

სსიპ მიხეილ ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტი
(ხელნაწერის უფლებით)

მარინე სალუქვაძე

**აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ
შედგენილობაზე მეტეოროლოგიური, ანთროპოგენური და
ტერიგენული ფაქტორების გავლენის კვლევა**

04.00.23 _ გეოფიზიკა, ატმოსფეროსა და
ჰიდროსფეროს ფიზიკა

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის
სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

თბილისი
2006

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი

თავი I. ატმოსფერული ნალექების ქიმიური

შემადგენლობის შესწავლის თანამედროვე
მდგომარეობა.

1.1 ატმოსფერული ნალექების ქიმიური

შემადგენლობის შესწავლის თანამედროვე
მდგომარეობა.

1.2. ატმოსფეროს მიწისპირა ჰაერის ქიმიური

შემადგენლობის კვლევის თანამედროვე
მდგომარეობა.

თავი II. კვლევის რეგიონი და კვლევაში

გამოყენებული ქიმიური მეთოდები.

2.1. კვლევის რეგიონის ფიზიკო-გეორგაფიული
დახასიათება.

2.2. ატმოსფერული ნალექების მოპოვების, შენახვისა
და ქიმიური ანალიზის ჩვენს მიერ გამოყენებული
მეთოდები.

თავი III. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული

ნალექების ჰიდროქიმიური დახასიათება.

3.1 ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური

კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა
სტატისტიკური ანალიზი.

3.2 ატმოსფერული ნალექების ზოგადი ჰიდროქიმიური

დახასიათება.

3.3 ატმოსფერული ნალექების წყალბადის იონების

კონცენტრაციის მაჩვენებელი – pH.

3.4 ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური

კომპონენტის კონცენტრაციებს შორის
კორელაციური დამოკიდებულებები.

3.5 ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა სეზონური და დღეღამური ცვალებადობა.

3.6. ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციის დამოკიდებულება სინჯის ადების ადგილის ზღვის დონიდან სიმაღლეზე.

3.7. ატმოსფერულ ნალექებში ზოგიერთი მიკროელემენტის კონცენტრაციები და მათი კავშირი ძირითადი იონების ჯამურ კონცენტრაციასთან.

3.8. ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიის და იოდის კონცენტრაციებზე ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების გავლენა.

თავი IV. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე ზოგიერთი მეტეოროლოგიური კომპონენტის გავლენა.

4.1.. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა დამოკიდებულება ჰაერის მიწისპირა ფენის ტემპერატურასა და ფარდობით ტენიანობაზე.

4.2. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა დამოკიდებულება მიწისპირა ჰაერში ქარის სიჩქარესა და მიმართულებაზე.

4.3. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა დამოკიდებულება დროის ინტერვალზე, რომელიც წინ უსწრებდა ნალექის მოსვლას.

თავი V. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე ღრუბლებზე ხელოვნური

ზემოქმედების დროს გამოყენებული

აქტიური რეაგენტის გავლენა.

5.1.. შიდამასიური განვითარების ერთუჯრედიანი

ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში და მიწისპირა

აეროზოლებში Pb^{2+} -ის, I^- -ისა და Hg^{2+} -ის შემცველობის

დამოკიდებულება ამ ღრუბლებში შეტანილი

ტყვიის იოდიდის რაოდენობაზე.

5.2. ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და იოდის

კონცენტრაციების დამოკიდებულება გროვა

საწვიმარ ღრუბლებზე ზემოქმედების დაწყების

მომენტიდან გასულ დროზე .

თავი VI. ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების დროს

გამოყენებული ტყვიის იოდიდის აეროზოლის

გავლენა კახეთის რეგიონის ნიადაგებში,

ზედაპირულ წყლებში, ზოგიერთ კვების

პროდუქტში ტყვიისა და იოდის

შემცველობაზე.

6.1. ტყვიის შემცველობა კახეთის რეგიონის

ნიადაგების ზედაპირულ ფენაში.

6.2. ტყვიის შემცველობა კახეთის რეგიონის

ზედაპირულ წყლებში.

6.3. ტყვიის შემცველობა კახეთის რეგიონში

მოწეულ კვების პროდუქტებში.

დასკვნები .

გამოყენებული ლიტერატურა.

შესავალი

თემის აქტუალობა: ატმოსფეროსა და ატმოსფერული ნალექების ფიზიკური და ქიმიური თვისებების შესწავლა ყოველთვის იდგა დედამიწისა და მასზე მიმდინარე პროცესების შემსწავლელი მეცნიერების ყურადღების ცენტრში, რადგანაც ადამიანის

თითქმის მთელი პრაქტიკული საქმიანობა მიმდინარეობს დედამიწის ატმოსფეროს ფსკერზე. ამ თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი როლი აკისრია ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლას. ასეთი კვლევის აქტუალობაზე ჯერ კიდევ გასული საუკუნის დასაწყისში მიუთითებდა რუსი მეცნიერი ვ.ი. ვერნადსკი[1], რომელიც აუცილებლად მიიჩნევდა ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობის, როგორც ერთ-ერთი გეოქიმიური მუდმივას, გეგმაზომიერ და სისტემატიურ შესწავლას.

ამჟამად მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანაში, მათ შორის ჩვენთანაც, წარმოებს სისტემატიური დაკვირვებები ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე, რომლის შედეგები ფართოდ გამოიყენება როგორც მეცნიერების სხვადასხვა დარგში მოღვაწე მეცნიერების მიერ, ასევე ადამიანის პრაქტიკული მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროში.

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლამ მნიშვნელოვნად გააადვილა ე.წ. «კონდენსაციის ცენტრების» (ნივთიერებათა ჯგუფი, რომელიც წარმოადგენს ღრუბელში წვიმის წვეთებისა და სეტყვის მარცვლების ჩანასახს და ურომლისოდაც ადგილი არ ექნებოდა არც ღრუბლის შექმნას და არც მისგან ნალექის მოსვლას) გენეზისისა და წარმოქმნის ბუნების საკითხის შესწავლა.

ატმოსფერულ ნალექებს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია დედამიწის ჰიდროსფეროში. ატმოსფეროში ყოველწლიურად მიმოქცევაშია წყლის უზარმაზარი რაოდენობა – $4.72 \cdot 10^5$ კმ³ [2], რაც დედამიწაზე არსებული გაყინულ და მდინარეების წყლებთან ერთად მტკნარი წყლის მარაგს წარმოადგენს.

რიგი მკვლევარების აზრით[3,4] ბუნებრივი წყლების მარილის ბალანსის შედგენისას გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობაც, რომელიც ცალკეულ შემთხვევებში ზოგიერთი კომპონენტის შემცველობის მიხედვით არ ჩამოუვარდება სხვა ბუნებრივ წყლებს[5].

დადგენილია ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელოვანი როლი დედამიწაზე სხვადასხვა ქიმიური ელემენტის მიგრაციაში [6,7,8,9,10]. ატმოსფერული ნალექები აგრეთვე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ზედაპირული[11,12,13] და მიწისქვეშა[8,9,14,15] წყლების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირებაში და წარმოადგენს ნიადაგის მარილებით შევსების მნიშვნელოვან და მუდმივ წყაროს[7,8,16,17,18].

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლა ფრიად მნიშვნელოვანია აგროქიმიური თვალსაზრისითაც[9,11,12,13,19], რადგანაც ნალექების მიერ ნიადაგში შეტანილი მინერალური ნივთიერებები დიდ როლს თამაშობს მცენარეების ამ მარტივებით უზრუნველყოფის საქმეში[20]. ხშირად ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობა განსაზღვრავს ნიადაგში მიმდინარე გეოქიმიურ პროცესებს[8,9,21].

ნალექების ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ ატმოსფეროს ანთროპოგენური ან სხვა ნივთიერებებით დაჭუჭყიანების შესახებ[20].

ატმოსფეროს აგროქიმიური შესწავლა აუცილებელია ჰიგიენური თვალსაზრისითაც. ამ საკითხის აქტუალობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა უკანასკნელი რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში, როცა ადამიანის პრაქტიკული მოღვაწეობის ტემპები და მასშტაბები სწრაფად გაიზარდა. დღეს არსებული ტემპების შენარჩუნების შემთხვევაში გარემოს დაჭუჭყიანებამ შეიძლება დაარღვიოს ეკოლოგიური წონასწორობა და გამოიწვიოს კლიმატური ცვლილებები დედამიწაზე[22]. აქედან გამომდინარე ნათელია, რომ ატმოსფეროს დაჭუჭყიანების პრობლემა მოითხოვს კომპლექსურ მიდგომას, ხოლო ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლა წარმოადგენს გარემოს შენარჩუნების ზოგადი ამოცანის ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილს.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლისას არსებითი მნიშვნელობა გააჩნია იმის ცოდნას, თუ რა გავლენას ახდენს მასზე სხვადასხვა გარემო ფაქტორი, როგორცაა მეტეოროლოგიური, კლიმატური, ტერიგენული, ანთროპოგენური და სხვა.

მიუხედავად დიდი მიღწევებისა აგროქიმიის დარგში, ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირების მექანიზმის ახსნის მცდელობისას ბევრია საკამათო და არც მთლად ნათელი საკითხები. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს:

- დედამიწის ბევრი რეგიონისათვის არ არსებობს სისტემატიური მონაცემები ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესახებ;
- ზოგიერთი დასკვნა, რომელიც გაკეთებულია მცირერიცხოვან მონაცემებზე დაყრდნობით, არ შეიძლება ჩაითვალოს დასაბუთებულად, რადგანაც იგი არ არის სტატისტიკურად უზრუნველყოფილი;

- ჩვენ ჯერ ცოტა ვიცით ატმოსფერულ ნალექებში მიკროელემენტებისა და ორგანული ნივთიერებების შემცველობის შესახებ.

წინამდებარე ნაშრომის მიზანია აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის გეგმაზომიერი და სისტემატიური შესწავლა და მასზე ზოგიერთი მეტეოროლოგიური, ტერიგენული და ანთროპოგენური გავლენის შესწავლა. კვლევის რეგიონის არჩევა განპირობებულია იმით, რომ ატმოსფეროში ჰაერის გლობალური ნაკადების განედური მიმართულების გამო ამ რეგიონის ნალექების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირებაში გარკვეულ როლს თამაშობს ქვეყნის დასავლეთით მდებარე რეგიონებიც. ამასთან ერთად აღმოსავლეთ საქართველოს ამ რეგიონში რიგი წლების განმავლობაში მიმდინარეობდა სეტყვის პროცესებზე ხელოვნური ზემოქმედება ტყვიის იოდიდის აეროზოლის გამოყენებით. ამის გამო ნაშრომში განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი ტყვიისა და იოდის შემცველობის შესწავლას, როგორც ნალექებში, ისე მიწისპირა წყლებში, ნიადაგებში და კვების პროდუქტებში.

აღნიშნული ამოცანის შესასრულებლად საჭირო იყო:

- საკვლევ რეგიონში ატმოსფერული ნალექების სინჯების შესაგროვებელი ქსელის შექმნა და სინჯების შეგროვება;
- კვების პროდუქტების (მარცვლეული და ღვინო), ნიადაგების, წყალსაცავების წყლისა და დანალექი ქანების სინჯების (წელიწადში ერთხელ) შეგროვება;
- ქიმიური ანალიზის ჩატარება;
- ნალექების სინჯების აღების პერიოდისათვის კვლევის რეგიონში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის შესახებ მეტეოროლოგიური ინფორმაციის მოპოვება;
- ქიმიური ანალიზის შედეგების სტატისტიკური დამუშავება;

მოპოვებული მასალის ჩვენს მიერ შედგენილი ალგორითმის გამოყენებით დამუშავებისა და მისი ანალიზის საფუძველზე მიღებულია ახალი მეცნიერული შედეგები:

1. პირველად იქნა ჩატარებული აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში სისტემატიური შესწავლა ერთდროულად რამდენიმე პუნქტში;
2. სტატისტიკურად უზრუნველყოფილ მასალაზე პირველად იქნა შესწავლილი აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების,

ზოგიერთი მიკროელემენტისა და ორგანული ნივთიერების კონცენტრაციების საშუალო მნიშვნელობათა ძირითადი სტატისტიკური მახასიათებლები;

3. შესწავლილია ატმოსფერულ ნალექებში შემავალი ძირითადი იონების და სხვა ზემოხსენებული ქიმიური ელემენტების კონცენტრაციათა სეზონური და დღეღამური ცვლილებები, აგებულია შესაბამისი აპროქსიმაციული მრუდები ნ რიგის პოლინომის სახით, გამოთვლილია ამ პოლინომების მუდმივი კოეფიციენტებისა და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები;
4. მოძებნილია ურთიერთკორელაციური კავშირები ყველა ჩვენს მიერ შესწავლილი იონის კონცენტრაციასა, საერთო მინერალიზაციასა და მიკროელემენტების კონცენტრაციებს შორის;
5. შესწავლილია დამოკიდებულება ყველა ძირითადი იონის კონცენტრაციისა და საერთო მინერალიზაციის მნიშვნელობებსა და ნალექების სინჯის აღების ზღვის დონიდან სიმაღლის სიდიდეებს შორის;
6. შესწავლილია ზოგიერთი მეტეოროლოგიური და კლიმატური პირობების (ტემპერატურა, სინოტივე, მიწისპირა ქარის სიჩქარე და მიმართულება) გავლენა აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე და დადგენილია შესაბამისი კორელაციური თანაფარდობების მნიშვნელობები. აგებულია შესაბამისი აპროქსიმაციული მრუდები ნ რიგის პოლინომის სახით, გამოთვლილია ამ პოლინომების მუდმივი კოეფიციენტებისა და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები;
7. პირველად იქნა ჩატარებული სეტყვის პროცესებზე რაკეტული მეთოდით ხელოვნური ზემოქმედების დროს ატმოსფეროში დისპერგირებული ტყვის იოდიდის აეროზოლის გარემოზე გავლენის დეტალური და სისტემატიური გამოკვლევა;

ჩვენს მიერ მიღებულ შედეგებს გააჩნია **პრაქტიკული ღირებულებაც:**

- შეიძლება გამოყენებულ იქნას ატმოსფეროში კონდენსაციის ცენტრების სივრცული განაწილების, აგრეთვე მათი ბუნებისა და გენეზისის შესწავლის დროს;
- აღმოსავლეთ საქართველოს ამ რეგიონში მინერალური სასუქების განაწილების დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული ატმოსფერული

ნალექების მიერ ნიადაგში სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების წლიური შენატანის მნიშვნელობები;

- ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე სხვადასხვა მეტეოროლოგიური, კლიმატური და გეოგრაფიული პირობების გავლენის შესწავლის შედეგების მხედველობაში მიღებით შესაძლებელია ნიადაგებში ნალექების მიერ წლიური შენატანის რაოდენობის კორექტირება;
- ატმოსფერული ნალექებისა და გარემოს სხვადასხვა ტოქსიკური ნივთიერებებით დაჭუჭყიანების კონტროლის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჰიგიენისტების მიერ.

თავი I. ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა

1.1 ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესახებ პირველი რაოდენობრივი ცნობა თარიღდება 1822 წლით[1].

ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელოვანი გამოკვლევები ყოფილ საბჭოთა კავშირში გასული საუკუნის მეორე ნახევარში დაიწყო ატმოსფეროს, ზედაპირული წყლების და ნიადაგების იონური შემადგენლობის შესწავლის მიზნით.

ატმოსფერულ ნალექებში მინერალების სხვადასხვა წყაროების შესახებ ერთიანი აზრი არ არსებობს. ამის მიზეზი არის ის, რომ გეოგრაფიული და კლიმატური პირობების მიხედვით ნალექებში მარილების წყაროდ სხვადასხვა პირობები სახელდება. მკვლევართა ერთი ნაწილი[7,16,18,23,24,25] იმ აზრის არის, რომ ზღვები და ოკეანეები წარმოადგენენ ნალექებში შემდეგი იონების: Cl^- , Na^+ , B^- , Br^- ძირითად წყაროს. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ნიადაგები და მთის ქანების გამოფიტვის პროდუქტები, განსაკუთრებით შემდეგი იონებისათვის: HCO_3^- , Si , Na^+ , SO_4^{2-} , K^+ [4,25,26,27].

ატმოსფერულ ნალექებში მარილების ბუნებრივ წყაროებთან ერთად მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ხელოვნურად წარმოქმნილი წყაროებიც, როგორცაა

თხევადი და მყარი საწვავის წვის პროდუქტები, გამოწვეული მრეწველობისა და ტრანსპორტის განვითარებით.

კოგზილისა და ლაიკინსის[28] მიერ ნაპოვნია მჭიდრო პირდაპირი კავშირი ნალექებში მჟავების შემცველობასა და ატმოსფეროში ანთროპოგენური წარმოშობის გამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების გაფრქვევის ინტენსივობას შორის.

ე. ბურკსერის და ნ. ფედოროვას[7] მიერ გაანალიზებულია ყოფილი საბჭოთა კავშირის 41 სხვადასხვა პუნქტში აღებული თხევადი და მყარი ნალექების დაახლოებით 200 სინჯის ქიმიური ანალიზის შედეგები.

იმ დროისათვის დაგროვილი ფაქტიურ მასალაზე დაყრდნობით ვ. ვერნადსკიმ[1], ო. ალექინმა[10], რ. გრაბოვსკიმ[29], გ. მაქსიმოვიჩმა[30] გააკეთეს მნიშვნელოვანი განზოგადებები.

აშშ-ში ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლის მიზნით შექმნილი იყო ნალექების შესაგროვებელი სპეციალური ქსელი[9]. მათ შესაგროვებლად იყენებდნენ ორგანული მინის ძაბრს, ხოლო შენახვისა და ტრანსპორტირებისათვის კი პოლიეთილენის ჭურჭელს. მათ ექსპერიმენტებში ნალექების მიმღები სისტემა იხსნებოდა მხოლოდ ნალექის მოსვლის მომენტიდან და იხურებოდა მისი შეწყვეტის შემდეგ. სინჯების აღებისა და შენახვის ზემოხსენებული მეთოდი აუცილებელი გახდა მას შემდეგ, რაც დადგინდა, რომ დაუცავ მიმღებ მოწყობილობაში შეგროვილი ნალექები თითქმის 40 %-ით უფრო მინერალიზებული იყო, ვიდრე დაცული მიმღები მოწყობილობით აღებული ნალექების სინჯები. ამის მიზეზი გახლავთ ის, რომ ატმოსფეროში არსებული მყარი აეროზოლები დაუცავ მიმღებ მოწყობილობაში ადვილად აღწევს ნალექების გარეშე და ამით ხელოვნურად ზრდის საერთო მინერალიზაციას. ანალოგიურ დასკვნამდე მივიდნენ ე. სელეზნოვა და ვ. დროზდოვა, მას შემდეგ, რაც გაანალიზეს ყოფილ საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე განლაგებულ 15 პუნქტში შეგროვილი ატმოსფერული ნალექების ქიმიური ანალიზის შედეგები[31].

საქართველოს ატმოსფერული ნალექების და ბუნებრივი წყლების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლაში ფასდაუდებელი წვლილი შეიტანა თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორმა გურამ სუპატაშვილმა[32-48]. მის მიერ მეცნიერულად იქნა გაანალიზებული საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში შეგროვილი ატმოსფერული ნალექების და ბუნებრივი

წყლების ქიმიური ანალიზის შედეგები. მან დაამტკიცა, რომ საქართველოს ატმოსფერული ნალექები სუსტად მინერალიზებულ წყლებს განეკუთვნება და მათში მარილების შემცველობის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია 13 მგ/ლ[32]. ნაშრომებში ცალ-ცალკე არის შეფასებული მთავარი იონების, ბიოგენური კომპონენტების და მიკროელემენტების კონცენტრაციები. წარმოჩენილია ნალექებში მყოფი ქიმიური კომპონენტების მნიშვნელოვანი როლი გეო- და ჰიდროქიმიურ პროცესებში. შედგენილია ჯამური მინერალიზაციის მიხედვით საქართველოს დარაიონების რუკა, აგრეთვე ნაჩვენებია რომელ რეგიონში, რა რაოდენობით და რა მარილები ხვდება ატმოსფერულ ნალექებთან ერთად ნიადაგში ერთი წლის განმავლობაში. შესწავლილია ნალექების ქიმიური შემადგენლობის გეოგრაფიული პირობების მიხედვით ცვლილების ფაქტი. ამ მონაცემების მიხედვით საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო რეგიონების ატმოსფერული ნალექები ნაკლებად მინერალიზებულია, ვიდრე კონტინენტური რეგიონის ნალექები.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაცია 5 – 15 მგ/ლ-დან 30 – 35 მგ/ლ-მდე იცვლება[49]. ყველაზე ნაკლებად მინერალიზებულია ტუნდრის და ტაიგის ზონის ნალექები – 10-15მგ/ლ. ველისა და უდაბნოს ზონის ნალექები ხასიათდება მაღალი მინერალიზაციით – 30-35მგ/ლ. მაღალია მინერალიზაცია აგრეთვე მთიან რეგიონებში[32].

ზღვის გავლენა ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე ვლინდება მათში ქლორიდების კონცენტრაციის ზრდაში. ზღვიდან დაშორებასთან ერთად ნალექებში ქლორის შემცველობა მკვეთრად ეცემა. სულფატები (SO_4^{2-}) და ჰიდროკარბონატები (HCO_3^-) კონტინენტური წარმოშობის ძირითადი იონებია[49].

ატმოსფეროს სამრეწველო დაჭუჭყიანების დონის ზრდასთან ერთად გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან გაიზარდა ინტერესი ნალექების მჟავიანობის მიმართ. ერთ-ერთი პირველი ნაშრომი ამ მიმართულებით გამოქვეყნდა დიდ ბრიტანეთში[50]. ამ გამოკვლევების თანახმად დიდი ბრიტანეთის ატმოსფერული ნალექების მჟავიანობის მდგრადი ზრდა აღინიშნება ზამთრის პერიოდში, რაც დაკავშირებულია, ერთის მხრივ, მყარი და თხევადი საწვავის დიდი რაოდენობით მოხმარებასთან და, მეორეს მხრივ, მეტეოროლოგიურ პირობებთან, რომელიც ვერ უზრუნველყოფს წვის პროდუქტების სწრაფ გაფანტვას. მჟავიანობის სუსტი არამდგრადი ზრდა შეიმჩნეოდა ზაფხულის პერიოდშიც, რაც დაკავშირებული უნდა

ყოფილიყო ელქექის დროს აზოტმჟავას წარმოქმნასთან. ამიტომ ზაფხულში მჟავიანობის ზრდა ატარებს შემთხვევით ხასიათს.

შვეიცარიაში ჩატარებულ კვლევებში[51] მითითებულია, რომ ადამიანის ინტენსიური სამეურნეო მოღვაწეობის შედეგად ატმოსფეროში უფრო მეტი მჟავები ხვდება, ვიდრე ტუტეები, რის შედეგადაც ირღვევა მჟავებსა და ტუტეებს შორის ბუნებრივი თანაფარდობა. ატმოსფერული ნალექების ბუნებრივი ტუტიანობა ვერ უზრუნველყოფს ძლიერი მჟავების ნეიტრალიზაციას, რის გამოც ხდება წყალსატევების წყლების მჟავიანობის მუდმივი ზრდა.

ატმოსფერული ნალექების ფუნდამენტური კვლევა არის ჩატარებული ავსტრალიის კონტინენტზე[52]. შესწავლილია კონტინენტის სამი ზონა: ზღვის ზონა, კონტინენტური ზონა და ზონა, სადაც ყველაზე მეტად აღინიშნება ანთროპოგენური გავლენა. პირველ ორ შემთხვევაში ნალექების მაკროშემადგენლობა დამოკიდებულია ატმოსფეროში არსებული მყარი აეროზოლების ქიმიურ შემადგელობაზე. მაღალი ანთროპოგენური დაჟუჟყიანების მქონე რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ჭარბობს შემდეგი იონები: H^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} და NO_3^{2-} . ასეთი მჟავე კომპონენტების სიჭარბის გამო დაბალია pH (4.03), რაც დაჟუჟყიანებული ატმოსფეროსათვის არის დამახასიათებელი.

ნაშრომში [53] მოყვანილია ატმოსფერული ნალექების ქიმიური ანალიზის შედეგები. ისაზღვრებოდა SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Cl^- და NH_4^+ . ამ იონებიდან ყველაზე დიდი კონცენტრაციით წარმოდგენილია SO_4^{2-} . ამ იონის კონცენტრაციას მაქსიმუმი გააჩნია ზამთარში, ხოლო მინიმუმი – ზაფხულში. Ca^{2+} -ს კი პირიქით – მინიმალურია ზამთარში, ხოლო მაქსიმალური ზაფხულში. წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელი pH მაქსიმალურია ზაფხულში და შემოდგომაზე, მისი საშუალო 4,3-ის ტოლია.

რიგი მკვლევარების აზრით[54, 55, 56] ნალექების მჟავიანობას განსაზღვრავს მათში გოგირდმჟავას, აზოტმჟავას და მარილმჟავას არსებობა.

ამინდის მავნე მოვლენებზე (სეტყვა, გვალვა, ნისლი და სხვა) ხელოვნური ზემოქმედების პრაქტიკული სამუშაოების მასშტაბების ზრდასთან ერთად აქტუალური გახდა ატმოსფერულ ნალექებში ზემოქმედების პროდუქტების (ტყვია, ვერცხლი და იოდი) შემცველობის კონტროლის საკითხი. ამ პრობლემას მიემდგვნა მრავალი გამოკვლევა მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში.

ჩრდილო კავკასიასა და მოლდოვაში ნალექებში ტყვიის შემცველობის საშუალო ფონური მნიშვნელობა იცვლება საზღვრებში 0.1 – 1.3 მკგ/ლ და 0.09 – 9.6 მკგ/ლ შესაბამისად[57, 58, 59]. ზემოქმედების შედეგად აღინიშნება ამ სიდიდეთა 7-8-ჯერადი გადიდება[39,59]. ზემოქმედების შემდეგ შედარებით ნაკლებად იზრდება (1,5 – 2-ჯერ) ტყვიის შემცველობა მოლდოვას ნალექებში[58]. ხსენებულ ნალექებში ტყვიის შემცველობის ექსტრემუმი ტოლია 0,0 და 17,7 მკგ/ლ-ის, ხოლო საშუალო 2,7 მკგ/ლ.

ზემოქმედების სამუშაოები ტარდებოდა აგრეთვე სომხეთშიც (სევანის ტბის მიდამოში. რეაგენტი შეჰყავდათ მიწაზე განლაგებული გენერატორებით). აქ ზემოქმედების პროდუქტებით ნალექების დაჭუჭყიანება ძალიან სუსტად შეიმჩნევა. არაზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში ვერცხლის იონის (აქ რეაგენტად გამოყენებული იყო ვერცხლის იოდანი) კონცენტრაცია 0,00 და 0,01 მკგ/ლ-ის ფარგლებში იცვლებოდა, ხოლო ზემოქმედების შედეგად კონცენტრაცია იზრდებოდა 0,03 მკგ/ლ-მდე[38]. ამ შემთხვევაში ვერცხლის იონების გარკვეული რაოდენობა რჩებოდა ატმოსფეროში აეროზოლის სახით[38].

ჩრდილო კავკასიის ატმოსფერულ ნალექებში ვერცხლის იონის კონცენტრაციის მნიშვნელობა დიდად არ განსხვავდება სხვა რეგიონების ანალოგიური სიდიდისაგან – 0,02 მკგ/ლ[38,57]. ზემოქმედების შედეგად ნალექებში ვერცხლის იონის კონცენტრაცია 5-ჯერ იზრდება და აღწევს 0,05 – 0,1 მკგ/ლ-ს[60]. ცალკეულ შემთხვევებში კონცენტრაცია აღწევდა 8,0 – 13,3 მკგ/ლ-ს[61].

მოლდოვაში, როცა ზემოქმედებას ატარებდნენ სპილენძის სულფიდით, აღინიშნებოდა ნალექებში სპილენძის იონის კონცენტრაციის ფონურთან შედარებით 2 – 3-ჯერადი გადიდება[114].

ზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში ტყვიის, ვერცხლის და სპილენძის იონების კონცენტრაციების ზრდის ახსნა მარტო ზემოქმედების შედეგად ატმოსფეროში ამ ნივთიერებების აეროზოლის გაბნევით არ იქნება მართებული, რადგანაც ამ ნივთიერებათა იონების კონცენტრაციების მნიშვნელოვანი გაზრდა შეიძლება გამოეწვიოს სხვა ისეთ წყაროებს, როგორცაა ნიადაგები (ვერცხლი, სპილენძი და ტყვია), ავტოტრანსპორტი(ტყვია) და სხვა.

1.2. ატმოსფეროს მიწისპირა ჰაერის ქიმიური შემადგენლობის კვლევის თანამედროვე მდგომარეობა

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირება წარმოებს გარემოში, სადაც გარკვეული კონცენტრაციით არის წარმოდგენილი მყარი და გაზური აეროზოლები. ამ აეროზოლების ქიმიურ შედგენილობაზე ბევრად არის დამოკიდებული ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობა. თავის მხრივ ნალექები გვევლინებიან სივრცეში და დროში აეროზოლების გადანაწილების ერთ-ერთ საშუალებად. ღრუბლის შემადგენელ ნაწილაკში მოხვედრილი აეროზოლის გარკვეული რაოდენობა მიგრირებს ღრუბელთან ერთად და ნალექის მოსვლის პროცესში ზოგიერთი წვეთის სრული აორთქლებისას აეროზოლი უბრუნდება ატმოსფეროს, მაგრამ სხვა რეგიონში.

ატმოსფერო ყოველთვის შეიცავს გარკვეული რაოდენობის სხვადასხვა ქიმიური შემადგენლობის მქონე აეროზოლს. მათ ბუნებრივ წყაროს, ძირითადად, მთის ქანები და ნიადაგები წარმოადგენენ, აგრეთვე მცენარეული საფარი და ცხოველთა სამყარო. მრეწველობის განვითარებასთან ერთად, გარდა ბუნებრივი წყაროებისა, გაჩნდა აეროზოლების ხელოვნური წყაროებიც, რომელთა სიმძლავრე არ ჩამოუვარდება ბუნებრივი წყაროების სიმძლავრეს. ასეთი აეროზოლები გამოირჩევა განსაკუთრებული აგრესიულობით ადამიანის ჯანმრთელობის მიმართ.

ატმოსფერო, განსაკუთრებით მისი მიწის ზედაპირთან ახლოს მდებარე ფენები, წარმოადგენს ჰეტეროგენურ სისტემას, სადაც გაზურ გარემოში შეწონილ მდგომარეობაში იმყოფება მყარი და თხევადი ნივთიერებების დისპერსიული ნაწილაკები. მართალია ასეთი აეროზოლების წარმოქმნისა და განაწილების კანონზომიერებები შესწავლილია კარგად, მაგრამ მათი ბუნებისა და შემადგენლობის შესახებ ჯერ კიდევ ბევრია უცნობი.

ატმოსფერული აეროზოლების ქიმიურ შემადგენლობაზე შეიძლება ვიმსჯელოთ ნალექების ქიმიური შემადგენლობის მიხედვითაც, თუმცა მათ შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულება არ არის. გათვლები უჩვენებს, რომ ნალექები ატმოსფეროდან აეროზოლების მცირე ნაწილს გამორეცხავს, რომლის რაოდენობრივი მაჩვენებელი დიდად არის დამოკიდებული უკანასკნელის დისპერსიულობაზე.

ატმოსფეროს ქვედა ფენების აეროზოლების ქიმიური შემადგენლობის კვლევაში დიდი წვლილი შეიტანეს გ. როსბიმ[62], ჰ. იუნგემ[9], ე. ერიქსონმა, ჰ. ეგნერმა[63], ე. მესაროშმა[64] და სხვებმა.

[65]-ში (იტალია) შესწავლილია ავტოტრანსპორტის გავლენა ქალაქის ჰაერში ტყვიის შემცველობაზე. ავტორთა მტკიცებით ქალაქებში შუქნიშნებთან ჰაერში ტყვიის შემცველობა უფრო მაღალია, ვიდრე ქუჩის იმ ნაწილში, სადაც ავტოტრანსპორტი შეუჩერებლად მოძრაობს. [114]-ში წარმოდგენილია ბალტიის ზღვის სამხრეთ სანაპიროს ჰაერში იოდის იონების კვლევის შედეგები. ამ მონაცემების მიხედვით ხსენებული რეგიონის ჰაერში იოდის მაქსიმალური რაოდენობა დაიკვირვება მზიან ამინდში შუადღისას და ზღვის ნისლის დროს. იოდის იონების კონცენტრაცია სწრაფად ეცემა ნალექის მოსვლის შემდეგ.

[65]-ში ნაჩვენებია, რომ მიწისპირა ჰაერში მაღალია მიკროელემენტების იონების კონცენტრაცია, რომელიც მაქსიმუმს აღწევს ზამთრის თვეებში, ხოლო მინიმუმს – ზაფხულში. მთიან რეგიონში სეზონურ ცვლილებას აქვს შებრუნებული ხასიათი.

ტრანსპორტის განვითარებასთან ერთად დიდი მასშტაბები მიიღო ატმოსფეროს ტყვიით დაჭუჭყიანებამ[66].

ატმოსფეროში ტყვიის გავრცელების საკითხი კარგად არის შესწავლილი [67]-ში. ავტორმა შეისწავლა ატმოსფეროში მოხვედრილი სხვადასხვა წყარო და ასკვნის, რომ ბუნებრივი წყაროების (ნიადაგები, მთის ქანები და სხვ.) სიმძლავრე მნიშვნელოვნად ჩამორჩება ხელოვნური წყაროების სიმძლავრეს, როგორცაა ავტოტრანსპორტი, ფაბრიკა-ქარხნები და სხვა. ატმოსფეროში მოხვედრილი ტყვიის მძლავრ წყაროს წარმოადგენს ბროლის მინი საწარმოები.

[67]-ის თანახმად ჰაერში ტყვიის შემცველობის საშუალო მნიშვნელობები მერყეობს 2,5-დან 40 მკგ/მ³-ის ფარგლებში.

[68]-ში გამოკვლეულია ჰაერში აეროზოლების კონცენტრაციის ზღვის დონიდან სიმაღლის მიხედვით განაწილება. ნაჩვენებია, რომ სიმაღლესთან ერთად აეროზოლების კონცენტრაცია მცირდება და შემცირების ტემპი დამოკიდებულია ატმოსფეროს მდგრადობაზე.

უკანასკნელი რამდენიმე ათეული წელიწადია, რაც ატმოსფეროს ხელოვნურ დამაჭუჭყიანებელ წყაროთა რიცხვს დაემატა კონვექციურ ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების პრაქტიკული სამუშაოები.

ატმოსფერულ მოვლენებზე ხელოვნური ზემოქმედების დროს გამოიყენება ე.წ. ცინულწარმოქმნილი რეაგენტები – ვერცხლის ან ტყვიის იოდიდების აეროზოლები, რომელსაც გამოიმუშავებს მიწის ზედაპირზე, თვითმფრინავზე ან სპეციალურ რაკეტაზე დამონტაჟებული გენერატორები, აგრეთვე აცეტილაცეტონი, სპილენძის სულფიდი, «მშრალი ცინული» და სხვა[69]. ამათგან ყველაზე ხშირად სარგებლობენ AgI ან PbI₂-ით.

ატმოსფეროს ქვედა ფენებში აეროზოლებში ტყვიის, ვერცხლის და იოდის იონების შემცველობის საკითხი შესწავლილია მრავალი მკვლევარის მიერ საქართველოში [33,70,35-37], სომხეთში [38], მოლდოვაში [51, 71-73], რუსეთში (ჩრდილო კავკასიაში) [57, 71, 75], ბულგარეთში [72] და სხვ.

ჩრდილო კავკასიაში ატმოსფეროს ჰაერში ტყვიის იონის კონცენტრაციის საშუალო ფონური მნიშვნელობა იცვლება ფარგლებში – 0,4 – 24 ნგ/მ³[57]. ზემოქმედების ოპერაციის ჩატარების შემდეგ ეს სიდიდე 4-12-ჯერ იზრდება.[57,61,75]. ჰაერში ვერცხლის იონების თითქმის ასეთსავე ზრდას აქვს ადგილი, როცა რეაგენტად იყენებდნენ ვერცხლის იოდიდს[61,76]. ვერცხლის იონის კონცენტრაციის ფონური მნიშვნელობა ამ რეგიონისათვის ტოლია 0,03 – 0,4 ნგ/მ³. ზემოქმედების დროს ეს სიდიდე იზრდებოდა 2,3 ნგ/მ³-მდე [57,62,76]. შემჩნეულია, რომ ჰაერში ტყვიის იონის კონცენტრაცია მაქსიმუმს აღწევს ზემოქმედებიდან ერთი დღეღამის შემდეგ[75].

ატმოსფეროს ტყვიის და ვერცხლის იონებისაგან გაწმენდა ხდება სედიმენტაციის გზით, რომელიც ტოლია დაახლოებით 0,7 კმ დღეღამეში[76], ნალექების მიერ აეროზოლების გამორეცხვით[76] და ატმოსფეროში მათი გადანაწილებით.

თავი II. კახეთის რეგიონის ფიზიკო-გეგრაფიული დახასიათება და კვლევის დროს გამოყენებული ქიმიური ანალიზის მეთოდების მიმოხილვა

2.1 კვლევის რეგიონის ფიზიკო-გეგრაფიული დახასიათება

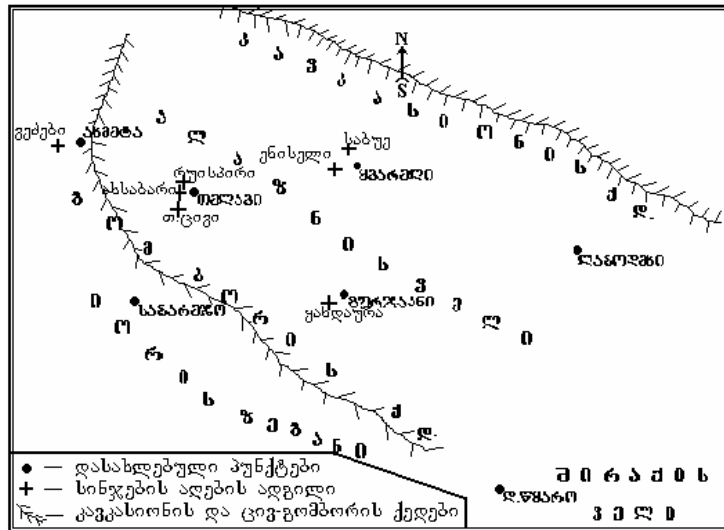
საქართველო განლაგებულია კავკასიონის ახალგაზრდა მთათა სისტემის განედურ სარტყელში. დასავლეთიდან შემოსაზღვრულია თბილი შავი ზღვით, ხოლო აღმოსავლეთიდან აზერბაიჯანის დაბლობი გვალვიანი ველებით.

თუმცა საქართველო არ განეკუთვნება დიდი ფართობის მქონე ქვეყნების რიცხვს, მაგრამ იგი გამოირჩევა ბუნებრივი პირობების მრავალფეროვნებით და მნიშვნელოვანი გეოგრაფიული კონტრასტებით. ეს გამოწვეულია ქვეყნის გეოგრაფიული მდებარეობით, რელიეფის პირობებით და ამ რეგიონში დედამიწის ქერქის გეოლოგიურად ძალიან რთული აგებულებით. რთულმა გეოლოგიურმა აგებულებამ, უახლესმა ტექტონიკურმა მოძრაობებმა, სეისმურმა აქტივობამ, აგრეთვე ინტენსიურმა გეომორფოლოგიურმა პროცესებმა განაპირობეს ამ რეგიონის სხვადასხვაგვარი რელიეფი, რომელიც წარმოდგენილია ორი მთათა სისტემით და მათ შორის განლაგებული განედური დაბლობით.

რელიეფის მრავალფეროვნებამ და კონტრასტულობამ, აგრეთვე ამ რეგიონის ატმოსფეროში მიმდინარე ცირკულაციურმა პროცესებმა განაპირობეს კლიმატის, ნიადაგებისა და მცენარეული საფარის მრავალფეროვნება[77].

რეგიონი, სადაც ჩვენს მიერ გაანალიზებული ექსპერიმენტული მასალა იქნა მოპოვებული, მოიცავს ტერიტორიას, რომელსაც ა.ნ. ჯავახიშვილი [78] მოიხსენიებს, როგორც შიდა- და გარეკახეთის ველებს (ალაზნისა და შირაქის ველები), ცივგომბორის ქედს და ივრის ზეგანს (იხ. ნახ. 2.1.). აღნიშნული რეგიონი განლაგებულია აღმოსავლეთ საქართველოს ახმეტის, თელავის, გურჯაანის, საგარეჯოს, ყვარლის, ლაგოდეხის და დედოფლისწყაროს ადმინისტრაციული

რაიონების ტერიტორიაზე. სქემატურ რუკაზე რეგიონის ადმინისტრაციულ ცენტრებთან ერთად ჯვრებით აღნიშნულია ატმოსფერული ნალექების სინჯების აღების ადგილები.



ნახ. 2.1. სამეშაო რეგიონის სქემატური რუკა

რეგიონი ჩრდილოეთიდან და ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან შემოსაზღვრულია კავკასიონის ქედით. ცივ-გომბორის ქედი კახეთის ქედის გაგრძელებაა და მდებარეობს მდინარეების ალაზნისა და იორს შორის. მისი საშუალო სიმაღლე 1000-1500 მ.-ის ტოლია. ქედი სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით დაბლდება და უერთდება ივრის ზეგანს. ქედის მაქსიმალური სიმაღლეა 1990 მეტრი (მთა ცივი). ცივ-გომბორის ქედი კლიმატური თვალსაზრისით მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მის აღმოსავლეთით და ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარე რაიონებზე.

ალაზნის ველი წარმოადგენს სამი მხრიდან მაღალი ქედებით (ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან შემოსაზღვრულია კავკასიონის, ხოლო დასავლეთიდან კახეთის და სამხრეთ-დასავლეთიდან ცივ-გომბორის ქედებით) შემოსაზღვრულ დაბლობს, სადაც წლის თბილ სეზონში ადგილი აქვს მძლავრ ღრუბელწარმოქმნით პროცესებს, რომელიც ალაზნის ველზე დღის განმავლობაში გამთბარი ჰაერის მასების ზემოთ ცივი მასების გავრცელების შედეგია[79]. ველის საშუალო სიმაღლე 400-700 მ.-ს ფარგლებში მერყეობს. ალაზნის ველზე კლიმატი აღმოსავლეთ საქართველოს სხვა რეგიონებთან შედარებით რბილია [80]. შირაქის ველი ალაზნის ველის აღმოსავლეთით გაგრძელებას წარმოადგენს.

ივრის ზეგანის საშუალო სიმაღლე 700-1000 მეტრს არ აღემატება.

სამუშაო რეგიონის საერთო ფართობი, სადაც წარმოებდა მეცნიერული ანალიზისათვის ვარგისი ექსპერიმენტული მასალის მოპოვება, სხვადასხვა წელს მერყეობდა 600 - 1200 კმ²-ის ფარგლებში.

ძირითადი ატმოსფერული პროცესები, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ სამუშაო რეგიონის კლიმატზე, საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი [77, 80] ამ პროცესებს შორის უნდა გამოვყოთ ჰაერის მასების შემოჭრა დასავლეთიდან და აღმოსავლეთიდან. ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს აგრეთვე სიტუაციები, როცა საქართველოს სამხრეთით ყალიბდება მაღალი ატმოსფერული წნევის არე და ტალღური აღრევები.

აეროსინოპტიკური პირობები, რომელსაც თან სდევს მოცემულ რეგიონში ძლიერი კონვექციური მოძრაობები და შესაბამისად მძლავრი კონვექციური ღრუბლების წარმოქმნა ისეთი თანმდევი მოვლენებით, როგორცაა თავსხმა წვიმა, სეტყვა, ძლიერი ელექტრული განმუხტვები და სხვა, ძირითადად განპირობებულია ზემოთაღწერილი ატმოსფეროს ცირკულაციური პროცესებით, სამუშაო რეგიონის გეოგრაფიული მდებარეობით და ოროგრაფიული თავისებურებებით. დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მოძრავი ცივი ფრონტისათვის ქედები წარმოადგენს ძლიერ დამამუხრუჭებელ ფაქტორს, რაც იწვევს კონვექციურ პროცესებს, რომლებიც ძლიერდება დაბლობზე.

ატმოსფერული პროცესები, რომლებსაც აღმოსავლეთ საქართველოს ჩვენთვის საინტერესო რეგიონში მძლავრი კონვექციური მოძრაობების განვითარებამდე მივყავართ და, რომლის შედეგად ადგილი აქვს მძლავრი კონვექციური ღრუბლების განვითარებას, კარგად არის შესწავლილი ვ. გიგინეიშვილის [79,81,82] და სხვათა მიერ [83,84,85,86].

ზემოხსენებული ავტორების მიხედვით აღნიშნულ რეგიონში მძლავრი კონვექციური ღრუბლების განვითარების ძირითად მიზეზს შემდეგი ატმოსფერული პროცესები წარმოადგენენ:

1. ცივი ატმოსფერული ფრონტი დასავლეთიდან, რომელზედაც მოდის შემთხვევების საერთო რაოდენობის დაახლოებით 40 - 44 %;

2. ოკლუზიის ფრონტი დასავლეთიდან, რომელზედაც მოდის შემთხვევების საერთო რაოდენობის დაახლოებით 12 - 15 %;

3. ტალღური აღრევები, რომელზედაც მოდის შემთხვევების საერთო რაოდენობის დაახლოებით 24 - 25 %;

4. შიდამასიური პროცესები, რომელზედაც მოდის შემთხვევების საერთო რაოდენობის დაახლოებით 10 - 16 %.

ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე, გარდა გარემომცველი ჰაერის გლობალური ცირკულაციისა, გავლენას ახდენს მიწის ზედაპირული ფენის შედგენილობა.

აღმოსავლეთ საქართველოს ზედა და საშუალო სარტყელის (1100-1200 მ. ზღვის დონიდან) მიწისპირა ფენა მურა ნიადაგებისაგან შედგება. ქვედა ზონის სარტყელში გავრცელებულია ძირითადად ტყის ყავისფერი და ნაწილობრივ ნეშომპალა-კარბონატული ნიადაგები. ზედაპირული ფენის საშუალო და ქვედა ფენები მდიდარია კარბონატებით. დამრეც ფერდობებზე ასეთი ნიადაგები მცირე სიმძლავრისაა და ძლიერ ჩამორეცხილია[77].

აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობის ამაღლებული ზონის ნიადაგები წარმოდგენილია სტეპის ყავისფერი და შავმიწა ნიადაგებით. ამ ზონაში ფართოდ არის განვითარებული მევენახეობა, მემარცვლეობა, მეხილეობა და სოფლის მეურნეობის სხვა დარგები.

ცხრილი 2.1-ში([87]-ის მიხედვით) წარმოდგენილია მონაცემები კახეთის

ზოგიერთ დასახლებულ პუნქტში მიწისპირა ფენის ნიადაგის სახეობისა და მისი ქიმიური შემადგენლობის შესახებ.

ძირითადად, კახეთის ნიადაგების დამლაშება სულფატურ და ჰიდროკარბონატულ ხასიათს ატარებს, რადგანაც იქ ქლორი თითქმის არ არის. კირის მაღალი შემცველობის დროს დამლაშება წარმოდგენილია თაბაშირის სახით[87].

კახეთის შავმიწა ნიადაგების მუქი შეფერილობის მიუხედავად ისინი არ გამოირჩევიან ორგანული ნივთიერებების (ჰუმუსი) მაღალი შემცველობით. მათში ორგანული ნივთიერებების საერთო რაოდენობა საშუალოდ 4 – 6 %-ს არ აღემატება. ჰუმუსის შემცველობით კახეთის ნიადაგი მუქი-ყავისფერი ნიადაგების რიცხვს მიეკუთვნება.

ამრიგად კახეთის რეგიონის ნიადაგები ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით მრავალფეროვანია.

ძლიერი კონვექციური ნაკადების დროს, რომლის დროსაც ადგილი აქვს ატმოსფერული ნალექების წარმოქმნასა და მათ მოსვლას მიწის ზედაპირზე, იზრდება მიწისპირა ფენაში შემავალი ქიმიური ელემენტებისა და იონების ატმოსფეროს მაღალ ფენებში, და შესაბამისად ატმოსფერულ ნალექებში, მოხვედრის ალბათობა. მიწის ზედაპირიდან ღრუბელში მოხვედრილი იონებისა და ქიმიური ელემენტების უმრავლესობა წარმოადგენენ ე.წ. კონდენსაციის ცენტრებს და მათზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ნალექების მოსვლა, ხოლო მათ რაოდენობაზე კი - ნალექების ინტენსივობა და ჯამური რაოდენობა. ამის გამო ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის ე.წ. ტერიგენულ ნაწილს განსაზღვრავს მიწისპირა ფენაში შემავალი ქიმიური ელემენტები და იონები.

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის დანარჩენ ნაწილს განაპირობებს ე.წ. ანთროპოგენური წარმოშობის ნივთიერებები, რომელთა წყაროს წარმოადგენენ: მრეწველობა, ტრანსპორტი, სოფლის მეურნეობა და სხვა.

ცხრილი 2.1.

კახეთის ზოგიერთ დასახლებულ პუნქტში მიწისპირა ფენის ნიადაგის სახეობა და მისი ქიმიური შემადგენლობა %%-ში([87]-ის მიხედვით)

დასახლებული პუნქტი	ნიადაგის სახეობა	ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის შემცველობა %%				
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
სართიჭალა	შავმიწა ნიადაგი	0.003	0.004	0.023	0.0030	0.002
უდაბნო	შავმიწა ნიადაგი	0.001	0.004	0.021	0.003	0.001
სამგორი	თაბაშირიანი	0.005	0.122	0.063	0.030	0.005
გარდაბანი	ნაკლებად დამლაშებული	0.008	0.024	0.044	0.020	0.011
გარდაბანი	ძლიერად დამლაშებული	0.036	0.024	0.124	0.028	0.008
გარდაბანი	საშუალო დამლაშების, წაბლისფერი	0.022	0.022	0.084	0.006	0.004
ბადიაური		0.045	0.130	0.130	0.030	0.012
ჩათმა		0.079	0.037	0.199	0.010	0.003
ყვარელი	მურა შავმიწა ნიადაგი	0.014	0.004	0.080	0.005	0.002
ტარიბანა	წაბლისფერი ნიადაგი	0.003	0.094	0.058	0.012	0.005

ტერიგენული ნივთიერებების ატმოსფერულ ნალექებში მოხვედრის ალბათობა გარკვეული სიზუსტით მუდმივი თუ რჩება დროსა და სივრცეში, ანთროპოგენური ნაწილის ვარიაციები დამოკიდებულია მხოლოდ ადამიანის საქმიანობაზე. ამის გამო

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის დროში და სივრცეში ცვალებადობის სისტემატიური შესწავლა წარმოადგენს დღევანდელი ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას, რათა დროულად იქნას გამოვლენილი ის მანვე ანთროპოგენური ფაქტორები, რომელმაც შეიძლება გამოუსწორებელი ზიანი მიაყენოს ადამიანის გარემომცველ გარემოს და, შესაბამისად, მის ჯანმრთელობას.

2.2. ატმოსფერული ნალექების შეგროვების, შენახვის და ქიმიური ანალიზის ჩვენს მიერ გამოყენებული მეთოდები.

ნალექების ქიმიური ანალიზის შედეგად მიღებული შედეგების საიმედოობას ძირითადად განსაზღვრავს სინჯების აღებისა და მისი შენახვის პირობები. კვლევის ამ დასაწყის ეტაპზე დადგენილი პირობებიდან უმნიშვნელო გადახვევამაც კი შეიძლება სავსებით გამოუსადეგარი გახადოს აღებული სინჯი[31,88,89,90].

ატმოსფერული ნალექების სინჯები, რომელიც სტაციონალურ მეტეოსადგურებზე ჩვეულებრივი წვიმსაზომებით გროვდება[7,8,90,91,92], ქიმიური ანალიზისათვის გამოუსადეგარია, რადგანაც ასეთნაირად შეგროვილი წვიმის წყლის რეალური ქიმიური შემადგენლობა შეიძლება შეიცვალოს მასალისაგან, რომლისაგაც დამზადებულია წვიმსაზომი (ის დამზადებულია მოთუთიებული რკინისაგან, ან ალუმინისაგან). ნალექების სინჯების შენახვა და ტრანსპორტირება არ არის რეკომენდებული მინის ჭურჭლებშიც, რადგანაც ადგილი აქვს ჭურჭლის კედლების გამოტუტვას, რაც იწვევს სინჯებში ნატრიუმის, კალციუმის და სხვ. კონცენტრაციების გაზრდას. ამის გამო ჩვენ გადავწყვიტეთ, რომ ნალექების სინჯების ასაღებად, შესანახად და ტრანსპორტირებისათვის გამოგვეყენებინა სინთეზური მასალისაგან დამზადებული ჭურჭელი.

ჩვენს მიერ გაანალიზებულ ატმოსფერული ნალექების სინჯებს ვაგროვებდით ორგანული მინისაგან დამზადებული ძაბრის საშუალებით მიწის ზედაპირიდან 2 მ.-ის სიმაღლეზე არა ნაკლებ 20 - 30 მეტრის დაშორებით ხეებისა და ნაგებობებისაგან. ძაბრის ბოლო ჩაშვებული იყო პოლიეთილენის ჭურჭელში, რომელსაც ეხურა სახურავი. ნალექების მიმღები ძაბრი და ჭურჭელი მტვრისაგან დაცული იყო პოლიეთილენის აფსკით, რომლისგანაც ეს დანადგარი თავისუფლდებოდა მხოლოდ წვიმის დაწყების წინ. ნალექის მიმღები ძაბრის ფართი დაახლოებით 2500 სმ²-ის ტოლი იყო. ძაბრის ზედაპირი და მიმღები ჭურჭელი სინჯის აღების წინ ირეცხებოდა გამოხდილი წყლით.

სინჯის აღება წარმოებდა ნალექის მოსვლის დასაწყისიდან მისი მოცემულ ადგილას დამთავრებამდე.

ნალექებში არამდგრადი ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციების და წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის განსაზღვრა წარმოებდა სინჯის აღების დამთავრებისთანავე კვლევის რეგიონში ორგანიზებული სავლე ბაზის ქიმიურ ლაბორატორიაში. ნალექების სინჯების ექსპრეს ქიმიურ ანალიზში მონაწილეობდა ნაშრომის ავტორიც. ატმოსფერულ ნალექებში სხვა ქიმიური

კომპონენტების ანალიზი გაკეთებულია თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ანალიზური ქიმიის კათედრის ლაბორატორიაში პროფესორ გ. სუპატაშვილის ხელმძღვანელობით, რისთვისაც ავტორი ღრმა პატივისცემით უხდის მადლობას.

საკვლევი რეგიონი მცირენალექიან ზონას განეკუთვნება, ამიტომ ატმოსფერული ნალექების სინჯები გარკვეული გამონაკლისის გარდა მცირე მოცულობის იყო. ამასთან ერთად აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერული ნალექები სუსტად მინერალიზებულია. ზემოთაღნიშნული გარემოება მნიშვნელოვნად ართულებდა სინჯების ქიმიურ ანალიზს.

ატმოსფერული ნალექების სინჯებში გარდა pH-ისა ჩვენს მიერ განსაზღვრულია: Cl, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, ბიოგენური ნივთიერებები: NH₄⁺, NO₂, NO₃, P, აგრეთვე მიკროელემენტები: Pb²⁺, Cu²⁺, Fe, I⁻, Br, B და სხვა.

ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელი ისაზღვრებოდა pH-673M ტიპის ელექტრო პოტენციომეტრით. pH-ის განსაზღვრის სიზუსტე 0.04 pH ერთეულის ტოლია. ხელსაწყოს გრადუირებასა და პერიოდულ შემოწმებას ვაწარმოებდით წინასწარ ცნობილი pH-ის მქონე ბუფერული ხსნარებით.

ნალექის სინჯებში ძირითადი იონების (Cl, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) კონცენტრაციები უმეტესწილად ისაზღვრებოდა მიკრომოცულობითი მეთოდებით. ტიტრებად გამოყენებული იყო 0.01 – 0.001 ნორმალური ხსნარები, რომელთა ტიტრები ყოველი ანალიზის სერიების წინ მოწმდებოდა. ტიტრირება ხდებოდა 0.01 მლ-იანი დანაყოფების მქონე მიკრობიურეტის გამოყენებით.

სინჯებში ქლორის შემცველობა ისაზღვრებოდა მერკურიმეტრით [93] 25-50 მლ წყლის კონცენტრატში.

ჰიდროკარბონატ იონებს ვსაზღვრავდით აციდომეტრულად. ინდიკატორად გამოყენებული იყო მაღალი მგრძნობიარობის მქონე ინდიკატორი შინაგანი შუქფილტრით.

კალციუმის და მაგნიუმის იონების კონცენტრაციები ნალექებში განსაზღვრულ იქნა კომპლექსომეტრული მეთოდით[94].

სულფატ იონების კონცენტრაცია განისაზღვრა ფოტოტურბიდიმეტრული მეთოდით[95] სინჯის 25 მლ-იან კონცენტრატში.

ნატრიუმის იონის კონცენტრაცია სინჯებში განსარღვრულ იქნა ფოტომეტრული მეთოდით ΦΠΦ-58 ტიპის ფოტომეტრის გამოყენებით. ანალიზის სიზუსტე მოწმდებოდა გასაზომი სიდიდის მრავალჯერ გაზომვით, აგრეთვე ანიონებისა და კათიონები მილიგრამექვივალენტების ჯამების ერთმანეთთან შედარებით. როგორც წესი ასეთი მეთოდით ერთსა და იმავე სინჯში რამდენჯერმე განსაზღვრული ნატრიუმის იონის კონცენტრაციების მნიშვნელობებს შორის განსხვავება ±10%-ს არ აღემატებოდა, რაც სავსებით მისაღებია მცირედ მინერალიზებული წყლების ქიმიური ანალიზის დროს.

ბიოგენური ნივთიერებების კონცენტრაციები ისაზღვრებოდა ФЕК-М და ФЕК-М-56 ტიპის ფოტომეტრებით. ნიტრატების კონცენტრაციის განსაზღვრავად გამოიყენებოდა დიფენილამინი, ნიტრიტების – გრისის რეაქტივი, ხოლო ამონიუმის – ნესლერის რეაქტივი.

ფოსფატ იონების კონცენტრაციები განსაზღვრულია ჰეტეროპოლიმჟავების სახით მოლიბდენის ამონიუმის გამოყენებით[96].

ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა მიკროელემენტების უმნიშვნელო შემცველობის გამო მათი განსაზღვრის მიზნით განსასაზღვრავი კომპონენტის კონცენტრირებასთან ერთად გამოყენებულ იყო ქიმიური ანალიზის მაღალმგრძობიარე მეთოდები.

სპილენძისა და რკინის იონების კონცენტრაციები განსაზღვრებოდა ფოტომეტრული მეთოდით, სადაც რეაგენტად გამოიყენებოდა ტყვიის დიეთილდითიოკარბამატი და ფენანტროლინი[97].

ცინკისა და ნიკელის იონების კონცენტრაციები განსაზღვრულ იქნა ექსტრაქციული მეთოდით დითიზონატების სახით[98].

ატმოსფერულ ნალექებში ბორის კონცენტრაციის განსასაზღვრავად გამოყენებულ იქნა მაღალი მგრძობიარობის მქონე ექსტრაქციულ-ფოტომეტრული მეთოდი, რომელიც ემყარება კრისტალური იისფერი BF₄-ის წარმოქმნას[98].

ნალექებში იოდისა და ბრომის იონების განსასაზღვრავად შერჩეულ იქნა ვ. ხუხიას მიერ შემოთავაზებული[99] მაღალი საიმედოობის მიკრომოცულობითი იოდომეტრული მეთოდი. კონცენტრაციების განსაზღვრა ხდებოდა ტუტე გარემოში 1-2 ლ. ატმოსფერული ნალექის აორთქლების გზით მიღებულ კონცენტრატებში.

ფტორის იონის განსასაზღვრავად არსებობს რამდენიმე მეთოდი [100,101], რომელთაგან შერჩეულ იქნა ცირკონ-ერიოქრომცინიდური მეთოდი, რომელიც ხასიათდება თითქმის ერთი რიგით უფრო მაღალი მგრძობიარობით ვიდრე სხვა მეთოდები[101].

განსაკუთრებულად შრომატევადი და რთულია ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიის კონცენტრაციის განსაზღვრა. ამ მიმართულებით ჩვენს ხელთ არსებული ლიტერატურის ანალიზმა აჩვენა, რომ ბუნებრივ წყლებში ტყვიის კონცენტრაციის განსასაზღვრავად ყველაზე ხშირად იყენებენ ატომურ-აბსორბციულ[102], ფოტომეტრულ[103], შედარებით იშვიათად – სპექტრალურ[104,105] და ელექტროქიმიურ[97] მეთოდებს. ატომურ-აბსორბციული მეთოდი ხასიათდება ანალიზის ჩატარების სისწრაფითა და მაღალი მგრძობიარობით[102]. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ მაღალი თეორიული სელექტიურობა, რომლითაც გამოირჩევა აღნიშნული მეთოდი, ხშირ შემთხვევაში პრაქტიკულად არ ამართლებს[106]. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს ტყვიის ატომიზაციის პროცესი[106], არასელექტიური შთანთქმა, ან დიდი ოდენობით რკინისა და მაგნიუმის არსებობა სინჯში[102]. ხსენებული ფაქტორების უგულვებელყოფამ, განსაკუთრებით სინჯში ტყვიის მცირე შემცველობის დროს, შეიძლება უხეშ ცდომილებამდე მიგვიყვანოს.

მიუხედავად ბუნებრივ ობიექტებში ტყვიის მიკრორაოდენობის განსაზღვრის საქმეში დიდი მიღწევებისა, ფოტომეტრული მეთოდი მისი ხელმისაწვდომობის, სიზუსტისა და მიღებული შედეგების საიმედოობის გამო, სხვა მეთოდებს შორის, ინარჩუნებს კონკურენციის უნარს. ტყვიისათვის საუკეთესო ფოტომეტრულ რეაგენტად ითვლება დითიზონი[104]. KCN-თან ერთად მეთოდი პრაქტიკულად სელექტიურია [103,107].

სამეცნიერო ლიტერატურაში აღწერილია წყალში დითიზონის გამოყენებით ტყვიის კონცენტრაციის განსაზღვრის რამდენიმე ვარიანტი [104,107]. დითიზონის გამოყენებით ტყვიის კონცენტრაციის განსაზღვრის ექსტრაქციულ-ფოტომეტრული მეთოდის სხვსდასხვა ვარიანტების შედარებითა ანალიზმა გვაჩვენა, რომ ხსნარში 1-10 მკგ. ოდენობით Pb^{2+} -ის განსაზღვრისას საუკეთესოდ შეიძლება ჩაითვალოს ე.წ. «ერთფეროვანი» ვარიანტი.

ცხრილი 1.3.3

კახეთის რეგიონის სხვადასხვა ადგილების ნალექებში ზოგიერთი იონის კონცენტრაციების და pH-ის მრავალწლიური საშუალო მნიშვნელობები

სიხვის ადგილი	სინჯების რაოდენობა	pH	მთავარი იონები მგ/ლ						Σ	წყლის ინდექსი	ური ნივთიერებები
			SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	NH_4^+			
რუსიპირი	349	6.66	1.1	3.9	5.8	1.3	0.6	2.3	15.4	Ca^{2+}	0.31
ენისელი	23	5.86	1.5	7.3	5.2	1.6	0.9	4.8	21.3	Si^{IV}	0.05
საბუე	18	6.14	1.7	4.5	8.4	1.7	0.8	4.5	21.6	Ca^{2+}	0.04
ყანდაურა	28	6.59	1.3	4.4	3.4	1.0	0.5	2.3	12.9	Si^{IV}	0.42
ვეძები	39	6.12	0.7	3.2	2.2	0.7	0.4	1.4	8.6	Si^{IV}	0.11
ახსაბარი	35	6.31	1.1	4.0	5.5	1.3	0.1	2.2	14.2	Ca^{2+}	0.12
მთა თელა-ვის ცივი	66	6.31	1.1	3.7	6.5	1.4	0.7	2.7	16.1	Ca^{2+}	0.22
საშუალოდ კახეთის რეგიონისათვის	558	6.52	1.1	4.0	5.0	1.3	0.7	2.6	15.0	Si^{IV}	0.20
საშუალოდ საქართველოსათვის	768	5.4	1.1	3.2	5.9	1.5	0.5	1.7	13.9	Ca^{2+}	0.49

NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
0.01	1.30	0.09
0.05	4.48	0.09
0.04	2.25	0.15
0.04	1.57	0.12
0.02	0.53	0.12
0.05	1.34	0.12
0.03	1.38	0.09
0.03	1.58	0.12
0.01	0.48	0.09

სინჯის აღების ადგილი	pH		Cl ⁻ მგ/ლ		SO ₄ ²⁻ მგ/ლ		HCO ₃ ⁻ მგ/ლ		Na ⁺ მგ/ლ	
	მინ	მაქს	მინ	მაქს	მინ	მაქს	მინ	მაქს	მინ	მაქს
ს. რუისპირი	3.9	7.85	0.03	9.4	0.00	18.40	0.00	30.90	0.00	17.87
მთა თელავის- ცივი	5.05	7.60	0.10	6.30	0.00	17.00	0.00	22.87	0.00	8.2
მთა ახსაბარი	5.45	7.10	0.10	3.63	1.44	9.00	0.00	23.10	0.10	5.6
მთა ვეძები	4.95	7.45	0.05	2.26	1.00	10.48	0.00	13.4	0.05	0.35
ს. ყანდაურა	6.45	7.15	0.26	4.34	2.24	17.00	0.00	18.30	0.15	4.67
ს. ენისელი	4.90	6.75	0.56	3.38	0.00	20.30	0.00	46.42	0.48	4.88
ს. საბლუ	4.96	6.63	0.79	2.70	6.6	6.6	0.00	18.57	0.15	2.10
საშუალო	3.9	7.85	0.08	9.4	0.00	20.30	0.00	46.42	0.00	17.87

გრილი 13.4
 კახეთის რეგიონის სხვადასხვა ადგილის ნალექებში ზოგიერთი იონის კონცენტრაციების და pH-ის ექსტრემალური მნიშვნელობები.

ცრილი 13.4 (გაგრძელება)

ვახეთის რეგიონის სხვადასხვა ადგილის ნალექებში ზოგიერთი იონის კონცენტრაციების და pH-ის ექსტრემალური მნიშვნელობები.

Ca ²⁺ მგ/ლ	მიწ	მაქს	Mg ²⁺ მგ/ლ		NH ₄ ⁺ მგ/ლ		NO ₃ ⁻ მგ/ლ		NO ₂ ⁻ მგ/ლ		P _{არსობა} მგ/ლ		D _p მგ/ლ
			მიწ	მაქს	მიწ	მაქს	მიწ	მაქს	მიწ	მაქს	მიწ	მაქს	
0.10		15.70	0.00	3.54	0.00	4.56	0.00	9.30	0.00	1.53	0.000	1.185	1.21
0.24		13.00	0.08	2.26	0.00	1.26	0.00	4.75	0.00	0.34	0.000	0.064	2.06
0.58		5.29	0.16	2.56	0.00	0.54	0.00	5.50	0.00	0.27	0.000	0.072	4.09
0.25		5.86	0.09	0.90	0.00	0.54	0.00	3.10	0.00	0.05	0.002	0.076	2.18
0.71		10.30	0.17	1.73	0.00	0.90	0.00	4.00	0.00	0.25	0.000	0.088	4.57
0.72		18.88	0.02	1.41	0.00	0.27	0.00	9.30	0.00	0.34	0.008	0.060	5.06
1.64		6.82	0.38	1.6	0.00	0.27	0.31	6.20	0.00	0.4	0.012	0.052	8.15
0.10		18.88	0.00	3.54	0.00	4.56	0.00	9.30	0.00	1.58	0.000	0.185	1.21

68.97	31.99	94.82	43.92	25.29	39.76	62.11	68.97	მაქს	
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	--

თავი III. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ჰიდროქიმიური დახასიათება.

3.1. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციის მნიშვნელობათა სტატისტიკური ანალიზი

ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებისას, როცა საქმე ეხება სიდიდეთა გასაშუალებულ მნიშვნელობებს, საჭიროა გამოყენებული მასალის სტატისტიკური დახასიათება, რაც გამოიხატება იმაში, რომ საძიებო სიდიდის საშუალოსთან ერთად უნდა შეფასდეს მისი მოდალური მნიშვნელობა, მედიანა, საშუალო კვადრატული გადახრა, ექსტრემუმები, დისპერსია, ექსცესი და სხვა მახასიათებლები. სასურველია აგრეთვე გამოკვლულ იქნას ექსპერიმენტული სიდიდის ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეების განაწილების სახე და საჭიროების შემთხვევაში – ასიმეტრიისა და ექსცესის კოეფიციენტებიც.

ცხრილებში 3.1 და 3.2-ში მოყვანილია აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის – pH-ის, Cl⁻-ის, SO₄²⁻-ის, HCO₃⁻-ის, Na⁺-ის, Ca²⁺-ის, Mg²⁺-ის იონების, მიკროელემენტების - Pb²⁺-ის, I⁻-ის, CY²⁺-ის, P⁵⁺-ის და ბიოგენური იონების - NH₄⁺-ის, NO₃⁻-ის, NO₂⁻-ის კონცენტრაციების, აგრეთვე ძირითადი იონების კონცენტრაციების ჯამის სტატისტიკური მახასიათებლები.

ორთავე ცხრილის სტრიქონში «მინ» თითქმის ყველა ქიმიური ელემენტისათვის, გარდა Σ₀ და pH-სა ნაჩვენებია რიცხვი 0, რაც ბუნებრივია, ნიშნავს, რომ ნალექებში იმ იონების კონცენტრაციები მათი განსაზღვრის მგრძობიარობაზე დაბალი იყო.

სინჯების რაოდენობა, რომელშიც ისაზღვრებოდა ქიმიური შემადგენლობა, ყველა ელემენტისათვის ერთნაირი არ არის (იხ. ცხრილში 3.1 და 3.2 სტრიქონი «სინჯების რაოდენობა»). ამის მიზეზი იყო ის, რომ ზოგჯერ შეგროვებული ნალექების მოცულობის სიმცირის გამო, ქიმიური მეთოდის მოთხოვნებიდან გამომდინარე, ყველა საჭირო ელემენტის კონცენტრაციის განსაზღვრა ვერ ხერხდებოდა.

კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ძირითადი იონების კონცენტრაციების ჯამის, წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის – pH-ის, Cl⁻-ის, SO₄²⁻-ის, HCO₃⁻-ის, Na⁺-ის, Ca²⁺-ის და Mg²⁺-ის იონების კონცენტრაციების სტატისტიკური მახასიათებლები

სტატისტიკური პარამეტრები	Σ, მგ/ლ	pH	იონთა კონცენტრაციები მგ/ლ					
			Cl	SO ₄ ²⁺	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
საშუალო	15,40	6,31	1,18	4,53	5,36	1,25	2,47	0,66
მოდა	10,57	6,91	1,08	2,5	1,64	1,51	1,17	0,67
მედიანა	11,90	6,35	0,85	3,50	3,01	0,66	1,69	0,52
საშ. კვ. გადახრა	3,59	0,79	1,12	1,87	2,62	1,37	1,60	0,77
მინ	1,21	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
მაქს	94,82	8,30	9,40	21,40	46,42	17,87	18,88	6,30
ასიმეტრია	1,34	-0,60	0,09	1,08	1,42	0,06	0,60	-0,01
ექსცესი	6,77	1,30	12,06	3,98	6,52	31,22	9,75	28,60
დისპერსია	166,31	0,40	1,56	12,30	46,92	3,48	6,62	0,36
სინჯების რაოდენობა	572	545	572	572	572	572	572	572

სინჯების მინიმალური რაოდენობა, რომელშიდაც განსაზღვრულ იქნა იოდი 126-ის ტოლია, მაქსიმალური, როცა გამოთვლილ იქნა ყველა ძირითადი იონის კონცენტრაცია, ტოლია 572-ის.

იმის დასამტკიცებლად, რომ ჩვენს მიერ მიღებული საკვლევი სიდიდეების საშუალო მნიშვნელობები არის თუ არა ნიშნადი, ანუ ეს სიდიდეები სხვა ამონაკრების შემთხვევაში გარკვეული სიზუსტით დაემთხვევა თუ არა ჩვენს მიერ მიღებულ მნიშვნელობებს, ამის გა-სარკვევად ყველა მათგანისათვის გამოყენებულ იქნა ე.წ. სტიუდენტის ტ კრიტერიუმი[108]. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ უკლებლივ ყველა საშუალო მნიშვნელობა, რომელიც ჩვენს მიერ იქნა მიღებული, ნიშნადია 95%-იანი საიმედოობით.

კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში Pb^{2+} -ის, I^- -ის, Cy^{2+} -ის, P^{5+} -ის, NH_4^+ -ის, NO_3^- -ის და NO_2^- -ის იონების კონცენტრაციების სტატისტიკურ მახასიათებელთა ცხრილი

სტატისტიკური მახასიათებლები	იონთა კონცენტრაციები მგ/ლ						
	Pb^{2+}	I^-	Cy^{2+}	P^{5+}	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
საშუალო	8,37	10,56	2,25	38,37	0,32	0,04	1,57
მოდა	3,10	8,45	0,63	40,00	0,00	0,00	0,00
მედიანა	6,00	9,20	1,95	40,00	0,12	0,01	1,00
საშ. კვ. გადახრა	2.81	2.47	1.39	5.30	0.75	0.36	1.26
მინ.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
მაქს.	37,00	30,80	9,50	260,00	4,60	1,53	9,30
ასიმეტრია	2,95	0,87	1,62	-0,31	0,42	0,12	1,24
ექსცესი	1,98	0,68	1,06	17,68	21,26	91,67	2,81
დისპერსია	62,04	37,41	3,71	788,73	0,31	0,02	2,53
4 სინჯების რაოდენობა	331	126	214	265	421	420	400

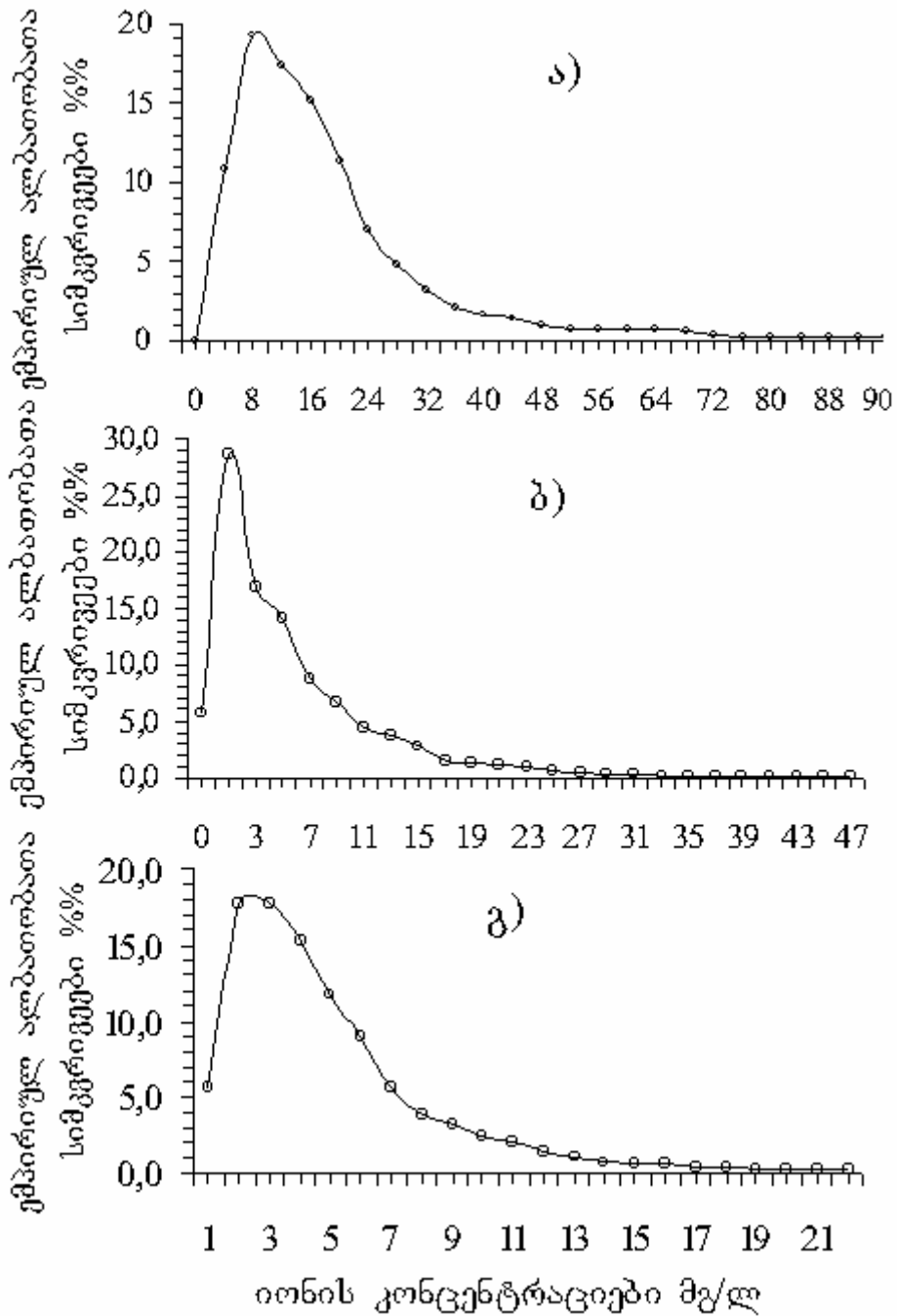
ეს განაპირობა იმან, რომ სინჯების მინიმალური რაოდენობაც კი, რომელიც ჩვენ გაგვაჩნია, მეტეოროლოგიის ამოცანებისათვის სავსებით საკმარისია სტატისტიკურად უზრუნველყოფილი დასკვნების გამოსა-ტანად.

შესწავლილ იქნა აგრეთვე საკვლევი სიდიდეების ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეების განაწილებები.

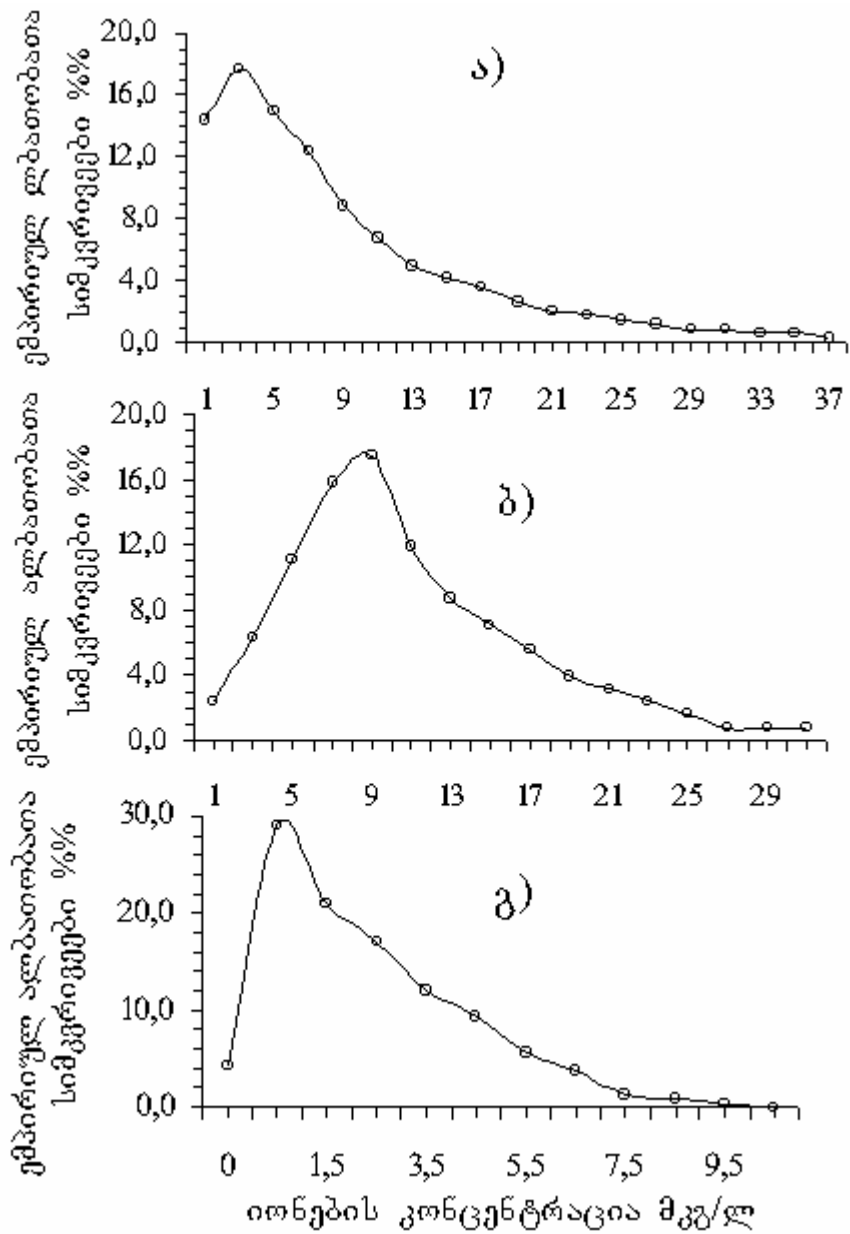
განაწილებათა გრაფიკები წარმოდგენილია ნახ. 3.1 – 3.5-ზე.

როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, საკვლევი სიდიდეების უმრავლესობის ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივების განაწილება თითქმის ნორ-მალურია და ხასიათდება სხვადასხვა ნიშნის ასიმეტრიით (იხ. ცხრილი

ნახ. 3.1. ნალექებში ძირითადი იონების ჯამური (ა), HCO_3^- -ის (ბ) და



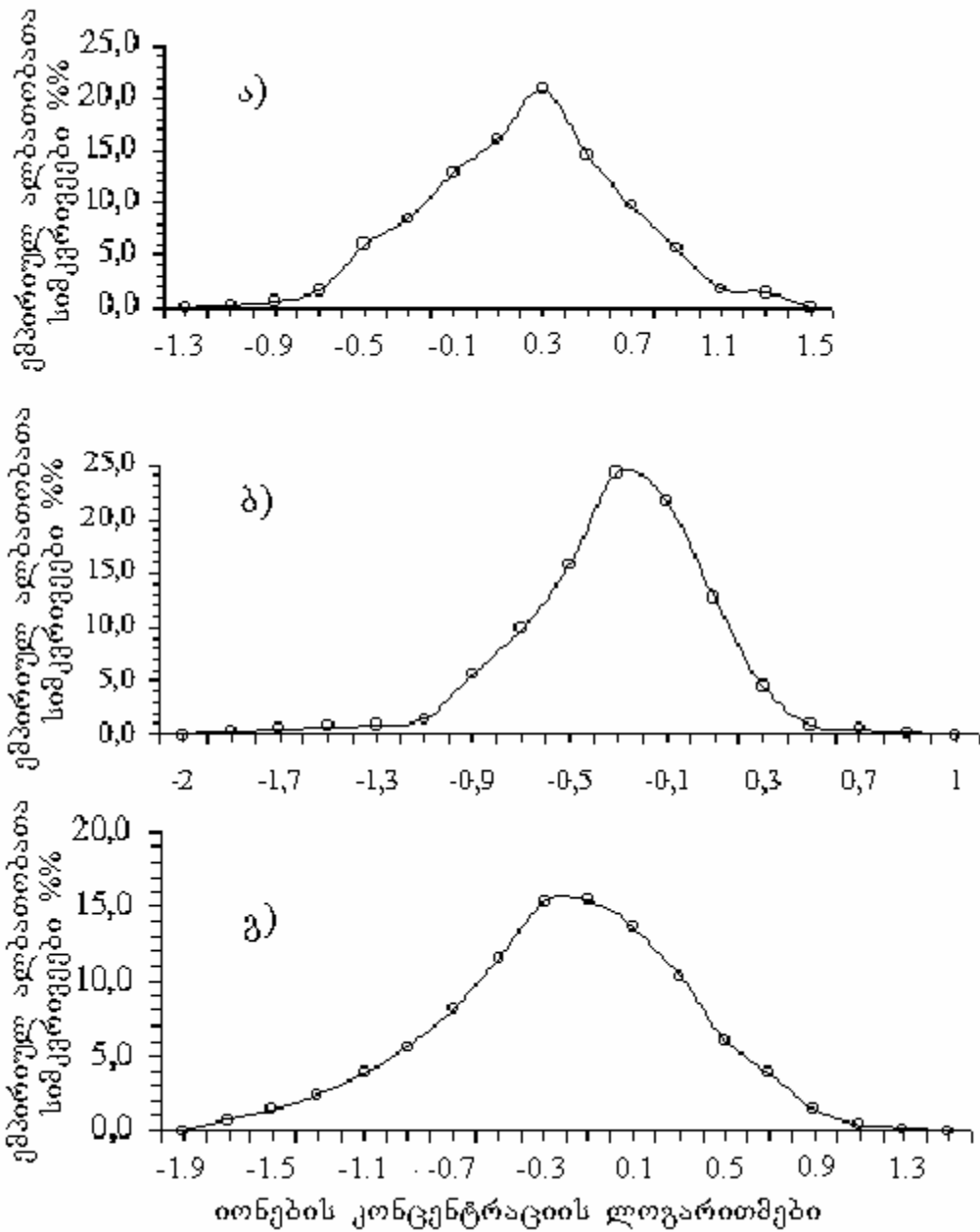
SO_4^{2-} -ის (გ) იონების კონცენტრაციების ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივების განაწილების გრაფიკები



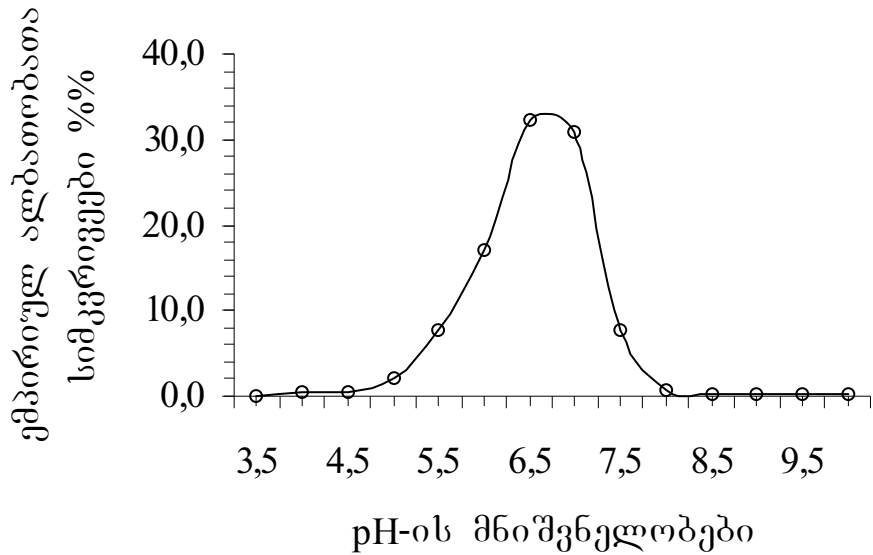
ნახ. 3.2. ნალექებში ტყვიის (ა), იოდის (ბ) და სპილენძის (გ) იონების კონცენტრაციების ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეების განაწილების გრაფიკები

3.1 და 3.2). ნალექებში კალციუმის, მაგნიუმის და ნატრიუმის იონების კონცენტრაციების ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეები ხასიათდება ლოგარითმნორმალური განაწილებით, ასევე სხვადასხვა ნიშნის ასიმე- ტრიით.

ნახ...3.3. ნალექებში კალციუმის (ა), მაგნიუმის (ბ) და ნატრიუმის (გ) იონების კონცენტრაციების ლოგარითმების

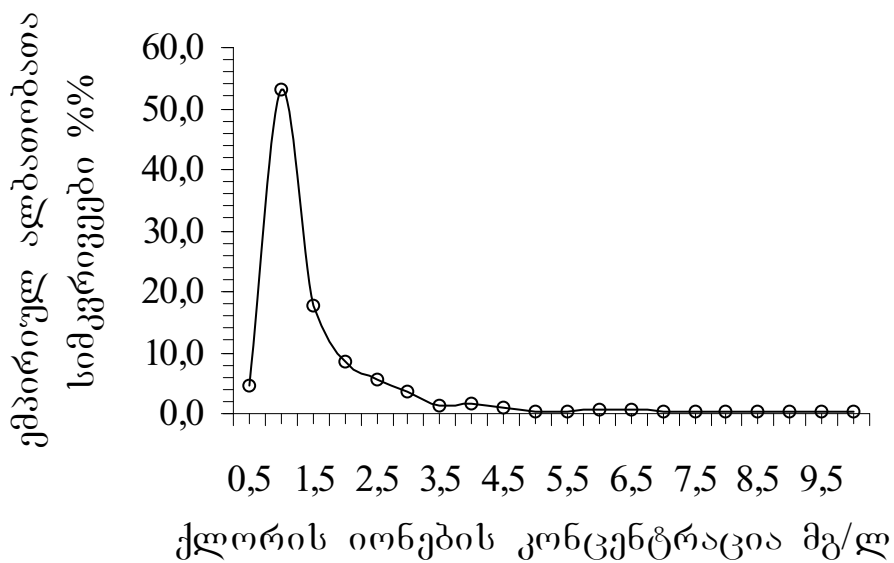


ემპირიული ალბათობათა სიმკვრივეების განაწილების გრაფიკები



ნახ. 3.4. ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივების განაწილების გრაფიკი

ნახ. 3.5. ნალექებში ქლორის იონების კონცენტრაციის



ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივების განაწილების გრაფიკი

რადგანაც კომპიუტერის მზა პროგრამა «Excel», რითაც დავამუშავეთ მონაცემთა ბაზის ძირითადი ნაწილი, ვერ უზრუნველყოფს მოდის ზუსტი მნიშვნელობის გამოთვლას, ამისათვის ჩვენ გამოვიყენეთ საკვლევი სიდიდეების ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივების განაწილებები

იმისათვის, რომ ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეების განაწილებიდან საძიებელი სიდიდის მოდალური მნიშვნელობა მივიღოთ, საჭიროა დავუშვათ, რომ თითოეულ პატარა ინტერვალში საძიებელი სიდიდის მნიშვნელობა იცვლება შემდეგი სახის განტოლების მიხედვით[117]:

$$f(x)=a_0+a_1x+a_2x^2,$$

სადაც:

$$a_0=\omega_0 - \Delta''/24; \quad a_1=(\omega_1 - \omega_{-1})/2; \quad a_2=\Delta''/2; \quad \Delta''=\omega_1 - 2\omega_0 + \omega_{-1};$$

აქ ω_i ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეა i -ურ ინტერვალში. ალბათობათა სიმკვრივე ინდექსით «0» აღნიშნავს ω -ს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო ω ინდექსებით «-1» და «1» აღნიშნავს ω -ს მნიშვნელობას მაქსიმუმიდან მარცხნივ და მის მარჯვნივ ინტერვალში შესაბამისად. $f(x)$ -ს ფუნქციის მაქსიმუმის პირობიდან პოულობენ:

$$\text{მოდა } M=[(\omega_{-1} - \omega_1)/2\Delta''] \cdot d + x_0,$$

სადაც d ინტერვალის სიგანეა, ხოლო x_0 იმ ინტერვალის შუა მნიშვნელობის შესაბამისი არგუმენტის სიდიდეა, სადაც იმყოფება მოდა.

აღნიშნული მეთოდით არის გამოთვლილი ყველა ჩვენს მიერ განხილული სიდიდეების მიდალური მნიშვნელობები

3.2. ატმოსფერული ნალექების ზოგადი ჰიდროქიმიური დახასიათება

აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერული ნალექები ჩვენი მონაცემების მიხედვით განეკუთვნება კალციუმის ჯგუფის სუსტ მჟავე ან სულფატურ-ჰიდროკარბონატულ წყლებს (იხ. ცხრილი 3.3). ამიტომ მას ზოგადად მიაკუთვნებენ ნალექების ისეთ სახეობას, რომელიც დამახასიათებელია კონტინენტური რეგიონისათვის.

კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების მოცულობის ერთეულში მთავარი იონების ჯამური რაოდენობის საშუალო მნიშვნელობა (Σ_i) სინჯის შეგროვების ადგილის მიხედვით მერყეობს 8.6÷21.6 მგ/ლ–ის ფარგლებში. Σ_i -ის აბსოლუტური მინიმალური მნიშვნელობა იყო 1.21 მგ/ლ (ს. რუისპირში), ხოლო მაქსიმალური – 94.82 მგ/ლ (მთა თელავის ცივი). საჭიროა აქვე აღინიშნოს, რომ ჯამური მინერალიზაციის ეს მნიშვნელობა ტომპსონის წესის თანახმად[115] დიდი ალბათობით (0.95) შეიძლება მივაკუთვნოთ მცდარ მნიშვნელობას. ამიტომ საკვლევი

რეგიონისათვის ($\Sigma_{\text{მაქს.}}=68.97$ მგ/ლ, რომელიც დაფიქსირებული იყო ს. რუისპირში, უნდა ჩავთვალოთ მინერალიზაციის მაქსიმუმად.

კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების შემცველობის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა 15.40 მგ/ლ-ის ტოლია. ჯამური მინერალიზაციის ეს მნიშვნელობა საკმაოდ ახლოსაა ანალოგურ სიდიდესთან მთელი საქართველოსათვის ($\Sigma_{\text{ი}}=13.9$).

მიუხედავად $\Sigma_{\text{ი}}$ -ის ცვლილების დიდი დიაპაზონისა სინჯების 75 %-ზე მეტ შემთხვევაში მისი მნიშვნელობა არ აღემატებოდა 20 მგ/ლ-ს. და საერთო რიცხვის მხოლოდ 2 % შემთხვევაში ძირითადი იონების ჯამური რაოდენობა აჭარბებდა 50 მგ/ლ-ს.

რეგიონში ნალექების ძირითადი რაოდენობა მოდის წლის თბილ პერიოდში, როცა ნალექები უფრო მინერალიზებულია და მეორე, კლიმატიც უფრო მშრალია, რაც აგრეთვე ნალექებში მინერალიზაციის გაზრდას უწყობს ხელს[40].

ის უმნიშვნელო განსხვავება, რომელიც აღინიშნება მთლიანად საქართველოს და კახეთის რეგიონის ნალექების ძირითადი იონების ჯამური მინერალიზაციის მნიშვნელობებს შორის აიხსნება სწორედ იმით, რომ კახეთის რეგიონის ნალექებში წლის თბილი პერიოდის ნალექის სინჯები ჭარბობს.

საქართველოს სხვა რეგიონებისაგან განსხვავებით კახეთის ატმოსფერულ ნალექებში სულფატების რაოდენობა გაზრდილია. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით ამის ახსნა შეუძლებელია. საქმე ის გახლავთ, რომ საკვლევი რეგიონის ნიადაგები მდიდარია თაბაშირით[87], აგრეთვე კლიმატის სიმშრალე და სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოები ქმნიან ხელსაყრელ პირობებს ტერიგენული აეროზოლების წარმოქმნისა და მათი ატმოსფეროში ტრანსპორტირებისათვის. იგივე ფაქტორებით არის გამოწვეული კახეთის ატმოსფერულ ნალექებში კალციუმის და ნიტრატ იონების გაზრდილი რაოდენობა.

ყოველწლიურად ატმოსფერულ ნალექებს კახეთის რეგიონის ნიადაგებში ყოველ კვადრატულ კილომეტრზე შეაქვს 10-დან 20 ტონამდე სხვადასხვა ნივთიერება. ევოლურ მონატანში ჭარბობს ადგილობრივი წარმოშობის იონები: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} და სხვა.

ამრიგად ატმოსფერულ ნალექებს კახეთის ნიადაგებში შეაქვს სხვადასხვა ქიმიურ ნივთიერებათა დიდი რაოდენობა, რომელიც ასრულებს მნიშვნელოვან როლს გეო-, ჰიდრო- და აგროქიმიურ პროცესებში.

ცხრილში 3.4 მოყვანილია კახეთის რეგიონის სხვადასხვა ადგილებში აღებული ნალექების სინჯებში ზოგიერთი ქიმიური ნივთიერების (არაორგანული და ორგანული) იონების კონცენტრაციათა ექსტრემალური მნიშვნელობები.

3.3. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელი pH

ანთროპოგენური ფაქტორების ზეგავლენით ატმოსფერული ნალექების მჟავიანობის გაზრდა იძენს გლობალურ ხასიათს და წარმოადგენს დღევანდელი უმწვავეს პრობლემას. ატმოსფერული ნალექების წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის pH-ის ბოლო დროს დაფიქსირებული შემცირების მიზეზები, გამომწვევი წყაროები და ზოგიერთი შედეგები დაწვრილებით არის აღწერილი სხვადასხვა ლიტერატურაში[9,109,110].

ატმოსფეროში მოხვედრილი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ნივთიერებების სპექტრი თავისი ქიმიური შემადგენლობით ძალიან ფართოა. მიუხედავად ამისა ატმოსფერული წყლების მჟავიანობის ხარისხს ძირითადად CO₂, SO₂, და SO₃, აგრეთვე გარკვეულ წილად NO_x იონები და ორგანული მჟავები განსაზღვრავენ[9,110]. ატმოსფერული ნალექების ძირითად ტუტე კომპონენტს წარმოადგენს ტერიგენული ჰიდროკარბონატი. CO₂-ის კონცენტრაციის მუდმივობის შემთხვევაში pH-ის წრფივ ზრდას HCO₃-ის ზრდა განაპირობებს[40].

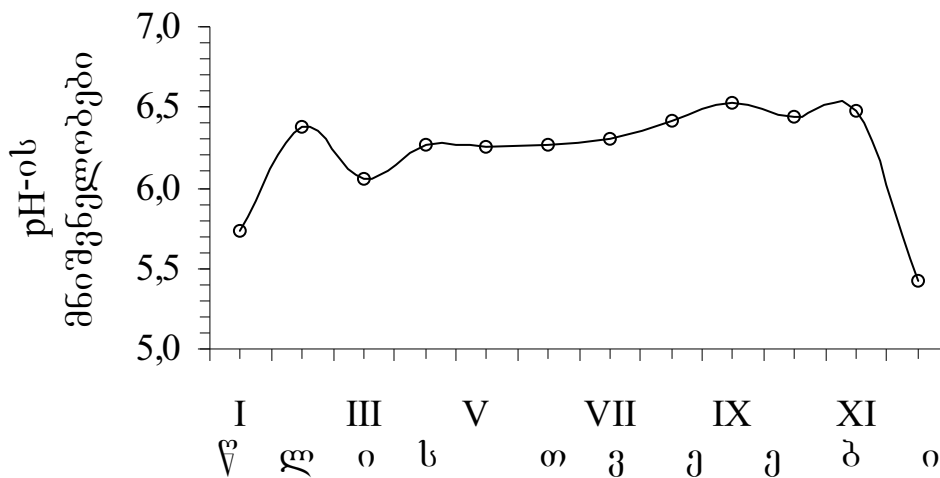
კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების pH-ის მნიშვნელობა 550-ზე მეტი სინჯის ქიმიური ანალიზის მონაცემების მიხედვით მერყეობს ფართო დიაპაზონში 3.90÷8.30, მაგრამ სინჯების 88% შემთხვევაში pH-ის მნიშვნელობა არ სცდებოდა 5.00÷7.00-ის ფარგლებს.

ჩვენს მიერ გაანალიზებული სინჯების მიხედვით კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა 6.31-ის, მოდა 6.91-ის, მედიანა 6.35-ის, საშუალო კვადრატული გადახრა კი 0.79-ის ტოლია. ემპირიულ ალბათობათა

სიმკვრივეების განაწილება, როგორც ნახ. 3.4-დან კარგად ჩანს, ემორჩილება ნორმალური განაწილების კანონს მცირე უარყოფითი ასიმეტრიით (ასიმეტრიის კოეფიციენტი ტოლია -0.60 -ის).

გამოკვლევულ იქნა pH-ის სეზონური და დღელამური ცვლილებები. წლის ცივი სეზონის (იანვარი, თებერვალი, მარტი, ნოემბერი და დეკემბერი) ატმოსფერული ნალექების სინჯების სიმცირის გამო (აღნიშნულ თვეებში მათი რაოდენობა 2 – 5 –ს არ აღემატება) წლის ცივი თვეებისათვის გამოთვლილი საშუალო მნიშვნელობები დიდი საიმედოობით არ გამოირჩევა, ამიტომ საკვლევი სიდიდეების სეზონური ცვლილება შესწავლილ იქნა აპრილი, მაისი, ივნისი, ივლისი, აგვისტო, სექტემბერი და ოქტომბრის თვეებისათვის.

ნახ. 3.6-ზე გამოსახულია ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის სეზონური ცვლილების მრუდი.



ნახ. 3.6. ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის pH-ის სეზონური ცვლილების მრუდი.

რაოდენობრივად შევაფასეთ pH-ის კორელაციური კავშირები. აღმოჩნდა, რომ pH სუსტად კორელირდება HCO_3^- -თან ($r=0.34$) და Ca^{2+} -თან ($r=0.34$), დანარჩენი იონების კონცენტრაციებთან pH-ის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი უმნიშვნელოა.

ატმოსფერული ნალექების pH-ის დღედამური და სეზონური განაწილება განისაზღვრება ბუნებრივი ტერიგენული კომპონენტების ტუტე-მჟავური (ან ფუძე-მჟავური) ხასიათით. ატმოსფერული ნალექების pH-ის მაქსიმალური სიდიდეები, ჩვეულებრივ, დაიკვირვება დღისით და წლის თბილ პერიოდში. ამას ხელს უწყობს ატმოსფეროს ტერიგენული აეროზოლებით დამტვერიალების ხელსაყრელი პირობები, კერძოდ, ატმოსფეროში HCO₃⁻-ის კონცენტრაციის ზრდა. pH-ის ზრდის ამ პროცესში გარკვეულ როლს თამაშობს CO₂-ის წყალში ხსნადობის შემცირება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად. გარდა ამისა წლის ცივ დროს ატმოსფეროში იზრდება მჟავური ოქსიდების ემისია ენერგეტიკული დანადგარებიდან.

ამრიგად, რაოდენობრივი თანაფარდობა ტერიგენურ HCO₃⁻-სა და ანთროპოგენურ SO₄²⁻-ს შორის ძირითადად განსაზღვრავს კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში წყალბადის იონების კონცენტრაციას.

3.4. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციებს შორის კორელაციური დამოკიდებულებები

კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში შემავალი სხვადასხვა ქიმიური ნივთიერებებისა და ელემენტების იონთა კონცენტრაციების შესახებ ჩვენს ხელთ არსებული მონაცემთა ბაზის გამოყენებით გამოვთვალეთ ურთიერთ წრფივი კორელაციის კოეფიციენტები. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 3.5. თანაბრად შევსების მიზნით ცხრილში მოყვანილია კოეფიციენტის ორ ორი სიმეტრიული (ერთი მეორესთან და მეორე პირველთან) და თავისთავთან კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობებიც.

ცხრილი 3.5
ნალექებში შემავალი ქიმიურ კომპონენტებს შორის ურთიერთ წრფივი კორელაციის კოეფიციენტები

	P ⁵⁺	MH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
P ⁵⁺	-0.05	0.05	0.12	0.32
MH ₄ ⁺	0.01	0.01	0.12	0.06
NO ₂ ⁻	-0.02	0.16	0.04	0.22
NO ₃ ⁻	0.01	0.29	0.03	0.28
	-0.07	-0.08	0.14	0.21
	0.00	-0.01	0.02	0.17
	-0.08	-0.02	0.12	0.37
	-0.06	0.06	0.07	0.26
	0.10	0.01	0.09	0.44
	-0.21	0.11	0.15	-0.06
	0.03	0.01	-0.04	0.13
	1	0.21	-0.10	0.07
	0.21	1	-0.03	0.04
	-0.10	-0.03	1	0.05
	0.07	0.04	0.05	1

	Σ_0	pH	Cl ⁻	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Pb^{2+}	I ⁻	Cu^{2+}
Σ_0	1	0.30	0.40	0.70	0.91	0.62	0.86	0.65	0.14	-0.04	-0.18
pH	0.30	1	0.04	0.13	0.34	0.01	0.34	0.26	-0.06	-0.06	-0.17
Cl ⁻	0.40	0.04	1	0.20	0.24	0.27	0.33	0.35	0.01	-0.12	-0.12
SO_4^{2-}	0.70	0.13	0.20	1	0.39	0.46	0.57	0.39	0.16	0.16	0.01
HCO_3^-	0.91	0.34	0.24	0.39	1	0.48	0.76	0.58	0.08	-0.14	-0.19
Na^+	0.62	0.01	0.27	0.46	0.48	1	0.29	0.24	0.12	0.13	-0.08
Ca^{2+}	0.86	0.34	0.33	0.57	0.76	0.29	1	0.59	0.16	-0.08	-0.21
Mg^{2+}	0.65	0.26	0.35	0.39	0.58	0.24	0.59	1	0.08	-0.13	-0.13
Pb^{2+}	0.14	-0.06	0.01	0.16	0.08	0.12	0.16	0.08	1	0.46	0.01
I ⁻	-0.40	-0.06	-0.12	0.16	-0.14	0.13	-0.08	-0.13	0.46	1	0.06
Cu^{2+}	-0.18	-0.17	-0.12	0.01	-0.19	-0.08	-0.21	-0.13	0.01	0.06	1
P^{5+}	-0.05	0.01	-0.02	0.01	-0.07	0.00	-0.08	-0.06	0.10	-0.21	0.03
NH_4^+	0.05	0.01	0.16	0.29	-0.08	-0.01	-0.02	0.06	0.01	0.11	0.01
NO_2^-	0.12	0.12	0.04	0.03	0.14	0.02	0.12	0.07	0.09	0.15	-0.04
NO_3^-	0.32	0.06	0.22	0.28	0.21	0.17	0.37	0.26	0.44	-0.06	-0.13

ძირითადი იონების ჯამური მინერალიზაცია (Σ_0), როგორც მოსა-ლოდნელი იყო, კარგ კორელაციურ კავშირშია SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , და Mg^{2+} -ის იონების კონცენტრაციებთან. მათ შორის კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 0.6 და 0.91-ის ფარგლებში იცვლება. ჯამურ მინერალიზაციაში ამ იონების წილად საერთო მინერალიზაციის 70-80 % მოდის, ხოლო მათი წყარო ტერიგენული წარმოშობისაა.

ნალექებში ტყვიის იონის კონცენტრაციის საერთო მინერალიზაციასთან კორელაციის კოეფიციენტი დაბალია. იგი ტოლია 0.14-ის. დაახლოებით ასეთივე

სუსტი კორელაციაა იოდის იონების კონცენტრაციასა და (Σ),-ს შორის – 0.18. ეს ასეც უნდა ყოფილიყო, რადგანაც იოდის ბუნებრივი წყარო საკვლევ რეგიონში არ მოიპოვება. რაც შეეხება ტყვიის იონებს, ისინი, გარდა ბუნებრივისა (ძირითადად ნიადაგები), არიან ანთროპოგენური წარმოშობის (პირველ რიგში ეთილირებული ბენზინი, შემდეგ ღრუბლებზე ზემოქმედების მიზნით ატმოსფეროში გაფრქვეული ტყვიის იოდიდის აეროზოლი).

წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელი ყველა ჩვენს მიერ განხილული ქიმიური კომპონენტის იონთა კონცენტრაციებთან ცუდ კორელაციურ კავშირში იმყოფება (კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც დაიკვირვება HCO_3^- , Ca^{2+} და Mg^{2+} -ს იონების კონცენტრაციებთან მერყეობს 0.26 და 0.34-ს შორის). ნალექებში pH-ის მნიშვნელობას განაპირობებს მათში გახსნილი CO_2 (რომლის კონცენტრაციასაც ნალექებში ჩვენ არ ვსაზღვრავდით), ხოლო ამ გაზის ხსნადობა წყალში მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე.

3.5. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა სეზონური და დღელამური ცვალებადობა

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობა განიცდის, როგორც სეზონურ, ისე დღელამურ ცვალებადობას.

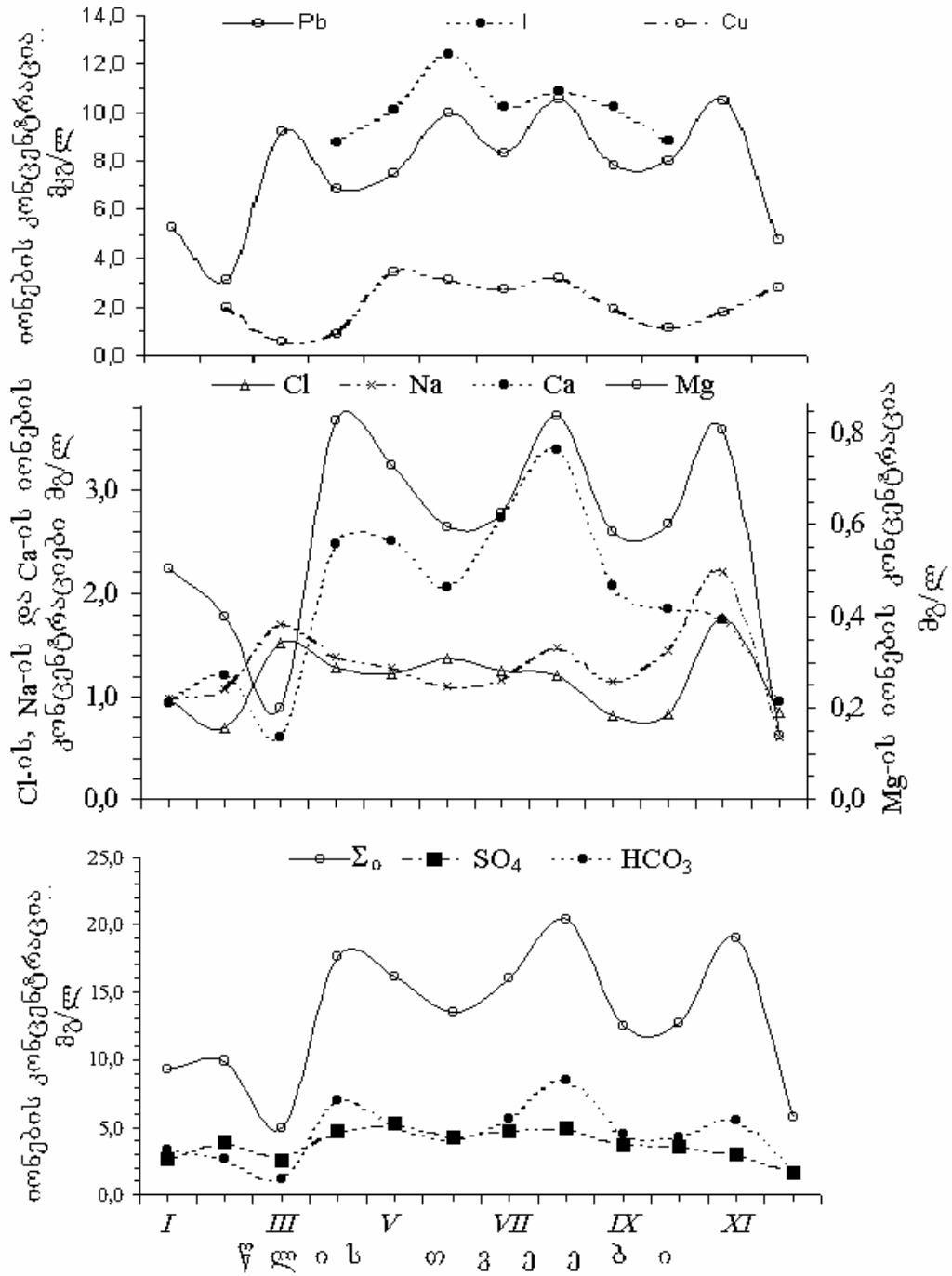
ატმოსფერულ ნალექებში შემავალი ქიმიური ნივთიერებებისა და ელემენტების იონების კონცენტრაციების სეზონისაგან დამოკიდებულების გრაფიკების მისაღებად, ჩვენს მიერ მოპოვებული სინჯების ქიმიური ანალიზის შედეგები დავყავით თვეების მიხედვით, გამოვთვალეთ კონცენტრაციების საშუალო თვიური მნიშვნელობები და შევისწავლეთ მათი სეზონისაგან დამოკიდებულების საკითხი. კვლევის შედეგები გრაფიკულად ნაჩვენებია ნახ 3.7-ზე. საჭიროა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად სინჯების საერთო რაოდენობის სოლიდურობისა, ზოგიერთ თვეში მათი რაოდენობის სიმცირის გამო, ამ თვეებისათვის საშუალო მნიშვნელობის საიმედოობა ძალიან დაბალია. ამის მიზეზი საკვლევ რეგიონის კლიმატური თავისებურებაა. ნალექების სინჯების სიმცირით გამოირჩევა წლის ცივი თვეები – ნოემბერი, დეკემბერი, იანვარი, თებერვალი და მარტი. აღნიშნული თვეების

მცირენალექიანობის გამო სინჯების რაოდენობა 5 – 8-ის ფარგლებში იცვლება. ჩვენ აღნიშნული თვეები ანალიზში მაინც ჩავრთეთ იმ პირობით, რომ ამ თვეებისათვის მიღებულ შედეგებს ექნება საორიენტაციო მნიშვნელობა. რაც შეეხება დანარჩენ თვეებს, ყოველ მათგანში სინჯების საშუალო რაოდენობა 50-ს აღემატება და მიღებული საშუალო მნიშვნელობები საკმარისი საიმედოობით ხასიათდება.

როგორც ჯამურ მინერალიზაციას, ისე თითქმის ყველა ძირითადი იონების კონცენტრაციების საშუალო მნიშვნელობებს წლის განმავლობაში გააჩნია რამდენიმე მაქსიმუმი, რომლებიც ძირითადად მოდის აპრილის, აგვისტოს და ნოემბრის თვეებზე. სუსტად მინერალიზებული ნალექები დამახასიათებელია მარტის და ივნისის თვეებისათვის, აგრეთვე სექტემბრის ბოლოსა და ოქტომბრის დასაწყისისათვის. აპრილს წინ უძღვის ნაკლებ ნალექიანი და ცივი თვეები, როცა დაბალია კონვექციური აქტივობა. ცივ თვეებში მოსული ნალექები ამის გამო ნაკლებად მინერალიზებულია. აპრილში ატმოსფეროს ქვედა ფენებში ტემპერატურის ზრდა ხელს უწყობს კონვექციური მოძრაობების გააქტიურებას, რაც იწვევს ატმოსფეროში სხვადასხვა ტერიგენული აეროზოლების დიდი რაოდენობით მოხვედრას. ამას გარდა გაზრდილი ტემპერატურა იწვევს წვიმის წვეთების ვარდნისას მათ ნაწილობრივ აორთქლებას, რაც ხელს უწყობს ნალექის მინერალიზაციის გაზრდას.

მაისში და ივნისში, მართალია ტემპერატურა მაღალია და შესაბამისად ძლიერია კონვექციური ნაკადებიც, მაგრამ ხანგრძლივი ნალექები იწვევს ატმოსფეროს გაწმენდას, შედეგად ივნის-ივლისის ნალექებში მნიშვნელოვნად კლებულობს მინერალიზაცია. აგვისტო-სექტემბერი, მართალია უხვი ნალექებით არ გამოირჩევა, მაგრამ ატმოსფეროს ქვედა ფენების მაღალი ტემპერატურის გამო იქმნება კარგი პირობა ნალექების მინერალებით გამდიდრებისათვის. ნალექების მინერალიზაციის კიდევ ერთი მაქსიმუმი ნოემბრის თვეზე მოდის. ამის მზეუი უნდა იყოს ოქტომბრის თვის სიმშრალე.

ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა მინერალები და ქიმიური ელემენტების იონთა კონცენტრაციების სეზონისაგან ჩვენს მიერ აღწერილი დამოკიდებულება დამახასიათებელია თითქმის ყველა ქიმიური კომპონენტისათვის, განსხვავება მხოლოდ საშუალოდან გადახრის ამპლიტუდებშია.



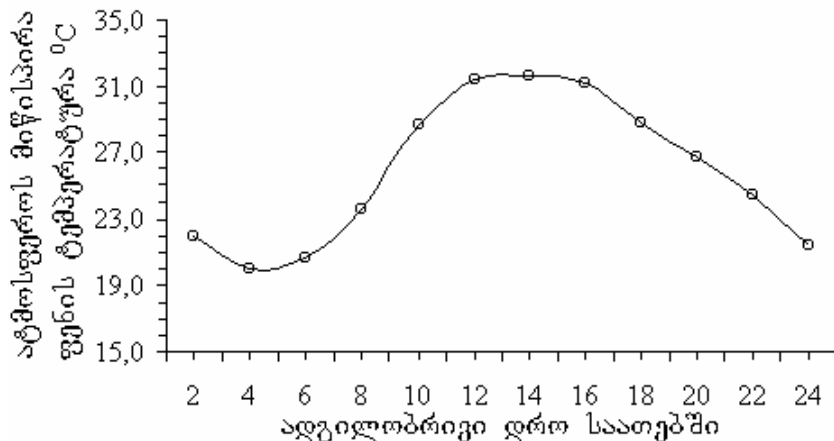
ნახ. 3.7. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა სეზონური ცვალებადობის მრუდები

ნახ. 3.7.-ზე ნაჩვენებია აგრეთვე ნალექებში ტყვიის, იოდისა და სპილენძის იონების სეზონისაგან დამოკიდებულების მრუდებიც. ზოგადად სპილენძის იონების

კონცენტრაციის ზრდა შეინიშნება თვეებში, როცა ინტესიურია ვაზის ნარგავების ბორდოს ხსნარით დამუშავება (მაისიდან აგვისტომდე). საერთო მინერალიზაციისაგან განსხვავებულად იქცევა ტყვიისა და იოდის იონების კონცენტრაციები. ოთხი მაქსიმუმიდან მხოლოდ ორჯერ ემთხვევა ჯამური მინერალიზაციის მაქსიმუმს (აგვისტოსა და ნოემბრის თვეებში). მარტში, როცა ჯამური მინერალიზაციის მნიშვნელობა მინიმალურია, ტყვიის იონების შემცველობა ნალექებში ერთ-ერთ თავის მაქსიმუმს აღწევს, ხოლო როცა ჯამური მინერალიზაცია აპრილ-მაისში მაქსიმუმს აღწევს, ტყვიის შემცველობა ნალექებში მინიმალურია. აპრილ-მაისში თუ რატომ არის ტყვიის კონცენტრაცია ნალექებში დაბალი მომდევნო თვესთან შედარებით, ძნელი ასახსნელია. მაისისა და ივნისის თვეში ღრუბლებზე ზემოქმედების დროს გახარჯული ტყვიის იოდის რაოდენობა, სხვა თვეებთან შედარებით, გაცილებით მეტია. ნალექებში ტყვიის კონცენტრაციის მაქსიმუმის არსებობა ივნისის თვეში გვაფიქრებინებს, რომ ზემოქმედების დროს შეიძლება ადგილი აქვს ატმოსფეროს საშუალო ფენებში, სადაც ძირითადად შეაქვთ ტყვიის იოდის აეროზოლი, მის დაგროვებას. ტყვიის იონის კონცენტრაციის ერთ-ერთი მაქსიმუმი აგვისტოს თვეში მოდის. ამ თვეში გახარჯული ტყვიის იოდის რაოდენობა მინიმალურია. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტყვიის იონის კონცენტრაციის სეზონისაგან დამოკიდებულებას მხოლოდ აქტიური ზემოქმედება არ განაპირობებს. იგი რამდენიმე ბუნებრივი და ხელოვნური ფაქტორების ურთიერთ ზედდების შედეგი უნდა იყოს.

შევადარებთ მოცემულ რეგიონში წლის თბილი სეზონისათვის ორ საათიან ინტერვალში გასაშუალებულ მიწისპირა ტემპერატურის დღელამური ცვლილების სურათს (იხ. ნახ. 3.8) (Σ₀),-ის დღელამური ცვალებადობის ხასიათს, ადვილი შესამჩნევია, რომ მათ შორის

ნახ. 3.8. ივნისის თვის მიწისპირა ტემპერატურის დღელამური სვლა (სოფ. რუისპირი, თელავის რ-ნი. გასაშუალების ინტერვალი 2 საათი)



დიდი მსგავსება არის. ეს ასეც უნდა ყოფილიყო, რადგანაც ატმოსფეროს ქვედა ფენებში ტემპერატურული სტრატეფიკაცია, რომელიც ძირითადად განსაზღვრავს მიწისპირა ტემპერატურის დღელამის განმავლობაში ცვალებადობას, განაპირობებს კონვექციური მოძრაობების ჩამოყალიბებას, რაც ხელს უწყობს ატმოსფეროს სხვადასხვა ტერიტორიული და ანთროპოგენური ნივთიერებებით გამდიდრებას. თანაც რაც მაღალია ტემპერატურა, მით უფრო ძლიერია კონვექციური ნაკადები და შესაბამისად დიდია ალბათობა ნალექების ამ ნივთიერებებით გამდიდრებისა.

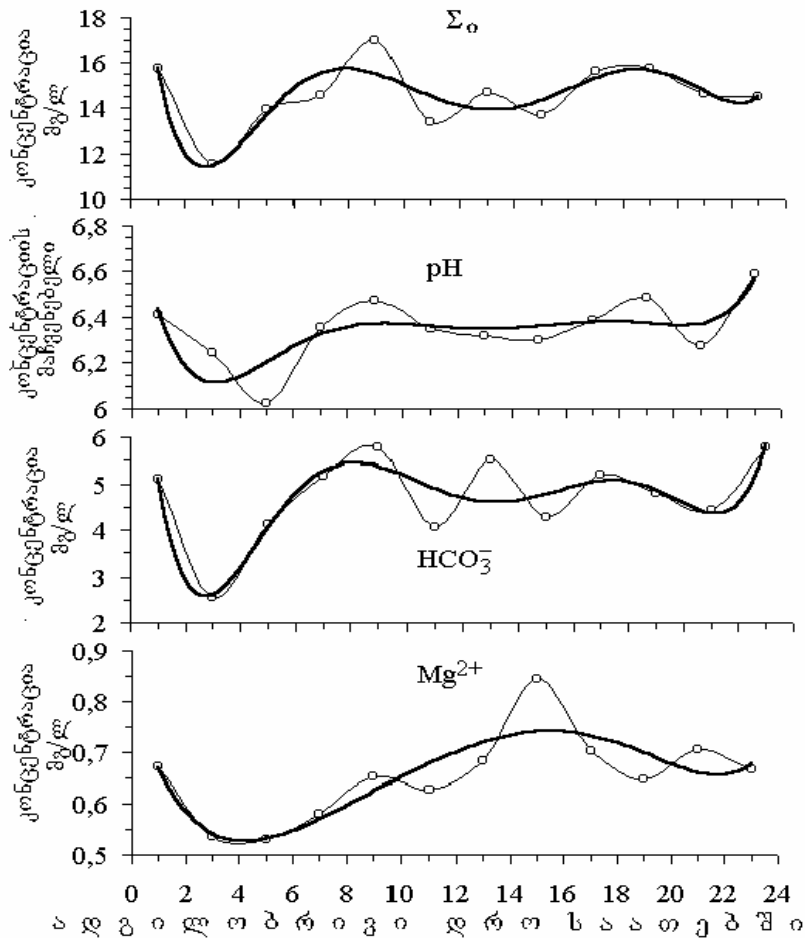
ტემპერატურის ზრდასთან ერთად იზრდება წვიმის წვეთიდან წყლის აორთქლების ინტენსივობა, რაც თავის მხრივ ზრდის ნალექებში მინერალების კონცენტრაციას.

ზემოხსენებული ამ ორი მექანიზმით აიხსნება ის, რომ 2 – 6 საათის ინტევალში მოსული ნალექების მინერალიზაცია მინიმალურია. 10 – 11 საათისათვის ის აღწევს მაქსიმუმს და 22 – 23 საათამდე ინარჩუნებს ასეთ მნიშვნელობას. შემდეგ მისი მნიშვნელობა სწრაფად ეცემა და ყვალაფერი მეორდება თავიდან.

Σ_0 -ის ანალოგიურად იქცევა pH-იც, თუმცა მისი დღელამური ცვლილების ხასიათს ძირითადად CO_2 -ის წყალში ხსნადობის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება განაპირობებს – ხსნადობა მაღალია წყლის დაბალი ტემპერატურის დროს, ხოლო მაღალი ტემპერატურისას კი პირიქით.

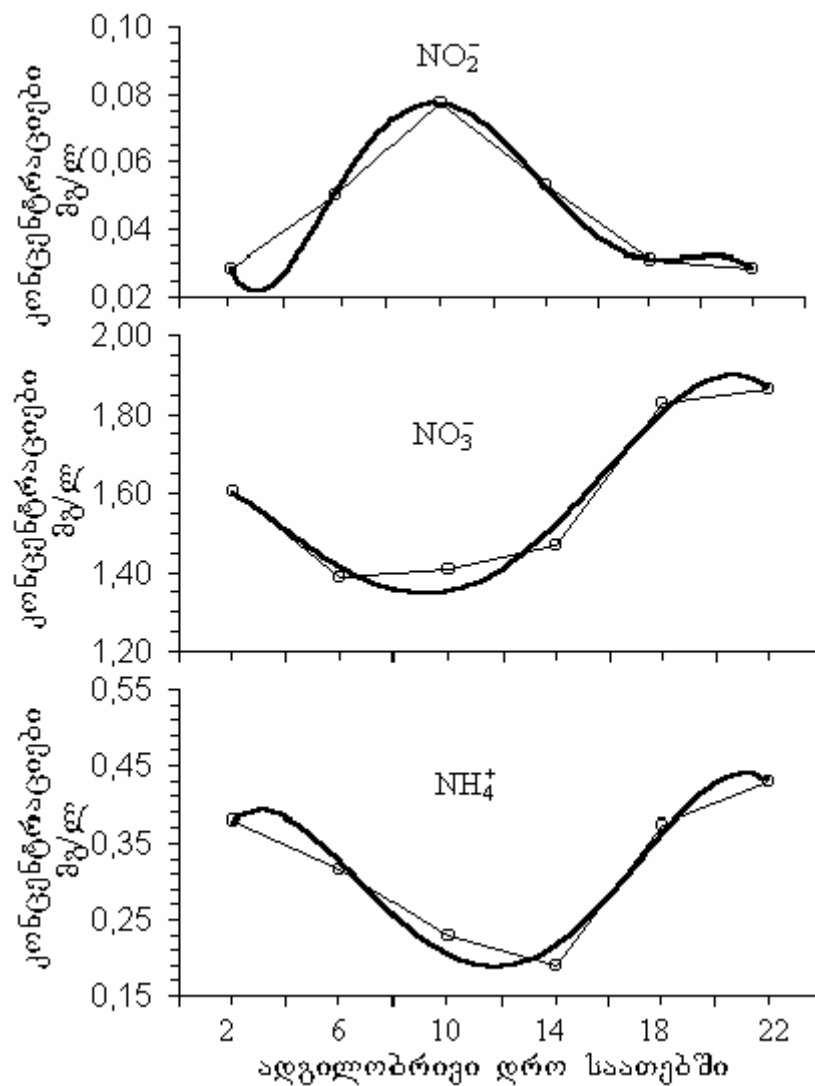
როგორც ნახ.3.9-დან ჩანს Σ_0 -ის დღელამური ცვალებადობის ხასიათს ძირითადად განაპირობებს კალციუმისა და HCO_3^- -ის იონების კონცენტრაციების დღელამისაგან დამოკიდებულების ხასიათი. ეს ასეც უნდა ყოფილიყო, რადგანაც

ნახ. 3.9. ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციის - Σ ; წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის - pH; HCO_3^- და მაგნიუმის იონების კონცენტრაციების დღელამური ცვლილების გრაფიკები



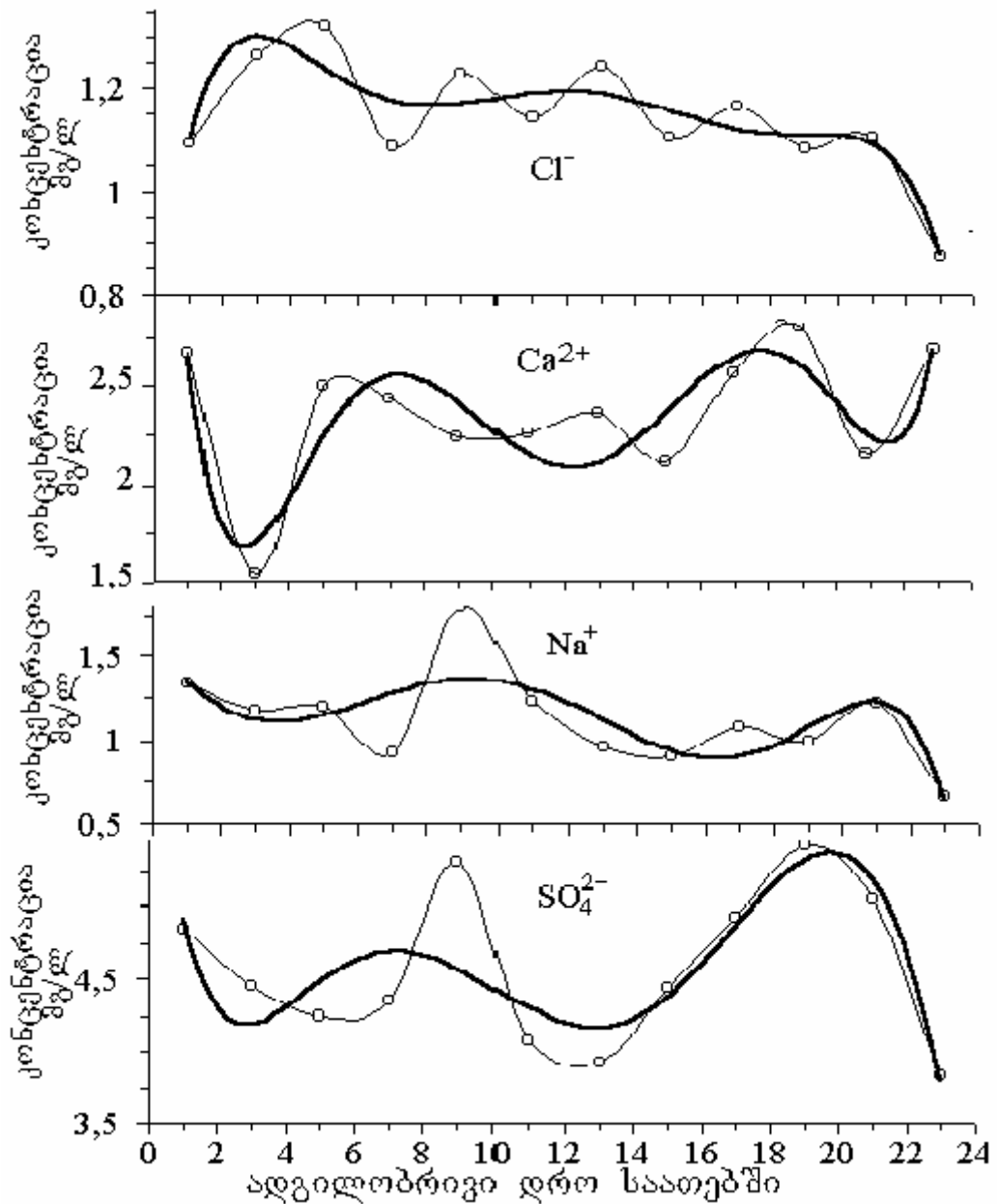
ძირითადი იონების ჯამურ კონცენტრაციაში ხსენებული იონების წილად 60 – 70 %-ზე მეტი მოდის.

მაგნიუმისა და ზოგიერთი ბიოგენური კომპონენტის (NO_2^- , NO_3^- და NH_4^+) კონცენტრაციების დღელამური ცვლებადობა (ნახ. 3.10.) პერიოდულია. ცვლილების სრული პერიოდი 24 საათის ტოლია. NO_3^- -ის კონცენტრაციის ცვლილება ფაზით განსხვავდება NH_4^+ -ის ცვლილებისაგან – მეორე პირველს 6 – 7 საათით ჩამორჩება. NO_2^- -ის ცვლილების ფაზა კი ემთხვევა NO_3^- -ის ცვლილების ფაზას, თუმცა ისინი იმყოფებიან ანტიფაზაში – როცა NO_2^- -ის კონცენტრაცია 8 – 10 საათზე აღწევს მაქსიმუმს, ამ დროს NO_3^- -ის კონცენტრაცია მინიმალურია და პირიქით 22 საათზე მინიმალურია NO_2^- -ის, ხოლო NO_3^- -ის – მაქსიმალური.



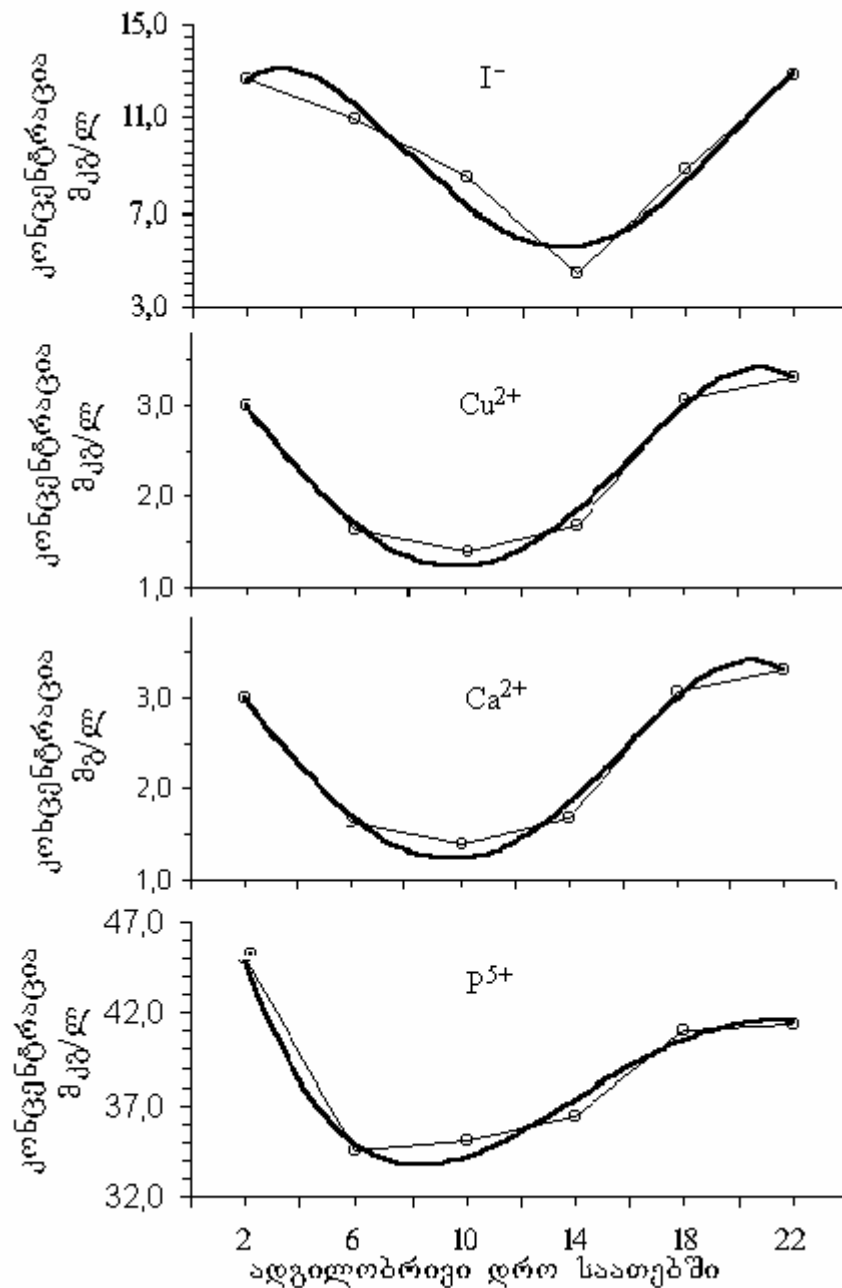
ნახ. 3.10. NO_2^- -ის, NO_3^- -ის და NH_4^+ -ის იონების კონცენტრაციების დღეღამური ცვლილების გრაფიკები ღელამის განმავლობაში ნატრიუმის იონის კონცენტრაცია იღებს მინიმალურ მნიშვნელობას 4-სა და 20 საათზე, ხოლო მაქსიმუმს აღწევს 01 და 12 საათზე.

პერიოდულია ნატრიუმის, ქლორისა და SO_4^{2-} -ის კონცენ-ტრაციების დღელამური ცვლილებებიც (იხ. ნახ. 3.11). მათ დღელამის განმავლობაში გააჩნიათ ორი-ორი მკვეთრად გამოსახული ექსტრემუმი: ნატრიუმს მაქსიმუმი – 24 – 02 და 10 – 12 სათებზე,



ნახ. 3.11. ქლორის, კალციუმის, ნატრიუმის და SO_4 -ის იონების კონცენტრაციების დღელამური ცვლილების გრაფიკები

მინიმუმი – 04 და 20 საათებზე; SO_4^{2-} -ს მაქსიმუმი – 10 და 22-23 საათებზე, ხოლო მინიმუმი 04 და 16 საათებზე; ქლორს – მინიმუმი 8 – 10 საათზე, ხოლო მაქსიმუმი 04 და 16 საათებზე. ქლორის კონცენტრაციის ცვლილება იმყოფება ანტიფაზაში ნატრიუმისა და SO_4^{2-} იონების კონცენტრაციების ცვლილებასთან.



ნახ. 3.12. იოდის, სპილენძის, კალციუმისა და ფოსფორის იონების კონცენტრაციების დღელამური ცვლილების გრაფიკები

ჩვენს ხელთ არსებული მონაცემთა ბაზის გამოყენებით შევადგინეთ ატმოსფერულ ნალექებში შემავალი ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის (pH) დღელამისაგან დამოკიდებულების აპროქსიმაციის მრუდების განტოლებები ნ რიგის პოლინომების სახით. გამოვთველეთ აგრეთვე განტოლებების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები (იხ. ცხრილი 3.6).

ცხრილი 3.6.

ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის (pH) დღელამისაგან დამოკიდებულების

აპროქსიმაციის მრუდების განტოლებების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები

ქიმიური კომპონენტები	პოლინომის მუდმივი კოეფიციენტები							აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი R ²
	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	
4.2 Cl ⁻	2E-05	-0,001	0,0410	-0,589	4,164	-12,60	24,75	0,7365
Cl ⁻	-8E-07	6E-05	-0,0017	0,0245	-0,173	0,544	0,691	0,7953
pH	9E-07	-7E-05	0,0021	-0,031	0,231	-0,758	6,995	0,6032
SO ₄ ²⁻	2E-06	-0,0002	0,0057	-0,087	0,636	-1,973	6,328	0,6967
HCO ₃ ⁻	1E-05	-0,0009	0,0258	-0,366	2,559	-7,643	10,52	0,7844
Na ⁺	-1E-06	7E-05	-0,0012	0,007	0,018	-0,241	1,570	0,5533
Ca ²⁺	6E-06	-0,0004	0,0118	-0,162	1,081	-3,113	4,824	0,7368
Mg ²⁺	1E-07	-8E-06	0,0002	-0,004	0,039	-0,176	0,811	0,7302
Pb ²⁺	-2E-05	0,0014	-0,0395	0,533	-3,428	9,140	2,384	0,3054
I ⁻	2E-05	-0,0013	0,0322	-0,374	2,036	-5,641	19,691	0,794
Cu ²⁺	-4E-06	0,0003	-0,0106	0,157	-1,102	2,9452	1,2127	0,9404

აპროქსიმაციის განტოლება ზოგადი სახით ასე გამოისახება

$$y(x)=A_0x^0+A_1x^1+A_2x^2+\dots+A_nx^n,$$

სადაც A₀, A₁, . . . , A_n მუდმივი კოეფიციენტებია, ხოლო n – პოლინომის რიგი.

პოლინომის რიგს ვადგენდით ემპირიული გზით – თუ პოლინომის რიგის ერთი ერთეულით გაზრდის შედეგად აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის (დ²) ნაზრდი 0,5%-ზე მეტი არ იყო ვტოვებდით n-ის წინა მნიშვნელობას. «Exsel»-ის სტანდარტული შესაძლებლობიდან გამომდინარე n-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა n-ის ტოლია. როგორც ცხრილი 3.6.-დან ჩანს რიგ შემთხვევაში n-ზე უფრო დაბალი რიგის პოლინომითაც მიიღწევა ჩვენთვის სასურველი შედეგები.

3.6. ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციის დამოკიდებულება სინჯის ალების ადგილის ზღვის დონიდან სიმაღლეზე

ჩვენს ხელთ არსებული ნალექების სინჯები შეგროვებული იყო საკვლევი რეგიონის შვიდ სხვადასხვა პუნქტში, რომლებიც ზღვის დონიდან სხვადასხვა სიმაღლეზე მდებარეობდნენ. ქვემოთ ცხრილში 3.7.-ში მოყვანილია ამ პუნქტების დასახელება, მათი მდებარეობის ზღვის დონიდან სიმაღლის მნიშვნელობა და მოცემულ პუნქტში აღებული სინჯების რაოდენობა.

სინჯების შეგროვების დროს სხვადასხვა ორგანიზაციული სიძნელეების გამო სხვადასხვა პუნქტში აღებული სინჯების რაოდენობები არათანაბარია, თანაც მათ შორის განსხვავება მნიშვნელოვანია. ასეთ შემთხვევაში საშუალო სიდიდეების შედარება არაეფექტურია. იმისათვის, რომ ეს საშუალოები შედარებადი ყოფილიყო, გამოვიყენეთ ამჟამად სტატისტიკაში აპრობირებული და მიღებული ე.წ. «ბუტსტრეპის» მეთოდი[133], რომელიც იძლევა საშუალებას საკმაოდ კარგი მიახლოებით (დაახლოებით 0.70 – 0.75 საიმედოობით) შედარებით მცირე შემთხვევების რაოდენობა (ჩვენს შემთხვევაში სინჯების რაოდენობა) გარკვეული წესის დაცვით გავზარდოთ სასურველ რაოდენობამდე.

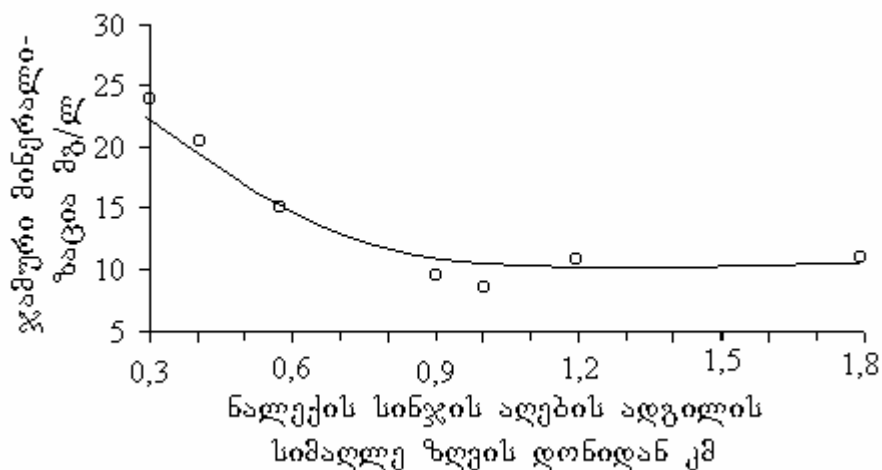
ცხრილი 3.7.

ნალექების სინჯების ალების ადგილები, მათი სიმაღლე ზღვის დონიდან და აღებული სინჯების რაოდენობები.

№№	სინჯის ალების ადგილი	სიმაღლე ზღვის დონიდან მ.	სინჯების რაოდენობა
1	სოფ. ენისელი	300	19
2	სოფ. საბუე	400	19
3	სოფ. რუისპირი	560	362
4	სოფ. ყანდაურა	900	18
5	მთ. ვეძები	1000	34
6	მთ. ახსაბარი	1200	28
7	მთ. თელავის ცივი	1800	62

ხსენებული მეთოდის გამოყენებით შვიდივე პუნქტში სინჯების რაოდენობა გავზარდეთ და ავიყვანეთ დაახლოებით 500-მდე. ასეთნაირად გამოთვლილი ძირითადი იონების კონცენტრაციის საშუალო ჯამური მნიშვნელობების ცვლილების გრაფიკი ნაჩვენებია ნახ. 3.13.-ზე.

ნახ.3.13.-დან კარგად ჩანს, რომ ზღვის დონიდან 300 მ.-ზე ნალექების მინერალიზაცია მაქსიმალურია. სიმაღლის ზრდასთან ერთად მისი მნიშვნელობა ეცემა და დაახლოებით 1,2 კმ.-დან თითქმის არ იცვლება. ჩვენი მონაცემებით სინჯის ალების ზღვის დონიდან სიმაღლის მატების გამო მინერალიზაცია მცირდება დაახლოებით 2 – 2.5-ჯერ.



ნახ. 3.13. ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციის დამოკიდებულება

ნალექების სინჯების ალების ზღვის დონიდან სიმაღლეზე

მინერალიზაციის სიმაღლის მიხედვით ცვლილების ორ წყაროს განიხილავენ:

1). წვიმის წვეთის ატმოსფეროს ქვედა ფენებში ვარდნისას ტემპერატურის ზრდასთან ერთად წვეთიდან წყლის აორთქლების გამო მინერალიზაცია უნდა გაიზარდოს; 2). ატმოსფეროს ქვედა ფენებში არსებული აეროზოლების წვეთში მოხვედრის გამოც მინერალიზაცია უნდა იზრდებოდეს. მინერალიზაციის გაზრდის ამ ორი მექანიზმიდან რომელია უფრო მნიშვნელოვანი ძნელი დასადგენია, მაგრამ ერთი რამ ცხადია, რაც მეტი სისქის ფენას გადის წვიმის წვეთი ვარდნისას და რაც უფრო მეტია

ამ ფენაში აეროზოლების კონცენტრაცია, მით უფრო მეტად არის მინერალიზებული ატმოსფერული ნალექები.

3.7. ატმოსფერულ ნალექებში ზოგიერთი მიკროელემენტის კონცენტრაცია

ატმოსფერული ნალექები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ მიკროელემენტების მიგრაციაში, თუმცა საკითხის რაოდენობრივი მხარე, ფაქტობრივი მასალის სიმწირის გამო, არსაკმარისად არის შესწავლილი.

ჩვენს ხელთ არსებული ექსპერიმენტული მასალის გამოყენებით შევეცადეთ შეგვესწავლა კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ზოგიერთი მიკროელემენტის შემცველობა. ეს ელემენტებია: B, F, As, Br, Fe, Ni და Zn. ნალექებში ტყვიის, იოდის, (როგორც ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების დროს გამოყენებულ რეაგენტში შემავალი ნივთიერებები) და სპილენძის, (როგორც საკონტროლო ელემენტი) იონების შემცველობა ზემოქმედებასთან კავშირში დაწვრილებით განვიხილავთ ამავე თავის შემდეგ პარაგრაფში.

საკვლევი რეგიონის ოროგრაფია, გეოგრაფიული და კლიმატური პირობები ხელს უწყობს ატმოსფეროში ტერიგენული აეროზოლების ტრანსპორტირებას. აქვე მხედველობაში არის მისაღები აეროზოლების სხვადასხვა ანთროპოგენური წყაროებიც, მაგალითად, ავტოტრანს-პორტი, როგორც ტყვიის აეროზოლების წყარო, ღრუბლებზე ტყვიის იოდით ზემოქმედება, როგორც ტყვიისა და იოდის წყარო და სხვა.

იშვიათი გამონაკლისის გარეშე (I, F) აღნიშნული რეგიონის ნალექები მიკროელემენტების შემცველობით მცირედ განსხვავდება საქართველოს სხვა რეგიონის ნალექებისაგან (ცხრილი 3.8 და 3.9)

საქართველოს ეს რეგიონი იმყოფება ზღვებისა და დიდი საწარმოო ცენტრებისაგან დაშორებით, ამიტომ მიკროელემენტების უმრავლესობის წყაროს ნიადაგისა და ქანების ეროზიის პროდუქტები წარმოადგენს. ამის გამო მაღალია კორელაციური კავშირი ჯამურ მინერალიზაციასა და ნალექებში მიკროელემენტების იონების კონცენტრაციებს შორის (ცხრილი 3.10)

ცხრილი 3.8.

კახეთის რეგიონის ნალექებში ზოგიერთი მიკროელემენტის შემცველობა
(მკგ/ლ)

ელემენტები	სინჯების რაოდენობა	მინ.	მაქს.	საშუალო	მედია	მოდა	ნიადაგში შეტანილი ნივთიერების რაოდენობა კგ/კმ ² წელიწადში
B	177	0	56	12.1	8.0	10.3	8.4
F	17	0	22	6.92	5.0	6.1	0.5
P	165	0	18	33.2	33.0	31.0	22.4
As	13	0	2.5	1.35	1.6	1.52	1.0
Br	80	0.2	38.2	6.78	5.5	6.48	4.7
Fe	63	0	150	40.23	35.0	36.55	28.0
Ni	13	0	2.8	1.35	1.4	1.26	0.9
Zn	26	3.0	12.4	5.46	5.3	5.32	3.8
მძიმე მეტალები	40	4.0	76.0	30.0	21.0	20.92	21.0

საკვლევ სიდიდეებს შორის კორელაციის კოეფიციენტების მაღალი მნიშვნელობები მიუთითებს იმაზე, რომ როგორც ნალექების სერთო მინერალიზაციისა ასევე აღნიშნული მიკროელემენტების ძირითად წყაროს ნიადაგები და მთის ქანები წარმოადგენს.

ცხრილი 3.9.

ზოგიერთი რეგიონის ნალექებში მიკროელემენტების შემცველობა მკგ/ლ([70]-ის მიხედვით)

რეგიონები	B	F	As	Br	Fe	Ni
საქართველო	6	-	1.1	5.2	4.2	0.2
ჩრდ. კავკასია	39.0	170.0	-	3.0	9.5	1.0
სამხ. ყირიმი	-	-	-	-	9.5	1.0
იაპონია	4.8	89.0	1.6	-	23.0	-

ცხრილი 3.10.

ნალექებში მიკროელემენტების იონების კონცენტრაციებსა (მკგ/ლ) და ჯამურ მინერალიზაციას შორის დამოკიდებულების ცხრილი

ელემენტები მკგ/ლ	ჯამური მინერალიზაცია Σ მგ/ლ							კორელაციის კოეფიციენტები
	0-დან 5.0-მდე	5-დან 10.0-მდე	10.0-დან 15.0-მდე	15.0-დან 20.0-მდე	20.0-დან 25.0-მდე	25.0-დან 30.0-მდე	30-ზე მეტი	
Br	5.7	5.7	6.0	9.5	11.1	-	-	0.92
P	29.0	32.0	34.0	35.0	40.0	44.0	32.0	0.80
B	14.0	12.0	12.0	2.0	12.0	18.0	19.0	0.69

გამოვიკვლიეთ აგრეთვე მიკროელემენტების ნალექებში შემცველობის სეზონური ცვალებადობა. შედეგები ნაჩვენებია ცხრილში 3.11.

კახეთის რეგიონის ნალექებში მიკროელემენტების შემცველობის სეზონისაგან დამოკიდებულების ცხრილში ნაჩვენებია სახე კანონზომიერია. ყველა აღნიშნული მიკროელემენტი ტერიგენული წარმოშობისაა ამიტომ ნალექებში მათი შემცველობა წლის თბილ თვეებში უფრო მაღალია ვიდრე ცივ თვეებში.

ცხრილი 3.11.

კახეთის რეგიონის ნალექებში ზოგიერთი მიკროელემენტის შემცველობის დამოკიდებულება სეზონისაგან

წლის დრო	მიკროელემენტები მკგ/ლ				
	B	P	Br	Fe	Zn
გაზაფხული	12.0	33.0	6.4	52.0	4.9
ზაფხული	12.0	44.0	8.6	42.0	5.5
შემოდგომა	12.0	28.0	5.9	22.0	5.7
ზამთარი	10.0	7.0	4.6	-	-

ატმოსფერულ ნალექებში მიკროელემენტების კონცენტრაციის დღელამური ცვალებადობა, მაკროელემენტებისაგან განსხვავებით, არ იქნა შემჩნეული. სუსტად არის გამოსახული, აგრეთვე, მიკრო-ელემენტების შემცველობის ცვალებადობა სივრცეში. რეგიონის სხვადასხვა ადგილებში აღებული ნალექის სინჯები მიკრო-ელემენტების შემცველობით უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან.

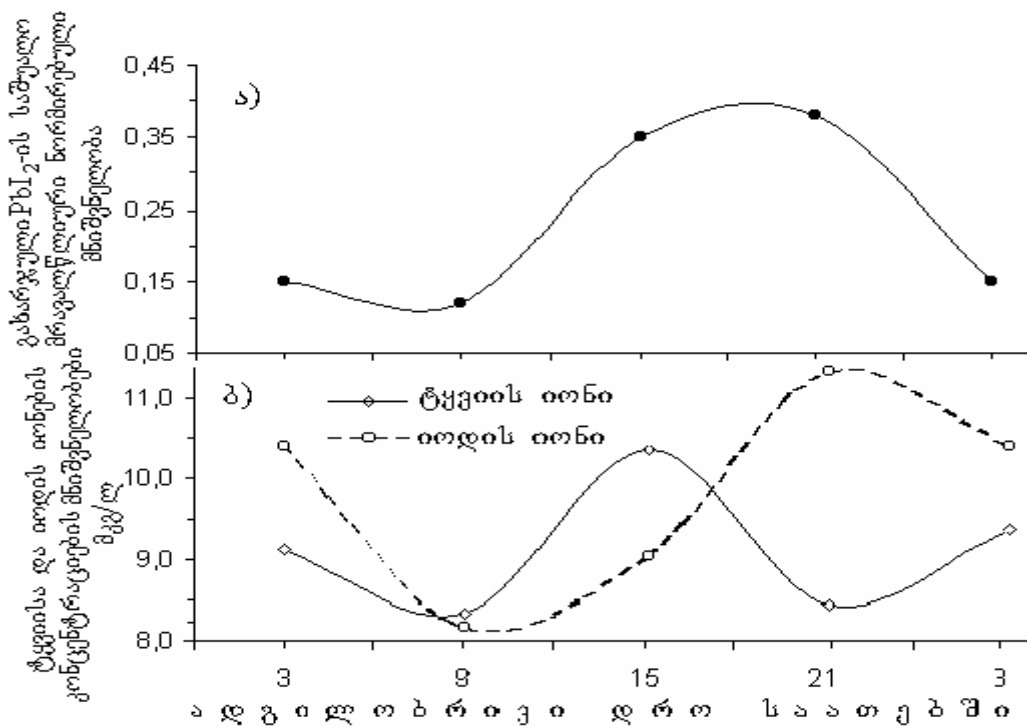
3.8. ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიის და იოდის იონების კონცენტრაციებზე სეტყვის პროცესებზე ხელოვნური ზემოქმედების გავლენა

კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და იოდის იონების კონცენტრაციების დღეღამური ცვლილების ერთობლივმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მათი მნიშვნელობები დღეღამის განმავლობაში სხვადასხვაგვარად იცვლება. როგორც ნახ.3.14-დან ჩანს დილის საათების ნალექებში მათი კონცენტრაციები თითქმის ტოლია. ტყვიის იონის შემცველობა 15 საათისათვის მაქსიმუმს აღწევს, ხოლო იოდის იონებისა კი 21-22 საათზე. ტყვიისა და იოდის იონების წყარო კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში მხოლოდ ზემოქმედების დროს გამოყენებული ტყვიის იოდის რომ ყოფილიყო, კონცენტრაციათა მაქსიმუმების დროში ასეთი წანაცვლების ახსნა შეუძლებელი იქნებოდა.

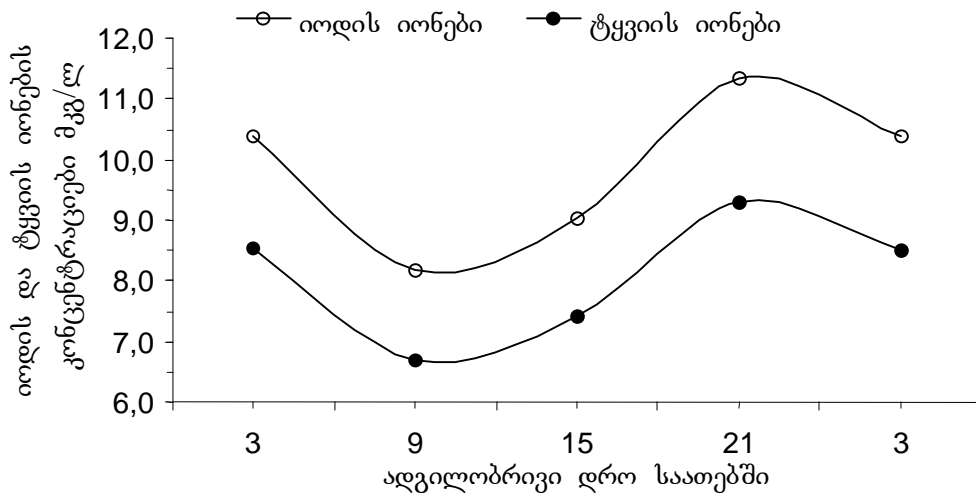
იმავე ნახაზზე მოყვანილია(ა) სამუშაო რეგიონში ზემოქმედების დროს დღეღამის განმავლობაში გახარჯული ტყვიის იოდის ნორმირებული მნიშვნელობის დინამიკა დროში (ეს სიდიდე შეიძლება გამოყენებულ იქნას დღის განმავლობაში ზემოქმედების ინტენსიურობის მაჩვენებლად). ამ გრაფიკიდან ჩანს, რომ ზემოქმედების მიზნებისათვის გამოყენებული PbI_2 -ის საერთო რაოდენობის თითქმის 80% გახარჯულია 12 – 24 საათებს შორის. ოდნავ ჩამორჩენით დროის ამავე ინტერვალზე მოდის იოდის მაქსიმუმიც(ბ). თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ იოდის იონების ბუნებრივი წყაროა მხოლოდ ზღვის წყალი, მაშინ ზემოქმედების ინტენსიურობის და ნალექებში იოდის იონების კონცენტრაციის მაქსიმუმების დროში თანხედენის ახსნა ძნელი არ იქნება. ხოლო თუ რატომ არ ემთხვევა ზემოქმედების აქტიური რეაგენტის მეორე შემადგენელი ელემენტის (Pb) კონცენტრაციის მაქსიმუმი ხსენებულ მომენტს, ახსნა ასე შეიძლება. ტყვიის იონების წყაროს ხსენებული რეგიონის ნალექებისათვის, გარდა ზემოქმედების დროს გამოყენებული აქტიური რეაგენტისა, წარმოადგენს ავტოტრანსპორტის საწვავში გამოყენებული ტეტრაეთილტყვია (ურევნ ბენზინს მისი ოქტანური რიცხვის გაზრდის მიზნით) და ნიადაგი. სწორედ დროის იმ ინტერვალშია მაქსიმალური ნიადაგიდან ატმოსტეროში ტყვიის იონების მოხვედრის შანსი კონვექციური მოძრაობების ინტესიფიკაციის გამო). იმავე ინტერვალს ემთხვევა ავტოტრანსპორტის გზებზე მოძრაობის აქტიურობის პიკიც.

ნახ. 3.15. მოყვანილია ნალექებში ტყვიისა და იოდის იონების კონცენტრაციების დროში ცვალებადობის გრაფიკები. გრაფიკზე იოდის იონების კონცენტრაციის დროში ცვალებადობის რეალური სურათია მოყვანილი, ხოლო ტყვიის იონების კონცენტრაციები გამოთვლილია შემდეგი დაშვებიდან გამომდინარე, რომ მოცემულ რეგიონში ტყვიის იონების წყარო, გარდა ღრუბლებზე ზემოქმედებისა არ არსებობს და მათი კონცენტრაციის მნიშვნელობებს განსაზღვრავს იოდის იონების კონცენტრაციები.

ნახ. 3.14. კახეთის რეგიონში ზემოქმედების დროს გახადჯული ტყვიის იოდის ნორმირებული მნიშვნელობის(ა) და ატმოსფერულ ნალექებში იოდის და ტყვიის იონების კონცენტრაციების(ბ) დროში ცვალებადობის გრაფიკები.



ნახ. 3.15. იოდის და ტყვიის იონების კონცენტრაციების ცვალებადობა დროში, თუ ტყვიის იონების წყარო მხოლოდ ზემოქმედების დროს გამოყენებული ტყვიის იოდის იქნებოდა



ჩვენს მიერ განხილული შემთხვევების საერთო რაოდენობის 28,9%-ში ტყვიისა და იოდის კონცენტრაციების შეფარდების მნიშვნელობა 0.82-ზე მეტია. ასეთი შემთხვევების დროს შეფარდების საშუალო 0.44-ის ტოლია. 78,8% შემთხვევაში შეფარდება ნაკლებია 0.82-ზე, ხოლო საშუალო 1.66-ის ტოლია.

ვ.მ. მუჩნიკმა უკრაინაში ჩატარებული საველე ექსპერიმენტის დროს[111] თითქმის 600-მდე შემთხვევაში მიიღო, რომ გროვა-საწვიმარ ღრუბელში საშუალო წყლიანობა 1 გ/მ³-ის ტოლია.

ყველაზე სუსტი გროვასაწვიმარი ღრუბლის მოცულობა, რომელზედაც აღმოსავლეთ საქართველოში ადგილი ჰქონდა ზემოქმედებას (შეყვანილ იქნა 200 გრამამდე ტყვიის იოდის აეროზოლი. აქედან ტყვიაზე მოდის დაახლოებით 100 გრამი) რადიოლოკაციური მონაცემების მიხედვით $10 \times 10 \times 10 \text{ კმ}^3 = 1.10^{12} \text{ მ}^3$ -ის ტოლია [112], ხოლო ყველაზე ძლიერი სეტყვის ღრუბელი, რომელიც დამუშავდა 250 კგ.-დე იგივე რეაგენტით, იგივე მონაცემებით, მოიცავდა დაახლოებით $1.4 \cdot 10^{14} \text{ მ}^3$ -ს.

ზემოთ მოყვანილ მონაცემს თუ გავითვალისწინებთ, სუსტ სეტყვასაშიმ ღრუბელში წყლის ერთჯერადი მარაგი 1.10^9 ლიტრის ტოლი გამოვა, ხოლო ძლიერ ღრუბელში – $1.4 \cdot 10^{11}$ ლიტრის.

არაზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში ტყვიის იონის შემცველობის საშუალო მნიშვნელობა კახეთისათვის, რომელიც თითქმის იგივეა მთელი საქართველოსთვისაც, ტოლია ლიტრში დაახლოებით 10 მკგ/ლ-სა. თუ ამას ნორმად მივიღებთ, მაშინ სუსტ სეტყვასაშიმ ღრუბელში და მის ქვემოთ ატმოსფეროში უნდა იმყოფებოდეს არა ნაკლებ 10 კგ ტყვიის იონისა. ანალოგიური მსჯელობით გამოდის, რომ ძლიერ სეტყვიან ღრუბელში ბუნებრივად არსებული ტყვიის იონის რაოდენობა რამდენიმე ასეულ კგ-მდე უნდა აღწევდეს (კერძოდ 1400კგ).

დრუბელში ტყვიის აღნიშნული რაოდენობა გამოდის იმ პირობით, რომ დრუბელში და მის ქვემოთ არსებული ტყვია მთლიანად გაიხსნა ჩვენს მიერ აღებულ ნალექის სინჯში. ეს კი ნამდვილად ასე არ არის. ატმოსფერული ნალექები დრუბლიდან და მის ქვემოთ არსებული ატმოსფეროდან გამორეცხავს იქ არსებული აეროზოლების მხოლოდ გარკვეულ ნაწილს. ე.ი. სეტყვასაშიმ და სეტყვიან დრუბლებში ზემოქმედებამდე უნდა არსებობდეს არანაკლებ 10 (ან 1400) კგ ტყვიის აეროზოლი.

თუ დროსა და სივრცეში გასაშუალებულ სურათს განვიხილავთ გამოდის, რომ სადრუბლო გარემოში, სადაც ზემოქმედების დროს შეყავთ ტყვიის იოდინი, უკვე არსებობს ტყვიის აეროზოლი, რომლის კონცენტრაცია $1 \div 1,5$ რიგით უფრო მაღალია, ვიდრე ზემოქმედების დროს შეყვანილი ტყვიის კონცენტრაცია.

იმის გამოსაკვლევად, იწვევს თუ არა ზემოქმედება ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიის იონის შემცველობის საშუალო მნიშვნელობის გაზრდას, ჩვენს ხელთ არსებული ქიმიური ანალიზის ექსპერიმენტული მონაცემები დავყავით ორ ჯგუფად: 1) ქიმიური ანალიზის შედეგები ნალექებისა, რომლებიც აღებული იყო არაზემოქმედების დღეებში და 2) ქიმიური ანალიზის შედეგები ნალექებისა, რომლებიც აღებული იყო ზემოქმედების დღეებში. ასეთი შედარებითი ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრ. 3.12-ში.

ცხრ. 3.12.-ში მოყვანილი იონების კონცენტრაციების საშუალო მნიშვნელობებს შორის განსხვავების ნიშნადობის დასადგენად გამოვიყენეთ სტიუდენტის t კრიტერიუმი[108] და მივიღეთ, რომ 95%-იანი ალბათობით საშუალოებს შორის განსხვავება ნიშნადია მხოლოდ HCO_3^- , Pb^{2+} , I^- და Cu^{2+} -ის იონებისათვის, Cl^- იმყოფება ნიშნადობის ზღვარზე. დანარჩენი ყველა კონცენტრაციების საშუალო და ჯამური მინერალიზაციის მნიშვნელობები ზემოქმედების და არაზემოქმედების დღეებში აღებულ ნალექებში ზემოხსენებული ალბათობით ერთმანეთისაგან არ განსხვავდებიან.

მიღებული შედეგის ერთ-ერთი ახსნა შეიძლება იყოს ის, რომ ზემოქმედების დღეებში, მართალია კონვექციური მოძრაობები ძლიერია და, შესაბამისად, დიდია ატმოსფეროს ტერიგენული ნივთიერებებით გაჯერების ალბათობაც, მიუხედავად ამისა, ძლიერი და უხვი ნალექების გამო ადგილი აქვს წვიმის წყალში გახსნილ ნივთიერებათა კონცენტრაციების განზავებას. რაც შეეხება სუსტი კონვექციური

მოდრაობებით გამორჩეულ დღეებს (ასეთებია არაზემოქმედების დღეები) ატმოსფეროს ტერიგენული ნივთიერებებით გაჯერების ალბათობა დაბალია, მაგრამ ნალექების სიმცირის გამო ისინი უფრო მინერალიზებულები არიან.

ცხრ.3.12

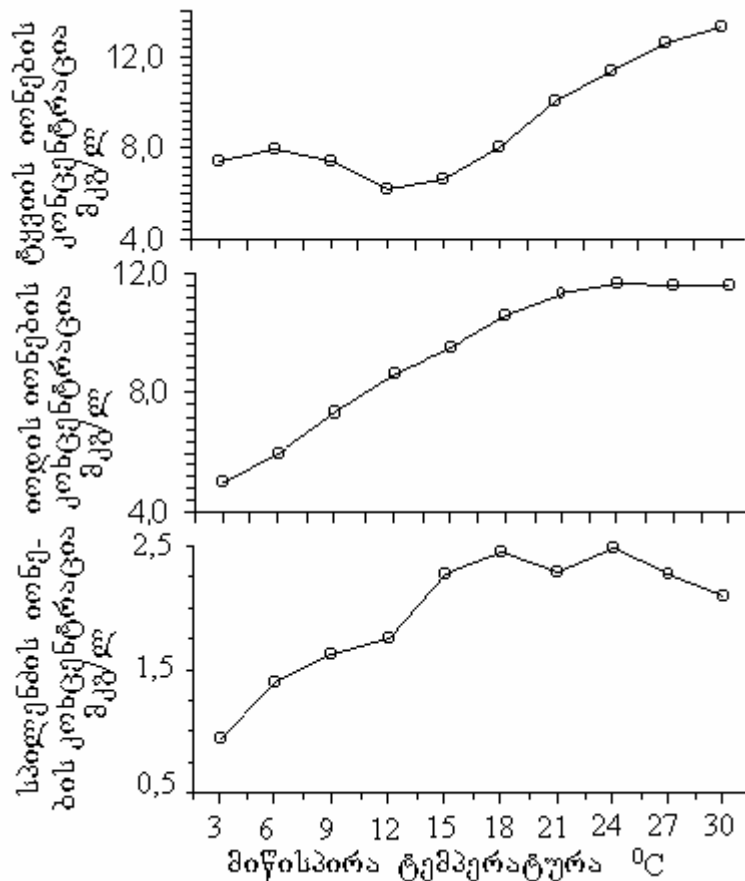
ზემოქმედებისა და არაზემოქმედების დღეების ნალექებში ძირითადი იონებისა, ზოგიერთი მიკროელემენტის კონცენტრაციების და ჯამური მინერალიზაციის მნიშვნელობები

მთაქარი იონები და მიკროელემენტები	ზემოქმედება			
	იყო		არ იყო	
	საშ	რაოდ ენობა	საშ	რაოდ ენობა
Cl მგ/ლ	1.12	207	1.30	284
SO ₄ მგ/ლ	4.84	207	4.32	287
HCO ₃ მგ/ლ	4.43	207	5.53	287
Na მგ/ლ	1.20	207	1.29	287
Ca მგ/ლ	2.37	207	2.45	287
Mg მგ/ლ	0.62	207	0.6 7	287
Pb მკგ/ლ	9.59	112	8.03	287
J მკგ/ლ	11.54	55	9.28	164
Cu მკგ/ლ	2.51	87	2.05	62
P მგ/ლ	37.4	134	36.6	106
NH ₄ მგ/ლ	0.32	183	0.33	116
NO ₂ მგ/ლ	0.04	183	0.03	204
NO ₃ მგ/ლ	1.61	181	1.65	204
ჯამური მინე- რალიზაცია Σ ₀ მგ/ლ	14.57	207	15.57	264

საკვლევ რეგიონში ზემოქმედებისათვის გამოყენებულ რეაგანტში შემავალ ორ კომპონენტს შორის იოდის ბუნებრივი წყარო არ არსებობს. იგივე შეიძლება ვთქვათ

სპილენძზედაც. ამიტომ ამ მეტალის ატმოსფერულ ნალექებში კონცენტრაციის მნიშვნელობა შეიძლება გამოვიყენოთ იოდისათვის, როგორც საკონტროლო ნივთიერება.

ქვემოთ ნახ. 3.16-ზე მოგვყავს ტყვიის, იოდისა და სპილენძის იონების ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.16. ტყვიის, იოდისა და სპილენძის იონების ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკი

ამ გარფიკიდან კარგად ჩანს, რომ სპილენძისა და იოდის იონების კონცენტრაციების ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება თითქმის ერთნაირია. მიწისპირა ჰაერის 15-18 °C-მდე სპილენძისა და იოდის იონების კონცენტრაციები თითქმის მონოტონურად იზრდება, ტემპერატურის შემდეგი ზრდა სპილენძის შემცველობის მცირე კლებას იწვევს, ხოლო იოდის კი უცვლელი რჩება.

სხვაგვარად იქცევა ტყვიის იონის კონცენტრაცია. იგი თითქმის მუდმივი რჩება 12-15 °C-მდე, ხოლო შემდეგ 18 °C-იდან სწრაფად იზრდება. ტყვიის კონცენტრაციის

ტემპერატურისაგან დამოკიდებულება დამახასიათებელია ტერიგენული წარმოშობის ნივთიერებებისათვის.

შედარებით დაბალი ტემპერატურის (3-6 °C) დროს ტყვიის კონცენტრაციის ზრდა დაკავშირებულია წლის ცივ თვეებში მინერალური საწვავის ხარჯვის ინტენსივობის ზრდასთან, რაც ხელს უწყობს ატმოსფეროში ტყვიის იონების მოხვედრას.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ჩვენს მონაცემებზე დაყრდნობით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტყვიის კონცენტრაციის არც საშუალო და არც ერთჯერადი მაქსიმალური შემცველობა კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში არ არის განპირობებული ზემოქმედების აქტიური რეაგენტის აეროზოლის ატმოსფეროში გაბნევით, არამედ ტყვიის ძირითად წყაროს ნიადაგები და ეთილირებული ბენზინი წარმოადგენს. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ტყვიის ხსენებული წყაროები გაცილებით უფრო მძლავრია, ვიდრე ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება.

თავი IV. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე მეტეოტოლოგიური და კლიმატური პირობების გავლენა

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობის სისტემატიური და გეგმაზომიერი გამოკვლევა, აგრეთვე დროში და სივრცეში მათი ცვალებადობის მიზეზებისა და კანონზომიერებების შესწავლა წარმოადგენს დღევანდელი მეტად აქტუალურ ამოცანას. ეს საკითხი უშუალოდ არის დაკავშირებული თანამედროვეობის უდიდეს პრობლემასთან – გარემოს დაჭუჭყიანებასთან.

წინამდებარე თავში განხილულია ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე მიწისპირა ფენაში ტემპერატურის, ფარდობითი ტენიანობის, აგრეთვე ქარის სიჩქარისა და მიმართულების გავლენის კვლევის შედეგები.

4.1. ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე ატმოსფეროს

მიწისპირა ფენის ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის გავლენა.

ტემპერატურისა და სინოტივის გავლენა ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე ადრე შესწავლილი იყო რიგი ავტორების მიერ [40,116]. დადგენილ იქნა, რომ

ტემპერატურის გაზრდა იწვევდა საერთო მინერალიზაციის გაზრდას, ხოლო ფარდობითი ტენიანობისა – მის შემცირებას.

ჩვენ შევეცადეთ აღნიშნული ურთიერთკავშირი შეგვესწავლა ჩვენი რეგიონისათვის. ამასთან ერთად შესწავლილ იქნა ცალკეული იონების კონცენტრაციებზე ტემპერატურისა და ტენიანობის გავლენაც.

ხსენებული მეტეოროლოგიური ფაქტორების იმ რიცხვით მნიშვნელობებს ვიღებდით, რომელიც წინ უსწრებდა სინჯის აღების მომენტს.

ნალექების ქიმიური ანალიზის შედეგებისა და მეტეოროლოგიური დაკვირვებების მონაცემთა ურთიერთშედარებისას გამოიკვეთა ჰაერის ტემპერატურის (t) და ფარდობითი ტენიანობის (f), აგრეთვე ქარის მიმართულების (d) და სიჩქარის (v) გავლენა ატმოსფერულ ნალექებში საერთო მინერალიზაციაზე (Σ_i), ცალკეული ძირითადი იონების (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), ზოგიერთი მიკროელემენტის (Pb^{2+} , I^- , Cu^{2+}) კონცენტრაციების მნიშვნელობებზე.

ნახ. 4.1 – 4.3-ზე ნაჩვენებია ზემოხსენებულ სიდიდეთა ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულებები.

როგორც აღნიშნული გრაფიკებიდან ჩანს ზოგადად ტემპერატურის ზრდასთან დაკავშირებულია მინერალიზაციის ზრდა. ეს მოსალოდნელი იყო, რადგანაც ტემპერატურა ნალექების მინერალიზაციაზე მოქმედებს, როგორც პირდაპირ, ისე არაპირდაპირ. პირდაპირი მოქმედება გამოიხატება იმაში, რომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს წვიმის წვეთიდან წყლის ინტენსიურ აორთქლებას, რის შედეგადაც იზრდება წვეთში მინერალების კონცენტრაცია. ტემპერატურის ზრდასთან არის დაკავშირებული ატმოსფეროში კონვექციური მოძრაობების ინტენსიფიკაცია, რის შედეგადაც იზრდება ატმოსფეროს ქვედა ფენების ტერიგენული აეროზოლებით გამდიდრება. ასეთ გარემოში წვეთის ვარდნისას მოსალოდნელია მასში ამ აეროზოლების მოხვედრა და მინერალიზაციის გაზრდა. ეს უკვე ნალექების მინერალიზაციაზე ტემპერატურის ირიბი გავლენაა.

ატმოსფერული ნალექების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ამსახველ გრაფიკებზე ჩანს, რომ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მინერალიზაციის ზრდა მიმდინარეობს მოკლებერიოდინი და შედარებით მცირე ამპლიტუდიანი რხევებით. ამის მიზეზი უნდა იყოს ის, რომ ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის

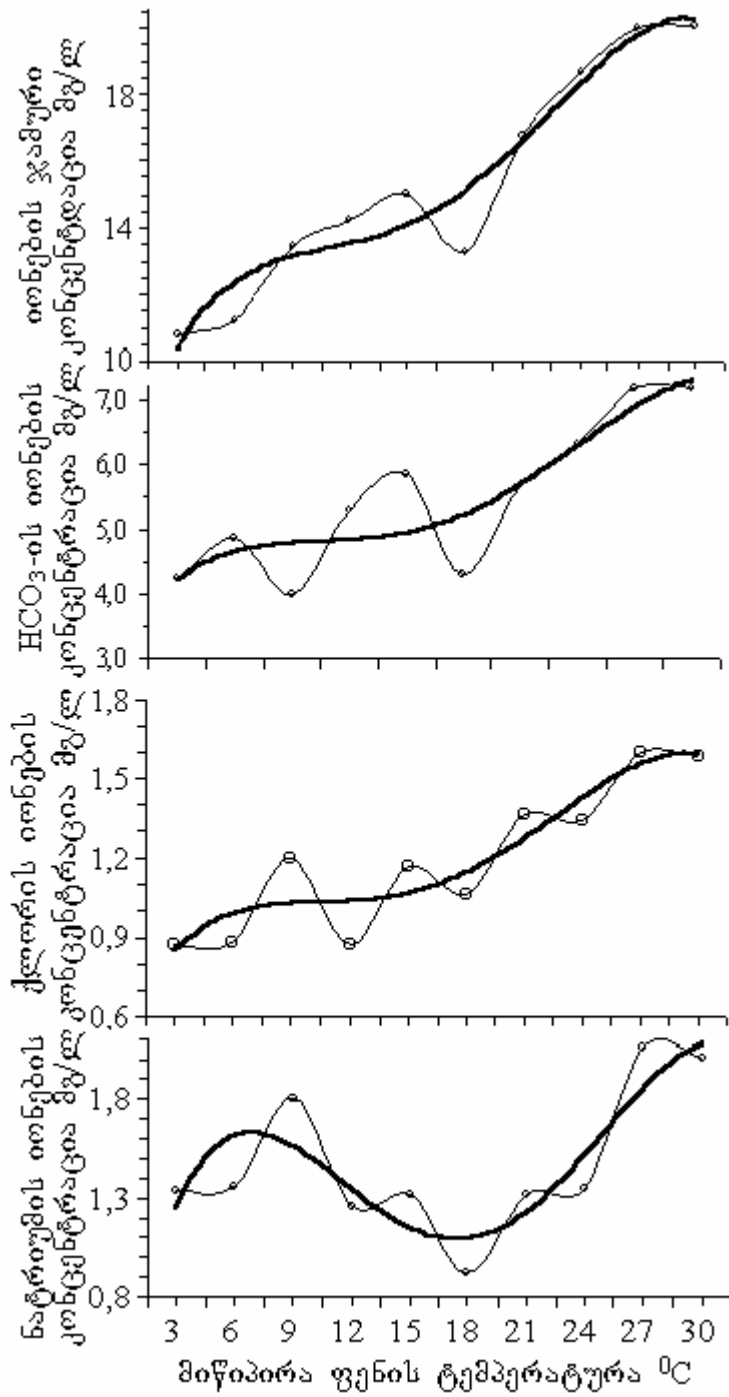
მნიშვნელობას განაპირობებს ტემპერატურასთან ერთად არაერთი სხვა ფაქტორი და ჩვენი გრაფიკები გამოსახავენ რამდენიმე ფაქტორის გავლენის სუპერპოზიციას.

როგორც ნახ.4.1 და 4.2-დან ჩანს ტემპერატურის გაზრდით ნალექებში იზრდება ტერიგენული იონების (Ca^{2+} და HCO_3^-) კონცენტრაცია, აგრეთვე Na^+ -ის და ნაწილობრივ SO_4^{2-} -ის კონცენტრაციებიც. მკვეთრად არის გამოხატული სხვა ძირითადი იონების შემცველობის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებაც.

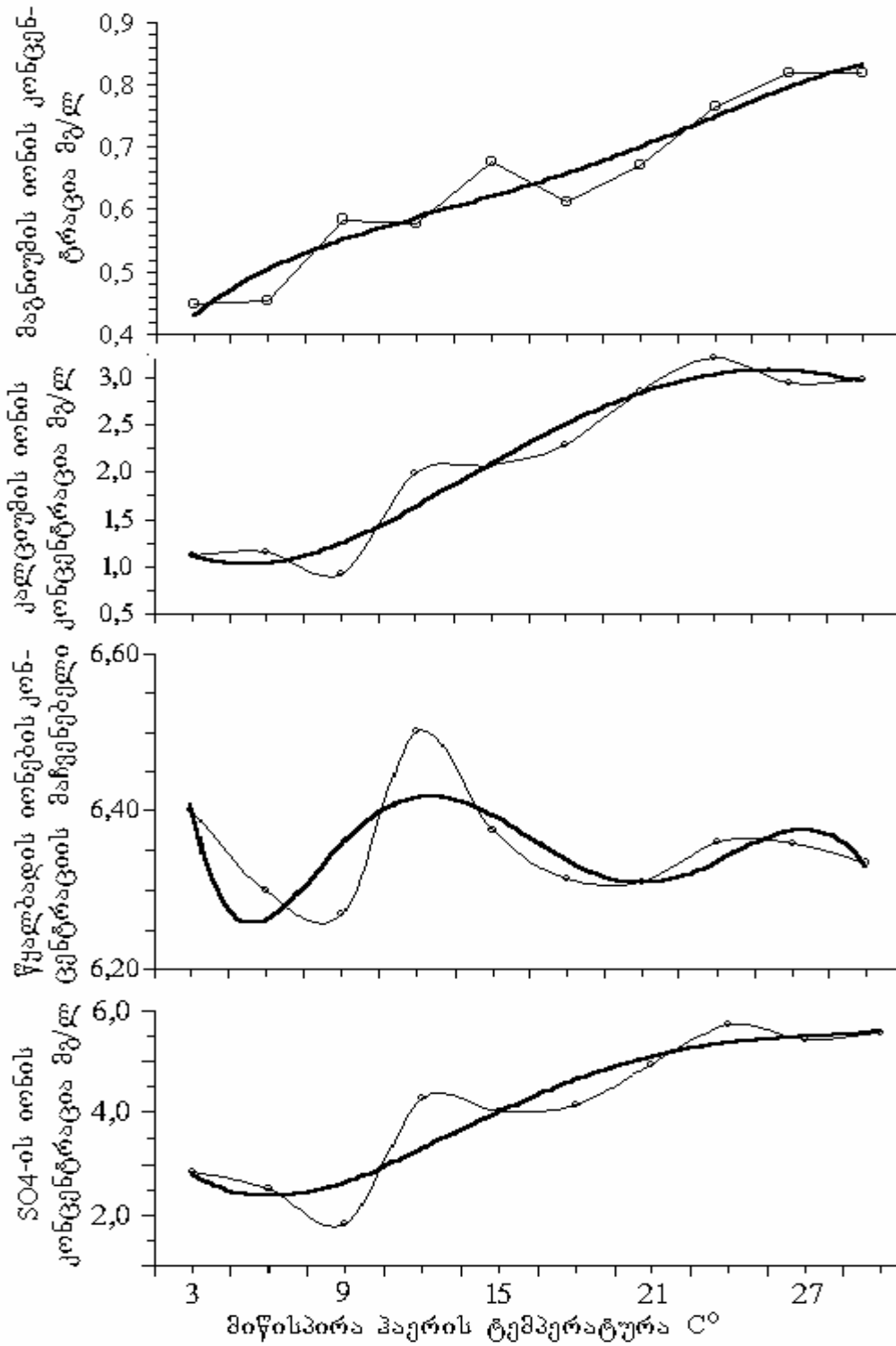
Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} და SO_4^{2-} -ის კონცენტრაციები ტემპერატურის 15-20 °C-მდე გაზრდით იზრდება, ამის შემდეგ თითქმის უცვლელი რჩება. ჩვენს მიერ განხილულ დიაპაზონში (5 – 30 °C) ტემპერატურის ზრდა იწვევს კალციუმის იონის კონცენტრაციის მდგრად კლებას.

ნალექების საერთო მინერალიზაციის დამოკიდებულების ხასიათი მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურაზე ძირითადად განპირობებულია HCO_3^- , Ca^{2+} და SO_4^{2-} იონების კონცენტრაციის ამ ფაქტორზე დამოკიდებულებით. ეს ასეც უნდა ყოფილიყო, რადგან კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ამ იონთა კონცენტრაციები სხვა იონების კონცენტრაციებთან შედარებით მნიშვნელოვნად მაღალია.

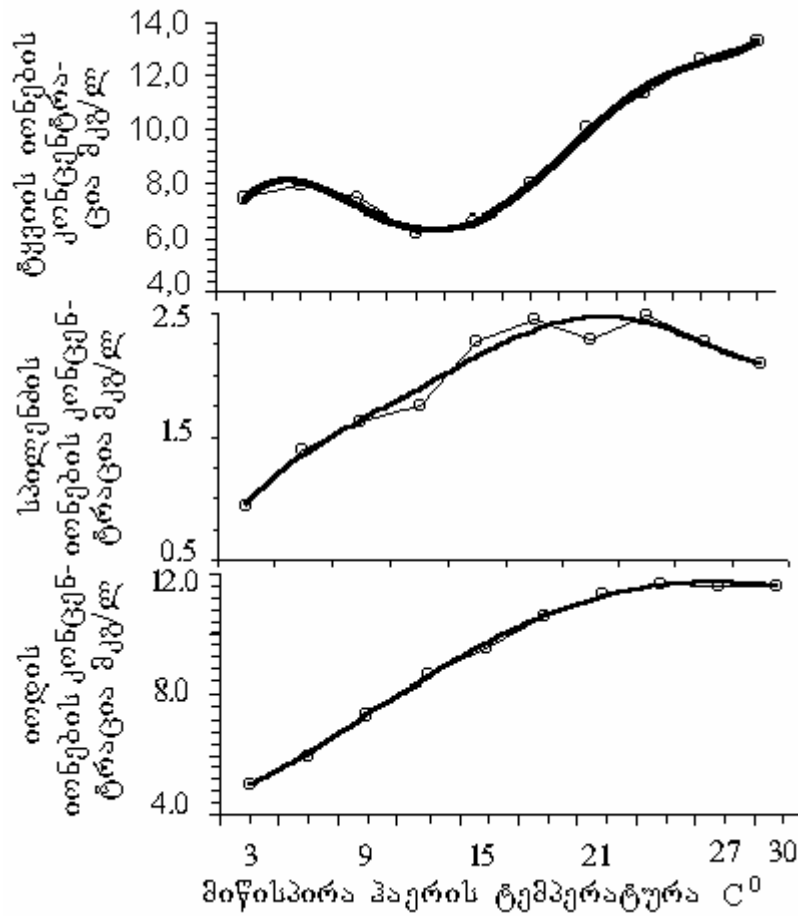
ექსპერიმენტალური მასალის მოცულობამ საშუალება მოგვცა აგვეგო ატმოსფერულ ნალექებში შემავალი იონების კონცენტრაციების მიწისპირა ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების აპროქსიმაციის მრუდები n რიგის პოლინომის სახით და გამოგვეთვალა განტოლებათა მუდმივი კოეფიციენტები, აგრეთვე აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი. ქვემოთ ცხრილში 4.1. მოყვანილია ხსენებული სიდიდეების მნიშვნელობები.



ნახ. 4.1. ძირითადი იონების ჯამური, ნატრიუმის, ქლორის და HCO₃⁻-ის კონცენტრაციების ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები



ნახ. 4.2. მაგნიუმის, კალციუმის, SO₄-ის იონების კონცენტრაციების და წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები



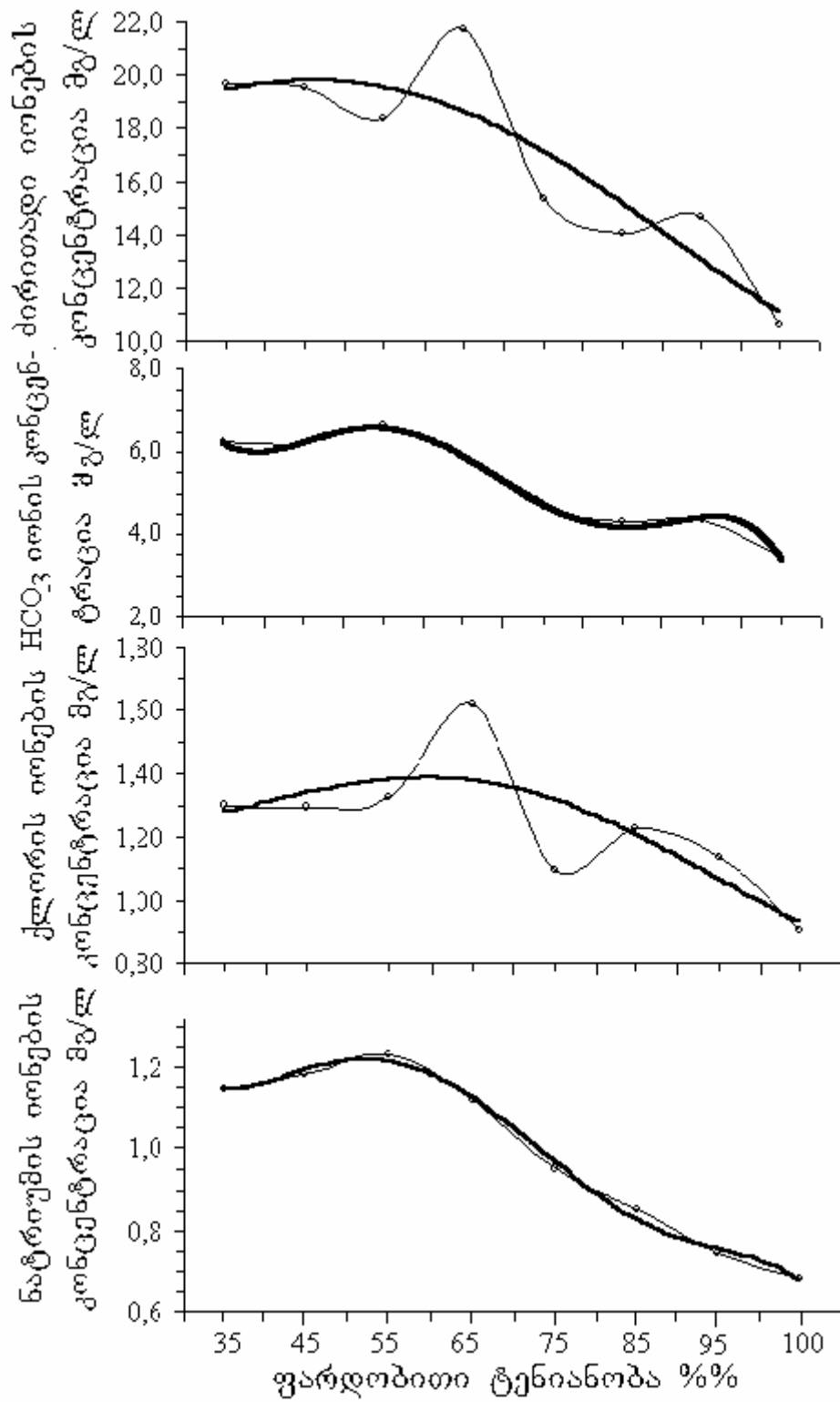
ნახ. 4.3. ტყეის, სპილენძის, და იოდის ონების კონცენტრაციების ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები

შესწავლილი იქნა აგრეთვე ატმოსფერულ ნალექებში შემავალი ონების კონცენტრაციების მიწისპირა ფენის ფარდობითი ტენიანობისაგან დამოკიდებულების ხასიათი. შედეგები გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახ. 4.4., 4.5. და 4.6.-ზე.

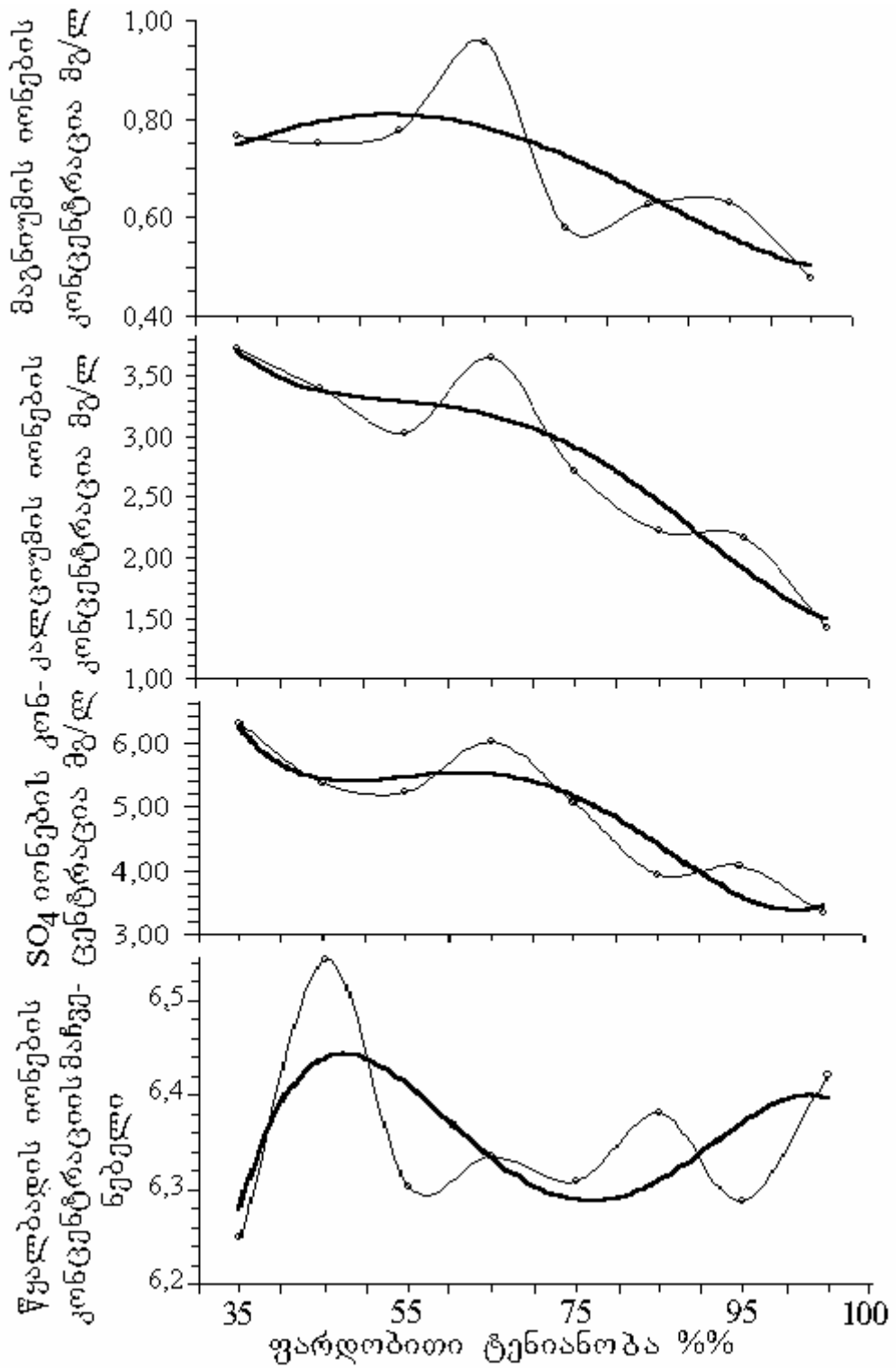
გრაფიკებზე დატანილია აგრეთვე აპროქსიმაციის მრუდებიც (სქელი ხაზი).

ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის (pH) ტემპერატურისაგან დამოკიდებულების აპროქსიმაციის მრუდების განტოლებების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები

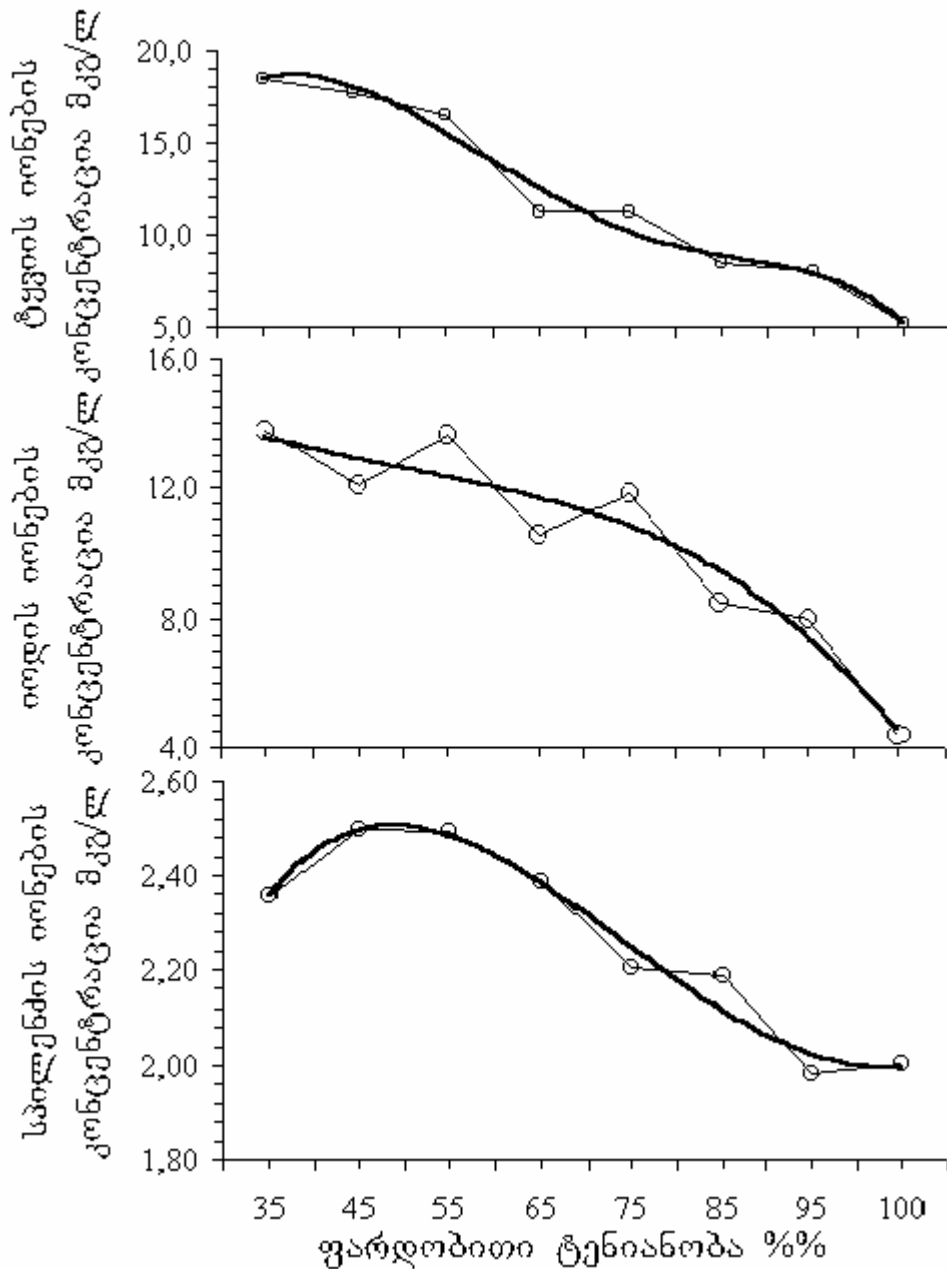
ქიმიური კომპონენტები	პოლინომის მუდმივი კოეფიციენტები							აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი R ²
	A ₆	A ₅	5 ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	
Σ _o	2E-06	-2E-04	0,009	- 0,18	1,850	- 8,17	22,92	0,8944
Cl ⁻	1E-07	-1E-05	4E-04	- 0,01	0,066	- 0,23	1,133	0,8588
Mg ²⁺	--	1E-06	9E-05	-0,003	0,033	- 0,16	0,690	0,7667
HCO ₃ ⁻	-9E-07	8E-05	- 3E-03	0,051	- 0,457	2,00	1,231	0,8189
I ⁻	--	--	2E-05	-1E-03	0,032	0,15	4,283	0,699
Cu ²⁺	-4E-07	4E-05	- 0,002	0,029	- 0,291	1,45	- 1,47	0,8741
Pb ²⁺	--	--	-2E-04	0,010	-0,1773	1,09	5,648	0,7822
Na ⁺	1E-07	- 2E-05	0,001	- 0,02	0,175	- 0,69	2,194	0,6334
pH	6E-08	- 8E-06	4E-04	-0,009	0,109	- 0,59	7,414	0,535
Ca ²⁺	3E-07	- 3E-05	1E-03	- 0,02	0,229	- 1,14	3,021	0,6512
SO ₄ ²⁻	3E-07	- 4E-05	2E-03	- 0,04	0,513	- 2,92	8,03	0,787



ნახ. 4.4. ძირითადი იონების ჯამური, HCO_3^- -ის, ქლორის და ნატრიუმის კონცენტრაციების ფარდობითი ტენიანობისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები



ნახ. 4.5. მაგნიუმის, კალციუმის, SO₄-ის იონების კონცენტრაციების და წყალბადის იონის კონცენტრაციის მაჩვენებლის ფარდობითი ტენიანობისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები



ნახ. 4.6. ტყვიის, იოდის და სპილენძის იონების კონცენტრაციების ფარდობითი ტენიანობისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები

შესაბამისი გრაფიკებიდან კარგად ჩანს, რომ ფარდობითი ტენიანობის ზრდა იწვევს ატმოსფერული ნალექების გასაშუალებული მინერალიზაციის შემცირებას.

ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის გაზრდით ძირითად იონთა კონცენტრაციის შემცირება ლოგიკურია, რადგან მცირდება აეროზოლების კინეტიკური მდგრადობა და იზრდება ნალექების რაოდენობა[40].

ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის გადიდებით საგრძნობლად მცირდება Ca^{2+} და SO_4^{2-} იონების კონცენტრაციები და ნალექების საერთო მინერალიზაცია. სხვა ძირითადი იონებისათვის ეს კანონზომიერება სუსტადაა გამოსახული.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ატმოსფერული ნალექების სინჯების რაოდენობა, რომელიც აღებული იყო 35-40 % ფარდობითი ტენიანობის დროს, სხვა სინჯებთან შედარებით მცირეა, რადგანაც ასეთი დაბალი ფარდობითი ტენიანობის დროს ნალექების მოსვლის ალბათობა მცირეა. ამიტომ მინერალიზაციის ის მნიშვნელობები, რომელიც მიღებულია ასეთი ნალექებისათვის, ნაკლებად საიმედოა. ამით შეიძლება აიხსნას ის ფაქტი რომ, ფარდობითი ტენიანობის დაბალი მნიშვნელობებისათვის (35-40 %) ნალექებში შემავალი ყველა ელემენტისათვის მინერალიზაციის მნიშვნელობა არ არის მაქსიმალური (მაგალითად Cu^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+). ხსენებული იონებისათვის მინერალიზაცია მაქსიმუმს აღწევს 50-55% ფარდობითი ტენიანობის შემთხვევაში. უნდა ვიფიქროთ, რომ ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის ფარდობითი ტენიანობისაგან დამოკიდებულების ჩვენს მიერ მიღებული სურათი არის ტენიანობის გარდა კიდევ სხვა ერთდროულად მოქმედი ფაქტორის გავლენის შედეგი.

უნდა ვიფიქროთ, რომ სხვადასხვა მეტეოროლოგიური ფაქტორის ნალექების მინერალიზაციაზე გავლენის შესასწავლად აუცილებელია ამ ფაქტორების გავლენის ერთდროული გამოკვლევა.

ატმოსფერულ ნალექებში არსებული იონების კონცენტრაციებსა და ფარდობით ტენიანობას შორის დამოკიდებულება გამოვსახეთ n-რიგის პოლინომის საშუალებით. გამოვთვალეთ პოლინომების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის – R^2 -ის მნიშვნელობები, რომელიც ნაჩვენებია ცხრილში 4.2

ცხრილი 4.2.

ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის (pH) ფარდობითი ტენიანობისაგან დამოკიდებულების აპროქსიმაციის მრუდების განტოლებების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები

ქიმიური კომპონენტები	პოლინომის მუდმივი კოეფიციენტები							ქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი R ²
	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	
Σ ₀	-4E-08	2E-05	- 0,003	0,2281	- 10,46	248,49	- 2368	0,9425
pH	-2E-10	1E-07	- 3E-05	0,003	- 0,166	4,89	- 50,42	0,8837
HCO ₃ ⁻	--	--	-5E-07	0,0002	- 0,02	0,95	- 9,40	0,9242
SO ₄ ²⁻	--	-9E-08	3E-05	- 0,005	0,315	- 10,38	137	0,9292
Ca ²⁺	--	7E-08	2E-05	- 0,003	0,202	- 6,42	82,1	0,912
Mg ²⁺	--	-3E-08	1E-05	- 0,002	0,099	- 3,04	36,6	0,7700
Cl ⁻	-1E-09	6E-07	- 8E-05	0,007	- 0,288	6,34	- 54,91	0,7561
Na ⁺	--	--	--	5E-06	- 0,001	0,078	- 0,37	0,9883
Pb ²⁺	4E-09	- 2E-06	0,0003	- 0,031	1,488	- 36,37	374,1	0,9771
I ⁻	2E-09	- 1E-06	0,0002	- 0,021	1,185	- 33,41	386,7	0,9201
Cu ²⁺	--	--	--	7E-06	- 0,002	0,105	0,32	0,9685

რადგან ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობასა და მეტეოროლოგიურ ფაქტორებს შორის დამოკიდებულება არაწრფივი ხასიათისაა, ამ დამოკიდებულების რაოდენობრივი შეფასებისათვის მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ გამოგვეთვალა ე.წ. კორელაციური ფარდობა[117] - r_{xy} თეორიულად r_{xy} ექსპ., სადც r არის შედეგობრივი ნიშნის თეორიულად გამოთვლილი საშუალო კვადრატული გადახრა, ხოლო r_{xy} - ექსპერიმენტალურად განსაზღვრული საშუალო კვადრატული გადახრა.

როგორც გამოთვლებმა აჩვენა (იხ. ცხრილი 4.3.), ძირითადად ყველა დამოკიდებულება ხასიათდება r_{xy} მაღალი მნიშვნელობებით (0.6÷0.9 ფარგლებში). გამონაკლისს შეადგენს Na⁺ იონების კონცენტრაციის სინოტივისაგან (0.43) და Cl⁻ იონების კონცენტრაციის ტემპერატურისაგან (0.43) და სინოტივისაგან (0.42) დამოკიდებულებები.

ცხრილი 4.3.

ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების კონცენტრაციებსა და მიწისპირა ფენაში ჰაერის ტემპერატრასა და ფარდობით ტენიანობას შორის კორელაციური ფარდობის (η) შესაბამისი სტანდარტული ცდომილების (σ_{η}) მნიშვნელობები

5.3 მეტეოროლოგიური ფაქტორი		ქიმიური კომპონენტები						
		5.4	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σ _o
ტემპერატურა	η	0.43	0.89	0.90	0.85	0.74	0.85	0.86
	σ_{η}	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.02
ფარდობითი სინტივე	η	0.42	0.84	0.72	0.43	0.89	0.57	0.68
	σ_{η}	0.04	0.022	0.019	0.05	0.032	0.044	0.035

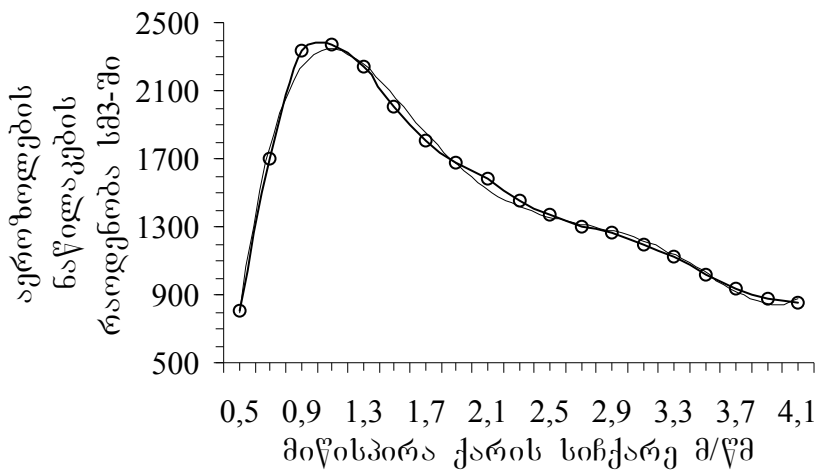
4.2. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე მიწისპირა ქარის მიმართულებისა და სიჩქარის გავლენა

ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე, სხვა ფაქტორებთან ერთად, გავლენას ახდენს მიწისპირა ქარის მიმართულება და სიჩქარე. ცნობილია, რომ კონტინენტიდან მონაბერი ქარის დროს ნალექებში იზრდება ადამიანის სამრეწველო მოღვაწეობით განპირობებული SO₄²⁻ იონების კონცენტრაცია. ქლორის იონების კონცენტრაციის მატებას ნალექებში ზღვიდან მონაბერი ქარები იწვევს[40,116]. როგორც იაპონელი მკვლევარი[118] აღნიშნავს წვიმის წყალში მასში შემავალი მარილების კონცენტრაციაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ქარის მიმართულებაც, ხოლო მისი ეფექტურობა იცვლება ქარის სიჩქარის სიდიდის მიხედვით. ზღვისპირა რეგიონებისათვის მოძებნილ იქნა პირდაპირი კავშირი ნალექებში ქლორის იონების კონცენტრაციასა და ქარის სიჩქარეს შორის[119]. უელსში ორი წლის განმავლობაში სპეციალურად ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ შემოდგომაზე დასავლეთის და სამხრეთ- დასავლეთის ქარების დროს ნალექებში ჰარბობს ზღვის მარილების იონები, ხოლო გაზაფხულზე, მაშინ როდესაც უქარო ამინდია ან ქარის სუსტი აღმოსავლეთის ქარი, ნალექებში მარილების კონცენტრაციას განსაზღვრავს კონტინენტალური წარმოშობის იონები[120].

თვლიან, რომ ატმოსფერულ ნალექებში მოხვედრილი ნივთიერებების 80% წვიმის წვეთში ხვდება წვეთის ატმოსფეროს დაბალ ფენებში ვარდნისას. [122]-ის მიხედვით ატმოსფეროს დაბალ ფენებში აეროზოლების კონცენტრაცია დამოკიდებულია მიწისპირა ქარის სიჩქარეზე (იხ. ნახ. 4.7.)

ნახაზიდან ჩანს, რომ სუსტი ქარის დროს (დაახლოებით 0.9 – 1.1 მ/წმ.) ატმოსფეროს დაბალი ფენები მაქსიმალურად არის გაჯერებული აეროზოლებით.

კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე მიწისპირა ქარის გავლენის შესწავლის მიზნით გაანალიზებული იქნა ყველა ჩვენს ხელთ არსებული ქიმიური ანალიზის შედეგები, როცა ცნობილი იყო სინჯის ალების მომენტისათვის მიწისპირა ქარის სიჩქარე და მიმართულება.



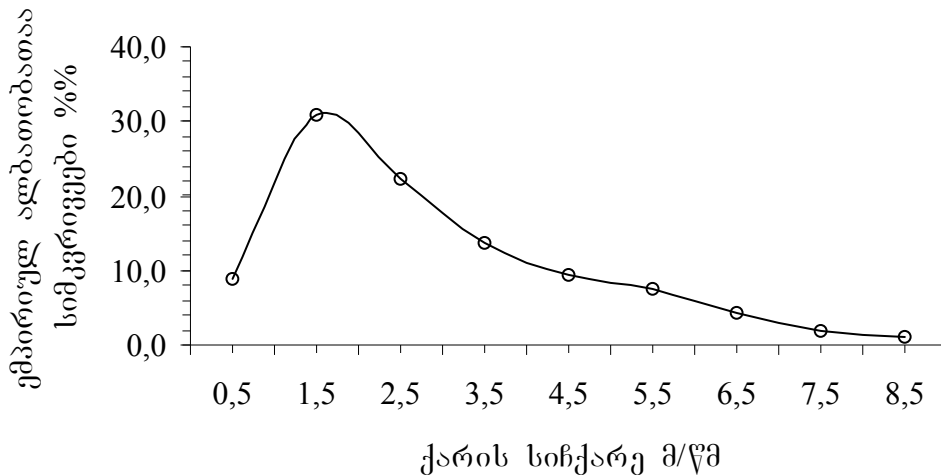
ნახ. 4.7. მიწისპირა ჰაერში აეროზოლების კონცენტრაციის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე ([122]-ის მიხედვით)

ნახ. 4.8. და 4.9.-ზე ნაჩვენებია ჩვენს მიერ განხილულ წლებში ქარის სიჩქარისა და მიმართულების ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივეების განაწილების გრაფიკები, რომლიდანაც ჩანს, რომ ჩრდილოეთის ქარის დროს ხსენებულ რეგიონში ნალექები არ აღინიშნებოდა. ნალექების სინჯების ორ მესამედზე მეტი აღებულია დასავლეთის (შემთხვევების 26%) ან აღმოსავლეთის (შემთხვევების 18,6%) და სამხრეთ-დასავლეთის (შემთხვევების 17%) ქარის დროს. ატმოსფერული ნალექების ყველა სინჯის ალების დროს ქარის სიჩქარე არ აღემატებოდა 9 მ/წმ., უმეტესად კი 1 – 3 მ/წმ-

ის ფარგლებში იცვლებოდა (საშუალო ტოლია 2.6 მ/წმ., ხოლო მოდა – 1.5 მ/წმ). მხოლოდ სინჯების 15% აღებულია, როცა ქარის სიჩქარე აღემატებოდა 4 მ/წმ.

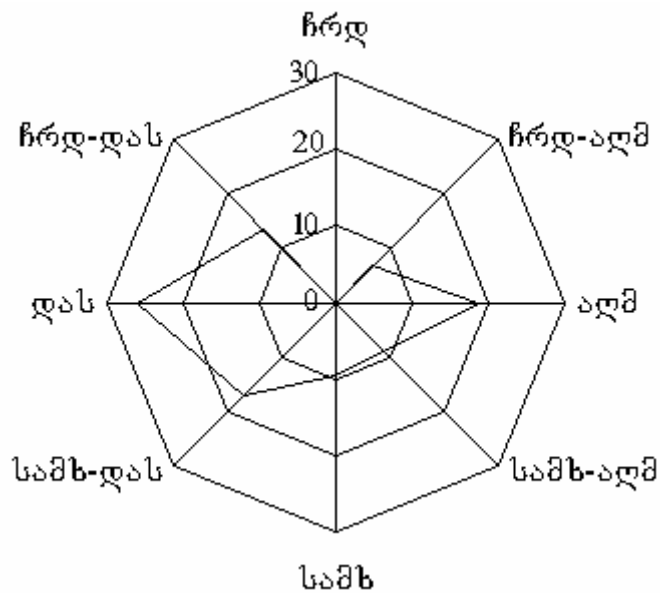
ნახ. 4.10.-ზე მოცემულია ცალკეულ იონთა საშუალო და ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციების მიწისპირა ქარის სიჩქარისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები. გრაფიკებიდან ჩანს, რომ ნალექები მაქსიმალურად მინერალიზებულია უქარო ამინდის, ან ქარის უმნიშვნელო სიჩქარეების დროს.

ნალექების მინერალიზაციის ქარის სიჩქარისაგან დამოკიდებულება არაწრფივია. შედგენილია შესაბამისი აპროქსიმაციის განტოლებები ნ-რიგის პოლინომი სახით და გამოთვლილია მუდმივი კოეფიციენტები, აგრეთვე აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 4.4.



ნახ. 4.8. მიწისპირა ფენაში ქარის სიჩქარის ემპირიულ ალბათობათა სიმკვრივების განაწილების გრაფიკი

ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის ქარის სიჩქარისაგან არაწრფივი დამოკიდებულების გამო, ამ დამოკიდებულების რაოდენობრივად შესაფასებლად გამოვთვალეთ კორელაციური ფარდობის - r და მისი სტანდარტული ცდომილების σ_r მნიშვნელობები, რომლებიც მოყვანილია ცხრილში 4.5.

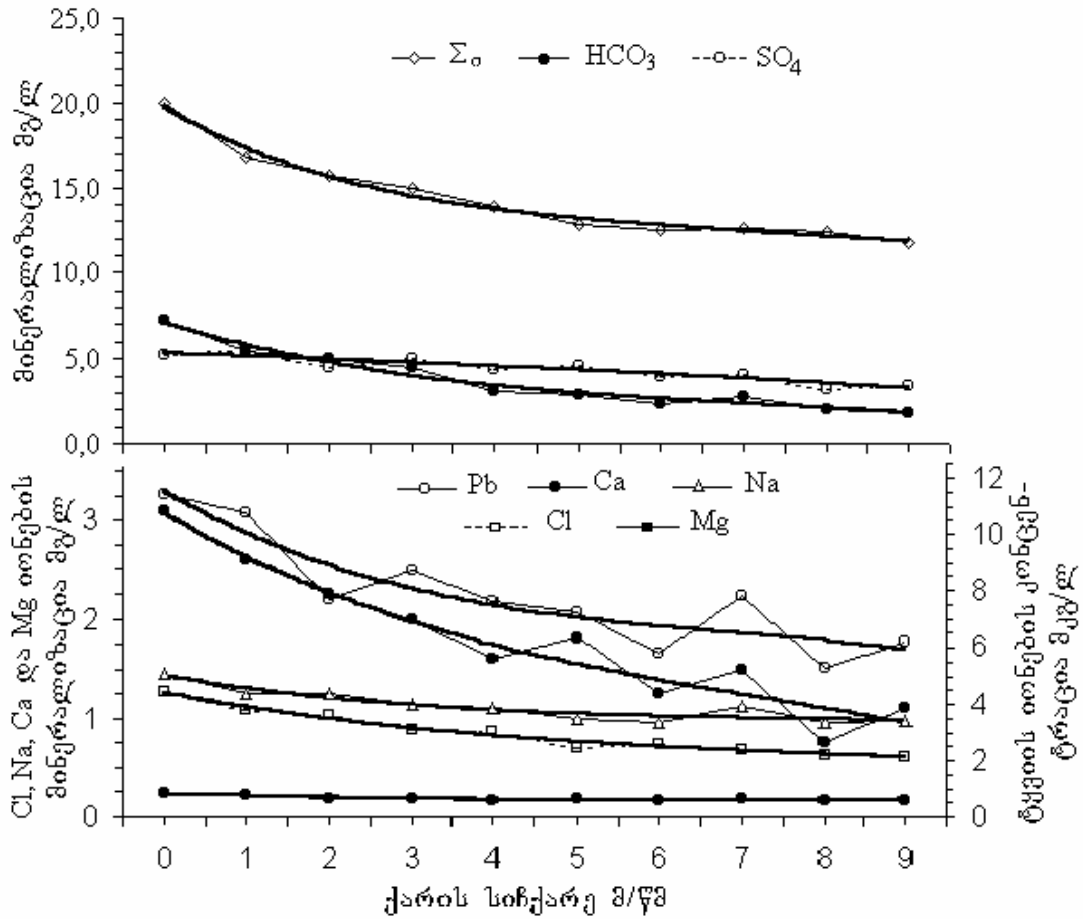


ნახ.4.9. მიწისპირა ფენაში ქარის მიმართულების ემპირიულ

ალბათობათა სიმკვრივების განაწილების გრაფიკი

როგორც ცხრილიდან ჩანს η -ს მნიშვნელობა მხოლოდ Ca^{2+} და HCO_3^- იონებისათვის და ჯამური მინერალიზაციისათვის Σ_i აღემატება 0.5, სხვა იონებისათვის იგი იცვლება 0.3 და 0.4-ს შორის. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ შესაბამისი სტანდარტული ცდომილებები დიდი არ არის, η -ს მნიშვნელობები საიმედოდ შეიძლება ჩაითვალოს.

η -ს მნიშვნელობებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციისათვის ქარის სიჩქარე განმსაზღვრელ ფაქტორს არ წარმოადგენს, ხოლო ის დამოკიდებულება, რომელიც ჩვენს მიერ იქნა გამოვლენილი, შეიძლება იყოს მესამე ფაქტორის შედეგი, რომელზედაც დამოკიდებულია თვით მიწისპირა ქარის სიჩქარე. ასეთი ფაქტორი შეიძლება იყოს ატმოსფეროს საშუალო ფენებში გაბატონებული ქარის საშუალო სიჩქარე.



ნახ. 4.10. აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და ძირითადი იონების კონცენტრაციების ქარის სიჩქარისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები

ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციაზე მიწისპირა ქარის მიმართულების გავლენის შესწავლის მიზნით რვა სტანდარტული მიმართულებისათვის გამოთვავალეთ ცალკეული ძირითადი იონებისა და მათი ჯამური კონცენტრაციებისათვის საშუალო მნიშვნელობები. შედეგი წარმოდგენილია ცხრილში 4.6.

ცხრილი 4.6.-ში წარმოდგენილი მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ HCO_3^- და SO_4^{2-} იონებისათვის, რომლებზედაც საერთო მინერალიზაციის მნიშვნელოვანი წილი მოდის, აღინიშნება მათი კონცენტრაციის ერთგვარი ზრდა ქარის სამხრეთის და სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებების დროს.

ცხრილი 4.4.

აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და ძირითადი იონების კონცენტრაციების ქარის სიჩქარისაგან დამოკიდებულების ამსახველი აპროქსიმაციის განტოლებების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები

იონები	განტოლების მუდმივი კოეფიციენტები					აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი R ²
	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	
Σ ₀	0,0014	- 0,0412	0,4805	- 2,8578	19,773	0,9838
HCO ₃ ⁻	--	-0,0076	0,166	- 1,4748	7,155	0,9698
SO ₄ ²⁻	--	-0,0004	- 0,0018	- 0,1796	5,3405	0,8569
Ca ²⁺	--	-0,0021	0,047	- 0,4849	3,0693	0,9313
Na ⁺	-0,0002	0,003	- 0,0039	- 0,1072	1,4266	0,8846
Cl ⁻	--	-0,0006	0,0145	- 0,1582	1,2618	0,978
Mg ²⁺	-0,0002	0,0021	0,0005	- 0,082	0,8223	0,9376
Pb ²⁺	0,0013	-0,0334	0,3383	- 1,9228	11,604	0,8328

ცხრილი 4.5.

ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების კონცენტრაციებსა და მიწისპირა ფენაში ქარის სიჩქარეს შორის კორელაციური ფარდობისდა (η) შესაბამისი სტანდარტული ცდომილების (σ_η) მნიშვნელობები

იონები	Σ ₀	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Pb ²⁺
კორელაციური ფარდობა	0.60	0.58	0.48	0.44	0.15	0.62	0.31	0.27
სტანდარტული ცდომილება	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06

ცხრილი 4.6.

აღმოსავლეთ საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების და მათი ჯამური კონცენტრაციების ქარის მიმართულებაზე დამოკიდებულების ცხრილი

ქარის მიმართულება	მწერალიზაცია მგ/ლ
-------------------	-------------------

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	Mg ²⁺	Σ _i
Crd	-	-	-	-	-	-	-
ჩრდ-აღმ	4,60	5,18	2,30	0,75	1,00	0,55	14,38
აღმ	4,80	4,35	2,10	1,60	0,92	0,60	14,37
სამხ-აღმ	5,90	4,48	2,50	0,70	1,28	1,05	15,91
სამხ	8,35	6,05	2,30	1,80	1,15	0,90	20,55
სამხ-დას	6,80	6,35	2,28	1,35	1,08	0,78	18,64
დას	5,30	5,25	2,20	1,28	0,90	0,95	15,88
ჩრდ-დას	3,90	4,30	2,08	0,70	1,10	0,55	12,63

აღნიშნული იონების კონცენტრაციების ეს ზრდა შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მოცემულ რეგიონში გაბატონებულ ქარს გააჩნია ეს მიმართულება, ხოლო ამ მიმართულებიდან ნალექების სინჯის აღების პუნქტებს ეკვრის კახეთისა და ცივ-გომბორის ქედები, რომელთა კალთების ზედაპირზე არსებული მინერალები ხელს უწყობს ნალექების ამ მინერალებით გამდიდრებას.

ნალექების მინერალიზაციაზე ქარის მიმართულების გავლენის რაოდენობრივად შესაფასებლად გამოვთვალეთ შესაბამისი კორელაციური თანაფარდობისა (η) და მისი სტანდარტული ცდომილების (σ_η) მნიშვნელობები (ცხრილი 4.7.)

კორელაციური ფარდობის დაბალი მნიშვნელობები (მხოლოდ კალციუმის იონისათვის აღემატება მისი მნიშვნელობა 0.5-ს) გვაფიქრებინებს, რომ მოცემული რეგიონისათვის ქარის მიმართულება მინერალიზაციის მნიშვნელობაზე სუსტ გავლენას ახდენს. ქარის მიმართულებამ მხოლოდ ნალექებში შემავალი იონების სახეობაზე შეიძლება იქონიოს გავლენა.

ცხრილი 4.7.

ატმოსფერული ნალექების მიწისპირა ქარის მიმართულებისაგან დამოკიდებულების კორელაციური თანაფარდობისა (η) და მისი სტანდარტული ცდომილების (σ_η) მნიშვნელობების ცხრილი

	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σ _o
--	-------------------------------	-----------------	-------------------------------	-----------------	------------------	------------------	----------------

კორელაციური ფარდობა	0.39	0.18	0.33	0.19	0.54	0.14	0.29
სტანდარტული ცდომილება	0.06	0.05	0.07	0.07	0.04	0.06	0.05

**4.3. ატმოსფერულ ნალექებში სხვადასხვა ქიმიური კომპონენტის
კონცენტრაციის მნიშვნელობათა დამოკიდებულება დროის იმ
ინტერვალზე ნალექების გარეშე, რომელიც წინ უსწრებდა ნალექის
მოსვლას**

იმ ფაქტორების გამოვლენას და შესწავლას, რომლებიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე და იწვევენ მის ცვლილებას დროსა და სივრცეში, გააჩნია თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. ასეთი კვლევების შედეგები ფართოდ გამოიყენება მეტეოროლოგიაში, აგროქიმიაში, გეოქიმიაში, სანიტარიაში და სხვ[5,7,11,123].

სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ ფაქტორებთან ერთად, რომლებიც გავლენას ახდენენ ნალექების მინერალიზაციაზე, ჩვენ შევისწავლეთ ნალექებში იონების კონცენტრაციაზე ე.წ. «მშრალი დღეების» გავლენა. («მშრალი დღეებს» უწოდებენ დროის ინტერვალს ნალექების გარეშე, რომელიც წინ უსწრებდა ნალექის სინჯის აღებას). სინჯების ქიმიური ანალიზი ტარდებოდა მეთოდით, რომელიც აღწერილია [34, 124]-ში.

ამ მოვლენის შესწავლას მიემდგვნა მრავალი გამოკვლევა მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში[40,73,121,125], სადაც დროის ინტერვალად აღებულია დღე და ღამე. ასეთი მიდგომის გამო ძნელია უფრო ზუსტი დამოკიდებულების გამოვლენა. ყველა აღნიშნულ გამოკვლევაში ითვლება, რომ ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის მნიშვნელობა პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია ნალექის სინჯის აღების წინ მსწრები «მშრალი დღეების» რაოდენობასთან.

ატმოსფერულ ნალექებზე სისტემატიური და ხანგრძლივი დროით დაკვირვებების ჩატარებამ მოგვცა საშუალება უფრო დაწვრილებით შეგვესწავლა «მშრალი დღეების» გავლენა მინერალიზაციაზე.

დაკვირვების მასალის სიმრავლემ საშუალება მოგვცა სინჯის აღებამდე უნაღვე დროის პერიოდი დაგვეყო 12 საათიან ინტერვალზე. ჩვენი კვლევის შედეგები გრაფიკულად მოყვანილია ნახ. 4.11.

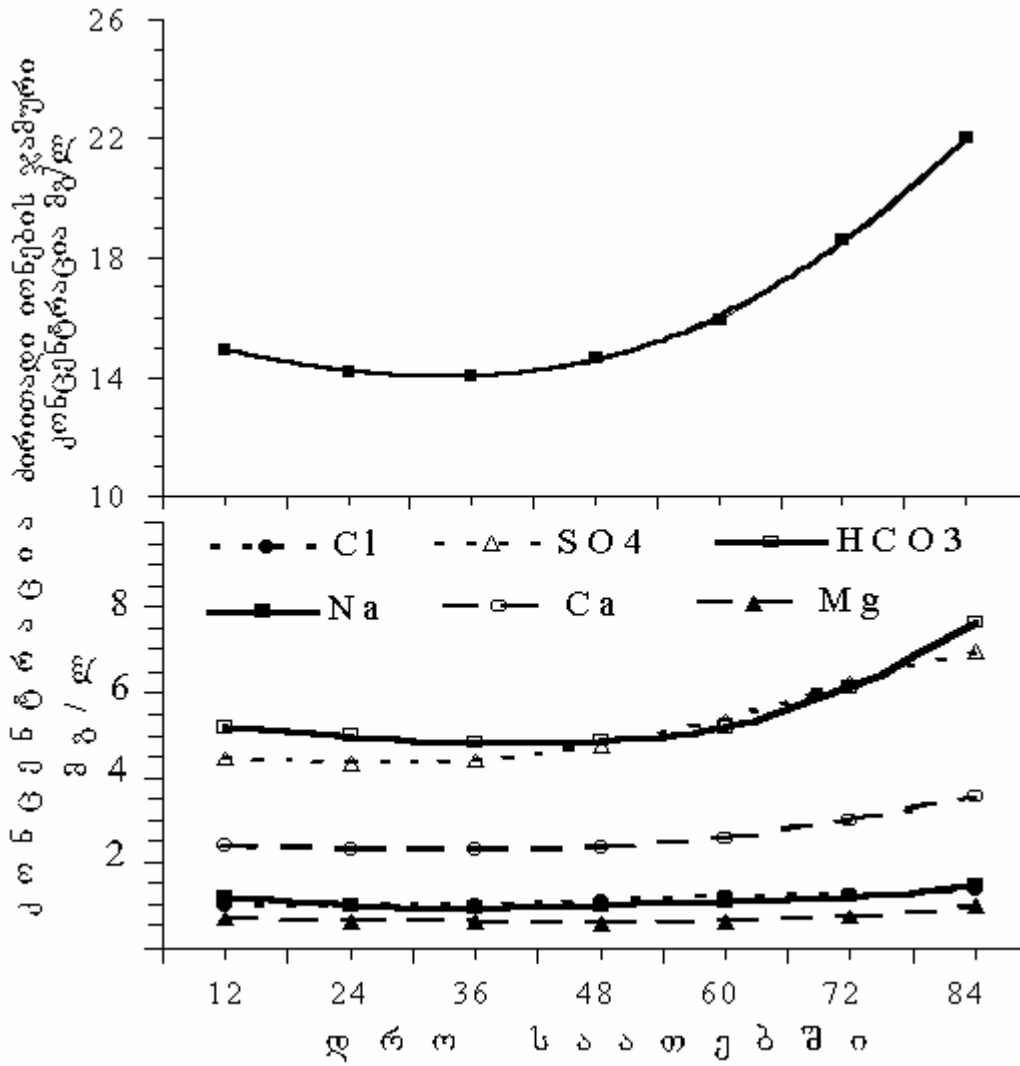
როგორც აღნიშნული გრაფიკებიდან ჩანს, თითქმის ყველა ძირითადი იონებისათვის, მათი კონცენტრაცია ნალექებში, რომელთა აღებას წინ უსწრებდა 12 საათიანი უნაღვე დროის ინტერვალი, უფრო მაღალია, ვიდრე შესაბამისი კონცენტრაციები ნალექებში, რომელთაც წინ უსწრებდა 24 საათიანი ინტერვალი წვიმის გარეშე. მართალია ეს ნაზრდი არ არის დიდი, მაგრამ მინერალიზაციის ზრდის ტენდენცია შეინიშნება დროის შემდგომი ინტერვალისათვისაც. გრაფიკებიდან ჩანს, რომ ეს დამოკიდებულება არაწრფივია. ყველა იონისათვის ეს დამოკიდებულება კარგად აპროქსიმირდება მესამე რიგის პოლინომით.

იმავე ნახაზზე ცალკე მოგვყავს ანალოგიური დამოკიდებულების გრაფიკი ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციისათვის. ამ შემთხვევაშიც დამოკიდებულება არაწრფივია და აღიწერება მესამე რიგის პოლინომით.

ამ მოვლენის შედეგად ნალექების მინერალიზაციის მატების ახსნა ადვილია თუ მხედველობაში მივიღებთ იმას, რომ ნალექის სინჯის აღებამდე «მშრალი დღეების» რიცხვის ზრდა ხელს უწყობს ატმოსფეროში ტერიგენული და ანტროპოგენული აეროზოლების კონცენტრაციის ზრდას, რაც წარმოადგენს ასეთ გარემოში ჩამოვარდნილი წყლის წვეთის მინერალებით გაჯერების მიზეზს.

ცხრილში 4.8.-ში მოყვანილია პროგნოსტიკული მრუდების მაპროქსიმებული პოლინომების მუდმივი კოეფიციენტების და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის (R^2) მნიშვნელობები.

პროგნოსტიკული განტოლებების გამოყენებით შესაძლებელი გახდება ნალექის მოსვლამდე დროის მშრალი ინტერვალის სიდიდის მიხედვით შევაფასოთ მოსული ნალექის მიერ ნიადაგში შეტანილი სხვადასხვა მინერალის მოსალოდნელი რაოდენობა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ რამდენიმე «მშრალი» დღის შემდეგ აღებული წვიმის სინჯი თითქმის ორჯერ უფრო მინერალიზებულია, მაშინ, იმის ცოდნას, თუ რამდენი მინერალი შეიტანა მოცემულმა ნალექმა ნიადაგში, დიდი მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის მინერალური სასუქებით ხელოვნურად გამდიდრებისას.



ნახ. 4.11. საქართველოს კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) და ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციების მნიშვნელობათა დამოკიდებულების გრაფიკი დროის იმ ინტერვალის სიდიდეზე, რომელიც წინ უსწრებდა სინჯის აღების მომენტს და ნალექი არ აღინიშნებოდა

ცხრილი 4.8.

საქართველოს კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ძირითადი იონების და ძირითადი იონების ჯამური კონცენტრაციების მნიშვნელობათა დროის იმ ინტერვალის სიდიდეზე, რომელიც წინ უსწრებდა სინჯის აღების მომენტს, დამოკიდებულების პროგნოსტიკული განტოლებების მუდმივი კოეფიციენტებისა და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებლის მნიშვნელობები

ქიმიური კომპონენ-ტები	პოლინომის მუდმივი კოეფიციენტები					აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი R^2
	A_4	A_3	A_2	A_1	A_0	
HCO_3^-	1E-06	- 0,0002	0,0119	- 0,3097	7,4286	0,9709
SO_4^{2-}	--	-1E-06	0,0009	- 0,0462	5,0171	0,8773
Ca^{2+}	-4E-07	8E-05	- 0,005	0,1066	1,6529	0,6753
Na^+	-9E-08	1E-05	- 0,0005	- 0,0084	1,3711	0,8203
Cl^-	--	-4E-06	0,0006	- 0,0262	1,3271	0,8273
Mg^{2+}	-1E-07	3E-05	- 0,0019	0,0471	0,3131	0,9538
Σ_0	2E-06	-0,0005	0,0407	- 1,3331	27,039	0,9379

**თავი V. კახეთის რეგიონის ატმოსფერული ნალექების და აეროზოლების
ქიმიურ შემადგენლობაზე ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების
დროს გამოყენებული აქტიური რეაგენტის გავლენა**

5.1. შიდამასიური განვითარების ერთუჯრედიანი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში

და მიწისპირა აეროზოლებში Pb^{2+} -ის, I^- -ისა და ჩუ^{2+} -ის შემცველობის

დამოკიდებულება ამ ღრუბლებში შეტანილი ტყვიის იოდიდის რაოდენობაზე

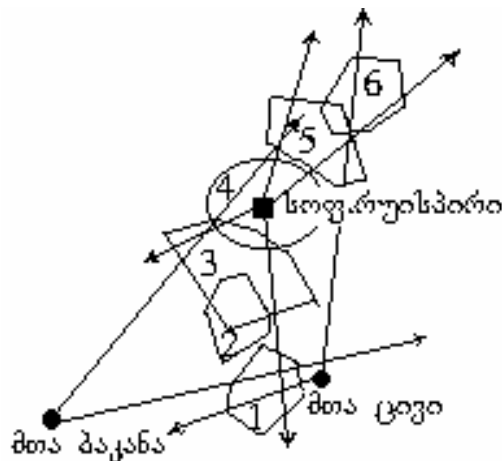
ალაზნის ველის ატმოსფერული ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების გავლენას სწავლობდნენ ა.ქარცივაძე, გ. სუპატაშვილი, ლ. აბესალაშვილი და სხვ [35,70]. მათ მიერ გამოკვლეულ იქნა მიწისპირა აეროზოლებისა და ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის

დროში და სივრცეში გასაშუალებული მნიშვნელობები და მოძებნილ იქნა კავშირი წლის განმავლობაში ატმოსფეროში ღრუბლებზე ზემოქმედების დროს გაბნეული აქტიური რეაგენტის (PbI_2) რაოდენობასა და აეროზოლებში და ნალექებში Pb^{2+} , I^- და H_2O^+ -ის შემცველობას შორის. საკითხისადმი ასეთნაირად მიდგომისას ძნელია იმის დადგენა, თუ რის შედეგია ესა თუ ის დამოკიდებულება საკვლევ სიდიდეებს შორის.

წინამდებარე ნაშრომში ჩვენ შევეცადეთ ყოველი ცდის შედეგი (ცდას ვუწოდებთ ღრუბელზე აქტიურ ზემოქმედებას და ამ ღრუბლიდან მოსული ნალექისა და ერთდროულად აღებული აეროზოლის სინჯის ქიმიურ ანალიზების ერთობლიობას) გაგვეანალიზებინა ცალკ-ცალკე. ხსენებულ ნაშრომში ჩვენ განვიხილავთ ერთუჯრედიან შიდამასიური განვითარების ღრუბლებს, რომლებიც ვითარდებოდნენ ერთ გარკვევულ ადგილას და შემდეგ გადაადგილდებოდნენ ნალექისა და აეროზოლის სინჯების აღების ადგილისაკენ.

ცდის დროს რადიოლოკატორით ფიქსირდებოდა ღრუბლის რადიოექოს ჰორიზონტალური კვეთი დაახლოებით 4 - 6 კმ-ის სიმაღლეზე ზღვის დონიდან. იმ მეთოდის თანახმად, რომლითაც წარმოებდა ღრუბლებზე ზემოქმედება, რეაგენტი შეჭკონდათ უპირატესად ზემოთხსენებული კონტურის შიგნით და ის შემდგომისდაგვარად განაწილებული უნდა ყოფილიყო თანაბრად.

ცდები შერჩეულ იქნა ისეთნაირად, რომ ღრუბლებს გარდა ერთნაირი გენეზისისა, უნდა ჰქონოდათ თითქმის ერთნაირი მაქსიმალური სიმაღლე (10-12 კმ.) და მოძრაობის თითქმის ერთნაირი ტრაექტორია. იმის გამო, რომ ისინი ხასიათდებოდნენ სეტყვასაშიშროების სხვადასხვა მნიშვნელობებით და ხსენებული კვეთის სხვადასხვა სიდიდით, მათში შეყვანილ იყო სხვადასხვა რაოდენობის აქტიური რეაგენტი. ნახ.5.1-ზე წარმოდგენილია ერთ-ერთი ცდის სქემატური



ნახ.5.1. ერთ-ერთი ცდის სქემატური გამოსახულება

გამოსახულება. სქემაზე შეკრული ტეხილი კონტური შეესაბამება ღრუბლის რადიოექოს ჰორიზონტალურ ჭრილს 5,4 კმ-ის სიმაღლეზე. ნომრები კონტურებს შიგნით აღნიშნავენ რადიოექოზე დაკვირვების დროის გარკვეულ მომენტს, რომელთა შორის სხვაობა 4-6 წუთის ტოლია. მრგვალი წერტილებით აღნიშნულია რეაგენტის რაკეტების გაშვების ადგილები. ისრებიანი ხაზებით შემოსაზღვრულია რაკეტების გაშვების ჰორიზონტალური კუთხეები. ოთხკუთხედი წერტილით სქემაზე აღნიშნულია სინჯების ადების ადგილი (თელავის რ-ნი, სოფ. რუისპირი). ყოველი ცდის დროს ცნობილი იყო ზემოქმედების დაწყებისა და დამთავრების დრო. ნალექისა და აეროზოლების სინჯების ადების დრო ყოველთვის თავსდება დროის ზემოთხსენებულ ინტერვალში.

ცდების საერთო რაოდენობა, რომელიც აკმაყოფილებდა ყველა ზემოთჩამოთვლილ პირობას, მოცემულ შემთხვევაში, შემოსაზღვრება 54-ით. აქედან 35 შემთხვევაში ადგილი ჰქონდა სხვადასხვა ინტენსივობის ზემოქმედებას.

პარალელურად გაანალიზებულ იქნა ისეთი შემთხვევებიც (სულ 19 შემთხვევა), როცა ღრუბლის წარმოშობის ადგილი და განვითარების ისტორია თითქმის ისეთივე იყო, როგორც ზემოთაღწერილ შემთხვევებში, მაგრამ მათი არასეტყვასაშიშროების გამო მათზე ზემოქმედება ჩატარებული არ ყოფილა. ასეთი ღრუბლები თავისი განვითარების ტიპით (ერთუჯრედიანი, შიდამასიური ხასიათის) ისეთივე იყო, როგორც ზემოთხსენები ღრუბლები, მაგრამ განვითარების სიმძლავრით ჩამოუვარდებოდა მათ. ასეთი ღრუბლების სეტყვასაშიშროების კოეფიციენტი არ აღემატებოდა 0,3-0,4.

არაზემოქმედებაქმნილი ღრუბლების ჩართვა შემოთავაზებულ ანალიზში განპირობებულია იმით, რომ საჭიროა გვექონდეს გასაანალიზებელი სიდიდეების ე.წ. ფონური მნიშვნელობები.

ძირითადი ყურადღება გამახვილებული იყო ნალექებში და აეროზოლებში Pb^{2+} -ის და I^- -ის შემცველობაზე. პარალელურად ისაზღვრებოდა Cu^{2+} -იც. ეს უკანასკნელი აღებული იყო, როგორც საკონტროლო ელემენტი, რადგანაც ზემოქმედების რეაგენტი

მას არ შეიცავს, მისი ძირითადი წყარო ნიადაგია, სადაც იგი ხვდება სასოფლოსამეურნეო კულტურებზე (ძირითადად ვაზზე) აგროქიმიური ოპერაციების ჩატარების დროს.

საქართველოს ატმოსფერული ნალექებში Pb^{2+} -ის, I^- -ის და Cu^{2+} -ის შემცველობის ფონურ მნიშვნელობად ითვლება 2,3 მკგ/ლ, 4,9მ კგ/ლ და 1.2 მკგ/ლ შესაბამისად [35].

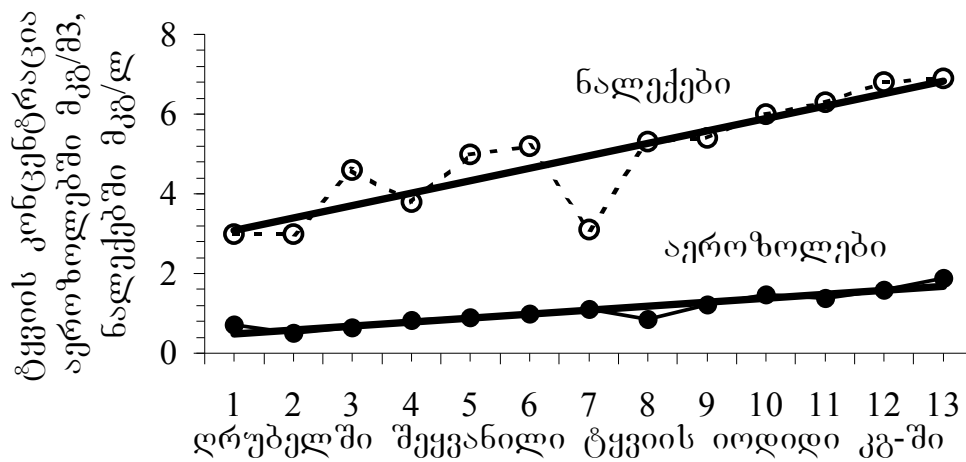
არაზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებისათვის ჩვენს შემთხვევაში ამ სიდიდეების საშუალო მნიშვნელობები ოდნავ აღემატება ზემოთმოყვანილ მნიშვნელობებს. (Pb -სთვის იგი ტოლია 2.6 მკგ/ლ-სა, იოდისთვის - 5.1 მკგ/ლ და სპილენძისთვის - 1.5 მკგ/ლ). ამის მიზეზი, ალბათ, გახლავთ ის, რომ ფონური მნიშვნელობების დადგენისას იღებდნენ ყველა სინჯს, აღებულს აპრილის დასაწყისიდან ოქტომბრის ბოლომდე. ჩვენს შემთხვევაში ცდების უმრავლესობა მოდის სექტემბრის თვალსაზრისით შედარებით უფრო აქტიურ თვეებზე (მაისი-ივნისი და აგვისტო-სექტემბერი), რომელიც ძლიერი კონვექციური და ტურბულენტური მოძრაობებით ხასიათდება [126]

ზემოქმედებაქმნილი შიდამასიური პროცესის ერთუჯრედიანი ღრუბლების შემთხვევაში ნალექებში ტყვიის საშუალო შემცველობა 6,15 მკგ/ლ ტოლია, იოდის - 8.4 მკგ/ლ, ხოლო სპილენძის - 1,4 მკგ/ლ.

რაოდენობრივად იქნა შეფასებული კავშირი ღრუბლებში შეტანილ PbI_2 -ის რაოდენობასა და შესაბამის ნალექებში ტყვიის იონის შემცველობას შორის. გრაფიკულად ეს დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ. 5.2.-ზე.

გახარჯული რეაგენტის იმ რაოდენობებისათვის, რომელებთანაც საქმე გვექონდა ჩვენი ცდების დროს (გახარჯული რეაგენტის რაოდენობა ერთი ცდის დროს 80კგ-ს არ აღემატებოდა. ეს განპირობებული იყო იმით, რომ საქმე გვექონდა სუსტ და საშუალო განვითარების სექცვასაშიშ ღრუბლებთან), ეს დამოკიდებულება წრფივია. საკმაოდ მაღალი მნიშვნელობა აქვს წრფივი კორელაციის კოეფიციენტს. ($r_{კორ}=0,89$).

აგრეთვე წრფივი დამოკიდებულებაა ნალექებში PbI_2 -ის რაოდენობასა და I -ის შემცველობას შორისაც. ეს მოსალოდნელიც იყო, რადგანაც ალაზნის ველზე ატმოსფეროში იოდის მოხვედრის სხვა წყარო თითქმის არ არსებობს, ზემოქმედების გარდა. მაღალია შესაბამისი კორელაციის კოეფიციენტიც - $r_{კორ}=0,95$.



ნახ 5..2. ზემოქმედების დროს გახარჯული რეაგენტის რაოდენობაზე ატმოსფერულ ნალექებში და აეროზოლებში ტყვიის შემცველობის დამოკიდებულების გრაფიკი.

ანალოგიურად იქნა გამოკვლეული აეროზოლებში ტყვიის შემცველობაც (იხ. ნახ. 5..2). მასზე გრაფიკულად ნაჩვენებია დამოკიდებულება სოფ. რუისპირში აღებული ჰაერის სინჯებში ზემოქმედების მასშტაბსა და ამ სინჯებში ტყვიის შემცველობას შორის. ჩვენთვის საინტერესო ტყვიის იოდიდის რაოდენობისათვის ეს დამოკიდებულებაც წრფივია. აქ საინტერესოა ერთი გარემოების ხაზგასმა. ზემოხსენებულ ორ სიდიდეს შორის კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შედარებით დაბალია ($r_{კორ}=0,6$).

ალაზნის ველისათვის ჰაერში ტყვიის შემცველობის ფონურ მნიშვნელობად ითვლება 1,17 მკგ/მ³. ჩვენ შემთხვევაში იგი ტოლია 1,4 მკგ/მ³. ეს უკანასკნელი ემთხვევა დიდი ქალაქებისათვის ჰაერში ტყვიის შემცველობის მნიშვნელობას[127].

ამრიგად, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გამოკვლეულია და დამყარებულია რაოდენობრივი კავშირები ალაზნის ველის ერთუჯრედიანი, შიდამასიური პროცესებისათვის დამახასიათებელი ღრუბლებიდან მოსულ ატმოსფერულ ნალექებსა და მიწისპირა აეროზოლებში ტყვიის, იოდის და სპილენძის შემცველობებსა და ზემოქმედების მასშტაბებს შორის.

5.2. ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და იოდის კონცენტრაციების დამოკიდებულება გროვა საწვიმარ ღრუბლებზე ზემოქმედების დაწყების მომენტიდან გასულ დროზე

ღრუბლებზე ზემოქმედების ნორმალურად ჩატარების შეფასება შესაძლებელია ზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში ზემოქმედების პროდუქტების (ჩვენს შემთხვევაში Pb^{2+} და I^-) კონცენტრაციის დონის შემოწმებით. წინამდებარე ნაშრომში დეტალურად არის გამოკვლეული იმ რეგიონის ნალექების ქიმიური შემადგენლობა, სადაც ზემოქმედება წარმოებდა. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ იმ დღეების ნალექებში, როცა ზემოქმედება ტარდება, Pb^{2+} -ის და I^- -ის შემცველობები თითქმის 2 - 2,5-ჯერ აღემატება ისეთ ნალექებში ამ ელემენტების შემცველობას, როცა ზემოქმედების ოპერაცია ჩატარებული არ ყოფილა. ეს თითქმის ცალსახად მიუთითებს, რომ Pb^{2+} და I^- ის კონცენტრაციის ზრდა დამოკიდებული უნდა იყოს ზემოქმედებაზე. მაგრამ ისიც აშკარაა, რომ ზემოქმედების დღეებში გაზრდილია ნალექებში ძირითადი იონების კონცენტრაციაც[35]. ეს კი შედეგია იმისა, რომ დღეები, როცა სეტყვასაშიში და სეტყვიანი ღრუბლების განვითარებას აქვს ადგილი, ხასიათდება ატმოსფეროს ძლიერი ტურბულენტური მოძრაობებით, რაც იწვევს ატმოსფეროში და შემდეგ ნალექებში ტერიგენული აეროზოლების მომატებული რაოდენობის მოხვედრას. ამიტომ უნდა ვიფიქროთ, რომ ზემოქმედების დღეებში ნალექებში Pb^{2+} და I^- -ის კონცენტრაციის ზრდა ნაწილობრივ მაინც შეიძლება იყოს განპირობებული ზემოთაღწერილი მოვლენის გამო.

აღნიშნულ ნაშრომში ჩვენ შევეცადეთ გამოგვეკვლია თუ როგორ იცვლება Pb^{2+} და I^- -ის კონცენტრაცია ნალექებში ღრუბელზე ზემოქმედების დაწყებიდან გასულ დროსთან კავშირში.

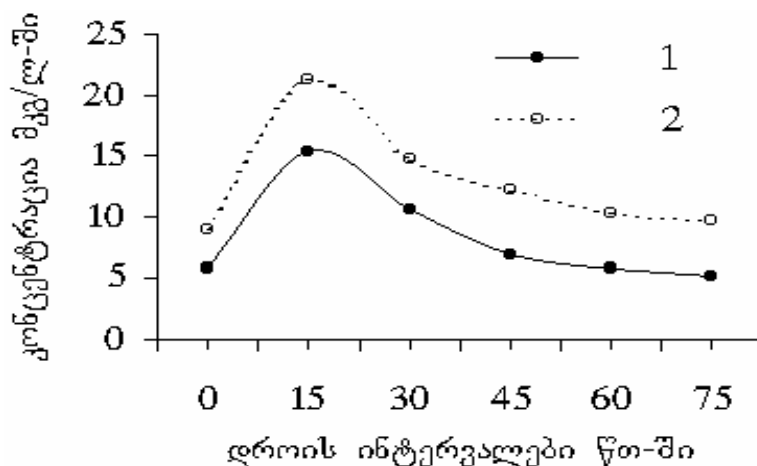
ამ მიზნისათვის გამოვიყენეთ გასულ წლებში აღმოსავლეთ საქართველოში (თელავის რ-ნი სოფ. რუისპირი) წარმოებული ატმოსფერული ნალექების ფრაქციულად აღებული სინჯების ქიმიური ანალიზის შედეგები. ნალექის ფრაქციულად აღება ხდებოდა ნალექის მოსვლის დასაწყისიდან ყოველ 15 წუთში. მართალია ნალექების ქიმიურ შემადგენლობაზე დაკვირვების პერიოდი მრავალ წელს მოიცავს, ისეთი სინჯების რაოდენობა, როცა დაცული იყო ზემოთხსენებული პირობები, 63-ს არ

აღმატება. თითოეულ 15 წუთიან დროით ინტერვალში სინჯების რაოდენობა იცვლება 6-დან 14-მდე. მართალია ასეთი მონაცემების გასაშუალებული მნიშვნელობების საიმედოობა შედარებით დაბალია, მაგრამ პირველადი შეფასებისათვის ნამდვილად გამოდგება.

Pb^{2+} და I^{-} -ის კონცენტრაციის დინამიკის სრული სურათის წარმოდგენისათვის შესწავლილი იქნა ზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებიდან ზემოქმედებამდე მოსული ნალექების ქიმიური შემადგენლობა. დროის ამ ინტერვალს პირობითად ვუწოდეთ ნულოვანი ინტერვალი. შემდეგი 15 წუთიანი ინტერვალი შეესაბამება მომენტს, როცა სინჯი აღებული იქნა ზემოქმედების დაწყებიდან $7,5 \div 22,5$ წუთის განმავლობაში. ასევე 30 წუთიანი ინტერვალში ჩართულია იმ სინჯების ქიმიური ანალიზის შედეგები, რომელიც აღებულია ზემოქმედების დაწყებიდან $22,5 \div 37,5$ წუთის განმავლობაში და ა.შ.

განალიზებულია შემთხვევები, როცა ზემოქმედების ხანგრძლივობა არ აღემატებოდა 15 წუთს. ეს ძირითადად არის ერთუჯრედიან ღრუბლებზე ზემოქმედების შემთხვევები.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ანალიზის შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 5.3.-ზე.



ნახ. 5.3. ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიის(1) და იოდის(2) კონცენტრაციების მნიშვნელობების ზემოქმედების დაწყებიდან გასულ დროსთან დამოკიდებულების გრაფიკი

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ნალექის სინჯებში, რომელიც წინ უსწრებდა ზემოქმედების დაწყებას, Pb^{2+} და I^{-} -ის კონცენტრაცია დაახლოებით ისეთივეა, როგორც საერთოდ ზემოქმედების დღეებში. სინჯები, რომლებიც აღებულია ზემოქმედების დაწყებიდან 15 წუთში, ხასიათდებიან Pb^{2+} და I^{-} -ის მომატებული (2,5 და მეტი) კონცენტრაციით. ინტერვალების რიცხვის ზრდასთან ერთად ტყვიისა და იოდის კონცენტრაციები სწრაფად ეცემა და თითქმის ზემოქმედების დაწყებიდან ერთი საათის გასვლის შემდეგ უახლოვდება ზემოქმედებიანი დღეებისათვის დამახასიათებელ მათ ფონურ მნიშვნელობებს[33].

Pb^{2+} -სა და I^{-} -ის დროში სინქრონული ცვლილება მიუთითებს იმაზე, რომ ჩვენს მიერ გაანალიზებულ ატმოსფერულ ნალექებში Pb^{2+} -ის კონცენტრაციის ზრდა ძირითადად მაინც დამოკიდებულია ზემოქმედებასთან და არა ატმოსფეროს მდგომარეობაზე ზემოქმედების დღეებში, რადგანაც I^{-} -ის წყაროს ატმოსფეროში მხოლოდ ზღვის წყალი წარმოადგენს.

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და იოდის კონცენტრაციის ნახტომისებური ზრდა ზემოქმედების დაწყებიდან 15 წუთის გასვლის შემდეგ შეიძლება მივაწეროთ ზემოქმედებას, ხოლო ამ ნახტომზე მიწის ზედაპირიდან ატმოსფერულ ნალექებში მოხვედრილი ტყვიის რაოდენობის გავლენა უმნიშვნელოა. ზემოქმედებაქმნილი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში ამ ნივთიერებათა კონცენტრაციის ფონურ მნიშვნელობამდე დაცემა ხდება არა უადრეს 45 წუთისა.

**თავი VI. ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების დროს გამოყენებული ტყვიის
იოდის აეროზოლის გავლენა კახეთის რეგიონის ნიადაგებში,
ზედაპირულ წყლებში, ზოგიერთ კვების პროდუქტში ტყვიისა და
იოდის შემცველობაზე**

6.1. ტყვიის შემცველობა კახეთის რეგიონის ნიადაგების ზედაპირულ ფენაში

საქართველოს ნიადაგები ტყვიის შემცველობაზე სუსტადაა შესწავლილი[128]. აღმოსავლეთ საქართველოს ნიადაგებში ტყვიის შემცველობის შესწავლა ერთ-ერთი რგოლია ჩვენს მიერ დასმული ამოცანის შესასრულებლად.

ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების შესაძლო შედეგები ტყვიით ნიადაგების დაჭუჭყიანების თვალსაზრისით შეიძლება შეფასდეს შემდეგი გაანგარიშებით. ცნობილია, რომ ზემოქმედების შედეგად ერთ წელიწადში ატმოსფეროში გაფრქვეული ტყვიის იოდიდის მაქსიმალური რაოდენობა 16 000 კგ არ აღემატება. აქედან ტყვიაზე მოდის დაახლოებით 7000 კგ. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ტყვიის აეროზოლის ეს რაოდენობა თანაბრად გადანაწილდება ხსენებული რეგიონის ტერიტორიაზე. თუ დავუშვებთ, რომ ტყვიის ხსენებული რაოდენობა ატმოსფერული ნალექების მიერ მთლიანად გამოირეცხება და გადავა ნიადაგში, მაშინ ნიადაგის 10 სმ-იან ფენაში ტყვიის ნამატი 0.01 – 0.02% არ გადააჭარბებს. 100 წელია საჭირო იმისათვის, რომ ტყვიის იოდიდის ასეთი ინტენსივობით ხარჯვის შედეგად კახეთის ნიადაგში ტყვიის შემცველობა 12,5 მგ/კგ-დან 13,1 მგ/კგ-მდე გაიზარდოს.

მიუხედავად ზემოთქმულისა, ჩვენს მიერ განსაზღვრულ იქნა კახეთის ზოგიერთი დასახლებული პუნქტის ნიადაგების ზედაპირულ ფენაში ტყვიის იონის კონცენტრაციები. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 6.1.

ცხრილი 6.1.

ტყვიის შემცველობა აღმოსავლეთ საქართველოს კახეთის რეგიონის ნიადაგების ზედაპირულ ფენაში.

სინჯების რაოდენობა	სინჯის აღების ადგილი	ტყვიის იონის კონცენტრაცია მგ/კგ
7	ახმეტის რ-ნი, სოფ. სატიალო	15.3
3	თელავის რ-ნი, სოფ. ნაფარეული	13.6
6	თელავის რ-ნი, სოფ. კონდოლი	9.2
5	ყვარელის რ-ნი.	10.2
3	თელავის რ-ნი, სოფ. იყალო	15.4
24	საშუალოდ რეგიონისათვის	15.5

ცალკეულ სინჯებში ტყვიის შემცველობა მერყეობდა 0-დან 19,6 მგ/კგ-მდე,

საშუალოდ კი ტოლია 12,5 მგ/კგ. ამის გამო შეიძლება დავასკვნათ, რომ კახეთის რეგიონის ნიადაგები, რომელიც ავტომაგისტრალებიდან დაშორებულია 20 – 30 მეტრით, არა არის დაბინძურებული ტყვიის იონებით. არა თუ საშუალო, მისი

მაქსიმალური მნიშვნელობაც კი არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ ნორმას, რომელიც 20 მგ/კგ-ის ტოლია.

6.2. ტყვიის შემცველობა კახეთის რეგიონის ზედაპირულ წყლებში

ტყვიის ბუნებრივი ნაერთების ხსნადობის გამო მისი შემცველობა წყლებში არ უნდა აღემატებოდეს რამდენიმე ერთეულ მკგ/ლ. თუმცა თუ მხედველობაში მივიღებთ ტყვიის უნარს წარმოქმნას მდგრადი კომპლექსნაერთები ორგანულ კომპლექსწარმომქმნელებთან, განსაკუთრებით ჰუმუსის მჟავებთან, ტყვიის ხსნადი ფორმის მომატება წყლებში შესაძლებელია. ზედაპირულ წყლებში ტყვიის კონცენტრაციის მარეგულირებელ უმთავრეს გეოქიმიურ ფაქტორს წარმოადგენს სორბციული პროცესები. ამ პროცესებში განსაკუთრებით აქტიურ მონაწილეობას იღებს თიხოვანი მინარევები.

ამგვარად ნათელია, რომ საჭიროა დაგროვდეს უტყუარი ინფორმაცია ცალკეული რეგიონების, მათ შორის საქართველოს, ზედაპირულ წყლებში ტყვიის ფონური შემცველობის შესახებ, რათა შემდგომში შეგვეძლოს ვიმსჯელოთ ტყვიით ამა თუ იმ ტექნოგენურ დამჭუჭყიანებელზე. ზედაპირულ წყლებში ტყვიის შემცველობის განსაზღვრა და მისი დროში და სივცეში განაწილების სურათის დადგენა საშუალებას მოგვცემს გამოვავლინოთ ტექნოგენური ტყვიის წყაროები და შევაფასოთ მათი გავლენა ბუნებრივ წყლებზე.

ჩვენს ხელთ არსებული ექსპერიმენტალური მასალის შესაბამისად დამუშავებისა და ანალიზის საშუალებით შევისწავლეთ ტყვიის შემცველობა და განაწილება კახეთის რეგიონის ზედაპირულ წყლებში. ჩვენი მონაცემებით მოცემული რეგიონის ზედაპირულ წყლებში ტყვიის იონის კონცენტრაცია 10 მკგ/ლ-ზე ნაკლებია, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ამ რეგიონში მძლავრი ბუნებრივი, ან ტექნოგენური წყარო არ არსებობს.

კახეთის რეგიონის სასმელ და მდინარი წყლებში ტყვიის იონების კონცენტრაციის განსაზღვრამ აჩვენა, რომ მათში ტყვიის შემცველობის ექსტრემალური მნიშვნელობები ტოლია 0,0 მკგ/ლ და 2,9 მკგ/ლ, ხოლო საშუალო კი – 1,6 მკგ/ლ.

აღმოსავლეთ საქართველოს ამ რეგიონის მიწისქვეშა წყლებში ტყვიის იონის შემცველობა მერყეობს 0,0 – 6,0 მკგ/ლ-ის ფარგლებში და საშუალოდ ტოლია 1,5 მკგ/ლ. საქართველოს სხვა რეგიონებისათვის მიწისქვეშა წყლებში ტყვიის იონის შემცველობის ექსტრემუმები ტოლია 0,0მკგ/ლ და 13,5მკგ/ლ, ხოლო საშუალო – 1,4 მკგ/ლ.

ამგვარად აღმოსავლეთ საქართველოს კახეთის რეგიონის ბუნებრივი წყლები ტყვიის იონების შემცველობით არ განსხვავდება საქართველოს სხვა რეგიონებისაგან.

6.3. ტყვიის შემცველობა კახეთის რეგიონში მოწეულ კვების პროდუქტებში

ზემოქმედების პტოდუქტების მაღალი ტოქსიკურობის გამო საჭირო იყო ტყვიის შემცველობის კონტროლი მცენარეული წარმოშობის კვების პროდუქტებში. გარდა ამისა, ინფორმაცია მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ობიექტების მიკროქიმიური შემადგენლობის შესახებ აუცილებელია ბიოქიმიის, ბიოგეოქიმიის, გეოქიმიური ეკოლოგიის და სხვა ძირითადი საკითხების გადაწყვეტის დროს. საკვებ პროდუქტებში შემავალი მიკროელემენტებისათვის ასეთი მონაცემები საკმაოდ შეზღუდულია, რთული შემადგენლობის მატარებლებში ელემენტის ულტრამიკრორაოდენობის განსაზღვრის მეთოდური სიმძნელების გამო. ასეთი ელემენტების რიცხვს ეკუთვნის ტყვიაც.

ტექნოგენური ტყვიის ინტენსიური ნაკადები, რომელიც ხვდება ბიოსფეროში, თანდათან იზრდება. ანთროპოგენური ტყვიის ახალ ლოკალურ წყაროს წარმოადგენს ტყვიის იოდინი, რომელიც მსოფლიოს 50-ზე მეტ ქვეყანაში გამოიყენება, როგორც აქტიური რეგენტი სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების დროს.

ტყვიის ტოქსიკურობის გამო ბუნებრივ ობიექტებში მისი კონცენტრაცია მკაცრად ლიმიტირებულია.

გამოქვეყნებული მონაცემების მიხედვით ტყვიის შემცველობა მცენარეულ მასალებში ტოლია 2 – 5 მკგ/გ მშრალ მასალაზე[129]. მარცვლელ პროდუქტებში – 0.4 – 2,8 მკგ/გ[106,129,130], ხილსა და ბოსტნეულში – 0,04 – 4,3 მკგ/გ[106, 130]. ანომალური პირობების დროს (ნიადაგის ძლიერი ტექნოგენული დაბინძურება, გეოქიმიური ენდემია და სხვა) ტყვიის შემცველობა მცენარეებში 2 – 3 რიგით იზრდება[106].

ავტოტრასებთან ახლოს ტყვიის შემცველობა მარცვლეულ კულტურებში ფონურთან შედარებით (2-5 მკგ/გ) 2,2 – 16,5 მკგ/გ-მდე [106,129], შინაური საქონლის საკვებ ბალახეულში ის ხშირად სცილდება დასაშვებ ნორმას (10 მკგ/გ)[129].

ტყვიის მაღალი კონცენტრაციები (2 – 13 მკგ/ლ) აღმოჩენილ იქნა ღვინოებშიც [131, 132]. დაბინძურების წყარო სხვა ბუნებრივ წყაროებთან ერთად აღმოჩნდა ტყვიის არსენიტი, რომელსაც იყენებდნენ, როგორც შხამქიმიკატს.

ღვინომასალის საბოლოო დაღვინებისა და ფილტრაციის (ხელოვნური ან ბუნებრივი გამოლექვის გზით) ტყვიის კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად კლებულობს და არ აღემატება დასაშვებ ნორმას – 0,6 მკგ/ლ [131, 132]. ზოგიერთი ღვინის ლექი შეიცავს 0,1 – 1,0 მკგ/ლ ტყვიას [132].

ქიმიური ანალიზის დროს ტყვიის ანალიზური ფორმის მისაღებად ვიყენებით ე.წ. მშრალი წვის მეთოდს. დამუხანგავად გამოიყენებოდა კალციუმის ნიტრატი. განსხვავებით Al^{3+} და Mg^{2+} -გან სუსტ ტუტე გარემოში, რაც საჭიროა დითიზონის ქლოროფორმის ხსნარით რაეგენტის ექსტრაქციული გაწმენდისათვის, კალციუმის ჰიდროქსიდი არ ილექება.

რამდენჯერმე გამოშრობისა და გამოწვის შემდეგ მიღებული ნაცრისაგან ტყვიას ვაცალკევებდით განზავებული (პროპორციით 1:3) HNO_3 -ით და მის რაოდენობას ვსაზღვრავდით ექსტრაქციულ-სპექტროფოტომეტრიული მეთოდით დითიზონის გამოყენებით. ამ მეთოდის ფარდობითი ცდომილება 3 –5 მკგ ტყვიის განსაზღვრის დროს 10-125-ს არ აღემატება.

ჩვენი მონაცემებით ტყვიის შემცველობა კახეთის მარცვლეულ კულტურებში მერყეობს კვალიდან 2,0 მკგ/გ-დე და საშუალოდ შეადგენს 0,4 მკგ/გ (იხ. ცხრილი 6.2.) ტყვიის ასეთივე შემცველობა გამ-

ცხრილი 6.2.

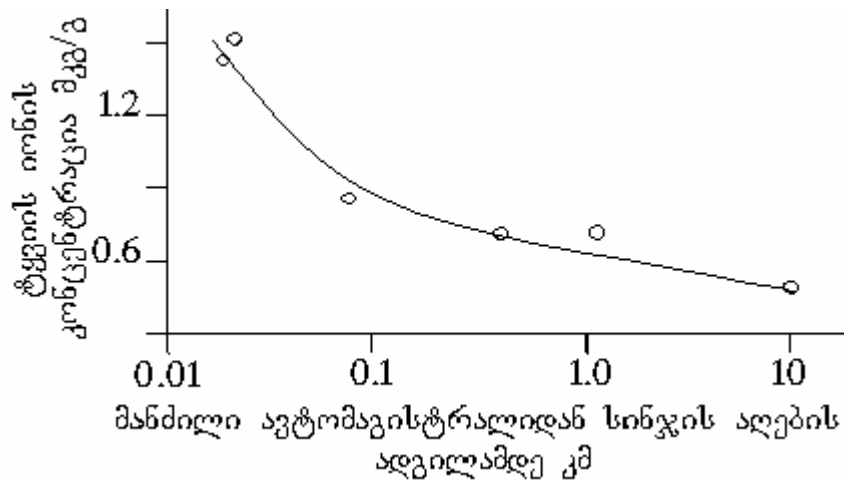
ტყვიის შემცველობა მარცვლეულ კულტურებში.

მარცვლეული კულტურები	სინჯის ადების ადგილი	ტყვიის კონცენტრაცია მკგ/ლ		
		მინ.	მაქს.	საშუალო
ხორბალი	ალაზნის ველი	0.2	2.0	0.4
სიმინდი	ალაზნის ველი	0.0	0.4	0.3

სიმინდი	დასავლეთ საქართველო	0.0	0.8	0.4
შვრია	ალაზნის ველი	0.1	1.0	0.3
სოიო	ალაზნის ველი	0.2	0.4	0.3
სოიო	დასავლეთ საქართველო	0.1	0.4	0.3
ფეტვი	ალაზნის ველი	0.2	0.3	0.3
ცერცვი	ალაზნის ველი	0.1	0.3	0.2
ხორბალი	ავტომაგისტრალთან ახლოს	1.0	1.4	1.1

მოვლინდა დასავლეთ საქართველოს მარცვლეულებში. ამრიგად კახეთის რეგიონის მარცვლეული კულტურები ტყვიის შემცველობით არ განსხვავდება საქართველოს სხვა რეგიონის მარცვლეულებისაგან და მათში ტყვიის კონცენტრაცია არ აღემატება დასაშვებ ნორმას.

სხვა მიკროელემენტების შემცველობით (სპილენძი, ნიკელი, კობალტი და სხვა) საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის მარცვლეული კულტურები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. გამონაკლისს წარმოადგენს ხორბლის სინჯები, რომელის აღებულია ავტომაგისტრალებიდან 30 – 50 მ-ის მოშორებით. ასეთ შემთხვევაში ტყვიის შემცველობა 2 – 3-ჯერ აღემატება ფონურს. ავტომაგისტრალებიდან დაშორების ზრდასთან ერთად სინჯებში ტყვიის შემცველობა სწრაფად ეცემა და 30 –50 მ.-ის შემდეგ ხდება 0,3 – 0,4 მკგ/გ-ის ტოლი (იხ ნახ 6.1)



ნახ. 6.1 ხორბალში ტყვიის იონების კონცენტრაციის ცვლილება ავტომაგისტრალიდან სინჯის აღების ადგილამდე მანძილის მიხედვით

მარცვლეულში მთელი ტყვიის 10 – 15 % შედის ხსნადი მჟავური ფორმით და, სავარაუდოდ, არ არის დაკავშირებული მატარებლის ორგანულ ნივთიერებებთან. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მარცვლეულის ტყვიით ეკოლოგიური დაბინძურება უმნიშვნელოა.

კახეთის და დანარჩენი საქართველოს რეგიონის ღვინოებში ტყვიის შემცველობა დაბალია (საშუალოდ – 3,6 მკგ/ლ, ექსტრემალური – 0,0 – 11,5 მკგ/ლ, იხ.ცხრილი 6. 2). ღვინოებში ტყვიის დაბალი შემცველობის მიზეზი შეიძლება იყოს როგორც საწყისი ნედლეულის შედგენილობა, ისე ღვინის ნალექის ორგანომინერალურ ულტრადისპერსულ ნაწილაკებზე ტყვიის სორბცია. ღვინის დაწმენდის მოდელირებამ (0,5 ლ ღვინო, 5 გ ნალექი და 100 მკგ ტყვია) უჩვენა, რომ მიუხედავად თხევადი ფაზის მჟავე რეაქციისა და კომპლექსწარმომქმნელი ლიგანდების არსებობისა [131,132], რამოდენიმე დღე-ღამეში ხდება გახსნილი ტყვიის 60 – 100%-ის სორბცია. გამჭვირვალობის აღდგენის პროცესში ღვინოების სორბციულ თვითდაწმენდაზე მიუთითებს ტყვიის შემცველობის შემცირება ღვინის ასაკის ზრდასთან ერთად. მაგალითად ტყვიის საშუალო შემცველობა 1981 და 1982 წლის მოსავლის ღვინოებში შესაბამისად შეადგენს 1,6 და 5,0 მკგ/ლ (იხ. ცხრილი 6.3) გარდა ამისა ტყვიის შემცველობის მიხედვით განსხვავდებიან პირველადი და მეორადი ნალექები, რომელიც

წარმოიქმნება შესაბამისად ლექისა და ნახევრად დაწმენდილი ღვინოებისაგან (ცხრილი 6.4).

ცხრილი 6.3

ტყვიის შემცველობა საქართველოს ღვინოებში

სინჯის აღების ადგილი	ყურძნის ჯიში	სინჯის აღების წელი	ტყვიის იონების კონცენტრაცია მკგ/ლ
გურჯაანი	რქაწითელი	1981	0.0
გურჯაანი	რქაწითელი	1982	3.0
წინანდალი	რქაწითელი	1981	3.0
წინანდალი	რქაწითელი	1982	11.5
იყალთო	რქაწითელი	1981	1.5
იყალთო	კახური	1982	2.5
ახმეტა	რქაწითელი	1982	5.0
ქისტაური	რქაწითელი	1982	7.0
ბადიაური	რქაწითელი	1982	3.5
საგარეჯო	რქაწითელი	1982	2.5
საგარეჯო	საფერავი	1981	1.5
მანავი	მწვანე	1981	2.0

პირველადი ნალექებისაგან 1 M_{HCl}-ით გამოირეცხება ტყვიის სერთო რაოდენობის 60 – 78 %.

ცხრილი 6.4.

საერთო და სორბირებული ტყვიის შემცველობა კახეთის ღვინის დანალექში

ყურძნის ჯიშები	ტყვია, მკგ/ლ		სორბირებული ტყვია	
	პირველადი ნალექი	მეორადი ნალექი	მკგ/ლ	% საერთო რაოდენობიდან
რქაწითელი (გურჯაანი)	0.6	0.1	0.4	67
რქაწითელი (იყალთო)	0.9	0.2	0.7	87
საფერავი (საგარეჯო)	1.3	0.4	1.0	77

მწვანე მანავი	0.8	0.2	0.5	63
---------------	-----	-----	-----	----

შედარების მიზნით ტყვიის შემცველობა განსაზღვრულ იქნა დასავლეთ საქართველოს (ვანი, ბაღდათი) ღვინოებში. მათში ტყვიის შემცველობით ისინი პრაქტიკულად არ განსხვავდებიან კახეთის ღვინოებისაგან.

ტყვიის თანაბარი შემცველობა კახეთის რეგიონის და დანარჩენი საქართველოს მცენარეული წარმოშობის საკვებ პროდუქტებში, არ არის ალოგიკური. როგორც თეორიულად გამოთვლილი, ისე ექსპერიმენტალურად მიღებული ტექნოგენური ტყვიის კონცენტრაციები, რომლებიც ყოველწლიურად ხვდება აღნიშნული რეგიონის ნიადაგში ზემოქმედების შედეგად, წარმოადგენს ნიადაგის 10 სმ-იან ფენაში ტყვიის შემცველობის მხოლოდ 0,01 – 0,02 %-ს. ამიტომ კახეთის ნიადაგები ტყვიის შემცველობით არ განსხვავდებიან საქართველოს სხვა რეგიონის ნიადაგებისაგან. მათში ტყვიის საშუალო შემცველობა 19 მკგ/გ-ის ტოლია (სინჯების რაოდენობა 47), რაც დასაშვებ ნორმაზე ნაკლებია.

დასკვნები

1. ჩვენს მიერ ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მიხედვით აღმოსავლეთ საქართველოს კახეთის რეგიონის ნალექები განეკუთვნება კალციუმის ჯგუფის სუსტმჟავე, სულფატურ ან სულფატურ-ჰიდროკარბონატულ წყლებს. ხარისხობრივად კვლევის რეგიონის ატმოსფერული ნალექები თავისი ქიმიური შემადგენლობით კონტინენტური რაიონებისათვის არის დამახასიათებელი. ძირითადი იონების ჯამური რაოდენობის - Σ -ის საშუალო სიდიდე ტოლია 15,4 მგ/ლ და სინჯების აღების ადგილის, დღეღამის და წლის დროების მიხედვით იცვლება 8.6 მგ/ლ-დან 21.6 მგ/ლ-ის ფარგლებში.

2. წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის - pH-ის მიხედვით (მისი საშუალო მნიშვნელობა ტოლია 6.31, ხოლო წლებისა და სინჯის აღების ადგილის მიხედვით იგი იცვლება 5.86-სა და 6.80-ს შორის), აღმოსავლეთ საქართველოს განსახილველი რეგიონის ატმოსფერული ნალექები განეკუთვნება ნეიტრალურ-

სუსტმჟავე წყლებს, რაც დამახასიათებელია არადაჭუჭყიანებული ატმოსფერული წყლებისათვის.

3. დადგენილია ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის დღე-ღამისა და სეზონისაგან დამოკიდებულების სახე, შედგენილია შესაბამისი აპროქსიმაციის მრუდების განტოლებები ნ-რიგის პოლინომის სახით, გამოთვლილია მუდმივი კოეფიციენტები და აპროქსიმაციის საიმედოობის მაჩვენებელი. ნაჩვენებია, რომ წლის ცივი პერიოდის ნალექების საშუალო ჯამური მინერალიზაცია (9.13 მგ/ლ) თითქმის ორჯერ დაბალია, ვიდრე თბილი პერიოდისა (18.0 მგ/ლ). თბილი პერიოდის ნალექებში შესამჩნევად არის გაზრდილი HCO_3^- , SO_4^{2-} და NO_3^- -ის იონების კონცენტრაცია. ასევე მნიშვნელოვნად არის მინერალიზებული დღის განმავლობაში მოსული ნალექები, ვიდრე ღამის ნალექები.

4. გამოთვლილია ნალექებში ჩვენს მიერ შესწავლილ ქიმიური კომპონენტების კონცენტრაციებსა და საერთო მინერალიზაციას შორის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტები.

5. შესწავლილია ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციაზე ნალექის სინჯის ალების ადგილის ზღვის დონიდან სიმაღლის გავლენა და დადგენილია, რომ სინჯის ალების ადგილის ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდა (1000 მეტრამდე) მინერალიზაციის შემცირებას იწვევს. 1000 მეტრზე და უფრო მაღალ სიმაღლეზე აღებული სინჯების მილერალიზაცია თითქმის ერთნაირია და 2 – 2.5-ჯერ მცირეა, ვიდრე 300 მეტრის სიმაღლეზე აღებული სინჯის მინერალიზაცია.

6. კახეთის რეგიონის ატმოსფერულ ნალექებში ბიოგენური ნივთიერებების, განსაკუთრებით არაორგანული აზოტის ფორმების კონცენტრაციების ჯამი საერთო მინერალიზაციის 10 – 12 % შეადგენს. ნალექებში ამ კლასის ნივთიერებების ჰიდროქიმიური რეჟიმი არ განსხვავდება მთავარი იონების ჰიდროქიმიური რეჟიმისაგან.

7. შესწავლილია ატმოსფეროს ქვედა ფენების ტემპერატურისა და ფარდობითი სინოტივის გავლენა მინერალიზაციაზე და დადგენილია, რომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს მინერალიზაციის ზრდას, ხოლო ტენიანობის ზრდა მის შემცირებას

8. გამოკვლეულია ატმოსფეროს მიწისპირა ფენში ქარის სიჩქარისა და მიმართულების გავლენა ნალექების მინერალიზაციაზე. ნალექები მაქსიმალურად მინერალიზებულია, როცა სინჯებს ვიღებთ სუსტი ქარის (სიჩქარე ნაკლებია 1 მ/წმ) დროს, ან უქარო ამინდში. ამ დამოკიდებულების რაოდენობრივმა შეფასებამ აჩვენა, რომ კორელაციური ფარდობის (r) მნიშვნელობა Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} და ჯამური მინერალიზაციისათვის 0.62; 0.60; 0.50 და 0.60-ის ტოლია შესაბამისად. ხოლო ქარის მიმართულებაზე დამოკიდებულია ნალექებში შემავალი მინერალების სახეობა. როცა ჰაერის ნაკადს აქვს სამხრეთის, დასავლეთის ან ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულება, ნალექებში მატულობს ისეთი მინერალების შემცველობა, რომლებითაც მდიდარია კახეთის, ცივ-გომბორის ქედების და კავკასიონის სამხრეთ კალთების ზედაპირული ქანები.

9. შესწავლილია ნალექების მინერალიზაციაზე დროის უნალექო ინტერვალის სიდიდის გავლენა, რომელიც წინ უსწრებდა ნალექის სინჯის აღებას. ნაჩვენებია, რომ ის ნალექები, რომელსაც წინ უსწრებდა 24 - 48 საათიანი დროის ინტერვალის ნალექის გარეშე, უფრო მინერალიზებულია, ვიდრე უშუალოდ ერთი ნალექიანი პროცესის შემდეგ აღებული ნალექის სინჯი.

10. ერთი წლის განმავლობაში ატმოსფერულ ნალექებს კახეთის რეგიონის ნიადაგების ერთ კვ. კმ.-ზე 10-დან 20 ტონამდე ქიმიური ნივთიერება შეაქვს, აქედან 2.5 ტონა ბიოგენურ ნივთიერებებზე მოდის.

11. ტყვის იოდის აეროზოლის გამოყენებით ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების შედეგად ნალექებში ფონურთან შედარებით იზრდება ტყვისა და იოდის კონცენტრაციები. აღნიშნული ზრდა პირდაპირპროპორციულ კავშირშია ღრუბელში შეტანილი ტყვის იოდის რაოდენობასთან. მიუხედავად ამისა, ტყვის, როგორც ერთ-ერთი ტოქსიკური ნივთიერების, კონცენტრაციის არც ერთჯერადი და არც საშუალო მნიშვნელობა სასმელი წყლებისათვის დადგენილ სანიტარულ ნორმას არ აღემატება.

12. კახეთის რეგიონის ნიადაგის ზედაპირის 10 სმ.-იან ფენაში, თუ ნიადაგის სინჯის აღების ადგილი 30 - 50 მ.-ით და მეტად არის დაშორებული ავტომაგისტრალისაგან, ტყვის და იოდის შემცველობა საქართველოს სხვა

რეგიონებისათვის დამახასიათებელი საერთო ფონური მნიშვნელობისაგან არ განსხვავდება. ზედაპირული ფენა ნიადაგებისა, რომელიც ავტომაგისტრალიდან დაცილებულია არა უმეტეს 30 მეტრისა, ტყვიით დაჭუჭყიანება გაზრდილია და არ განსხვავდება საქართველოს სხვა რეგიონებისაგან, ამიტომ შეიძლება ვიფიქროთ, რომ ტყვიის კონცენტრაციის მატება ამ ობიექტში არ უკავშირდება ღრუბლებზე აქტიურ ზემოქმედებას.

13. შესწავლილია სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების გავლენა კახეთის რეგიონის ზედაპირულ წყლებზე. დადგენილია, რომ აღნიშნულ ობიექტში ტყვიისა და იოდის იონების კონცენტრაცია პრაქტიკულად არ განსხვავდება საქართველოს სხვა რეგიონის ზედაპირულ წყლებში მათი შემცველობისაგან

14. ჩვენი მონაცემებით ტყვიის შემცველობა კახეთის მარცვლელ კულტურებში მერყეობს კვალიდან 2,0 მკგ/გ-დე და საშუალოდ შეადგენს 0,4 მკგ/გ. კახეთის რეგიონის მარცვლელი კულტურები ტყვიის შემცველობით არ განსხვავდება საქართველოს სხვა რეგიონის მარცვლელისგან და მათში ტყვიის კონცენტრაცია არ აღემატება დასაშვებ ნორმას.

15. აღმოსავლეთ საქართველოს ღვინოებში ტყვიის შემცველობა დაბალია (საშუალოდ – 3,6 მკგ/ლ, ექსტრემალური – 0,0 – 11,5 მკგ/ლ,) და დანარჩენი საქართველოს რეგიონის ღვინოებისაგან ამ მახასიათებლით არ განსხვავდება.

გამოყენებული ლიტერატურის სია

1. Вернадский В.И. Избранные сочинения т.IV, М. Изд. АН СССР, 1960. с. 454.
2. Тверской П.Н. Курс Метеорологии, Гидрометеоииздат, 1962. 518с.
3. Вотинцев К.К., Ходжер Т.В. Химический состав атмосферных осадков в районе оз. Байкал. География и природные ресурсы, 1981, №4, с. 100-105.
4. Балабанова В.М. Материалы к озеру Большой Шарташ, Тр. Уральского Всесоюзного научно-исследовательского института озеро ведения и речного рыбного хозяйства, 1949, т. 4, с. 75-128.
5. Агаев Ш.М., Степанов И.Н. О химическом составе атмосферных осадков Азербайджана, Доклады АН СССР, 1964, т. 154, 6, с. 1359-1360.

6. Егорова Е.А. Влияние ветрового режима на солевой состав атмосферных осадков северо-восточного побережья Черного моря, Тр. Института океанологии АН СССР, 1961, т. 53, с. 95-111.
7. Бурксер Е.С., Федорова Н.Е. Роль химического состава атмосферных осадков в формировании природных вод, Гидрохимические материалы, М., 1955, т. XXIV, с. 81-83.
8. Колодяжная А.А. Режим химического состава атмосферных осадков и их метаморфизация в зоне аэрации, М., АН СССР, 1963, 166 с.
9. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. (Перевод с англ.), Ред. Израель Ю.А., М., Мир, 1965, 424 с.
10. Алекин О.А. Основы гидрохимии, Гидрометеиздат, 1953, 462 с.
11. Селезнева Е.С., Дроздова В.М., Петренчук О.П. Химический состав атмосферных осадков на ЕТС, Тр. Всесоюзного научно-методического совещания, секция физики свободной атмосферы, 1963, т.V, с. 56-63.
12. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод. Л., Гидрометеиздат, 1955, 352 с.
13. Арш Я.Е. К вопросу об атмосферном засолении грунтовых вод северного окружения пустынь Советского Союза. Тр. Всесоюзного института гидрогеологии и инженерной геологии, 1961, сб. 19, с.33-40.
14. Денисов П.В., Бугаев А.Л. Химический состав снега района г. Харькова, ДАН УкрССР, 1956, №1, с. 75-78.
15. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.-Л., АН СССР, 1945, 193 с.
16. Бурксер Е.С., Бурксер В.В. Аэрохимические исследования на Украине Тр. Института геологических наук ССР петрографии, минералогии и геохимии, 1951, вып. I, с. 7-127.
17. Erikson E. The Chemical climate and saline soils in the arid zone. Arid Zone Resarch X. Climatology, Rev. - Res., Unesco, Paris, 1958, pp. 147-180.
18. Блинов Л.К. О влиянии моря на засоление почв и вод суши, Вопросы географии, 1951, сб. 26, с. 168-196.
19. Селезнева Е.С. О ядрах конденсации в атмосфере. Тр. НИИ ГУГМС, 1945, сер. I., вып. 7. с. 22-34.
20. Петренчук О.П. Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. Ленинград, Гидрометеиздат, 1979, 532 с.

21. Колесник П.И., Ткаченко К.Д. . Химический состав атмосферных осадков как показатель загрязненности атмосферного воздуха. В сб. “Природные и трудовые ресурсы Левобережной Украины и их использование” Тезисы доклада. вып. 4, г. Харьков 1967, с. 42-43.
22. Андреев Б.Г. К вопросу о вымывании аэрозолей из атмосферы и формировании химического состава осадков. Сб. работ Фрунзенской гидрометеорологической обсерватории. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1968, вып. 2, с.63-73.
23. Бурксер Е.С., Доплер Т.Ф. Исследование миграции бора в лессовидных отложениях юга УССР, ДАН Укр. ССР, 1955, №5, с. 474 – 477.
24. Селиванов Л.С. Геохимия и биогеохимия рассеянного брома, Тр. биогеохимической лаборатории, 1948, т.8, с. 5-72.
25. Жагар К.Б., Холодова М.И. Химический состав атмосферных осадков. Гидрохимические материалы, т. XXX1, АН СССР, М., 1961, с.3-111.
26. Виноградов А.П. Геохимическая обстановка в районах эндемического зоба, Изв. АН СССР, 1946, т. 10, №4, с. 341 – 355.
27. Витынь Я.Я. Количество Cl и SO_4 , поступающих в почву с атмосферными осадками. Журнал опытной агрономии, кн. 1, Москва, 1941, с. 20 – 32.
28. Cogbill Charles v., Likens Gene E. Acid precipitation in the northeastern United States. “Water Resours. Res.”, 1974, 10, No.6, pp. 1133 – 1136.
29. Грабовский Р.И. Атмосферные ядра конденсации, Л. Гидрометеоиздат. 1956, 323 с.
30. Максимович Г.А. Химическая география вод суши. Москва, Госгеограф-издательство, 1955. 451 с.
31. Селезнева Е. С., Дроздова В.М. О влиянии методики сбора осадков на их химический состав. Тр. Гл. геофиз. обсерватории, 1974, вып. 314, 158 с.
32. Супаташвили Г.Д. Химический состав атмосферных осадков и ледников Грузинской ССР, Автореферат канд. дис. Тбилиси, ТГУ, 1964. (Рукопись)
33. Супаташвили Г.Д., Карцивадзе А.И., Абесалашвили Л.Ш., Карсанидзе Н.К., Асамбадзе Г.Д. Влияние активных воздействий на содержание свинца и йода в атмосферных осадках Алазанской долины. Тр. ТГУ, 1976, т. 178, с. 15-26.
34. Супаташвили Г.Д., Карсанидзе Н.К. Вероятностно-статистические закономерности распределения главных ионов в водах рек Грузии. Тр. ТГУ, т. 167, 1976.
35. Абесалашвили Л.Ш., Карцивадзе А.И., Карсанидзе Н.К., Супаташвили Г.Д. Исследование химического состава атмосферных осадков в районе активного воздействия на облака (Алазанская долина). Тр. ин-та геофизики АН Груз. ССР, 1972, т. 28, с. 125-130.

36. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д. Химический состав атмосферных осадков Алазанской долины. В книге «Микрофизика и динамика облаков» Тбилиси, изд-во Мецниереба, 1980, с. 86-95.
37. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д. В книге «Физика облаков и активных воздействии» Тбилиси, изд-во Мецниереба, 1982, с. 103-110.
38. Сванидзе Г.Г., Супаташвили Г.Д., Бибилашвили Н.Ш., Лория Н.В., Карсанидзе Н.К., Кулумвегашвили В.А. Сообщ. АН ГССР, 1984, т. 114, № 3, с. 440-552.
39. Супаташвили Г.Д., Шарова И.А., Голиадзе Н.С. Литология и полезные ископаемые. 1977. №6. с. 53-59.
40. Супаташвили Г.Д. Некоторые закономерности формирования химического состава атмосферных осадков в Грузинской ССР. Тр. института океанологии АН СССР, т. 63, 1973, с. 72-86.
41. Супаташвили Г.Д., Абесалашвили Л.Ш. Формирование химического состава атмосферных осадков в условиях активного воздействия на облакаю "Материалы 22-го гидрохимического совещания. Новочеркасск, 1968, с. 80-85.
42. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д. Содержание свинца в пищевых продуктах растительного происхождения в районах активного воздействия на облака. Сообщения АН ГССР, 117, N 3. Тбилиси, "Мецниереба" 1985.
43. Супаташвили Г.Д., Абесалашвили Л.Ш. О концентрациях свинца в атмосферном аэрозоле. Всесоюзная конференция "Трансформация и дальний перенос газовых и аэрозольных примесей в атмосфере, создание моделей загрязненности" Вильнюс, 1986.
44. Супаташвили Г.Д., Абесалашвили Л.Ш. Изменение концентрации следов химических элементов в дождевой воде в зависимости от антропогенных факторов. Всесоюзный симпозиум по фотохимическим процессам земной атмосферы. Черноголовка, 1986. с. 104-105.
45. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д. Содержание биогенных компонентов в атмосферных осадках. Сб. трудов Всесоюзного симпозиума. Москва, 1986. с.56-61.
46. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д., Карцивадзе А.И. Макрохимический состав атмосферных осадков Алазанской долины. Труды Тбилисского Государственного Университета, т. 287, Химия. Тбилиси, 1989. с. 103-107.
47. Абесалашвили Л. Ш., Салуквадзе Т. Г., Супаташвили Г. Д. Влияние метеорологических условий на химический состав атмосферных осадков Восточной Грузии. Метеорология и Гидрология, N12. Москва, Гидрометеиздат 1990, с. 75-80.

48. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д. Медь в атмосфере и атмосферных осадках Алазанской долины. Сообщения АН ГССР, 137, N 2. Тбилиси, "Мецниереба" 1990. с.305-308
49. Селезнева Е. С., Дроздова В.М. О естественном фоне загрязнения атмосферы и состав осадков на территории СССР. В сб. «Современные проблемы климатологии», Л., Гидрометеиздат, 1966, с. 292 – 299.
50. Martin A.A. Survey of the acidity of rainwater over large areas of Great Britain. "Sci. Total Environ.", 1979, 13, No. 2, pp. 119 – 130.
51. Жаринова У.С., Потапов У.И. Результаты измерений концентрации ионов свинца в искусственных водоемах на территории Молдавии в зоне проведения противогородовых работ. Тр. ЦАО, вып. 142, Л. Гидрометеиздат, 1980, с. 105 – 108.
52. Ayers G.P. The Chemical composition of precipitation. A southern hemisphere perspective. "Atmos. Chem. Rept. Dahlem Workshop, Berlin, May 2 – 7, 1982". Berlin e.a., 1982, pp. 41 – 56.
53. Kuttler Wilhelm. Zur Niederschlagswasserqualität eines Ballungraumes. "Tagungber und Wiss. Abhandl. 43. Dtsch. Geographentag, Mannheim, 5 – 10. Okt., 1981" Wiesbaden, 1983, pp. 188 – 191.
54. Nürnberg H.W., Valenta P., Nguyen V.D., Gödde M., Urano de Cavalho E. Studies on the deposition of acid and of ecotoxic heavy metals with precipitates from the atmosphere.. "Fresenius". Z. nal. Chem., 1984, 317, No. 3-4, Inorg. Anal. Environ. Res. and Protect, Symp., Jülich, June 13-16, 1983, pp. 314 – 323.
55. Legrand M., Delmas R.J., Zanolini F. Bilan ionique et acidite de la precipitation antarctique. `Phys.-Chem.Behav. Atmos. Pollut. Proc. 3. Eur. Sump. Varese, 10-12 Apr., 1984~ Dordrecht e.a., 1984, 441-450.
56. Sarma V.K., Joshi P.P., Patil R. S. Chemical constituents of precipitation and their role in determining its acidity in Bombay. Environ. Technol. Lett. – 1990. –11, №8. с. 777-784.
57. Бурцев И.И., Бурцева Л.В., Воробьева Т.И., Павленко В.К., Шведов С.В. К вопросу о загрязнении атмосферного воздуха и осадков продуктами активного воздействия на Северном Кавказе. Тр. ВГИ, вып. 22, Гидрометеиздат., Ленинград, 1973, с. 201-213.
58. Громова Т.Н., Паничев Н.А., Унгерман Т.М. О содержании йода и свинца в атмосферных осадках при активных воздействиях на облака. Тр. ГГО, Москва, Гидрометиздат 1984, №482, , с. 108-116.

59. Бурцев И.И., Бурцева Л.В., Воробьева Т.И., Шведов С.В. О характеристиках выпадения свинца, введенного в атмосферу при активных воздействиях. Тр. Высокотгорного геофиз. ин-та, Ленинград, Гидрометиздат 1974, вып. 28, с. 184-194.
60. Воробьева Т.И. Тр. Высокотгорного геофиз. ин-та, Москва, Гидрометиздат, 1982, №51, с.127-139.
61. Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Масловская Е.Н., Черняк М.М., Шведов С.В. . Тр. Высокотгорного геофиз. ин-та, Москва, Гидрометиздат 1989, №74, , с. 145-151.
62. Rossby G.G., Tgher E. On the chemical climate and its variation with the atmospheric circulation pattern. – *Tellus*, 1955, vol. 8, №1. pp. 983-987.
63. Egner H., Erikson E., Emanuelson A. Composition of Atmospheric Precipitation. I Sampling Technique. *Annals Roy. Agric. Coll. Sweden*, v. 16, 1949, pp. 149 – 155.
64. Месарош Э., Месарош А. О свойствах активных ядер конденсации. – Труды Всесоюз. конф. по физике облаков и активным воздействиям. Ленинград, 1970, с. 77-83.
65. Егоров В.В., Жигаловская Е. Н., Малахова С.Г., Шилина А.И. Содержание микроэлементов в приземном слое воздуха над континентом и океаном. `Тр. ин-та эксперим. метеорологии. Глав. упр. гидрометеорол. службы при Сов. Мин. СССР~, 1971, вып. 14, с. 73-81.
66. Dollard G. Y., Unsworth M.H., Harve M.J. Pollutant transfer in upland regions by occult precipitation, “*Nature*”, 1983, 302, No.5905, pp. 241 – 243.
67. Loverling T.G., Lead in the enviroment-summary. *Geol. Surv. Profes. Paper.*, 1976, No 957, p. 1-4.
68. Gälli B.C., Bürki P.R., Nuffeler U.P., Schindler P.W. Particle size distribution of airborne trace metals. *Inc. J. Environ. Anal Chem.* – 1989. –35, No 2 –p. 111-118.
69. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1967, с. 411.
70. Супаташвили Г.Д., Карцивадзе А.И., Абесалашвили Л.Ш., Карсанидзе Н.К. Микроэлементы в атмосферных осадках Алазанской долины. *Сообщ. АНГруз.ССР*, 1972, т.66, №1, с. 121-124.
71. Преображенская Е.В. Определение следов меди в осадках при воздействии сернистой медью на конвективные облака. Тр. ГГО, 1968, вып. 224, с. 169-175.
72. Преображенская Е.В. Измерения концентрации свинца в осадках при естественном их выпыдении и при активных воздействиях на облака йодистим свинцом. Тр. Гл. геофиз. обсерв. 1969, №239, с. 43-48.

73. Николаенко В.А., Нурбаев Д.Д. Химический состав атмосферных осадков в районе Чаквакского водохранилища. Тр. Среднеаз. регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института, 1979, № 61(142), с. 66-69.
74. Баранова Е.И., Воробьева Т.И., Гаджиева М.М., Жинжакова А.З., Реутова Т.В. Анализ загрязнения атмосферных осадков на территории КБАССР. Тр. научн. техн. конф. мол. ученых Высоко горного геофиз. института, Нальчик, 1989, с. 16-27.
75. Бурцев И.И., Бурцева Л.В., Воробьева Т.И., Шведов С.В. Об изменении содержания свинца в приземном воздухе в районах проведения противоголовых работ. Тр. Высокотгорного геофиз. ин-та, 1977, вып. 36, Москва, Гидрометиздат, с. 101-106.
76. Воробьева Т.И., Бурцев И.И., Реутова Т.В., Черняк М.М., Шведов С.В. Исследование вымывания серебра из конвективных облаков, засеянных кристаллизующим реагентом. Тр. Высокотгорного геофиз. ин-та, Москва, Гидрометиздат 1984, №55, , с. 109-125.
77. Атлас Грузинской ССР, Тбилиси-Москва, 1964, с. 5-36.
78. Джавахишвили А.И. Геоморфологические районы Грузинской ССР, типы рельефа и границы их распространения. М.-Л., 1947. 358 с.
79. Гигинеишвили В.М. О градобитиях в Восточной Грузии и о некоторых особенностях головых явлений в Алазанской долине. Труды Всесоюзного совещания по активным воздействиям на головые процессы. Изд-во Института научно-технической информации и пропаганды Совета Министров ГССР по координации НИР, Тбилиси, 1964, ст. 8 - 18.
80. Кордзахия М.О. Климат Грузии. Тбилиси, 1961, 256 с.
81. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. Ленинград, Гидрометизрат, 1960, 114 с.
82. Гигинеишвили В. М., Напетваридзе Е. А., Папинашвили К.И. - Основные типы синоптических процессовв Закавказье. Труды ТбилНИГМИ, вып. 1, 1957, с.11 - 22.
83. Балабуев А.Г., Эйдинова Г.З. - Исследование образования и развития кучевых облаков в Алазанской долине. Труды Всесоюзного совещания по активным воздействиям на головые процессы. Изд-во Института научно-технической информации и пропаганды Совета Министров ГССР по координации НИР, Тбилиси, 1964, с. 40 - 54.
84. Глушкова Н.И. - Методы прогноза града и ливня. - Труды Высокотгорного геофизического института, вып. 3(5), 1966, с. 77-82.
85. Балабуев А.Г. - Анализ данных о головых явлениях в районе долин рек Иори и Алазани. Труды Института геофизики АН ГССР "Физика облаков". Изд-во "Мецниереба", Тбилиси, 1967, т. XXV, вып. 1, с. 56 - 74.

86. Сосин Г. Л. - К вопросу формирования гроз в Грузии. - Труды Института геофизики АН ГССР "Физика облаков". Изд-во "Мецниереба", Тбилиси, 1967, т. XXV, вып. 1, с.48 - 55.
87. საბაშვილი მ.ბ. საქართველოს სსრ ნიადაგები. გამომც. «მეცნიერება», თბილისი, 1965, 375 გვ.
88. Galloway James N., Likens Gene E. The collection of precipitation for chemical analysis. `Tellus~, 1978, 30, №1, p. 72-82.
89. Galloway James N., Likens Gene E. Cfibration of collection procedures for the determination of precipitation chemictry. `Water, Air and Soil Polut.~, 1976, 6, No 2-4, p. 241-258.
90. Ликайтите Э.Ю., Тураускайте В.В., Шопаускене Д.А. Изменение химического состава проб осадков в зависимости от условий и времени хранения. В сб. `Содержание примесей в атмосферных осадках, атмосфер. аэрозолей. Защита атмосферы от загрязнения.~ вып. 3, Вильнюс, 1976, с. 87-94.
91. Бурксер Е.С., Федорова Н.Е. Опыт исследования химического состава атмосферных вод. Гидрохимические материалы, т. XVI, Изд. АН СССР, Москва, 1949, с. 107-112.
92. Витынь Я.Я. Количество Cl и SO_4 , поступающих в почву с атмосферными осадками. Журнал опытной агрономии, кн. 1, 1911, с. 30-32.
93. Хухия В.Л., Хинтибидзе Л.К. К вопросу о меркуриметрическом определении хлоридов. Тр. ТГУ. 1961, т. 80, с. 207-211.
94. Пришибил Р. Комплексоны в химическом анализе. ИЛ. Москва, 1960. 183 с.
95. Супаташвили Г.Д. Фотоэлектротурбидиметрическое микроопределение сульфатов в природных водах. Гидрохим. материалы. Москва, 1961, т. 33, с. 138-142.
96. Бабко А.К., Пилипенко А.Т. Колориметрический анализ. Госхимиздат, 1951, 228 с.
97. Унифицированные методы анализа вод. «Химия», Москва, 1973, с. 93-94.
98. Супаташвили Г.Д., Карсанидзе Н.К. Определение микроэлементов природных водах. Экстакционно-фотометрический метод определения Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+} в одной пробе воды. Тр. ТГУ, А137, 1971, с. 49-55.
99. Хухия В.Л. Количество йода и брома в атмосферном воздухе на побережье Черного моря Аджарской АССР. Тр. ТГУ, 1941, т. 20, с. 111-112.
100. Николаев Н.С., Суворова Н.С. Аналитическая химия фтора, «Наука», 1970, 347с.
101. Мегрелян. Фтор. Сборник «Колориметрические методы определения металлов. ИЛ. Москва, 1963. 384с.
102. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. «Мир», 1976. 174с.
103. Сендель Е. Колориметрические методы определения следов металлов. Москва, «Мир», 1964. 275с.

104. Иванчев Г.И. Дитизон и его применение. Москва, ИЛ. 1961, 174с.
105. Еременко В.Я. Спектрофотометрические определения микроэлементов. Ленинград, Гидрометеиздат, 1969, 206с.
106. Ригин В.И., Ригина И.В. Беспламенное атомно-флуоресцентное определение свинца электролитическим концентрированием. Журнал аналитической химии, 1979, т. 34, вып. 6, с. 1121-1127.
107. Марченко И.И. фотометрическое определение элементов. Москва, «Мир», 1971, 214с.
108. Пановский Г.А., Брайер Г.Б. Статистические методы в метеорологии. Ленинград, Гидрометеиздат, 1972. 209 с.
109. Дроздова В.М., Петренчук П.П., Селезнева Е.С., Свистов П.Ф. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Ленинград, Гидрометеиздат, 1964, 193с.
110. Израель Ю.А. и др. Кислотные дожди. Ленинград, Гидрометиздат, 1970. 498с.
111. Мучник В.М. Физика грозы. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974. 354 с.
112. სალუქვაძე თ., ხვედელიძე ზ., ხელაია ე. კონვექციური ღრუბლების რადიოლოკაცია (მონოგრაფია). საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მ. ნოდას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები. ტ. LVII. თბილისი. 2002. 258 გვ.
113. Гигинеишвили В.М. О градобития в Восточной Грузии и о некоторых особенностях градовых явлений в Алазанской долине. Труды Всесоюзного Научного Совещания по активным воздействиям на градовые процессы 1962 г. Тбилиси, Издательство АН ГССР, "Мецნიერება", 1964, с. 193-209.
114. Stefania. On the iodine content in maritime air of the Southern Baltic sea `Acta geophys. polon~, 1968, 16, №2, p. 181-194.
115. Бабко А.К., Пилипенко А.Т. Колориметрический анализ. Госхимиздат, 1951, 228 с.
116. Дроздова В.М., Петренчук П.П., Селезнева Е.С., Свистов П.Ф. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Ленинград, Гидрометеиздат, 1964, 193с.
117. Брукс К., Карузерт Н. Применение статистических методов в метеорологии. Ленинград, 1963, Гидрометеиздат. 348 с.
118. Мияке Иоси. Связь между концентрацией соли в атмосфере и метеорологическими элементами на побережье Саннику. J. Meteorol. Res. Tohoku Distr., 1969, 21, march, p. 362-374.

119. Блинов Л.К. О поступлении морских солей в атмосферу и о значении ветра в солевом балансе Каспийского моря. Тр. ГОИН, вып. 17(27), 1950. с. 67-112.
120. Reynolds Brian, Horning Michael, Stevens Paul Adrian. Factors influencing bulk precipitation chemistry at an upland site in mid-Wales. *Int. J. Environ. Stud.*, 1984, 22, No 3-4, p. 195-205.
121. Матвеева А.А., Башмакова О.И., Крупения Л.М. Поступление веществ из атмосферы в районе г. Геленджика. «Гидрохимические материалы», Москва, 1973, 59, с. 19-24.
122. მატვეევი ლ.ტ. ზოგადი მეტეოროლოგიის კურსი. ატმოსფეროს ფიზიკა. (თარგმანი რუსულიდან). თბილისი, 1987. 703 გვ.
123. Бурксер Е. С., Бурксер В. В. Аэрохимические исследования на Украине. Тр. Института Геологических наук ССР петрографии, минералогии и геохимии, 1951, вып. 1, с. 7 - 127.
124. Унифицированные методы анализа вод. Под редакцией Рулье Ю.Ю. Изд-во "Химия", Москва 1967.
125. McColl John G., Monette Larry K., Bush Douglas S. Chemical characteristics of wet and dry atmospheric fallout in Northern California. *J. Environ Qual.*, 1982, 11, No. 4, pp. 585 – 590.
126. ხვედელიძე ზ.: სინოპტიკური მეტეოროლოგია. თბილისი, 1998, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 190 გვ.
127. Farn P., Parungo O.R.I., *J. Appl. Meteorology Am. Met. Soc.*, 1970, vol.10, p. 86-94.
128. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах СССР, Москва, 1967, 222с.
129. Добровольский В.В., Савельева Л. Е. Геохимия техногенного преобразования ландшафтов. Москва, Наука, 1978, с.442..
130. Глушко Я.М. Введение в геогигиену. Москва, Недра, 1966, с. 388.
131. Фролов-Багреев А.М., Агабальянц Г.Г. Химия вина. Москва, 1951, с. 271.
132. Кишковский З.И., Скурихин И.М. Химия вина. Москва, 1976, с. 443.
133. Диаконис П., Эфрон Б. Статистические методы с использованием ЭВМ. В мире науки (Перевод с англ.) Москва, ИЛ. 1983, №7, с.60-73.