლონური ტიპის ვერტიკალურ ცირკულაციურ სისტემებს. არსებულ ეფექტს ადგილი აქვს მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ მსხვილმასშტაბიანი ფონური მოზრახობის სიჩქარე 1-3 მ/წმ-ის ფარგლებშია. 3 მ/წმ-ზე მეტი ქარის სიჩქარის შემთხვევაში მიწისპირა ფენის დამამუხრუჭებელი მოძრაობა ვერ წარმოშობს ვერტიკალურ გრიგალებს და ფორმირებული მეზომასშტაბური ქარის მიმართულება ემთხვევა ფონური ქარის მიმართულებისა, რომელზედაც ზედ ედება სხვადასხვა სიგრძის მცირე ამპლიტუდის ტალღური შემფოთებები. ტალღური შემფოთების ამპლიტუდა დიდია დიდი დახრილობის ოროგრაფიული არაერთგვაროვნების არეში და მცირდება დაბლობ და ვაკე ტერიტორიების თავზე.

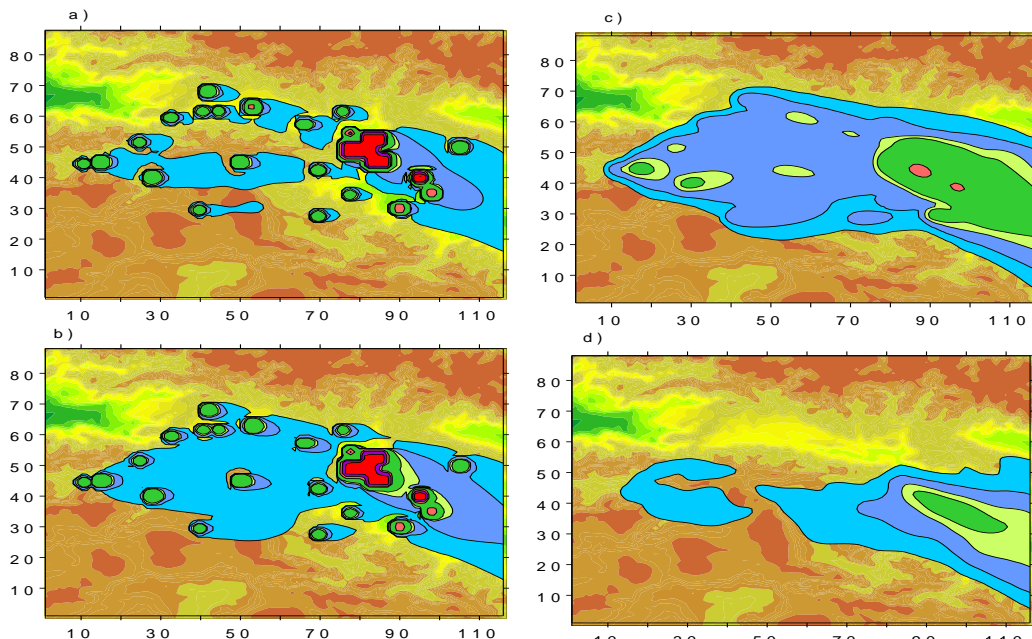
ნახ.4.29-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ტემპერატურისა და წნევის ველები. ნახაზიდან ჩანს, რომ მოდელირების არეში ნიადაგის ტემპერატურა იცვლება 5 - 21°C ფარგლებში. ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობები 13-17°C მიღებულია მდ. მტკვრის გასწვრივ არსებულ ვაკე და დაბლობ ტერიტორიებზე და კოლხეთის დაბლობის ნაწილში. მიწისპირა წნევის მნიშვნელობები 760 მბ – 1000 მბ-ის ფარგლებშია. ტროპოსფეროში ტემპერატურა სიმაღლის ზრდასთან ერთად ეცემა დაახლოებით 0.65°C-ით 100 მ-ზე ისე, რომ

მისი ჰორიზომტალური გრადიენტი მიმართულია სამხრეთიდან ჩრდილოეთისაკენ და დაახლოებით უდრის  $1^{\circ}\text{C}/50$  კმ.

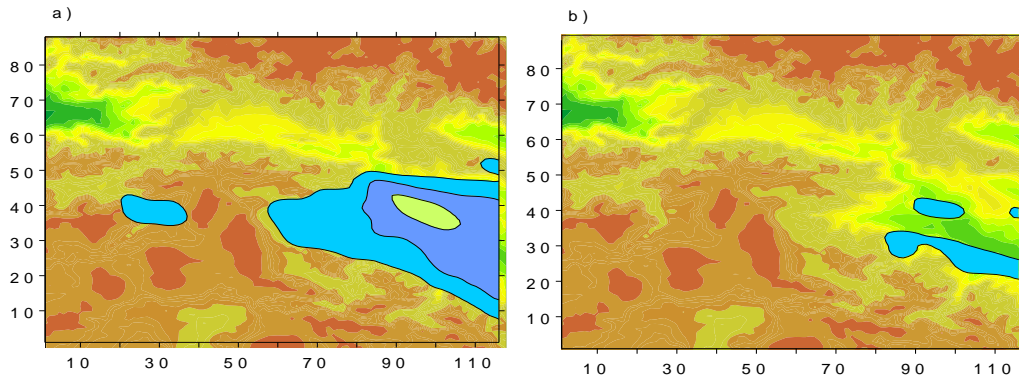


ნახ.4.29 ტემპერატურული ველი ( $^{\circ}\text{C}$ ) ქვეფენილზედაპირზე – a), ნიადაგის ზედაპირიდან 2 მ – b), 100 მ - c) სიმაღლეებზე და მიწისპირა წნევის (მზ ველი – d)), როცა  $t = 24$  სთ.

ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ზევით არაა ფორმირებული მკაფიოდ გამოხატული ვერტიკალური მოძრაობის არეები. ვერტიკალური მოძრაობა აქ უფრო ლოკალურ ხასიათს ატარებს და დაკავშირებულია რელიეფის ლოკალურ არაერთგვაროვნებასთან.



ნახ.4.30. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაცია  $z = 2, 10, 100$  და  $600$  მ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 14$  სთ.



**ნახ.4.31 ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაცია მიწის ზედაპირიდან  $z = 1$  და 3კმ სიმაღლეებზე, როცა  $t=24$  სთ.**

ნახ.4.30 და 4.31-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული მტვრის განაწილება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში და ტროპოსფეროში, როცა  $t = 24$  სთ. ნახაზებიდან ჩანს, რომ დამტვერიანება გავრცელებულია უფრო ნაკლებ ტერიტორიაზე ვიდრე იყო მიღებული ფონური აღმოსავლეთის ქარის დროს. 2მ სიმაღლეზე დამტვერიანების ზონები მცირე ქალაქების მიდამოებში წარმოადგენენ ცალკეულ მცირე ტერიტორიებს. 10 მ სიმაღლეზე ეს ტერიტორიები ერთიანდებიან და ქმნიან დაბინძურების ერთიან ღრუბელს. მიღებულ ღრუბელში მტვრის კონცენტრაციები  $>0.01$  ზდკ ლოკალიზირებულია ფონური ქარის გასწვრივ ორიენტირებულ მცირე ზომის სივრცეში, რომელთა სიგრძე 2-4 კმ-ის ფარგლებშია. 2 მ სიმაღლეზე კონცენტრაცია 0.1 ზდკ  $-1$  ზდკ მიღებულია მხოლოდ ქალაქების ტერიტორიებზე და მათ უშუალო სიახლოვეს. 0.01 ზდკ-ის საზღვარი ქ.ქ თბილისის და რუსთავის ირგვლივ ქალაქის ტერიტორიიდან დაახლოებით 20-40 კმ მანძილზეა. 100მ სიმაღლეზე მაქსიმალური კონცენტრაცია 1-2 ზდკ ფორმირებულია მცირე სივრცეში ქ.თბილისიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. უფრო მეტ სიმაღლეზე მტვრის კონცენტრაცია სწრაფად მცირდება და 3 კმ სიმაღლეზე ის მხოლოდ მცირე კვალის სახით არის წარმოდგენილი.

#### **4.3 ჰიდროთერმოდინამიკური ველების და ურბანული მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური სამხრეთის ქარის დროს**

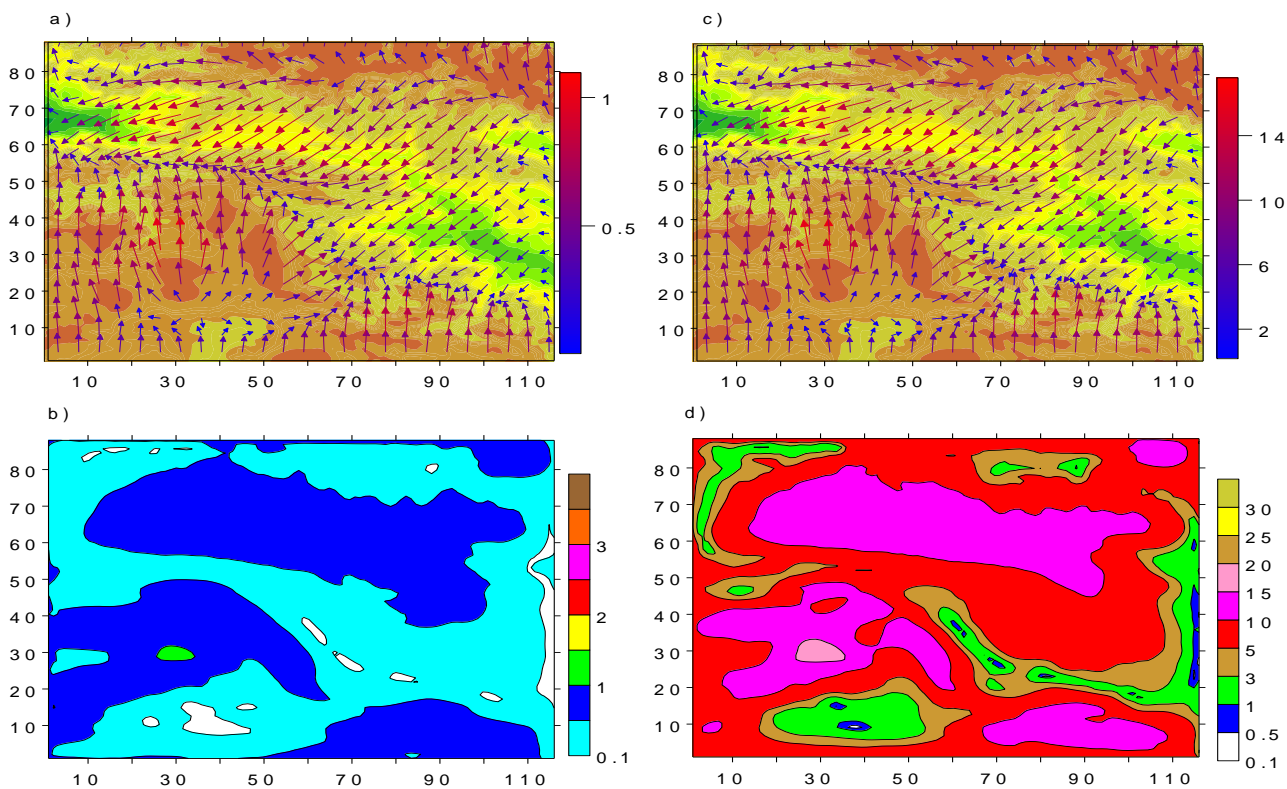
მოდელირებული და შესწავლილია აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში ატმოსფერული პროცესების განვითარება და ქალაქების მტვრის გავრცელება ფონური სამხრეთის ქარის დროს ზაფხულის სეზონში. პარამეტრები  $u_{fon}=25$ მ/წმ;  $v_{fon}=0$ ;  $\Delta T_x = 0$ ;  $\Delta T_y = 7,5 \cdot 10^{-6}$  გრად/მ; ფონური ქარის სიჩქარე გამოთვლილია გეოსტროფიული ქარის განტოლებებიდან. მისი მნიშვნელობა იცვლება 5 მ/წმ-დან (10 მ სიმაღლეზე) 25 მ/წმ-დე (ტროპოპაუზაზე).

ნახ. 4.32 - 4.36 - ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ლოკალური მეტეოროლოგიური ველების სივრცითი და დროითი განაწილებების სურათები. ნახ.4.32-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ – a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეებზე – c), d), როცა,  $t = 12$  სთ. ნახაზებიდან ჩანს, რომ ქარის სიჩქარე ფლუგერის დონეზე მთელ ტერიტორიაზე იცვლება 0-დან 1 მ/წმ-მდე. 100მ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარე აღწევს 15 მ/წმ-ს. რელიეფის ზემოქმედება ფონურ დინებაზე იწვევს ქარის მიმართულების და სიდიდის მნიშვნელოვან

ცვლილებას. მთავარი კავკასიონის ქედის სამხრეთით, კოლხეთის დაბლობის აღმოსავლეთ ნაწილზე, ქართლის ვაკის, კახეთის ტერიტორიაზე და თრიალეთის ქედის აღმოსავლეთ ფერდობის მიდამოებში სამხრეთის ქარი იცვლის მიმართულებას და ფორმირდება ჩრდილო-აღმოსავლეთის ქარი. აღნიშნული ქარი ხვდება სამხრეთის ფონურ ქარს და წარმოშობს ქარის სიჩქარის კონვერგენციის ზონს ვიწრო ზონს, რომელიც გასდევს მცირე კავკასიონის ჩრდილო და აღმოსავლეთ ნაწილს.

რეგიონის ჩრდილოეთ ნაწილში, კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთაზე, ქარი ძირითადად აღმოსავლეთისაა (ნახ.4.32 a) და c). ქარის სიჩქარის მოდულირებით მიღებული რთული განაწილება დაკავშირებულია კავკასიონის ქედის დინამიკურ ზემოქმედებასთან. მაღალი ქედი ეწინააღმდეგება ჰაერის გავრცელებას ჩრდილოეთის მიმართულებით და უცვლის მას მიმართულებას. ინამიკური წინააღმდეგობა იმდენად ძლიერია, რომ ის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში წარმოშობს ძლიერ აღმოსავლეთის ქარს.

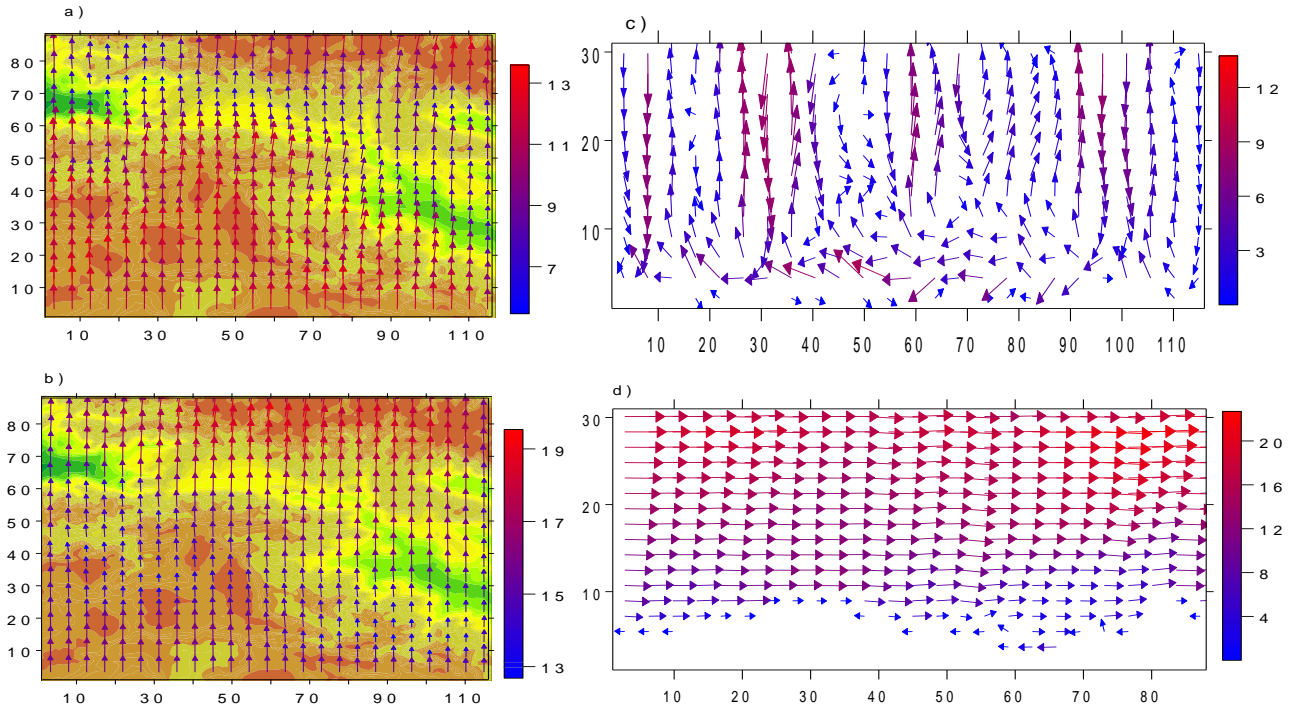
ატმოსფეროს სასახლვრო ფენის ზევით რელიეფის გავლენა ქარის სიჩქარის სივრცულ განაწილებაზე მცირეა (ნახ.4.33). მიწის ზედაპირიდან დაშორებისას სიჩქარის სიდიდე იზრდება, მიმართულება კი უახლოვდება ფონურ მიმართულებას. ზღვის დონიდან 3 კმ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარე 6-13 მ/წმ-ის ფარგლებშია, 6 კმ-ის სიმაღლეზე – 13-19 მ/წმ-ის ფარგლებში.



ნახ.4.32 ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ – a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეებზე – c), d), შესაბამისად, როცა  $t = 12$  სთ.

ქარის სიჩქარის ზონალური (ნახ.4.33 a), b) და მერიდიანული (ნახ.4.34 c), d) მდგენელების სივრცული განაწილების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფონური ქარის რელიეფთან ურთიერთქმედება წარმოშობს ფონური ქარის გასწვრივ მიმართულ მეზომასტაბურ ტალღებს და გრიგალურ სისტემებს. ქარის სიჩქარის მერიდიანულ მდგენელს გააჩნია რთული

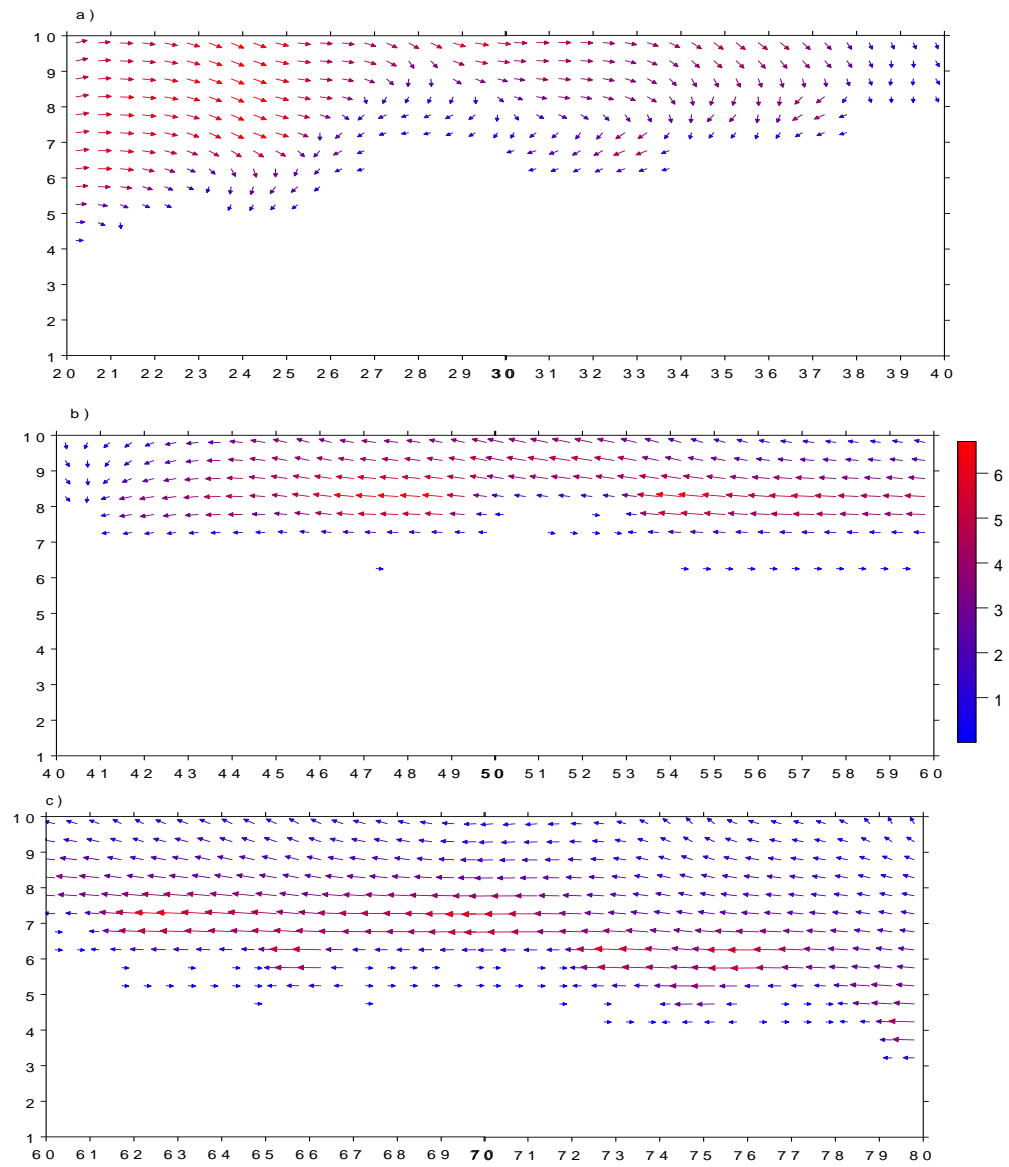
ვერტიკალური განაწილება. მერიდიანული მდგენელის ველში ერთმანეთს ენაცვლებიან აღმავეალი და დაღმავეალი ნაკადები.



**ნახ.4.33** ქარის სიჩქარის ველები  $z = 3$  კმ - a), 6 კმ სიმაღლეზე – b a), ზონალურ XOZ -c) და მერიდიანულ YOZ -d) სიბრტყეებში, როცა  $y = 50$ ,  $x=60$  და  $t=12$  სთ.

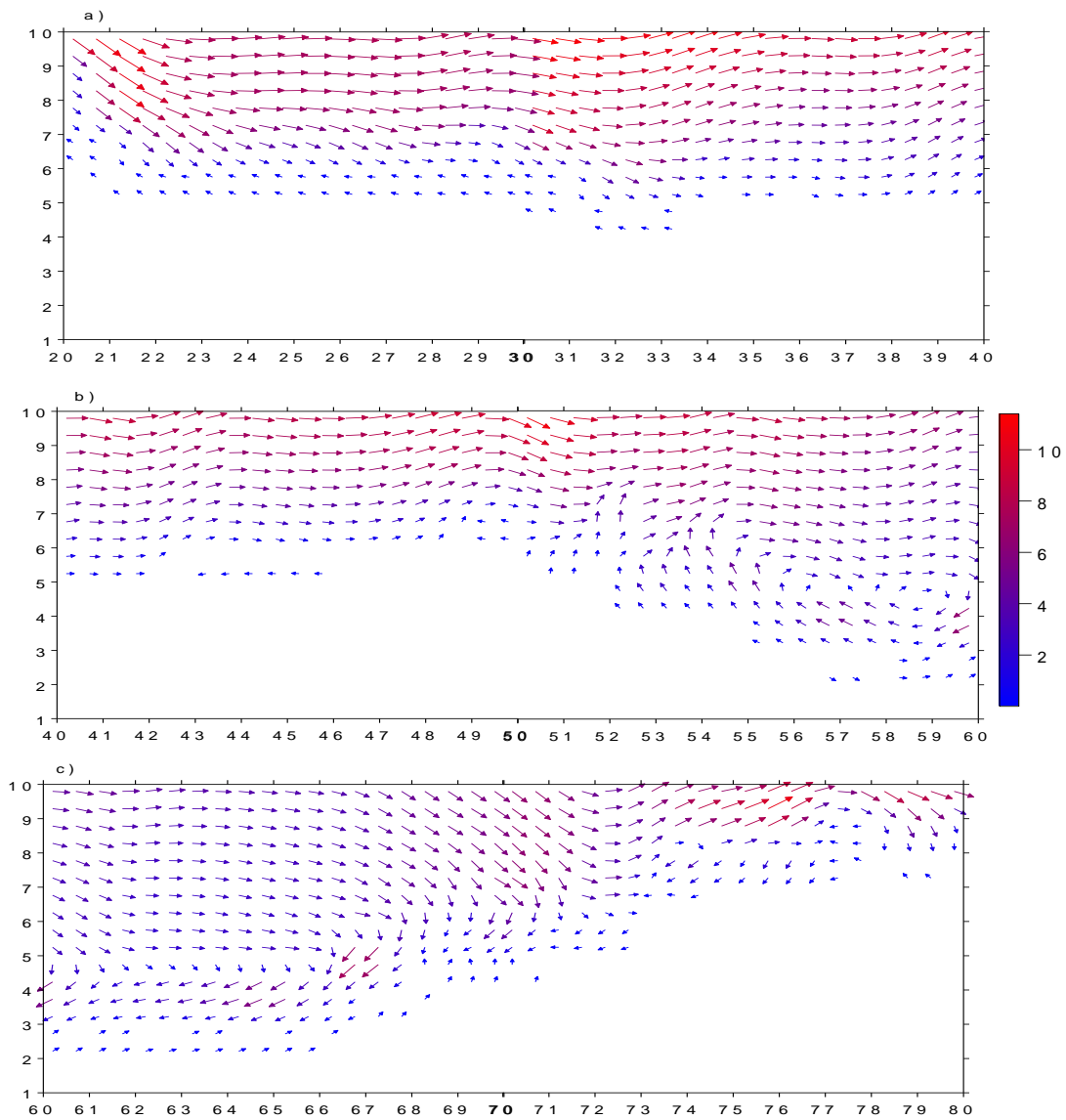
ნახ. 4.34 და 64.35-ზე ნახვენებია ქარის სიჩქარის ზონალური და მერიდიანული ვექტორები ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში. ამ ნახაზებზე ნათლად ჩანს ნიადაგის სიახლოვეს ფორმირებული ვერტიკალური ზონალური, მერიდიანული გრიგალები და ზონალური ტალღური შეშფოთებები. მოძრაობის გრიგალური ხასიატი, განსაკუთრებით ქართლის ვაკის და კავკასიონის ქედის სამხრეთ ფერდობების თავზეა გამოსატული.

ნახ.4.36-ზე ნახვენებია გამოთვლებით მიღებული თერმობარიული ველი როცა  $t = 12$  სთ. ნახაზებიდან ჩანს, რომ ნიადაგის ტემპერატურა დღის 12 სთ-თვის მაქსიმალურია მდ.მტკვრის გასწვრივ მდებარე ჯეირანხოლის ველის, იურის ზეგანისა და შირაქის ველის მიდამოებში. ამ ადგილებში ნიადაგის ტემპერატურა იცვლება  $32-34^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში. მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურა ყველაზე უფრო მაღალია ქვემო ქართლის ვაკისა, მდ. მტკვრის სამხრეთ აღმოსავლეთ ნაწილებში და კოლხეთის დაბლობის ტერიტორიებზე. ამ ტერიტორიებზე ჰაერის ტემპერატურა იცვლება  $21-29^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში. ატმოსფეროს მიწისპირა 2 მ ფენა, როცა  $t = 12$  სთ ხასიათდება მცირე ვერტიკალური გრადიენტით. 2-დან 100მ ფენაში ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი დაახლოებით  $5^{\circ}\text{C}$ -ია 100მ-ზე.



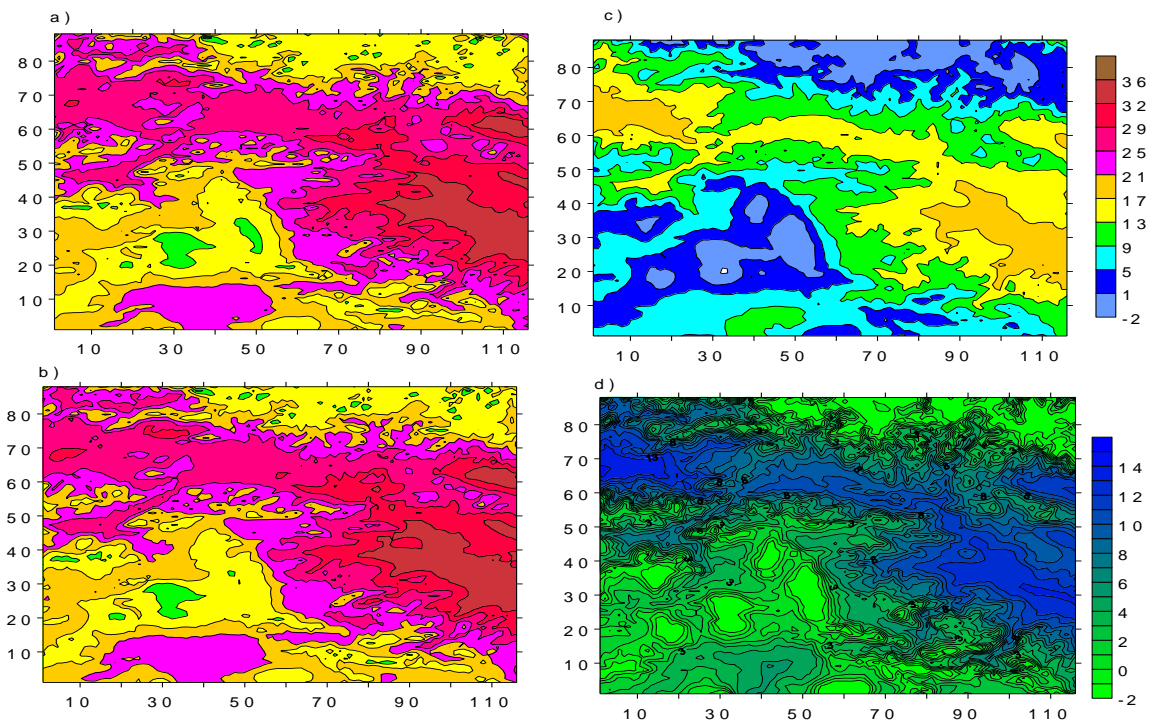
ნახ.4.34 ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (3 კმ) ქარის სიჩქარის ვექტორის ზონალური გეგმილი XOZ სიბრტყეში, როცა  $y = 50$  –(a) და  $t = 12$  სთ.





**ნახ.4.35 ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (3 კმ) ქარის სიჩქარის ვექტორის მერიდიანული გეგმილი YOZ სიბრტყეში როცა,  $x = 60$  –(a) და  $t = 12$  სთ.**

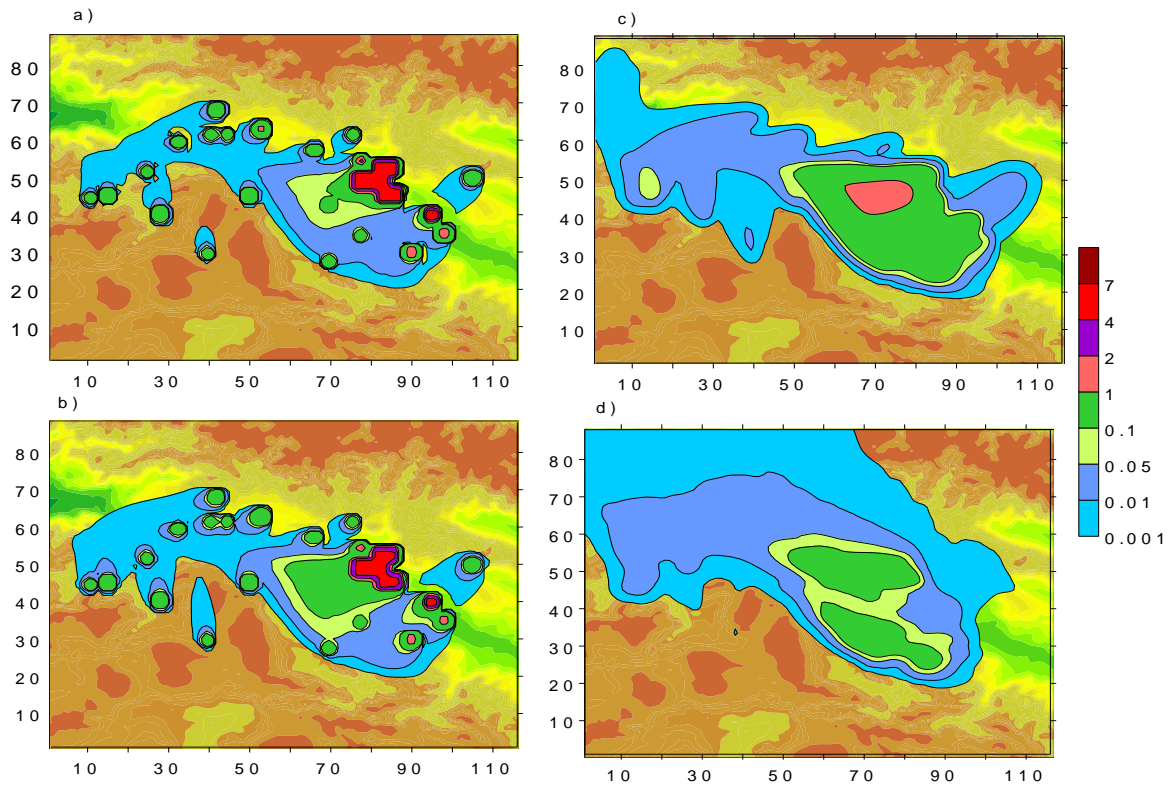
გამოთვლებით მიღებული მიწისპირა წნევის ველი თვისობრივად ანალოგიურია აღმოსავლეთის და დასვლეთის ფონური ქარების დროს მიღებული მიწისპირა წნევის ველის.



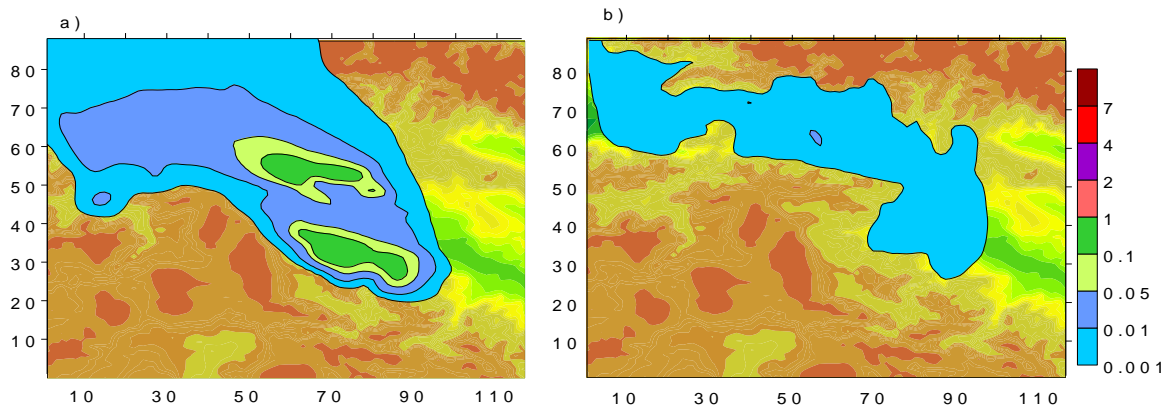
ნახ.4.36 ტემპერატურული ველი (°C) ქვეფენილზედაპირზე – a), ნიადაგის ზედაპირიდან 2 მ – b), 100 მ - c) სიმაღლეებზე და მიწისპირა წნევის (მზ ველი – d)), როცა  $t = 12$  სთ.

ნახ.4.37 და 4.38-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული მტვრის განაწილება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში და ტროპოსფეროში. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში, 2 მ სიმაღლეზე, დამტვერიანების ზონალკალიზირებულია უშუალოდ ქალაქების მიმდებარე ტერიტორიაზე. დამტვერიანება მაღალია ქ. თბილისისა და რუსთავის მახლობელ ტერიტორიებზე. ქ. თბილისის შემთხვევაში კონცენტრაცია 0.1-1 ზდკ მიღებულია დაახლოებით 10 კმ მანძილზე, ქ. რუსთავის შემთხვევაში კი 2-4 კმ მანძილზე. კონცენტრაცია 0.1-0.01 ზდკ მიღებულია ქ. თბილისის, რუსთავის, გარდაბნის, მარნეულის, ბოლნისის და მცხეთის მიმდებარე 40 კმ სივანისა და 60 კმ სივრდის მართკუთხედის ფორმის ერთიან არეში. ქალაქების შემთხვევაში კონცენტრაცია 0.01 ზდკ მიღებულია ქალაქებიდან დაახლოებით 2კმ მანძილზე.

10მ სიმაღლეზე მტვრის გავრცელება თვისობრივად ანალოგიურია 2მ სიმაღლეზე მიღებული სურათის (ნახ.4.37 b). განსხვავება, მხოლოდ დამტვერიანების ზონის ზომებშია. სიმაღლის ზრდასთან ერთად კონცენტრაცია სწრაფად მცირდება. მიწის ზედაპირიდან 100 მანძილზე მიღებული კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს 2ზდკ-ს, 3კმ-ზე 1ზდკ-ს. 6კმ სიმაღლეზე მიღებულია დამტვერიანების მეტად მცირე კონცენტრაცია 0.001ზდკ-ქარის მიღებული ფორმირებული ველი განსაზღვრავს დამტვერიანების გავრცელების მიმართულებას. ქ. თბილისის მიმდებარედ არსებული ქალაქების მტვერი ატმოსფეროს ქვედა 100მ ფენაში გადაიტანება სამხრეთ-დასავლეთისა და სამხრეთის მიმართულებით. მოდელირების რეგიონის დასავლეთ ნაწილში განლაგებული ქალაქების მტვერი გადაიტანება ჩრდილოეთის მიმართულებით. 100მ-ის ზევით მტვრის გავრცელება ხდება ერთიანი ღრუბლის სახით ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულებით (ნახ.4.38).



ნახ.4.37 ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ნიადაგის ზედაპირიდან 2 - (a), 10 - (b), 100 - (c) და 600 - (d) სიმაღლეებზე, როცა,  $t = 12$  სთ.



ნახ.4.38 ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ნიადაგის ზედაპირიდან 3 - (a) და 6 - (b) კმ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 12$  სთ.

#### 4.4 ჰიდროთერმოდინამიკური ველების და ურბანული მტვრის დროითი და სივრცითი ევოლუცია ფონური ჩრდილოეთის ქარის დროს

მოდელირებული და შესწავლილია კახეთის ტერიტორიაზე ატმოსფერული პროცესების განვითარება და ქალაქებში არსებული მტვრიანობის გავრცელება ჩრდილოეთის ფონური

სტაციონალური ქარის დროს ზაფხულის სეზონში. ამისათვის, პარამეტრები  $u_{fon}=0$ ;  $v_{fon}=-23.2$  მ/წმ;  $\Delta T_x = 7,5 \cdot 10^{-6}$  გრად/მ;  $\Delta T_y = 0$ ;

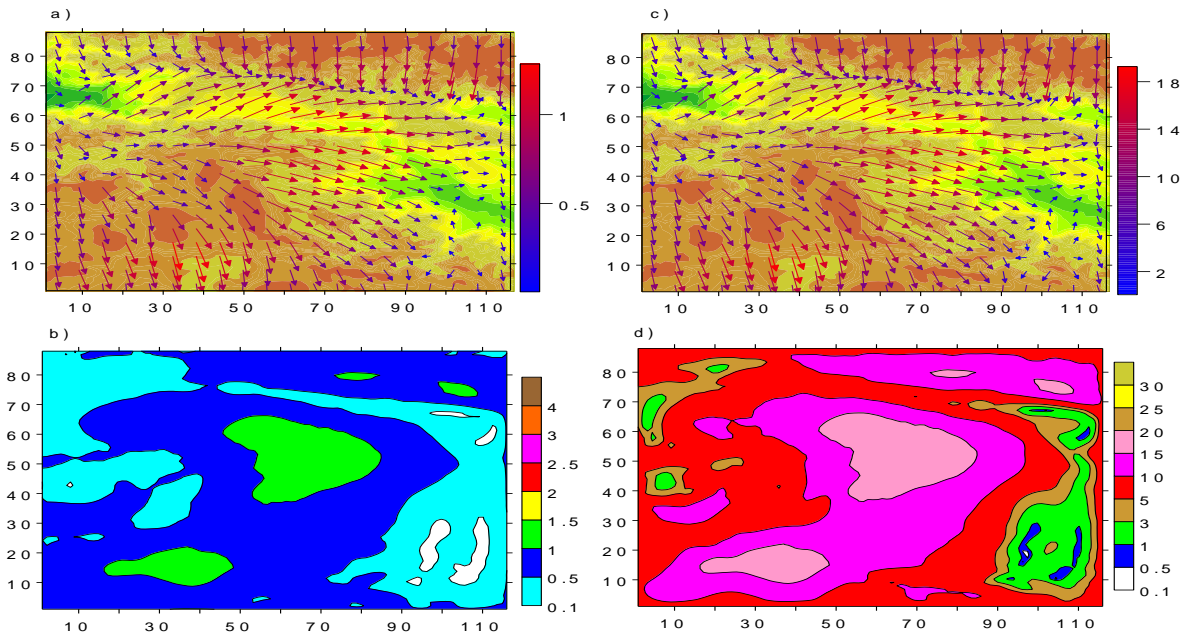
ფონური წნევა განსაზღვრულია კვაზისტატიკის განტოლებით, ხოლო შესაბამისი ფონური ქარის სიჩქარე გამოთვლილია გეოსტროფიული ქარის განტოლებებიდან და მისი მნიშვნელობა იცვლება 5 მ/წმ-დან 10 მ სიმაღლეზე, 20 მ/წმ-მდე ტროპოპაუზაზე, შესაბამისად.

ნახ.4.39-4.45-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული ლოკალური მეტეოროლოგიური ველების სივრცითი და დროითი განაწილებების სურათები როცა  $t = 12$  სთ.

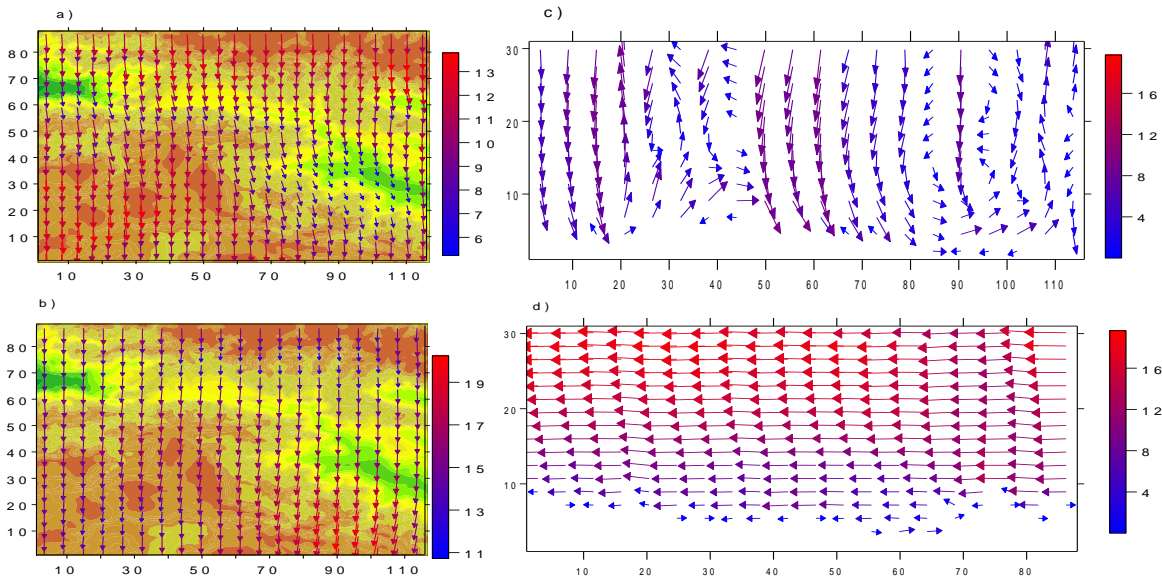
ნახ. 4.39-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ – a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეზე – c), d), შესაბამისად. ნახაზებიდან ჩანს, რომ რელიეფის ზემოქმედებამ ფონური ჩრდილოეთის ქარზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში, გამოიწვია სიჩქარის ველის მნიშვნელოვანი ცვლილება კავკასიონის მთავარ ქედსა და თრიალეთის ქედს შორის არსებულ ტერიტორიაზე. ჩრდილოეთის ქარი მიღებულია მხოლოდ მთავარი კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთებზე და თრიალეთის ქედის ნაწილზე, რომელიც მდებარეობს მოდელირების არის სამხრეთ აღმოსავლეთ ნაწილში. დანარჩენ ტერიტორიაზე მიღებულია სამხრეთ-დასავლეთის, დასავლეთის და ჩრდილო დასავლეთის სუსტი ქარები. აღსანიშნავია, კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრეთ კალთის მიდამოებში მტკვრის ხეობის გასწვრივ, მკვეთრად გამოყოფილი ჰაერის ნაკადის წარმოშობა. აღნიშნულ ტერიტორიაზე ქარის სიჩქარე არაა დიდი. 10 მ სიმაღლეზე ძირითადად მიღებულია სუსტი ქარი, რომლის სიდიდე არ აღემატება 1 მ/წმ-ს. 100 მ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა 15 მ/წმ-ია. მიწის ზედაპირიდან 10 მ და 100 მ სიმაღლეზე (ნახ. 4.39 c) და d) ქარის სიჩქარის სივრცული განაწილება ერთმანეთის მსგავსია. მიწისპირა ფენაში ქარის მიმართულების და სიდიდის ცვლილება ანალოგიურია პლანეტარული სასაზღვრო ზონისათვის დამახასიათებელი ცვლილების.

თავისუფალ ატმოსფეროში ქარი ინარჩუნებს ფონური ქარის მიმართულებას (ნახ. 4.40). სიმაღლის ზრდასთან ერთად იცვლება ქარის სიჩქარის მოდულის ზედაპირული განაწილება. 3 კმ სიმაღლეზე ქარის სიჩქარე მარალია მთავარი კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთებისა და ჯავახეთის ზეგანის მიდამოებში. ამ რაიონებში სიჩქარე აღწევს 13 მ/წმ-ს. სიჩქარე შედარებით ნაკლებია მდ. მტკვრის გასწვრივ მდებარე არეში. მიწის ზედაპირიდან 6 კმ სიმაღლეზე ქარის განაწილება განსხვავებულია 3 კმ სიმაღლეზე მიღებული განაწილების. ის მაქსიმალურია (19-20 მ/წმ) თრიალეთის ქედის სამხრეთ აღმოსავლეთ კალთის მიდამოებში. ოროგრაფიის გარსდენის მოვლენისათვის დამახასიათებელი ტალღური და გრიგალური მოძრაობების წარმოშობა, როგორც სასაზღვრო ფენაში, ასევე თავისუფალ ატმოსფეროში წარმოდგენილია ნახ. 4.40 c), d) და ნახ. 4.41– 4.42-ზე.

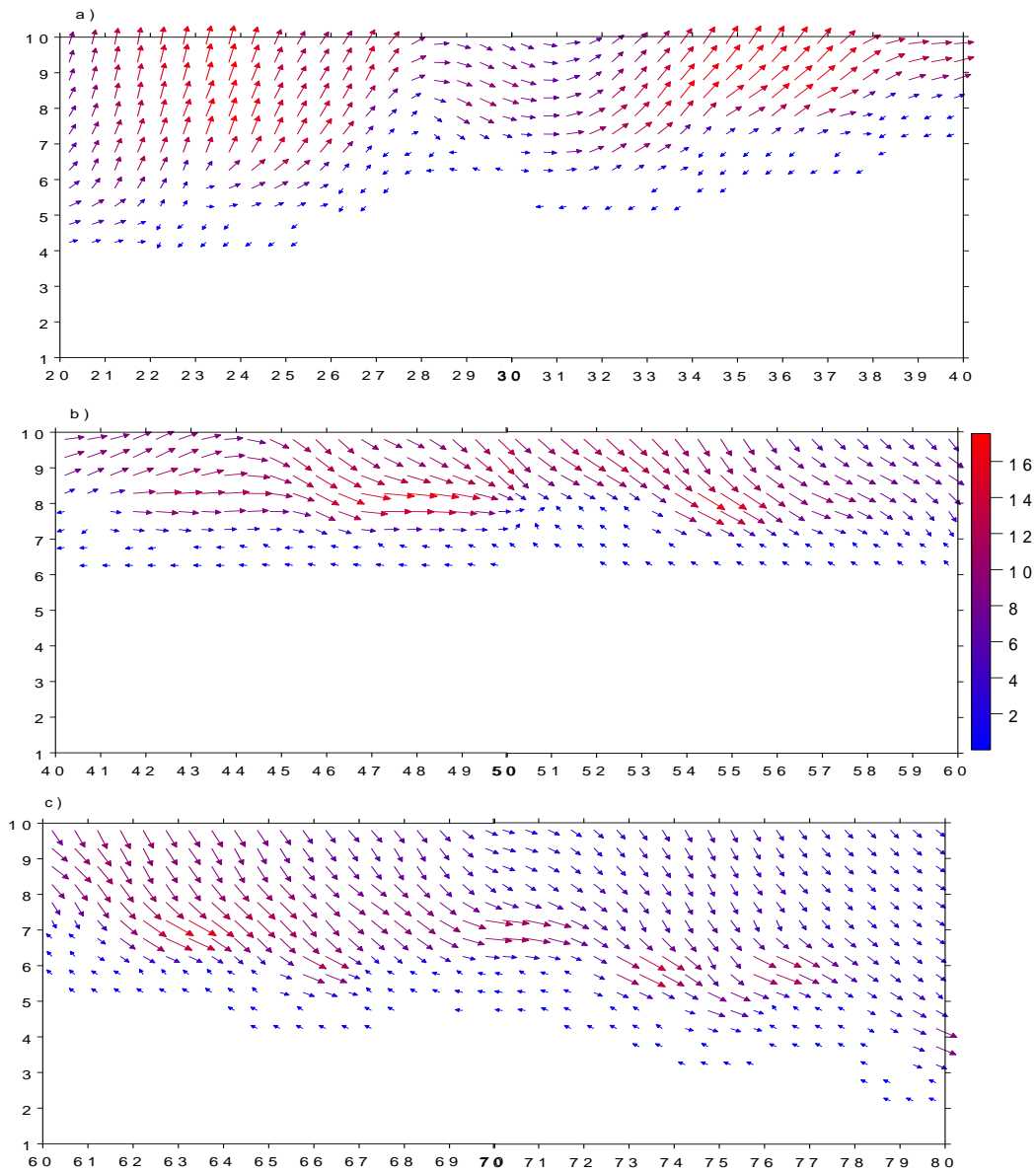
ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში ვერტიკალური გრიგალები უფრო მკაფიოდ არიან გამოსახული, ვიდრე ტალღები თავისუფალ ატმოსფეროში. ფონური დინების გასწვრივ მიმართულ (მერიდიანულ) სიბრტყეში მიღებულია დაახლოებით 40 კმ სიგანისა და 1 კმ სისქის ციკლონური გრიგალი. ის ფორმირებულია კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთისა და ქართლის ვაკის თავზე არსებულ სივრცეში. ასევე მიღებულნია მცირე ზომის ცალკეული მერიდიანული და ზონალური გრიგალები, უშუალოდ ქვეფენილი ზედაპირის მიმდებარე სივრცეში.



ნახ. 4.39. ქარის სიჩქარის ვექტორი და მოდული  $z = 10$  მ – a), b) და  $z = 100$  მ სიმაღლეებზე – c), d), შესაბამისად, როცა  $t = 12$  სთ.



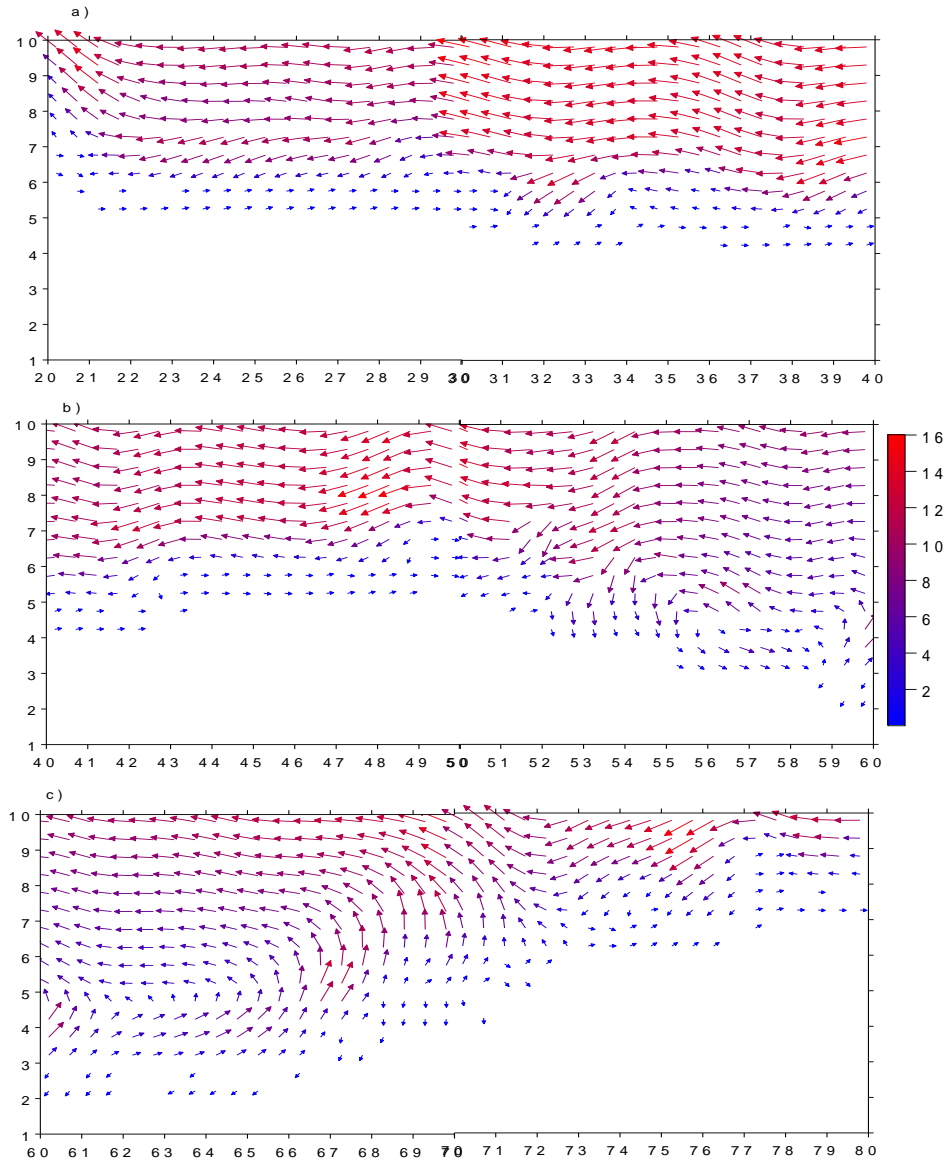
ნახ. 4.40. ქარის სიჩქარის ვექტორის და მოდულის ველები  $z = 3$  კმ სიმაღლეზე, – a) და 6 კმ სიმაღლეზე – b). ქარის სიჩქარის ვექტორის პარალელის გასწვრივი მდგენელ  $XOZ$  სიბრტყეში, როცა  $Y = 50$  – c) და მერიდიანული მდგენელი  $YOZ$  სიბრტყეში, როცა  $X = 60$  – d), როცა  $t = 12$  სთ.



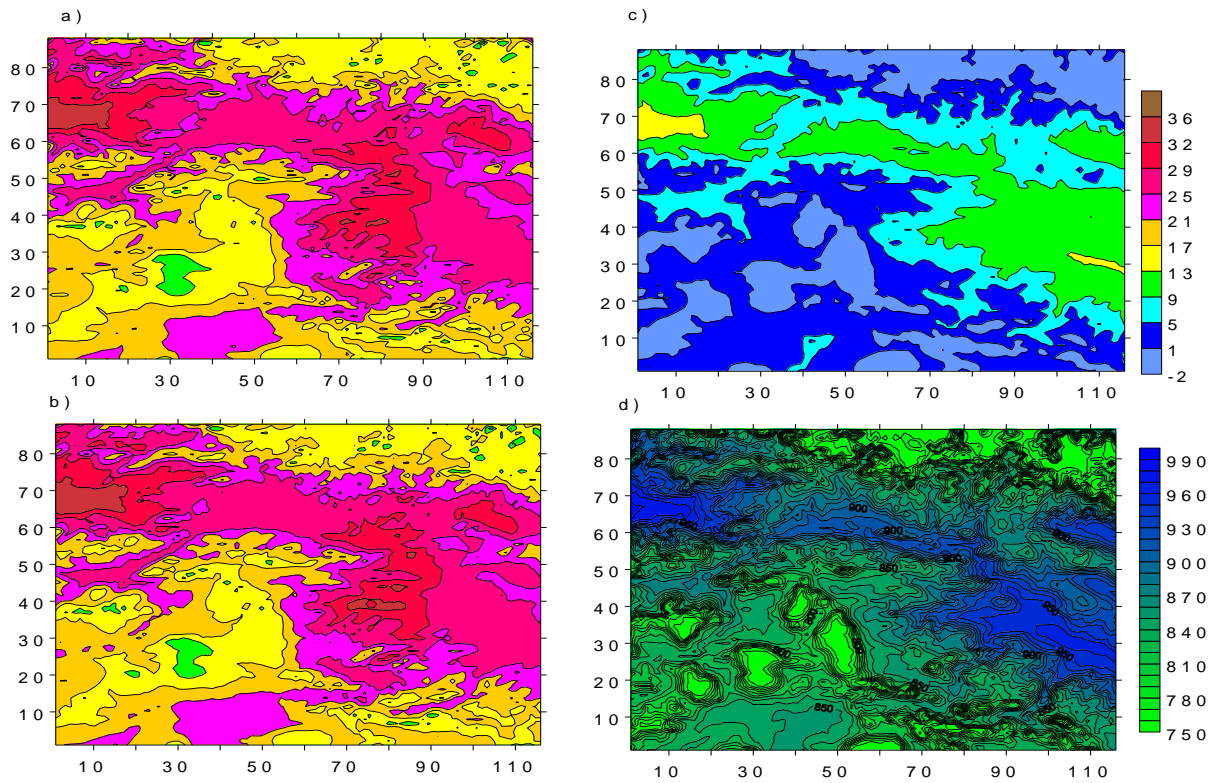
**ნახ. 4.41.** ქარის სიჩქარის ვექტორის ზონალური გეგმილი ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში XOZ სიბრტყეში  $z \leq 3$  კმ სიმაღლეზე  $y = 50$  და როცა  $20 \leq x \leq 40$  – a),  $40 \leq x \leq 60$  – b) და  $60 \leq x \leq 80$  – c), როცა  $t = 12$  სთ.

ნიადაგის ტემპერატურა იცვლება  $19-36^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში (ნახ.4.43). ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობები მიღებულია კოლხეთის დასაბლობის ტერიტორიაზე ( $34-36^{\circ}\text{C}$ ), ქქ. თბილისი, რუსთავი გარდაბნის მიმდებარე ტერიტორიებზე და მდ ალაზნის მიდამოებში ( $30-32^{\circ}\text{C}$ ). მინიმალური ტემპერატურა მირებულია  $9-13^{\circ}\text{C}$  მიღებულია ჯავახეთის ქედის მიდამოებში. 2მ სიმაღლეზე ტემპერატურა ახლოსაა ნიადაგის ტემპერატურასთან. მნიშვნელოვანი გასხვავება ატმოსფეროს ტემპერატურებს შორის მიადაგის ზედაპირიდან 2-დან და 100მ სიმაღლეებზე. 100 მ სიმაღლეზე მინიმალური ტემპერატურა შეადგენს  $-12^{\circ}\text{C}$  და ისინი მიღებულია მთავარი და მცირე კავკასიონის ქედების მიდამოებში. თავისუფალ ატმოსფეროში ტემპერატურის ზოგადი მერიდიანული განაწილება დეფორმირებულია ქვეყნილი ატმოსფეროს

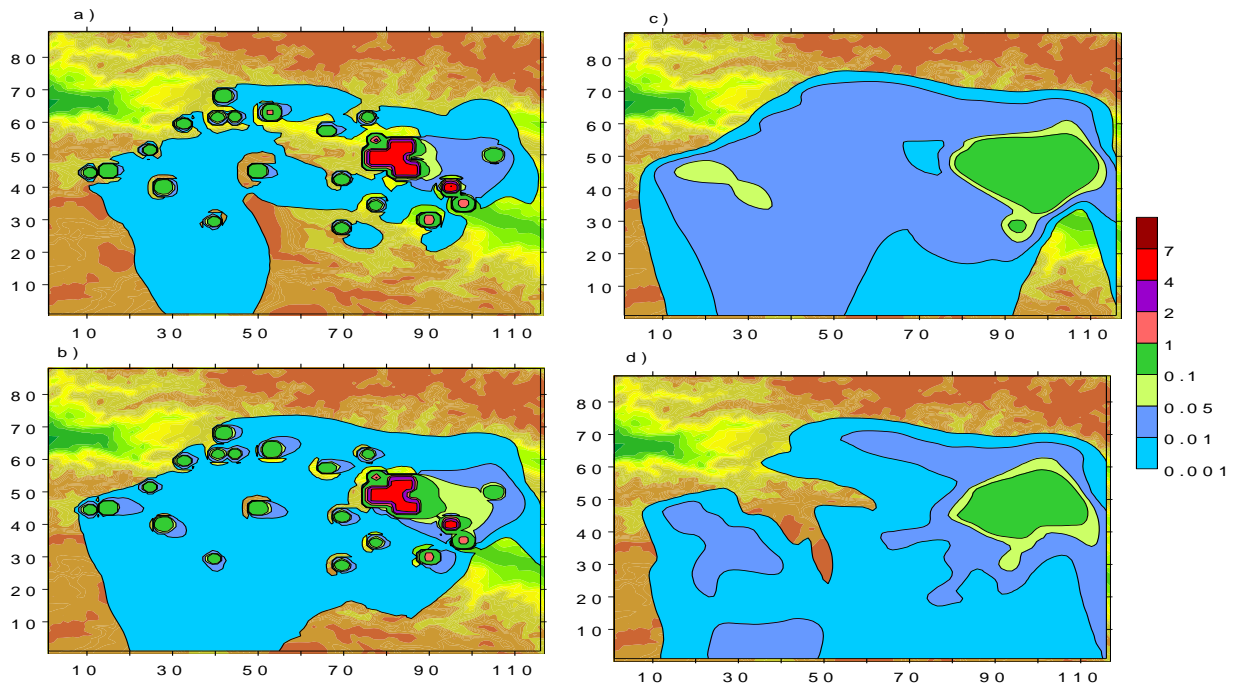
სასაზღვრო ფენასა და ქვედა ტროპოსფეროში მიმდინარე ადვექტიური და ტურბულენტური სითბოგადატანის პროცესებით. ამ ეფექტებით გამოწვეული ტემპერატურის მატება დაახლოებით 2–4°C-ის ინტერვალშია.



ნახ. 4.42. ქარის სიჩქარის ვექტორის მერიდიანული გეგმილი ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში YOZ სიბრტყეში  $z \leq 3$  კმ სიმაღლეზე  $x = 60$  და  $20 \leq y \leq 40$  – a),  $40 \leq y \leq 60$  – b) და  $60 \leq y \leq 80$  – c), როცა  $t = 0$  სთ.

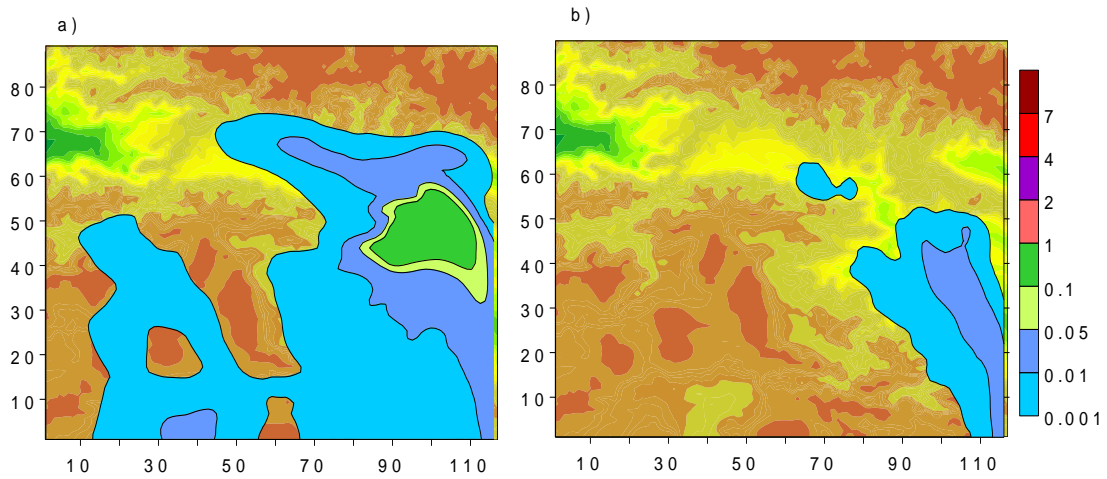


ნახ. 4.43. ტემპერატურული ველი ( $^{\circ}\text{C}$ ) ქვეფენილზედაპირზე – a), ნიადაგის ზედაპირიდან 2 მ – b), 100 მ - c) სიმაღლეებზე და მიწისპირა წნევის (მბ) ველი – d)),  $t = 12$  სთ.



ნახ. 4.44. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაცია  $z = 2, 10, 100$  და 600 მ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 0$  სთ.





**ნახ. 4.45. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ნიადაგის ზედაპირიდან 3 - (a) და 6- (ბ) კმ სიმაღლეებზე, როცა  $t = 12$  სთ.**

მიწისპირ წნევა დამოკიდებულია ოროგრაფიისაგან და მისი მნიშვნელობა იცვლება 750-1000მმ-ის ფარგლებში.

რეგიონის რთული ჰიდროდინამიკა ახდენს გავლენას მტვრის გავრცელებაზე ატმოსფეროში. მიწისპირა ფენაში 2მ სიმაღლეზე მდ. მტკვრის გასწვრივ მდებარე ქალაქების ხაშური, გორი, კასპი, ცხინვალი, თბილისი და რუსთავის მტვერი ვრცელდებიან აღმოსავლეთის მიმართულებით, ხოლო სამცხე - ჯავახეთის ქალაქების მტვერი ვრცელდება აღმოსავლეთის და სამხრეთის მიმართულებით. 100 და 600მ სიმაღლეზე მტვრის აღმოსავლეთით გადატანასთან ერთად პრიორიტეტულია მტვრის გავრცელება სამხრეთით. 3კმ-ის ზევით მტვერი ძირითადად ვრცელდება სამხრეთის მიმართულებით, თუმცა ამ სიმაღლეებზე კონცენტრაცია მცირეა და არ აღემატება 1 ზდკ.

## დასკვნები

ჩატარებული ქიმიური ანალიზის ძირითადი შედეგები შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს

1. წყალსაცავების, სარწყავი არხის, გრუნტის და სასოფლო სამეურნეო ჩამონადენის წყლის pH მერყეობს 6,70-8,61 ფარგლებში. ბუნებრივი წყლების ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი არის pH, რომელიც ბუნებრივი თუ ანთროპოგენული ფაქტორების მიხედვით საკმაოდ ცვლადია. იგი განსაზღვრავს ჟანგვა-აღდგენით პოტენციალს და მასზეა დამოკიდებული წყლის თვითგაწმენდის უნარი.
2. სიღნაღის ახალი წყალსაცავის წყლის მინერალიზაცია იცვლება 239,18-791,55 მგ/ლ-ის, ხოლო ძველის - 390,45-1051,2 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ახალი წყალსაცავის წყლის მინერალიზაცია გაცილებით ნაკლებია ძველი წყალსაცავის წყლის მინერალიზაციასთან შედარებით. გახსნილი ნივთიერებების მიხედვით (მგ/ლ-ით) წყალსაცავები მიეკუთვნებიან ზომიერ (500-1000 მგ/ლ) და მაღალ (>1000 მგ/ლ) მინერალიზაციის მქონე წყლებს.
3. სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენის მინერალიზაცია გაცილებით ნაკლებია და ტოლია 200 -650 მგ/ლ.
4. ქვემო ალაზნის სარწყავი წყლის მინერალიზაცია შეადგენს 299,13-420,48 მგ/ლ. მარილების ზღვრული დასაშვები შემცველობა წყალში, რომელიც გამოიყენება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების სარწყავად შეადგენს 1გ/ლ, ამიტომ ქვემო ალაზნის სარწყავი არხის წყალი შეიძლება ჩაითვალოს სარწყავად ვარვისად. ამონიუმის იონების რაოდენობა უმნიშვნელოდ აღემატებიან ზღვ-ს ზოგიერთ შემთხვევაში.
5. გურჯაანის წყალსაცავის წყალში წყლის მინერალიზაცია სიღნაღის რაიონის წყლებთან შედარებით ნაკლებია და მერყეობს 238,85-678,45 მგ/ლ ფარგლებში და მიეკუთვნებიან ზომიერი (500-1000 მგ/ლ) მინერალიზაციის მქონე წყლებს. ხოლო ამონიუმის იონების კონცენტრაცია თითქმის ყველა შემთხვევაში მაღალია ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციაზე, მაგრამ მისი შემცველობა არ აღემატება 0,7 მგ/ლ-ს (1,8 ზდკ). გურჯაანის წყალსაცავის წყალი უმეტესად სუფთაა, E-coli-ის მნიშვნელობა თითქმის ყველა შემთხვევაში დაბალია ზღვ-ზე.
6. გრუნტის წყლების მინერალიზაცია გაცილებით მეტია ყველა წყალსაცავის მინერალიზაციაზე (5212,3-12958,0მგ/ლ) და ის მიეკუთვნება მაღალ მინერალიზირებულ წყლებს. ამავე დროს აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ალაზნის ველზე გრუნტის წყალი ამოსულია მაღლა 1,5-2,5 მ-მდე და შესაძლებელია მათი შედინება წყალსაცავის წყლებში.
7. აღინიშნება ნატრიუმის, ქლორისა და სულფატების იონების მაღალი შემცველობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ წყალსაცავები გაშენებულია დამლაშებულ ნიადაგებზე.
8. ბიოგენური ნივთიერებებიდან მხოლოდ ამონიუმის იონები აღემატებიან შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას და აღნიშნულ წყლებში მერყეობს 0,368-0,78 მგ/ლ-ს ფარგლებში. ამავე დროს შეინიშნება ტენდენცია, რომ ამონიუმის იონები უფრო მეტი რაოდენობით არის ძველ წყალსაცავში, ვიდრე ახალში. ამონიუმის იონების შემცველობა ახალი წყალსაცავის წყალში 2016-2017 წწ-ში, ზოგიერთ შემთხვევაში აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზდკ), მაშინ როცა ძველი წყალსაცავის წყალში მისი კონცენტრაცია, 2017-2019 წწ-ის განმავლობაში ყოველთვის აღემატება ზღვ-ს. მაქსიმალური რაოდენობა აღინიშნება ზამთრის თვეებში და შეადგენს 0,70-0,78 მგ/ლ (1,8-2 ზდკ).
9. მძიმე ლითონების შემცველობა წყალსაცავების წყლებში ნორმის ფარგლებში დაფიქსირდა და ამ მხრივ დაბინძურებას ადგილი არ აქვს.
10. წყლის დაბინძურების შედეგად იცვლება მისი ფიზიკური თვისებები (ფერი, სუნი, სიმღვრივე), ქიმიური შედგენილობა (ორგანული და ბიოგენური ნივთიერებები, მძიმე ლითონები და სხვ), მიკროფლორა. წყლის ბაქტერიოლოგიურ სისუფთავეს აფასებენ ნაწლავის ჩხირების (E-coli) რაოდენობით 1 ლიტრ წყალში. კოლი ინდექსის მაღალი მნიშვნელობა წყლის ფეკალური დაბინძურების მაჩვენებელია. ძველი წყალსაცავის წყალი დაბინძურებულია და E-coli-ი

შეადგენს 1,4 ზდკ-ს, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო ჩამონადენში შედარებით უფრო მაღალია და შეადგენს 2,7 ზდკ-ს.

11. ძველი ანაგის ნიადაგებში მშრალი ნაშთი მერყეობს 1,800-2,000 %-ის ფარგლებში. ამავე დროს სიღრმეში მისი შემცველობა თანდათან მატულობს და მაქსიმუმს აღწევს 60-80 სმ სიღრმეზე. ეს ნიადაგი ეკუთვნის საშუალოდ და სიღრმეში ძლიერ და მეტად ძლიერ დამლაშებული ნიადაგის კატეგორიას. ხოლო გურჯაანის სოფ.ახაშნის ნიადაგებში მშრალი ნაშთი მერყეობს 0,060-დან 0,250 %-მდე. ნიადაგი, რომლის მშრალი ნაშთი <0,3%-ზე, ეკუთვნის დაუმლაშებელი ნიადაგების კატეგორიას, რასაც მიეკუთვნება ჩვენი საკვლევი ნიადაგი.
  12. ჰუმუსის შემცველობა სოფ.ძველი ანაგის ნიადაგებში, ზედა ჰორიზონტში შეადგენს 2,36%, სიღრმეში თანდათან კლებულობს და 40-60 სმ სიღრმეზე შეადგენს 1,11 %-ს, ე.ი. ეს ნიადაგები ჰუმუსით ნაკლებად უზრუნველყოფილი ნიადაგებია.
  13. ნიადაგი მდიდარია შესათვისებელი კალიუმით (50,0 მგ/100 გ ნიადაგში, სამაგიეროდ მცირეა შესათვისებელი ფოსფორის რაოდენობა). სიღრმეში მისი რაოდენობა კლებულობს და შეადგენს 30,0 მგ/100 გ ნიადაგში.
  14. ჰიდროლიზური აზოტის რაოდენობა იცვლება ჰუმუსის შემცველობის მიხედვით, მაქსიმალურია ზედა ჰუმუსიან ფენაში და შეადგენს 4,6 მგ/100 გ ნიადაგში. სიღრმეში მისი რაოდენობა კლებულობს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ საკვლევი ნიმუშებში დაბალია ჰიდროლიზური ანუ შესათვისებელი აზოტის შემცველობა, ე.ი. ნიადაგები ითვლებიან დაბალნაყოფიერ ნიადაგებად.
  15. ძველი ანაგის ნიადაგებში სპილენძის შემცველობა ზედა 0-10 სმ-იან ნიადაგის ფენაში გაცილებით მაღალია ქვედა-10-20 სმ ფენასთან შედარებით. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 100,00 მგ/კგ, რაც 2-ჯერ აღემატება კლარკში და 5-ჯერ ნიადაგში მის საშუალო შემცველობას. სოფ. ახაშნის ნიადაგებში სპილენძის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 49 მგ/კგ, ე.ი. 2,5 -ჯერ აღემატება მის საშუალო მნიშვნელობას ნიადაგში.
  16. სოფ ძველი ანაგის ნიადაგში ტყვიის შემცველობის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 36,00 მგ/კგ-ს, რაც 2,3-ჯერ აღემატება კლარკში და 3,6-ჯერ ნიადაგში მის საშუალო შემცველობას. სოფ. ახაშნის ნიადაგებში ტყვიის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 29,0 მგ/კგ, ე.ი. 1,8 -ჯერ აღემატება კლარკის და 2,9-ჯერ მის საშუალო მნიშვნელობას ნიადაგში.
  17. ვერცხლის შემცველობა დაბალია ორივე ტიპის ნიადაგში და მერყეობს მეათედი და მეასედი მგ/კგ ფარგლებში
- ჩატარებული რიცხვითი მოდელირების ძირითადი ეტაპები ასე ჩამოყალიბდა:**
18. ატმოსფეროს ჰიდროთემოდინამიკის და ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის განტოლებების, ნიადაგში ტემპერატურის გავრცელებისა და სინოტივის გატოლების, წყლის არეში ტემპერატურის გავრცელების განტოლებების და შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობების გამოყენებით დამუშავებულია აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში ატმოსფერული პროცესების ევოლუციისა და მტვერის გავრცელების მათემატიკური მოდელი.
  19. არასტაციონალური, არაწრფივი სამგანზომილებიანი განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირებისათვის გამოყენებულია ცხადი შუმანის და არაცხადი, გახლეჩის მეთოდზე დაფუძნებული რიცხვითი რეაალიზაციის მეთოდები.
  20. დამუშავებულია მოდელის რეალიზაციის ალგორითმი, შედგენილია რიცხვითი ინტეგრირების კომპიუტერული პროგრამა კომპიუტერულ ენაზე “VIZUAL FORTRAN”.
  21. განსაზღვრულია ინტეგრირების არე. არის ჰორიზონტალური ზომებია 236კმ×180კმ×9კმ ატმოსფეროში, და 236კმ×180კმ×2 მ ქვეფენილი ნიადაგისათვის. ჰორიზონტალური მიმართულებით სივრცული ბიჯები 2 კმ-ია, ვერტიკალური მიმართულებით დაახლოებით 300 მ ატმოსფეროში და 0.1 მ ნიადაგში. დროითი ბიჯი უდრის 10 წმ-ს.

22. ჩატარებულია რიცხვითი ექსპერიმენტები. ექსპერიმენტების მიზანი იყო გამოკვლეულიყოსაქართველოს ცენტრალურ ნაწილში  $\beta$  და  $\gamma$  მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების ჰიდროთემოდინამიკური თავისებურებები და კინემატიკით გამოწვეული ქალაქებში გაბნეული მტვრის გავრცელების შესაძლო სურათები.
23. განხილულია 4 სინოპტიკური სიტუაცია: ფონური სტაციონალური დასავლეთის, აღმოსავლეთის, ჩრდილოეთისა, სამხრეთის ქარების შემთხვევები. მოდელირებისას დაშვებული იყო, რომ ქალაქების ტერიტორიაზე 2 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციების მნიშვნელობები მუდმივია და სიდიდით ტოლია საშუალო წლიური მნიშვნელობის. შესწავლილია, მტვრის გავრცელება სტაციონალური დასავლეთის ქარის დროს არასტაციონალური მტვრის წყაროების პირობებში.
24. ატმოსფეროს სასახდვრო ფენაში, როგორც ზონალურ ასევე მერიდიანულ კვეთაში, წარმოიშვება მეზომასშტაბის ვერტიკალური ცირკულაციური სისტემები, რომელთა ჰორიზონტალური ზომები დამოკიდებულია ოროგრაფიისარაერთგვაროვნებაზე.
25. ატმოსფეროს სასახდვრო ფენის ქვედა ნაწილში, ქედებსა ან მაღლობებს შორის არსებულ დაბლობ ტერიტორიებზე, ჰაერის მოძრაობას აქვს ურთიერთ საპირისპირო მიმართულება და წარმოშობენ ციკლონური ან ანტიციკლონური ტიპის ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ოროგრაფიულ ცირკულაციურ სისტემებს. არსებულ ეფექტს ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში თუ მსხვილმასშტაბიან ფონურ მოზარობის სიჩქარე 1-3 მ/წმ-ის ფარგლებშია.
26. 3 მ/წმ-ზე მეტი ქარის სიჩქარის შემთხვევაში მიწისპირა ფენის დამამუხრუჭებელი მოძრაობა ვერ წარმოშობს ვერტიკალურ გრიგალებს. დინება ფონური სიჩქარის მიმართულებისაა, რომელზედაც ზედ ედება სხვადასხვა სიგრძის ტალღური შეშფოთება. ტალღური შეშფოთების ამპლიტუდა დიდია დიდი დახრილობის ოროგრაფიული არაერთგვაროვნების არეში და მცირდება დაბლობ და ვაკე ტერიტორიების თავზე
27. თავისუფალ ატმოსფეროში ოროგრაფიისა და ქვეფენილი ზედაპირის თერმიული ზემოქმედების გავლენა ფონური ქარზე სიჩქარეზე ვლინდება ზონალური ტალღური შეშფოთებების წარმოშობასა და ვერტიკალური მერიდიანულ სიბრყეში მეზომასშტაბის გრიგალების ფორმირებაში.
28. ვერტიკალური გრიგალური სტრუქტურები, რომლებიც წარმოიშვებიან მთაგორიან არეში მიწისპირა ტემპერატურულ ველთან ერთად როგორ აძლიერებენ, ასევე ასუსტებენ თემიული რეჟიმით გამოწვეულ მთა-გორის ქარებს.
29. მიწისპირა ქარის სიჩქარეების განაწილება აჩვენებს, რომ თერმიული რეჟიმის დღეღამურმა ცვლილებამ შეძლება გამოიწვიოს ქარის ვერტიკალური განაწილების ცვლილება – მინიმალური მიწისპირა ტემპერატურის დროს ფორმირებული შტილური მდგომარეობა შეიცვალის არაშტილური სიტუაციით მიწისპირა მაქსიმალური ტემპერატურის დადგომის მომენტისათვის, და პირიქით.
30.  $\beta$ - მეზომასშტაბის ვერტიკალური საიჩქარეების ველის განაწილება ატმოსფეროს სასახდვრო ფენაში მეტად რთული სახისაა. ის ერთის მხრივ დამოკიდებულია ფონური დინების და რელიეფის ურთიერთ ორიენტაციაზე, ფორმირებული მიწისპირა ქარის სიჩქარეზე და ტემპერატურულ ველზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში.
31. ტემპერატურის განაწილება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ზევით ძირითადად დამოკიდებულია ტემპერატურის ფონურ განაწილებაზე. მასზე გარკვეულ ზეგავლენას ახდენს სითბოს გაცვლა ატმოსფეროს მიწისპირა ფენასა და მის ზევით არსებულ არეს შორის. ცალკეულ შემთხვევაში ეს გავლენა იწვევს ტემპერატურის გრადიენტის 100 კმ-ზე 1 - 3 გრადუსით ცვლილებას. ფონური აღმოსავლეთის ქარის დროს 3 კმ სიმაღლეზე ტემპერატურის გრადიენტი მიმართულია ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ. 6 კმ სიმაღლეზე

ტემპერატურა მაქსიმალურია რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში და მცირდება როგორც სამხრეთის ასევე ჩრდილოეთის მიმართულებით. 8 კმ სიმაღლეზე ტემპერატურის გრადიენტ მიმართულია სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ.

32. მიწისპირა ტემპერატურის დროითი და სირცითი განაწილება განისაზღვრება ლოკალური რელიეფით და ტემპერატურის დღეღამური ცვლილებით. გამოკვეთილია რეგიონის დამახასიათებელი მიწისპირა ტემპერატურის განაწილება მომატებული და შემცირებული ტემპერატურების ზონებით. ტემპერატურის დღეღამური ცვლილება იწვევს მიწისპირა ფენაში ვერტიკალურ თერმიულ და დინამიკური მდგრადობის ცვლილებას. ცვლილები ზომები დამოკიდებულია კონკრეტულ ტერიტორიაზე და მისი ზომები განსხვავდება ერთმანეთისაგან.
33. შესწავილია აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში დამტვერიანების დღეღამური ცვლილება 4 ძირითადი მეტეოროლოგიური სიტუაციის შემთხვევაში. გამოკვლეულია მტვრის გადატან-დიფუზიის როგორც საერთო კანონზონიერებანი ასევე ცალკეულ სიტუაციებისათვის დამახასიათებელი თავისებურებები:
34. მტვერი კონცენტრირებულია უშუალოდ დაბინძურების პუნქტის მიდამოებში და დასახლებული პუნქტიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით მხოლოდ მცირე მანძილზე არის გავრცელებული. დაბინძურების პუნქტიდან 2 კმ – 4 კმ მანძილზე მისი კონცენტრაცია დაახლოებით 10 ჯერ მცირდება, ხოლო უფრო დაშორებით 20 - 30 კმ მანძილზე კონცენტრაცია დაახლოებით  $10^2$  -  $10^3$  ჯერ არის შემცირებული. დამაბინძურებელი ნივთიერების ვერტიკალური ტურბულენტური გადატანა ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში არის უპირატესი ჰორიზონტალურ გადატანასთან შედარებით. ამიტომ, ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ ფენაში მტვერით დაბინძურებული არის ვერტიკალური სტრუქტურა ფაქტიურად უცვლელია. ის ჰორიზონტალური მიმართულებით მხოლოდ მცირედით არის გაფართოებული. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში ( $z = 600$  მ –  $1000$  მ) დამტვერილი ზონის ჰორიზონტალური ზომები მნიშვნელოვნად იზრდება როგორც ჰაერის დინების მიმართულებით, ასევე მისი მართობული მიმართულებითაც, რაც, თავის მხრივ, მიუთითებს ჰორიზონტალური ტურბულენტობის მნიშვნელობაზე მტვრის ჰორიზონტალურ გადატანის პროცესში.
35. ჰაერის დინებისა და ტურბულენტობის დროში ცვლილება ახდენს გავლენას ატმოსფეროში ქალაქებიდან მოხვედრილი მტვერის სივრცულ განაწილებაზე. ჰაერში მტვერი ვრცელდება რეგიონის დიდ ნაწილზე. მიუხედავად ამისა, 0.1 საშუალო დღეღამური ზდკ-ზე მეტი კონცენტრაცია მიიღება მხოლოდ ქქ. თბილისის და რუსთავის უშუალო სიახლოვეს. დანარჩენ ნაწილში კონცენტრაცია გაცილებით ნაკლებია 0.1 ზდკ-ზე. მტვერის გავრცელების ვერტიკალური არე შემოსაზღვრულია ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენით, მის ზევით თავისუფალ ატმოსფეროში დამტვერიანება მიღებულია ცალკეული ლაქების სახით.

ამრიგად, ჩატარებულმა კვლევებმა პასუხი გასცა აღმოსავლეთ საქართველოს მეტეოროლოგიის მრავალ საკითხს. ამასთან წამოაჩინა საკითხები, რომლებიც მოითხოვენ შედგომ დაზუსტებასა და გაუმჯობესობას. მიზანშეცონია კვლევის შემდგომი განვრცობა უფრო დიდი გარჩევის უნარის მქონე  $\gamma$  მეზომასტაბის რიცხვითი მოდელების გამოყენებით სხვადასხვა სიმძლავრისა და მიმართულების ფონური სიტუაციებისათვის.

## ლიტერატურა

### თავი პირველი

1. კოტარია ა., მეტეოროლოგიის საფუძვლები. თსუ გამომცემლობა. 1992.
2. [http://engisblogi.blogspot.com/2012/09/blog-post\\_2.html](http://engisblogi.blogspot.com/2012/09/blog-post_2.html)
3. <http://www.humanrights.ge/index.php?a=main&pid=17780&lang=geo>
4. <http://www.ick.ge/photogalleries/22014-i.html>
5. <http://www.ick.ge/rubrics/society/22928-i.html>
6. <http://www.ick.ge/rubrics/economics/23371-i.html>
7. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Под ред. Сванидзе Г.Г. и Цуцкиридзе Я.А., Л.: „Гидрометеоиздат“, 1980.
8. Элизбарашвили Э. Ш.; Амираншвили А.Г.; Варазанаშვილი О.Ш.; Церетели Н.С.; Элизбарашვილი М.Э.; Элизбарაშვილი Ш.Э.; Пипия М.Г. Градобитие на территории Грузии European Geographical Studies, Vol. 2, No. 2, pp. 55-69, 2014.
9. Сулаквелидзе Г. К. Венашვილი М. Г. Шахулова Л. А. Районирование территории Грузии.
10. ფიფია მ. სექციანობის კლიმატოლოგია აღმოსავლეთ საქართველოში. ი.გოგბაშვილი სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, 2016.
11. სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკურ ცენტრი „დელტა“

### თავი მეორე

1. ა.თხელიძე, რ.ლიპარტენიანი, ნ.მუმლაძე, ხ.ხომასურიძე, გ.დანელია - სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია და გარემოს დაცვა - თბილისი, აგრარული უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 186 გვ., 2009.
2. გ.სუპატაშვილი - გარემოს ქიმია (ეკოქიმია) - თბილისი, უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 187 გვ., 2009.
3. ქლაფერაშვილი - სურსათის უვნებლობა - საქართველოს სტრატეგიული კვლევებისა და განვითარების ცენტრი, ბიულეტენი #110, გვ.3-91, 2008.
4. ა.ამირანაშვილი, ო.ვარაზანაშვილი, მ.ფიფია, ნ.წერეთელი, მ.ელიზბარაშვილი, ე.ელიზბარაშვილი - ზოგიერთი მონაცემები სექციანობაზე აღმოსავლეთ საქართველოში და მისგან მიყენებულ ეკონომიკურ ზარალზე - ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, მ.ნოდიაშვილის გეოფიზიკის ინსტიტუტის 80 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენციის შრომები, თბილისი, გვ., 145-150, 2014.
5. თ.ურუშაძე - საქართველოს ძირითადი ნიადაგები - „მეცნიერება“, თბილისი, 267 გვ., 1997;
6. საკვლევი რეგიონში ნიადაგის საანალიზო ნიმუშების აღება, წერტილების ინვენტარიზაცია, რომელიც განხორციელდა ISO 10381-1 და 10381-2-ის მიხედვით;
7. ნიადაგის ნიმუშების წინასწარი დამუშავება და შესაბამისად მისი მომზადება (გაშრობა, დაფხვიერება, გაცრადასხვა) ქიმიური ანალიზისათვის (ISO-11464, ISO-565);
8. წყლის საანალიზო სინჯების აღების და ტრანსპორტირების განხორციელება ISO- 5667-4:1987 სტანდარტების შესაბამისად;
9. საველე ე.წ. პირველი დღის ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების (გახსნილი ჟანგბადი, pH, ტემპერატურა, მარილიანობა) განსაზღვრა უშუალოდ ადგილზე მობილური აპარატით;
10. საანალიზო სინჯების ლაბორატორიული განსაზღვრა, კერძოდ: კათიონები, ანიონები, ბიოგენური ელემენტების განსაზღვრა (ISO 10304-1 :2007, ISO 7150-1, ISO 9964, ISO 6059), კუმ5 (ISO 5815-1:2010);
11. ნიადაგის ნიმუშებში ჰუმუსის კოლორიმეტრული მეთოდით განსაზღვრა (ГОСТ 26213-91);
12. ნიადაგის ნიმუშებში საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების (N,P,K) განსაზღვრა ISO 103041 :2007 და ISO 9964-3 :2010;

13. მძიმე ლითონების (Cu, Pb და Ag) შემცველობის დადგენა ICP-OES -ანალიური ინდუქციური პლასმის სპექტრომეტრით ISO 11885:2007 სტანდარტებზე დაყრდნობით;
14. მიკრობიოლოგიური კომპონენტებიდან ტოტალური კოლოფორმების, E-coli-ს და ფეკალური სტრეპტოკოკების განსაზღვრა ISO 7899-2, ISO 9308-1:2000 სტანდარტებზე დაყრდნობით.

#### თავი მესამე

1. მ. კორძაია. საქართველოს ჰავა. საქართველოს მეცნ. აკად. გამომ., საქართველო, თბილისი, 1961, 240 გვ.
2. Климат и климатические ресурсы Грузиию Под ред. В. П. Ломинадзе, Г. И. Чиракадзе. Гидрометеорологическое издательство. СССР, Ленинград, 1971, 384 с.
3. ე. ელიზბარაშვილი. საქართველოს ჰავა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. გამომც., საქართველო, თბილისი, 2017. 360 გვ.
4. საქართველო სჰავა, ტ.5. შიდა ქართლი, ე. ელიზბარაშვილის, რ. სამუკაშვილის, ჯ. ვახნაძის, გ. მელაძის რედ. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები, ტ. 122, 2016.
5. <http://shidakartli.gov.ge/ge/pages/index/17>. 2019, (შემოწმებულია 29.06.2019).
6. Гигиенишвили В. М. Градобития в Восточной Грузии. Госкомгидромет, Россия, Ленинград, 1960.
7. A. P. Weigel, F. K. Chow and M. W. Rotach, “On the nature of turbulent kinetic energy in a steep and narrow Alpine valley,” *Boundary-Layer Meteorology Springer Science-Business Media B.V.* 2006, DOI 10.1007/s10546-006-9142-9.
8. S. Kirkwood, M. Mihalikova, T. N. Rao, and K. Satheesan, “Turbulence associated with mountain waves over Northern Scandinavia – a case study using the ESRAD VHF radar and the WRF mesoscale model,” *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 9, 2009, pp. 20775–20817.
9. Г. С. Ривин, И. А. Розинкина, Р. М. Вильфанд, Д. Ю. Алферов, Е. Д. Астахова, Д. В. Блинов, А. Ю. Бундель, Е. В. Казакова, А. А. Кирсанов, М. А. Никитин, В. Л. Перов, Г. В. Суркова, А. П. Ревокатова, М. В. Шатунова, М. М. Чумаков. Система COSMO-Ru негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: второй этап реализации и развития. 2015, *Метеорология и гидрология*. № 6, с. 58-67.
10. Г.С. Ривин. Современные системы мезомасштабного прогноза погоды: состояние и перспективы .[http://method.meteorf.ru/publ/books/80\\_years/rivin.pdf](http://method.meteorf.ru/publ/books/80_years/rivin.pdf). 20 с.
11. Г. И. Марчук Методы вычислительной математики. М., Наука, 1980, 608 с.
12. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256с.
13. Шлычков В.А. Расчет влияния выбросов Экибастузской ГРЭС на загрязнение территории Западной Сибири в результате дальнего атмосферного переноса // *Оптика атмосф. и океана*. 1998. Т. 11. № 6. С. 598-601.
14. Шлычков В.А., Мальбахов В.М., Леженин А.А. Численное моделирование атмосферной циркуляции и переноса загрязняющих примесей в Норильской долине . // *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18. № 05-06. С. 490-496.
15. Шлычков В.А. Численная модель пограничного слоя атмосферы с детализацией конвективных процессов на основе вихреразрешающего подхода // *Аэрозоли Сибири*. Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2005. 612с.
16. R. W Boubel, Donald L. F, D. B. Turner and A. C. Stern. [Fundamentals of Air Pollution - \(Third Edition\)](http://www.sciencedirect.com/science/book/9780080507071). Academic Press, 1994. 574 pp. [www.sciencedirect.com/science/book/9780080507071](http://www.sciencedirect.com/science/book/9780080507071)
17. AERMOD: Latest Features and Evaluation Results. United States. Environmental Protection Agency. EPA-454/R-03-003.2003, p. 41. [https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod\\_mep.pdf](https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mep.pdf)

18. M. E. Berliand: Modern problems of atmospheric diffusion and atmospheric pollution. Leningrad, Russia, (1975).
19. M.E. Berliand: Forecast and adjustment atmospheric pollution. Leningrad, Russia, (1985). Methods of Calculating Pollutant Concentrations in Atmospheric Air as Present in Factory Discharges.OND-86. Leningrad, Russia, (1987).
20. Schwere, S., A. Stohl and M. W. Rotach, 2002: Practical considerations to speed up Lagrangian stochastic particle models. *Computers & Geosciences* Vol. 28, 143-154.
21. Tinarelli, G., D. Anfossi, M. Bider, E. Ferrero and S. T. Castelli, 2000: A New High Performance Version of the Lagrangian Particle Dispersion Model SPRAY, Some Case Studies. *NATO challenges of modern society* Vol. 23A, 499-508.
22. Wilson, J. D. and B. L. Sawford, 1996: Review of Lagrangian stochastic models for trajectories in the turbulent atmosphere. *Boundary-Layer Meteorology* Vol. 78, 191-210.
23. Суркова Г.В., Кирсанов А.А., Кислов А.В., Ревокатова А.П., Ривин Г.С. Прогноз концентрации загрязняющих веществ с помощью объединенной модели COSMO-RU7-ART . Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2014. № 352. С. 115-138.
24. Greel G. A., Prkham S. E., Schmitz R., McKeen S. A. Fully coupled „online” chemistry within the WRF model: description and applications. *Atmospheric Environment*. 2005, v. 39, Issue 37, p. 6957-6975.
25. Grell G. A., Emeis S., Stockwell W. R., Schoenemeyer T., Forkel R., Michalakes J., Knoche R., Seide W. Application of a multiscale, coupled MM5/chemistry model to the complex terrain of the VOTALD valley campaign. *Atmos. Env.* 2000, vol. 34, p. 1435-1453.
26. Karsholm U. S., Baklanov A., Gross A., Mahura A., Sass B. H., Kaas E. Online coupled chemical weather forecasting based on HIRLAM – overview and prospective of Enviro – HIRLAM. *HIRLAM Newsletter*, 2008, No. 54.
27. G.I Marchuk: Mathematical modeling in the environmental problem. Leningrad, Russia, (1982).
28. V. V. Penenko, A. E. Aloyan: Models and methods for environmental protection tasks. Novosibirsk, Russia, (1985).
29. A. E. Aloyan: Modeling of dynamics and kinetics of gaseous admixtures and aerosols in the atmosphere. Moscow, Russia, (2008).
30. A. M. Grishin: Mathematical modeling of forest fires and new methods of struggle against them. Novosibirsk, Russia, (1992).
31. A. E. Aloyan: Modeling of aerosols dynamics during forest fires. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 45, (2009), 62-75.
32. V. A. Shlichkov, V. M. Malbakhov, A. A. Leghenin: (2005). Numerical modeling of atmospheric circulation and transfer of contaminating impurities in Norilsk valley. *Atmospheric and Oceanic Optic.* 18 (5-6), (2005), 490-496.
33. Сурмава А. А. Кваарацхелия Д. У., Кухалашвили В. Г. О возможных траекториях облаков загрязнения в атмосфере Кавказского региона. Сборник трудов Ин-та геофизики им. М. З. Нодиа. 2008, т. LX. с. 179-185.
34. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere from hypothetical source in the case of the background western wind. *J. Georgian Geoph. Soc.*, 2009.v. 13(b), pp. 15-21.
35. A. Surmava. Numerical investigation of the modeling of transportation and deposition of the radioactive pollution in the Caucasian Region in case of the hypothetical accident on the Armenian Nuclear Power Plant. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v.15, 2011/2012, pp. 32-45.



36. A. A. Kordzadze, A. A. Surmava, V. G. Kukhalashvili. Numerical investigation of the air possible pollution in case of large hypothetical accidents in some industrial territories of the Caucasus. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.16B, 2013, pp. 13-23.
37. ა. კორძაძე, ა. სურმავა. შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო ზონებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების ავარიული ამოფრქვევების შემთხვევებში ჰაერის შესაძლო დაბინძურების რიცხვითი მოდელირება. მ. ნოდისგეოფიზიკის ინსტიტუტის 80 წლისტავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენციის შრომები. 2014. გვ. 3-10.
38. Сурмава А. А., Мишвеладзе Б. А. Моделирование загрязнения воздушного бассейна г. Рустави. Труды ЗакНИГМИ (для сл. пользования). вып.2, 1985. с. 92-105.
39. Мишвеладзе Б. А., Сурмава А. А. Математическое моделирование загрязнения атмосферы Кавказа в результате авариинного выброса из гипотетического источника расположенного в окрестностях г. Поты. 2010. С. 139-143. Зилинтикевич С. С., Монин А. С. Турбулентность в динамических моделях атмосферы. Л.: Наука, 1971, 44 с.
40. Марчук Г. И., Кочергин В. П., Саркисян А. Ш. И др. Математические модели циркуляции в океане. Наука: Новосибирск, 1980. 288 с.
41. Пененко В. В., Алоян А. Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985, 256 с.
42. Дымников В. П. О параметризации балла неконвенктивной облачности в задачах фонового прогноза погоды и общей циркуляции атмосферы. Тр. ЗСРНИГМИ, 1974, вып. 11, с. 62-68.
43. Белов П. Н., Борисенков Е. П., Панин Б. Д. Численные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1989, 376 с.
44. Гандин Л. С., Данович А. М., Лайхтман Д. Л., Мельников И. И., Рузин М. И., Соцопко Е. А., Шленева М. В. Задачник по динамической метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 218 с.
45. Чудновский А. Ф. Теплофизика почв. Москва: Наука. 1976. 352 с.
46. Казаков А. Л., Лазриев Г. Л. О параметризации приземного слоя атмосферы и деятельного слоя почвы. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1978, т.14, № 3, с. 257-265.
47. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1982, 320 с.
48. [31] Таварткиладзе К. А. Учёт влияния высоты местности при вычислении эффективного излучения. Тр. ЗалНИГМИ, 1970, вып. 35, с. 10-41.
49. Шуман Ф. Многоуровневая модель по полным уравнениям. Лекции по численным методам прогноза погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1969, с. 481-498.
50. Shuman F. G., Hovermale L. R. An operational six-layer primitive equation model. J. Appl. Mech. 1968. V. 7. No 4. P. 525-547.

#### თავი მეოთხე

1. Деметрашвил Д. Инестационарная задача о мезомасштабных процессах в свободной атмосфере над орографически неоднородной поверхностью земли. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана т. 15, № 7, 1979, с. 699-709.
2. Сохов Т. З. О нелинейных орграфических волнах в атмосфере. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана т. 6, № 2, 1970, с. 115-126.
3. საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ჰაერის წელიწადეული. 2015. [www.nea.gov.ge](http://www.nea.gov.ge)
4. მოკლე მიმოხილვა საქართველოს გარემოს დაბინძურების შესახებ. [www.nea.gov.ge](http://www.nea.gov.ge)
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52. 04. 57-95.