

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო
სსიპ მიხეილ წოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი მელიქაძე

საქართველოს ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლების მონიტორინგი და სივრცულ-
დროითი მოდელირება ეკოლოგიური და სეისმური პრობლემის გადაწყვეტის
მიზნით

04.00.06 -ჰიდროგეოლოგია

გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო
ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

თბილისი
2006

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი.

პირველი თავი - მადნეულის პოლიმეტალური საბადოს მიმდებარე ტერიტორიის მძიმე მეტალებით დაბინძურების ჰიდროქიმიური მოდელირება და ეკოლოგიური მდგომარეობის პროგნოზი.

§1. რაიონში არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობის აღწერა.

§2. რაიონის გეოგრაფიული თავისებურებანი.

§3. გეოლოგიური აგებულება.

§4. ჰიდროგეოლოგიური აგებულება.

§6. ჭების ტესტირება ჰიდროდინამიკური პარამეტრების დადგენის მიზნით.

§7. ტოქსიკური ელემენტების კონცენტრაციების დადგენა.

§8. წყალში, ნიადაგსა და მცენარეებში ქიმიური ელემენტების განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

§9. ქანებში მძიმე ლითონების განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

§10. მძიმე ლითონების მაღალი კონცენტრაციებით გამოწვეული დაავადებების გავრცელება ფოლადაურის ხეობაში.

§11. მოდელირება.

§12. ეკოლოგიური მონიტორინგი.

§13 ძირითადი შედეგები.

მეორე თავი - თბილისის თერმული რაიონის ჰიდროდინამიკური ციფრული მოდელი და სითბური ველის განაწილების კანონზომიერებები.

§1. შესავალი.

§2. წინა პერიოდში ჩატარებული კვლევები.

§3. თბილისის თერმული უბნის ბუნებრივი პირობები.

§4. გეოლოგიური და ტექტონიკური პირობები.

§5. ჰიდროგეოლოგიური პირობები.

§6. გეოთერმული პირობები.

§7. პროექტით ჩატარებული კვლევები.

§8. რეჟიმული დაკვირვებები.

§9. უბნის ჰიდროდინამიკური მოდელი.

§10. ჰიდროთერმული პირობები.

§11. ციფრული მოდელირება.

§12. მოდელის აღწერა.

§13. კონცეპტუალური მოდელი.

§14. მოდელის სასაზღვრო პირობების აღწერა.

§16. მიწისქვეშა წყალშემცველი ჰორიზონტის ჰიდროდინამიკური პარამეტრები და Termuli წყლის რესურსები.

§17. ძირითადი შედეგები.

მესამე თავი- ჰიდროგეოდეფორმაციული პროცესების სივრცულ-დროითი ანალიზი და მათი განვითარების კანონზომიერებები.

§1. შესავალი.

§2. ჩატარებული რეჟიმულ დაკვირვებათა ისტორიული მიმოხილვა.

§3. რეჟიმული ჰიდროქიმიური და ჰიდროდინამიკური დაკვირვებები საქართველოს ტერიტორიაზე.

§4. მონაცემთა დამუშავებისა და ფილტრაციის მეთოდების აღწერა.

§5. საქართველოს ტერიტორიაზე ჰიდროქიმიური და ჰიდროდინამიკური დაკვირვებების შედეგად მიღებული მასალის ანალიზი.

§6. ანომალიათა გამოვლენის სივრცულ-დროითი კანონზომიერებები.

§7. ძირითადი შედეგები.

დასკვნები.

სამეცნიერო ნაშრომების სია.

შესავალი

მიწისქვეშა წყალი, აკად. ვერნადსკის განმარტებით, წარმოადგენს ძირითად მამოძრავებელ ძალას და ამავე დროს, იცავს დინამიკურ წონასწორობას დედამიწაზე მყარ სხეულებსა, გაზებსა, ფლუიდებსა და ცოცხალ არსებებს შორის. შეუფასებელია მისი როლი ადამიანთა ყოველდღიურ ცხოვრებაში. იგი ხელს უწყობს სითბოს გადატანას გარემოში, ქიმიური ელემენტების მიგრაციას, მათ შორის ტოქსიკურებისაც. მეტად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სასმელი, ტექნიკური და

თერმული მიწისქვეშა წყლების დინამიკის შესწავლას, გაზისა და ნავთობის საბადოების ფორმირების საკითხებს. სულ უფრო გასაგები ხდება ფლუიდების როლი სხვა და სხვა გეოლოგიური და მათ შორის ტექტონიკური პროცესების განვითარებაში. ამდენად, უდიდესია ამ კვლევათა მნიშვნელობა სამეცნიერო და პრაქტიკული თვალსაზრისით.

დღეისათვის, ამ პრობლემების გადაწყვეტა მოითხოვს მიწისქვეშა წყლების დინამიკის შესწავლას სისტემური მიდგომითა და უახლესი კვლევის მეთოდების გამოყენებით. ეს გულისხმობს, ტრადიციული, უმეტესად აღწერითი მიდგომის შეცვლას ფართო პროცესის მახასიათებელი მოდელის შემუშავებით, რისთვისაც აუცილებელია გეოლოგიისა და ყველა მომიჯნავე ზუსტი მეცნიერებების ცოდნის კომპლექსური გამოყენება.

ამის მაგალითია, მიწისქვეშა წყლების დინამიკის შესწავლისას ჰიდროგეოფიზიკური კვლევის თანამედროვე მეთოდების გამოყენება, რაც ითვალისწინებს როგორც სავსე კომპლექსს, ასევე მასალის კამერალურ დამუშავებას სპეციალიზირებული კომპიუტერული პროგრამების პაკეტის გამოყენებით. ეს საშუალებას იძლევა სრულყოფილად შესწავლილი იქნეს მიწისქვეშა წყლების გენეზისი, მათი მოძრაობის მიმართულება და სივრცულ-დროითი განაწილება.

აღნიშნულ ნაშრომში განხილულია ჰიდროგეოფიზიკური კვლევის მეთოდების გამოყენებით, სამი განსხვავებული მიმართულებით პლობლემის გადაჭრის მცდელობა.

პირველი პრობლემა- მადნეულის პოლიმეტალური საბადოს მიმდებარე ტერიტორიის მძიმე მეტალებით დაბინძურების ჰიდროქიმიური მოდელირება და ეკოლოგიური მდგომარეობის პროგნოზი.

მადნეულის სამთო-მომპოვებელი კომბინატი საქართველოს მრეწველობის ფლაგმანია. იგი დღესაც მოქმედი საწარმოა, სადაც ინტენსიურად გრძელდება სამთო-მომპოვებელი სამუშაოები და ამასთან, ირღვევა ეკოლოგიური ნორმატივები. კერძოდ, კარიერის წყლები, რომლებიც გადმოტუმბვის პროცესში და კუდსაცავებიდან ხვდებიან მდინარე კაზრეთულაში და შემდგომ მდ. მაშავერადან გამომდინარე სარწყავი სისტემების მეშვეობით ხვდება ბოლნისის რაიონის სოფლების სავარგულებზე. მეორე, კარიერის აღმოსავლეთით მიმდებარე ფერდზე

დაყრილი გადასახსნელი ქანები, რომელთა ინტენსიური გარეცხვა ატმოსფერული ნალექებით იწვევს მათ ბიოქიმიურ და ელექტროქიმიურ დაშლას და ფოლადაურის ხეობის დაბინძურებას მძიმე მეტალებით, რაც იწვევს მთელი ეკოსისტემის: ნიადაგის, წყლის, მცენარის და ცოცხალი ორგანიზმების დაბინძურებასა და მოწამლვას. ამასთან, ადრე ჩატარებული კვლევებით შესწავლილი და ფართოდ გაშუქებული იყო კაზრეთულასა და მაშავერას ხეობის დაბინძურების მასშტაბები და თითქმის უგულებელყოფილი იყო მდ. ფოლადაურის პრობლემატიკა.

საკვლევ რაიონად ფოლადაურის ხეობის შერჩევა განაპირობა იმ ფაქტმა, რომ ამ ტერიტორიაზეა განლაგებული რაიონის ძირითადი სავარგულები, იგი წარმოადგენს თბილისის მთავარ ბელელს და ამასთან, ის ფაქტიურად, მაშავერას ხეობასთან შედარებით, თითქმის შეუსწავლელია ეკოლოგიური თვალსაზრისით.

მეორე პრობლემა-- თბილისის თერმული რაიონის ჰიდროდინამიკური ციფრული მოდელი და სითბური ველის განაწილების კანონზომიერებები.

გეოლოგიური თვალსაზრისით თბილისი განლაგებულია აჭარა-თრიალეთის ნაოჭასისტემაში, რომელიც განმხოლოებულია სეისმოაქტიური გეოლოგიური რღვევებით და რომელთა ნაწილი თბილისის ცენტრალურ უბანში მდებარე ბალნეოლოგიური კურორტის გოგირდიანი წყლების დრენაჟებს წარმოადგენს. ამ თერმულ მინერალურ წყლებს - “გოგირდის აბანოებს” ჰქონდათ სპეციფიკური მნიშვნელობა ქალაქის მთელი 1500 წლიანი ისტორიის მანძილზე. ამ აბანოების წყლის ტემპერატურა მერყეობს 40-50 °C შორის. გოგირდ-წყალბადის შემცველობის გამო იგი გამოიყენება თერაპიული მიზნებისა და დასვენებისათვის. კურორტი და მის ბაზაზე მომუშავე აბანოები დაკავშირებულია მტკვრის ხეობაში შუა ეოცენის ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტის ზედაპირზე გამოსავალთან. ვულკანური ქანებით წარმოდგენილი ეს ჰორიზონტი ფართოდაა გავრცელებული რეგიონში. ქალაქის ჩრდილი-დასავლეთ ნაწილში (ლისის უბანი) გაბურღულია რამდენიმე ჭაბურღილი, რომლებიც იძლევიან გოგირდიან თერმულ წყალს (60-70 °C) და გამოიყენება ქალაქის თბომომარაგებაში.

დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ეს ჰორიზონტი იძირება უფრო ახალგაზრდა ნალექების ქვეშ. 20-30 კმ დაშორებით ამ უბნიდან, ანტიკლინურ სტრუქტურებში ნაპოვნი იქნა ნავთობი. 80- იან წლებში მისმა ინტენსიურმა ექსპლუატაციამ გამოიწვია ცენტრალური უბნის რესურსების მკვეთრი შემცირება, დონეების დაცემა და საერთო ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესება. ამის მიზეზი შეიძლება

გამხდარიყო დაბინძურებული გრუნტის წყლების შემოდენა მინერალური წყლების არეალში.

დღემდე ამ სამ უბანს შორის ("ლისის", "ცენტრალური" და "ნავთობიანი") ჰიდროდინამიური კავშირები სრულყოფილად შესწავლილი არაა, რაც დეტალური რეჟიმული დაკვირვებების გარეშე შეუძლებელს ხდის ბალნეოლოგიური, თერმული წყლებისა და ნავთობშემცველი უბნების ეკოლოგიურად გამართლებულ და რაციონალურ ექსპლუატაციას.

მიწისქვეშა ჰიდროთერმული რესურსების სითბური ენერჯის გამოყენება, თერაპიული მიზნებისა ან სითბოს მისაღებად, ტრადიციულია მთელს მსოფლიოში; თუმცა, საჭიროებს ამ გარემოს დეტალურ ჰიდროდინამიკურ და ჰიდროქიმიურ შესწავლას. როგორც წესი, ასეთი ჰიდროთერმული რესურსების სამგანზომილებიანი მოდელირებისას ითვალისწინებენ აუზის როგორც ჰიდროდინამიკურ, ასევე სითბურ თავისებურებებს, რაც აუცილებელია ეკოლოგიურად გამართლებული ექსპლუატაციის პირობების დადგენისას.

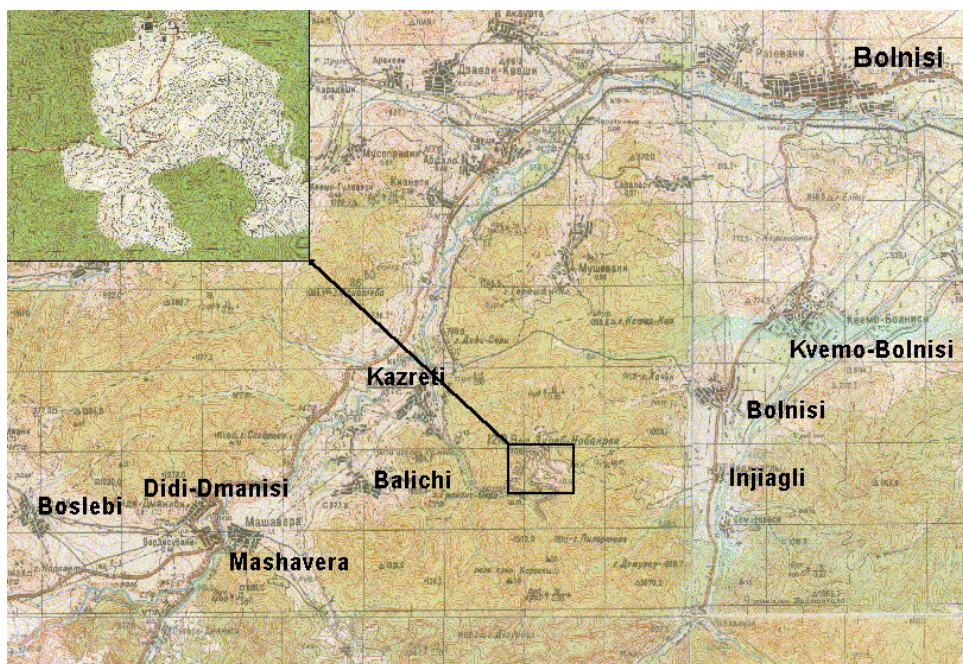
მესამე პრობლემა – ჰიდროგეოდეფორმაციული პროცესების სივრცულ-დროითი ანალიზი და მათი განვითარების კანონზომიერებები.

მსოფლიოს სეისმოაქტიურ რეგიონებში მიმდინარე კომპლექსური გეოლოგიურ-გეოფიზიკური კვლევების დროს დაფიქსირებული იყო მრავალი სახის ანომალია მიწისძვრების მომზადების პროცესში, თუმცა დღემდე ზუსტად არაა დადგენილი მათი გენეზისი და არ შემუშავებულა მათი ტესტირების მეთოდიკა. შესაბამისად, შეუძლებელია მიწისძვრის წინამორბედების დადგენაც. ამდენად, დამაბულობის ველის კრიტიკული მნიშვნელობების დადგენა და სეისმო-საშიშროების რეალური შეფასება დღესაც აქტუალურ პრობლემად რჩება საქართველოს სეისმოაქტიური რეგიონისთვის.

პირველი თავი - მადნეულის პოლიმეტალური საბადოს მიმდებარე ტერიტორიის მძიმე მეტალებით დაბინძურების ჰიდროქიმიური მოდელირება და ეკოლოგიური მდგომარეობის პროგნოზი

§1. რაიონში არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობის აღწერა

მადნეულის პოლიმეტალური კომბინატი (Au, Pb, BaSO₄, Cu, Zn, Ag) მდებარეობს თბილისიდან 80 კმ-ში სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით (ნახ. №1). ყველაზე ახლოს განლაგებულია დაბა კაზრეთი, მოსახლეობით 3000 და რაიონული ცენტრი ბოლნისი 10000 მაცხოვრებლით. კარიერს დასავლეთიდან ჩამოუდის ძირითადი მდინარე მაშავერა, თავისი შენაერთით კაზრეთულათი, ხოლო აღმოსავლეთიდან კი მდინარე ფოლადაური. ეს მდინარეები ფაქტიურად შემოსაზღვრავენ კარიერს და მათში განიტვირთება გრუნტის წყლები. შემდგომში ყველა ეს მდინარე ჩაედინება მტკვარში.



ნახ. №1. კარიერის ადგილმდებარეობა

რაიონში განვითარებულია სოფლის მეურნეობა-მებაღეობა, მებოსტნეობა, მევენახეობა. რაიონი თბილისის ძირითადი მომმარაგებელია სოფლის მეურნეობის პროდუქტებით. კარგადაა განვითარებული საირიგაციო სისტემები. ძირითადი სავარგულები განლაგებულია მდინარეების- მაშავერასა და ფოლადაურის ხეობების გასწვრივ. ასევე, გაზურღულია მრავალი ჭაბურღილი ამ მდინარეების ალუვიურ ნალექებში.

მადნეულის სამთო-მომპოვებელი კომბინატი საქართველოს მრეწველობის ფლაგმანია. იგი დღესაც მოქმედი საწარმოა, სადაც ინტენსიურად გრძელდება სამთო-მომპოვებელი სამუშაოები და ამასთან ირღვევა ეკოლოგიური ნორმატივები. კერძოდ, არ ხდება კარიერის წყლების მთელი მოცულობის სრულად გადადენა

კუდსაცავებში და ტოქსიკურად დაბინძურებული წყლების ნაწილი იღვრება მდ. კაზრეთულაში და შემდგომ მდ. მაშავერადან გამომდინარე სარწყავი სისტემებით ხვდება ბოლნისის რაიონის სოფლის მეურნეობის სავარგულებზე.

მადნეულის რაიონის დაბინძურების ძირითად წყაროებს წარმოადგენენ: კარიერის წყლები, რომლებიც გადმოტუმბვის პროცესში და კუდსაცავებიდან ხვდებიან მდინარე კაზრეთულაში (ნახ. №2-3); კარიერის აღმოსავლეთით მიმდებარე ფერდზე დაყრილი გადასახსნელი ანუ ფუჭი ქანები, რომელთა ინტენსიური გარეცხვა ატმოსფერული ნალექებით იწვევს მათ ბიოქიმიურ და ელექტროქიმიურ დაშლას და ფოლადურის ხეობის დაბინძურებას მძიმე მეტალებით (ნახ. №4).

დაბინძურება დაკავშირებულია:

- ნიადაგის და მცენარეული საფარის მექანიკურ დაშლასთან;
- ნიადაგის დაბინძურებასთან;
- მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების დაბინძურებასთან;
- ჰაერის დაბინძურებასთან.



ნახ. №2. კარიერი



ნახ. №3. მდ. კაზრეთულა



ნახ. №4. მდ. ფოლადაურის მარცხენა შენაკადი

რამდენადაც კარიერი, კუდსაცავები და ფუჭი ქანის საყრელები მდებარეობენ მდინარეების- მაშავერასა და ფოლადაურის წყალგამყოფზე, დაბინძურების წყაროები განლაგებულია მდინარეების მიმართ პიეზომეტრულად უფრო მაღლა და წარმოადგენენ მიწისქვეშა წყლების დრენირების ობიექტებს. ეს კი თავის მხრივ იწვევს ამ უკანასკნელების დაბინძურებას.

გარემოს ეკოლოგიური დაცვის ელემენტარული საშუალებების არ არსებობის გამო, მიწისქვეშა წყლებში გახსნილი ტოქსიკური ელემენტების დიდი რაოდენობა ხვდება მდინარეებში და ილექება ალუვიურ ნალექებში. მდინარის წყალი თავის მხრივ ამარაგებს ხშირ საირიგაციო სისტემებს. გარდა ამისა, ფოლადაურის ხეობაში სოფლების- ძველი ბოლნისისა და ქვემო ბოლნისის სიახლოვეს, ალუვიურ ნალექებში გაბურღულია ღრმა ჭაბურღილები, რომელთა მეშვეობით ეს სოფლები მარაგდება სასმელი წყლით.

მადნეულის პოლიმეტალური კომბინატის ტერიტორიაზე მოქმედებს სააქციო საზოგადოება “მადნეული”, რომელიც ახდენს როგორც სპილენძის, ასევე ოქროს დამუშავებას. ამასთან, აქ მოქმედებს სპეციალური ორგანიზაცია “ეკოლოგი”, რომლის ფუნქციებში შედის კარიერში დაგროვილი წყლის გადმოტუმბვა და გაწმენდა.

ტექნოლოგიურად სპილენძი მიიღება სპილენძის შემცველი ქალგოპირიტის გამოდნობით. ეს პროცესი მოძველებულია და საჭიროებს მოდერნიზაციას.

კარიერიდან ამოღებული სპილენძის დაბალი შემცველობის ქანების დასაწყობება ხდება ცალკე მოცილებულ ადგილას. შემდგომში სააქციო საზოგადოება “კვარციტი” ახდენს ოქროს მიღებას. ოქროს დამუშავებისას წინდაწინ დაფხვნილი ქანის მასა-გროვა (351 813 ტონა) მოთავსებულია მყარ მასივში სპეციალურად მომზადებულ ჩაღრმავებაში, სადაც ხდება მისი მორწყვა ციანიდის მჟავით. რომ შეიზღუდოს მჟავისა და ტოქსიკური ელემენტების გაჟონვა, გროვის ძირში დაფენილია სპეციალური სქელი პოლიეთილენის ორი ფენა. მათ შორის კი მოთავსებულია გეოტექსტილის ფენა. ამდენად, პირველ ფენაში მჟავის გაჟონვისას იგი იკრიბება სპეციალურ საცავში და შემდეგ ისევ ბრუნდება დამუშავების ციკლში. ოქროს მიღების პროცესში მჟავის დონე მოწმდება ყოველ საათში. დამუშავების ფართობი შეადგენს 65000 მ². პროცესისას ორთქლდება 10-12% წყალი, ამიტომ ყოველ საათობრივად სისტემას ემატება 200 მ³ წყალი. ამ დროს ციანიდის ჰიდროლიზით წარმოიქმნება (0,5–1,2 %) ჰიდროციანიდის მჟავის გაზური ფრაქცია. რაც მეტყველებს იმაზე, რომ ზედაპირიდან აორთქლებული წყალი შეიცავს ამ ტოქსიკურ კომპონენტებს. დამუშავების ეს მეთოდი ყველაზე იაფია ცნობილ მეთოდებს შორის.

პროცესის დამთავრებისას სხვა ადგილზე მზადდება ახალი გროვა. ადგილის დეზაქტივიზაცია ხდება სუფთა წყლით, თუმცა გაუგებარია სად მიდის მოხმარებული წყალი. გარდა ამისა ადგილზე კიდევ რჩება ციანიდი რომელიც შეიძლება ჩაირეცხოს მდინარეში წვიმის წყლით.

ტექნოლოგიური ციკლი ითვალისწინებს კარიერიდან ჩამონადენი წყლის შეგროვებას სპეციალურ სადრენაჟო აუზში და მის ნეიტრალიზაციას კირით. სამწუხაროდ, ყოველთვის ვერ ხდება ამ პირობების შესრულება ფინანსური სირთულეების გამო. გარდა ამისა, მოძველებული სადრენაჟო სისტემა წვიმიან

პერიოდში ვერ ასწრებს კარიერიდან წყლის გადმოტვირთვას და დაბინძურებული წყალი ხვდება პირდაპირ მდინარე კაზრეთულაში.

სამწუხაროდ, უცნობია კარიერის ექსპლუატაციაში შესვლამდე რაიონში არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობა. ბოლნისის რაიონში დაბინძურების სისტემური შესწავლა დაიწყო 1993-94 წლებიდან და მათ აწარმოებდა სხვა და სხვა სამთავრობო და არასამთავრობო ორგანიზაცია. ყველა მათგანმა დაადასტურა 20 კმ ფარგლებში რაიონის ნიადაგის დაბინძურება, რომელიც სამჯერ აღემატება დასაშვებს.

კერძოდ, გარემოს დაცვის სამინისტროს დავალებით ფირმა “გამამ” განსაზღვრა მდინარე კაზრეთულაში სპილენძის კონცენტრაცია, რომელმაც შეადგინა 286 მგ/ლ, როდესაც დასაშვები ნორმა შეადგენს 0.1 მგ/ლ. ზოგიერთ ადგილას მდინარე კაზრეთულასა და მაშავერაში დაბინძურება დასაშვებს 50 და 100- ჯერ აღემატება. მაგალითად, კარიერიდან ჩამონადებ წყალში Cd შეადგენს 3.8 მგ/ლ, რაც 2000- ჯერ მეტია დასაშვებზე (0.002 მგ/ლ).

კარიერისა და ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიაზე საერთო ჯამში 18 ელემენტის კონცენტრაცია აღემატება დასაშვებს.

ცხრილი №1. მძიმე მეტალების კონცენტრაციები მდინარე კაზრეთულაში.

კარიერიდან ჩამონადენი მ ³		საშუალო მნიშვნელობები, მგ/ლ				საშუალო წლიური ჩამონატანი ტონებში.			
დღიური	წლიური	Cu	Zn	Fe	SO4	Cu	Zn	Fe	SO4
300	100 000	700	300	700	6000	700	300	700	6000

მდინარეების, მაშავერასა და კაზრეთულას დეტალური კვლევები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის კათედრის პროფესორის უ. ზვიადაძის ხელმძღვანელობით (1, 32). გამოკვლეული იქნა ნიადაგისა და წყლის სინჯები (მდინარეების უკანგორი, კაზრეთულა, ხაჩინ-ჩაი და სხვა). ატომურ-ადსობრციული მეთოდების გამოყენებით განსაზღვრული იქნა 10 ქიმიური ელემენტის შემცველობა (Li, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Ni, Sr).

ამ კვლევებით დადგინდა, რომ როგორც კარიერთან, ასევე მისგან მოცილებით, 40 კმ-ზე მდ. მაშავერას გსწვრივ, დაბინძურება აჭარბებდა მსოფლიო ჰიდროგრაფიული ქსელისთვის მიღებულ მძიმე მეტალების დასაშვებ გასაშუალებულ მნიშვნელობებს:

სპილენძი-0.007 მგ/ლ, თუთია- 0.02 მგ/ლ, კადმიუმი- 0.0002 მგ/ლ, ტყვია- 0.001 მგ/ლ, რკინა -0.07 მგ/ლ; მანგანუმი- 0.01 მგ/ლ. ეს მნიშვნელობები წარმოადგენენ ერთგვარ ფონს ათვლის საწარმოებლად. ქვემოთ, ცხრილში მოყვანილია მძიმე ლითონების შემცველობების სიდიდეები კარიერიდან დაშორების გათვალისწინებით.

ცხრილი №2. მძიმე ლითონების შემცველობა კაზრეთის რეგიონის მდინარეებში.

№	სინჯის ადების ადგილი	მანძილი დაბინძურების	მიკროკომპონენტების შემცველობა მგ/ლ							
			Cu	Cd	Zn	Pb	Co	Ni	Fe	Mn
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
1	კარიერის ფსკერიდან	0	2334.7	21.6	362.7	0.34	კვალი	კვალი	1552	71.7
2	საყრელის ძირში გამომდინარე ნაკადიდან	1000	1680	10	372	0.5	3.36	0.14	1152	101
3	მდ. კაზრეთულადან წმინდა სამების ეკლესიამდე	2200	1000	4.78	360	0.44	კვალი	კვალი	1092	67
4	მდ. კაზრეთულადან (საქვების პირდაპირ)	2450	740	3.72	330	0.42	კვალი	კვალი	816	50
5	მდ. კაზრეთულადან (კაზ. ასს პირდაპირ)	3050	640	3.5	310	0.31	კვალი	კვალი	780	46
6	მდ. მაშავერასა და კაზრეთულას შესართავი	4575	32	0.14	9.84	0.2	კვალი	კვალი	9.6	1.96
7	მდ. მაშავერადან (სოფ. კიანეთის პირდაპირ)	5075	16	0.04	7.08	0.05	კვალი	კვალი	6.4	0.98
8	სოფ. კიანეთთან (მდ. მაშავერას დამბიდან)	8325	14	კვა ლი	6.2	კვალი	კვალი	კვალი	6.16	0.96
9	მდ. მაშავერადან (რატევანსა და ბოლნისის შორის)	15825	11.6	კვა ლი	5.64	კვალი	კვალი	კვალი	4.96	0.84
10	მდ. მაშავერადან (სოფ. რაჭის უბანთან)	24575	8.1	კვა ლი	5.16	კვალი	კვალი	კვალი	2.4	1
11	მდ. ხრამიდან (სოფ. თამარისამდე 1 კმ ზემოთ)	31575	0.96	კვა ლი	0.64	კვალი	კვალი	არ არის	2.36	0.54
12	მდ. ხრამიდან (სოფ. თამარისიდან 1 კმ)	34075	0.48	კვა ლი	0.6	კვალი	კვალი	არ არის	1.03	0.52

	ქვემოთ)									
13	მდ. ხრამიდან (სოფ. ამირის მიდამოებში)	41575	0.38	კვალი	0.54	კვალი	კვალი	კვალი	0.16	0.43

ავტორების მიერ შესწავლილი იქნა ეგრეთ წოდებული ფონური მნიშვნელობებიც (სინჯი №5 და №6), ანუ მდ. მაშავერაში მძიმე ლითონების კონცენტრაციები მის შეერთებამდე მდ. კაზრეთულასთან. ამ სინჯებში კონცენტრაციების მნიშვნელობები ნორმაზე მცირეა. მონაცემებიდან თვალნათლივ ჩანს, რომ კარიერიდან (გაჭუჭყიანების კერიდან) დაშორების მიხედვით ლითონთა შემცველობა მდინარის წყლებში თანდათანობით და განუხრელად მცირდება. ზოგიერთი ელემენტი კი (Cd, Pb, Ni, Co) მთლიანად ქრება. ამასთან, კონცენტრაციების თანდათანობითი შემცირების ტენდენცია შენარჩუნებულია კარიერიდან დაახლოებით 3 კმ-ის მანძილზე №4 სინჯის ჩათვლით, შემდგომ ისინი მკვეთრად მცირდება.

საწყის კონცენტრაციებთან შედარებით ლითონის კონცენტრაციების შემცირებაზე წარმოდგენას იძლევა ავტორის მიერ შედგენილი ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი, სადაც ნაჩვენებია, თუ რამდენჯერ მცირდება მდინარეში ლითონთა შემცველობები უშუალოდ კარიერის წყალში შემცველობასთან შედარებით.

ცხრილი №3. მდინარეებში ელემენტთა კონცენტრაციების შემცირება კარიერიდან დაშორების მიხედვით

№	ელემენტი	შემცველობა	რამდენჯერ შემცირდა გაჭუჭყიანება კარიერიდან დაშორების კვალობაზე											
			მანძილი კილომეტრებში											
			1.0	2.2	2.5	3.1	4.6	5.1	8.1	15.8	24.6	31.6	34.1	41.6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	სპი ლნძ ი	233 4.7	1.4	2.3	3.2	3.6	73	145. 9	166.8	201. 3	288. 2	2432	4864	6144
2	თუთ ია	362. 7	0.97	1.01	1.1	1.17	36.9	51.2	58.5	64.3	70.3	566.7	604.5	671.7
3	რკინ ა	155 2	1.3	1.4	1.9	2	161.7	242. 5	251.9	312. 9	646. 7	657.6	1506.8	9700
4	მანგა ნუმი	71.7	0.4	0.4	1.4	1.6	36.6	73.2	74.7	85.4	71.7	132.8	137.9	166.8

როგორც ვხედავთ, კონცენტრაციების ურთიერთ შედარებისას შეიმჩნევა, რომ სიდიდეები უმნიშვნელოდ მცირდება კარიერიდან დაახლოებით 3 კმ-ის მანძილზე (№4 სინჯი). ამის შემდგომ კონცენტრაციების მკვეთრი კლების გამო შეფარდებითი სიდიდეები ნახტომისებურად იზრდება. ავტორი ადარებს რა ამ სიდიდეებს პროფილის საერთო სიგრძეს- 41.6 კმ, ანგარიშობს კონცენტრაციის შემცირების გასაშუალებულ მნიშვნელობებს და ადგენს ელემენტების მიგრაციის უნარის შემდგომ თანმიმდევრობას: Mn>Zn>Cu>Fe.

განხილული ფაქტობრივი მასალის საფუძველზე ავტორი ადგენს, რომ დაბინძურების მაქსიმალური მნიშვნელობები აღინიშნება კარიერიდან 3 კმ ფარგლებში, თუმცა მათი ნორმაზე მაღალი მნიშვნელობები აღინიშნება 40 კმ შემდეგ მდინარე ხრამში, სადაც ისინი აჭარბებენ მსოფლიო მასშტაბის გასაშუალებულს: სპილენძი-54.3- ჯერ, მანგანუმი -43 ჯერ, თუთია -27 ჯერ, რკინა-2.3 ჯერ. აღსანიშნავია, რომ მდ. მაშავერასა და ხრამის წყლებით უხვად ირწყვება სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები.

ზემოთ მოყვანილ მონაცემებზე დაყრდნობით და ამერიკული ორგანიზაცია «ISAR-Georgia»-ს ფინანსური დახმარებით, ფონდის «მეცნიერება და განათლება სიცოცხლისათვის» მიერ 1997 წლის მაის-ივლისში ჩატარდა მადნეულის სამთომომპოვებელი კომპლექსის მიმდებარე ტერიტორიების (ნიადაგებისა და ბუნებრივი წყლების) გამოკვლევა მათში ტოქსიკური მეტალების შემცველობა-განაწილების დადგენის მიზნით. ამ გამოკვლევების შედეგები ასახულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილებში.

ცხრილი №4 ტოქსიკური ლითონების შემცველობა მდინარეებში კაზრეთულა და მაშავერა

№	სინჯის აღების ადგილი	ტოქსიკური მეტალების შემცველობა, მგ/ლ									
		Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Fe	Co	Ni	Sr	Li
	ზღვრულად დასაშვები → კონცენტრაცია	0.1	0.1	0.01	0.3	1.0	1.0	0.1	0.1	2.0	0.3
1	დამბიდან გამონადენი წყალი	1200	820	3.76	0.1	58.0	1120	2.24	0.12	123.2	0.22
2	მდ. კაზრეთულა, დამბიდან გამონადენი წყლის	0.023	0.038	-	-	0.009	0.12	-	-	0.528	0.005

	მასში ჩადინებამდე										
3	მდ. მაშავერა, მდ. კაზრეთულას შვერთებამდე	0.005	0.013	0.005	-	0.063	0.14	-	-	0.572	0.005
4	მდ. კაზრეთულა, დაბიდან გამონადენი წყლის მასში ჩადინების შემდეგ	90.0	3.82	0.60	0.01	3.20	7.0	0.18	0.008	4.567	0.02
5	მდ. მაშავერა, მდ. კაზრეთულას შესართავიდან 1 კმ-ზე 5 კმ-ზე 10 კმ-ზე 20 კმ-ზე	0.483	0.27	0.042	-	0.25	0.14	-	-	0.704	0.008
		0.350	0.310				0.14				
		0.350	5	0.032	-	0.21	8	-	-	0.819	0.008
		0.300	0.25	0.025	-	0.17	0.14	-	-	0.890	0.010
		0.280	8	0.023	-	0.13	3	-	-	0.930	0.011

ცხრილი №5 ტოქსიკური ლითონების შემცველობა ნიადაგებში

№	სინჯის ადგილის აღწერა	ტოქსიკური მეტალების შემცველობა, მგ/ლ									
		Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Fe	Co	Ni	Sr	Li
	ზღვრულად დასაშვები → კონცენტრაცია	10.0	36.0	0.2	11.0	50.0	-	4.0	2.0	40.0	0.3
1	კაზრეთის ბოლოში, პურის ყანიდან	9.6	-	-	6.6	კვადრი	-	-	-	-	5.9
2	კაზრეთსა და სოფ. ბალიქს შორის კომბოსტოდან ნათესებიდან	14.8	კვადრი	კვადრი	5.8	364.5	-	62.4	-	348.5	4.4
3	სოფ. ბალიქი, ნაკურალი ყანიდან	14.1	-	-	-	კვადრი	-	-	12.3	-	4.7
4	კაზრეთი, სამხერხაოს მახლობლად, ფერდობიდან	-	12.2	-	კვადრი	-	კვადრი	-	-	კვადრი	4.7
5	კაზრეთის ზემოთ, ტყიანი ფერდობიდან	225.0	568.7	20.6	4.2	1687.5	67.5	42.5	12.0	147.4	4.8
6	კაზრეთი, ფიჭვის	51.1	-	-	კვადრი	-	-	64.0	-	-	4.0

	ხეების პარკი				ლი						
7	კაზრეთი, კირის სამქროდან	10.4	-	-	3.7	კვა- ლი	-	-	-	370. 3	4.3
8	დრენირებული წყლის რეზერვუარის ქვემოთ, გამომშრალი მექანიკური მასალიდან	288. 6	772.2	84.2	-	1366.7	-	57.8	-	108. 9	3.1
9	კაზრეთი, გამწმენდი ნაგებობების ეზოში	8.1	-	-	-	კვა- ლი	-	59.3	-	კვა- ლი	0.2
10	კაზრეთი, გოგირდწყალბადიან ჭაბურდილთან	25.9	-	კვა- ლი	-	-	-	57.8	-	-	2.5
11	კაზრეთის გადასახვევთან, ჭადრების ხეივანში	10.4	კვა- ლი	-	-	-	-	62.4	კვა- ლი	152. 5	4.0
12	სოფ. მუშევანის გადასწვრივ ფერდობიდან	4.3	228.0	2.1	2.0	17.9	23. 5	27.0	8.5	220. 0	3.2
13	სოფ. კიანეთი, ნახნავიდან	43.7	688.6	2.8	1.7	10.4	21. 5	31.5	7.5	319. 0	3.2
14	სოფ. კიანეთის მახლობლად ნაკურალიდან	21.5	-	9.2	კვა- ლი	-	-	კვა- ლი	-	-	4.0
15	კაზრეთის გადასახვევის დამორებით, სარწყავი არხის მახლობლად	37.7	308.6	2.7	1.9	7.3	26. 0	19.5	6.8	171. 6	3.0

ზემოთ მოყვანილი მონაცემების მიხედვით უდავოა, რომ მდინარე კაზრეთულასა და იმ სასოფლო-სამეურნეო ნიადაგების ნიმუშებში, რომელთა სარწყავადაც ეს მდინარე გამოიყენება, მძიმე მეტალების შემცველობა მნიშვნელოვნად აჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს. ამ მიზეზით, მდინარე კაზრეთულასა და მათვერაში (მდ. კაზრეთულას მასში ჩადინების შემდეგ) შექმნილია ცოცხალი ორგანიზმების ნორმალური ზრდა-განვითარებისათვის გაუსაძლისი პირობები.

ამავე საკითხს მიეძღვნა ბატონ დიმიტრი კალანდაძის საკანდიდატო ნაშრომი (2), სადაც ჩატარებულ ფართობრივ ჰიდროქიმიურ კვლევებზე დაყრდნობით,

გაშუქებულია კარიერით მთელი ბოლნისის რაიონის, მათ შორის მდ. ფოლადაურის აუზის, მძიმე ლითონებით დაბინძურების მიზეზობრივი კავშირი და დასახულია დაბინძურების შეჩერების გზები, ბუნებრივი ცეოლითების გამოყენებით.

ასევე, მეტად მნიშვნელოვან შედეგებს მიაღწია ქ-ნა ლ. ცერცვაძემ ბიოქიმიური მეთოდების გამოყენებით “ფუჭი” ქანებიდან მძიმე ლითონების ამოღების საკითხში. კერძოდ, მან ჩაატარა ცდები ბაქტერიების ისეთი ნარევის მისაღებად, რომელიც მაქსიმალური ეფექტურობით მოახდენს კონცენტრაციების შემცირებას და ეკოლოგიურად მისაღები პირობების აღდგენას (7,8,9,29,76).

როგორც ვხედავთ, წინა წლებში ჩატარებული კვლევებით საკმაოდ დეტალურად დაფიქსირდა დაბინძურების მასშტაბები მდ. მაშავერას, კაზრეთულას და ფოლადაურის ხეობებში. თუმცა, დაბინძურების ტერიტორიების შემოკონტურებისა და მათი მასშტაბების განსაზღვრის გარდა, პრობლემის სრულად გაშუქებისთვის აუცილებელია მძიმე ლითონების ეკოსისტემაში მიგრაციის ფორმების და ინტენსივობის დადგენა, მათი დროში და სივრცეში ცვლილებების კანონზომიერების შესწავლა ჰიდროქიმიური მოდელირების გზით.

ამ მიზნით შერჩეულია წინა წლებში ნაკლებად შესწავლილი მდ. ფოლადაურის ხეობა, რომლის დაბინძურება ხდება კარიერის აღმოსავლეთით სანაყარზე განლაგებული “ფუჭი” ქანის ატმოსფერული ნალექებით გარეცხვის შედეგად. აღსანიშნავია, რომ ბოლო წლებში ინტენსიურად მიმდინარეობს გადასახსნელი “ფუჭი” ქანების მოხსნის სამუშაოები და შესაბამისად იზრდება ნაყარის მოცულობა მდ. ფოლადაურის მარცხენა შენაკადების სათავეებში, რაც შესაბამისად ზრდის ხეობების დაბინძურების მასშტაბებს.

ნახ. №5 გადასახსნელი ქანის საყარი



საკვლევ რაიონად ფოლადაურის ხეობის შერჩევა განაპირობა იმ ფაქტმა, რომ ამ ტერიტორიაზე განლაგებულია რაიონის ძირითადი სავარგულები და ის წარმოადგენს თბილისის სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტებით მომარაგების ძირითად წყაროს.

კვლევების მიმდინარეობა მოიცავდა 2000-20004 წლების პერიოდს და ფინანსირდებოდა შემდეგი საერთაშორისო პროექტებით: INCO-COPERNICUS, 2000-2001, (ICA2-CT-2000-10016), " გრუნტის წყლებში ტოქსიკური ელემენტების განსაზღვრა: რეალურ დროში ადრეული შეტყობინების ძირითადი სისტემის განვითარება"; ინტასის, 2002-2004, (INTAS – 01-2301), "ექსტრემალური გარემოს რისკის რეგიონებში ხანგრძლივი ვადით კონტროლის სტრატეგიის განვითარება (ENRISK)";

სისტემური კვლევების ჩატარების მიზანს წარმოადგენდა:

1. მადნეულის პოლიმეტალური საბადოს მიმდებარე ტერიტორიაზე, მდ. ფოლადაურის აუზის ჰიდროქიმიური მოდელის შემუშავება კომპლექსური ჰიდროგეოფიზიკური კვლევებით;
2. ეკოლოგიური დაბინძურების მასშტაბების შეფასება და პროგნოზი;
3. ტოქსიკური ელემენტების მონიტორინგი და დაბინძურების შემცირების გზების მოძიება.

ტერიტორიის ჰიდროქიმიური მოდელირება თავის მხრივ მოითხოვს საკვლევი უბნის სრულყოფილ შესწავლას გეოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური და გეოფიზიკური მეთოდების გამოყენებით. მიღებული მასალის კომპლექსურ გადამუშავებას და გამოყენებას სპეციალური პროგრამის მეშვეობით. ჩვენს მიერ ჰიდროქიმიური მოდელირების განსახორციელებლად გამოყენებული იქნა ცნობილი კომპიუტერული პროგრამა PMWIN.

პროგრამირებისთვის აუცილებელი იყო შემდეგი მონაცემების მოპოვება:

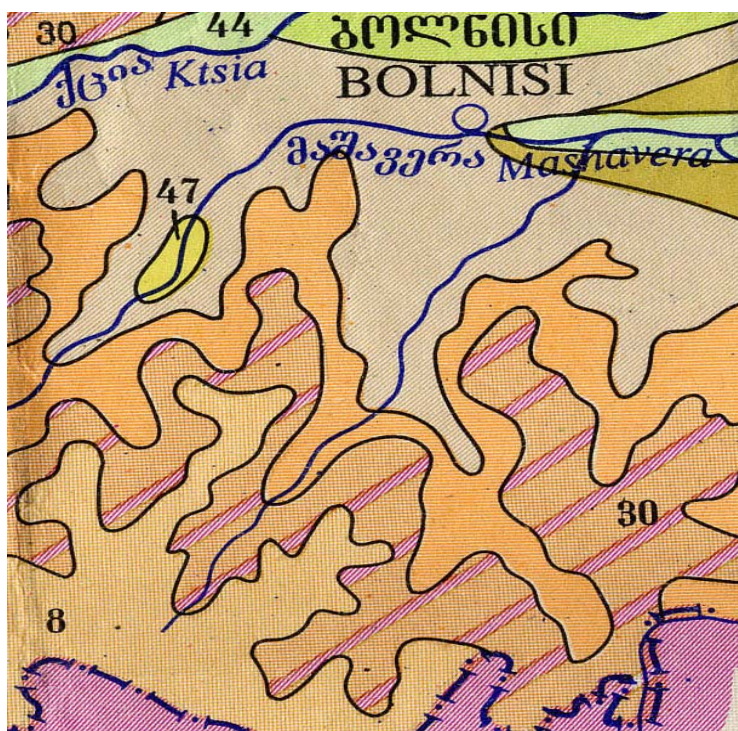
- რაიონის გეოგრაფიული მონაცემები, ნალექიანობა, ნიადაგის შემადგენლობა და სხვა.
- რაიონის გეოლოგიური აგებულებისა და ლითოლოგიური შემადგენლობის;
- რაიონის ჰიდროგეოლოგიური აგებულება და წყალშემცველი ჰორიზონტის დახასიათება.
- მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ჩაწოლის სიღრმის და მისი სიმძლავრის, მიმართულების განსაზღვრა;
- ჰიდროდინამიკური პარამეტრების (ფილტრაციის კოეფიციენტის, წყალგაცემის და სხვა) განსაზღვრა;
- ტოქსიკური კომპონენტების კონცენტრაციების დადგენა;
- საკვლევი რაიონის სასაზღვრო პირობების დადგენა.

§2. რაიონის გეოგრაფიული თავისებურებანი

რაიონი ხასიათდება მთიანი რელიეფით 500- დან 1300 მეტრამდე სიმაღლით. ქედებს აქვს გამოხატული სუბ-განედური ჩრდილო-აღმოსავლური მიმართულება. რელიეფი გამოხატულად ვულკანურია და განპირობებულია ვულკანური ამოფრქვევებით პლიოცენში. მდინარეთა ხეობებში განვითარებულია საკმაოდ მძლავრი (200-250 მ) ალუვიური ნალექები.

რაიონის უკიდურეს სამხრეთ ნაწილში განვითარებულია 8-ყომრალი სუსტად არამადლარი ქანები (brown forest weakly unsaturated-eutric cambisols), მას ჩდილოეთის მიმართულებით მიმდევრობით ენაცვლება ყავისფერი გამოტუტული 30-(Cinnamonic leached-calcic kastanozems), ყავისფერი 31-(Cinnamonic-Eutric cambisols and calcic kastanozems) და ყავისფერი კარბონატური 32-(Cinnamonic calcareous-Calcaric cambisols

and calcickastanozems). უშუალოდ კარიერის მიდამოებში გვხვდება ანთროპოგენური ნიადაგები 47-(Antropogenic soils-Anthric regosols and anthrosols). რაიონის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში ალუვიურ ნალექებზე განვითარებულია რუხი-ყავისფერი მუქი 36-(Grey cinnamonic dark-Calcic kastanozems) ნიადაგები. როგორც ჩანს ნიადაგები კარბონატული შენარეგების არსებობის გამო უნდა ხასიათდებოდნენ ტოქსიკური ელემენტების კარგი ადსორბციის უნარით.



ნახ. №6. ნიადაგების რუკა

	ყომრალი სუსტად არამაძლარი		ყავისფერი
	ნემომპალა-კარბონატული		ყავისფერი კარბონატული
	რუხი-ყავისფერი მუქი		ანთროპოგენური ნიადაგები
	ყავისფერი გამოტუტული		ძლიერ ჩამორეცხილი ნიადაგები
	ალუვიური კარბონატული		

რაიონში განვითარებულია მემცენარეობა და მეცხოველეობა. რაიონის მთელი ფართობის 50% უკავია ტყეს და ბუჩქნარს, 50% სავარგულია, მათ შორის- 25% სათიბ-საძოვი, 20% სახნავ-სათიბი და 5% მრავალწლიანი ნარგავებია. რაიონში სარწყავ ფართობებს უკავია 9.4 ათასი ჰექტარი. მათ შორის 1.7 ათ. ჰა. გაშენებულია ვენახი,

მარცლოვან კულტურებს უჭირავს 8.2 ათ. ჰა. ხორბალს უჭირავს 4.69 ათ. ჰა; სიმინდს 1.8 ათ. ჰა; დანარჩენ მარცვლეულს 1.7 ათ. ჰა. საკვებ კულტურებს 5.6 ათ. ჰა. მებაღეობას საკარმიდამო მეურნეობაში მისდევენ.

ბოლნისის რაიონის სოფლის მაცხოვრებელთა საერთო რაოდენობა, 2002 წელს ჩატარებული აღრიცხვის შედეგებით შეადგენს 56651 ადამიანს. ფოლადაურის ხეობაში, ცალკეული სოფლების მიხედვით რაოდენობა მოცემულია ქვემოთ.

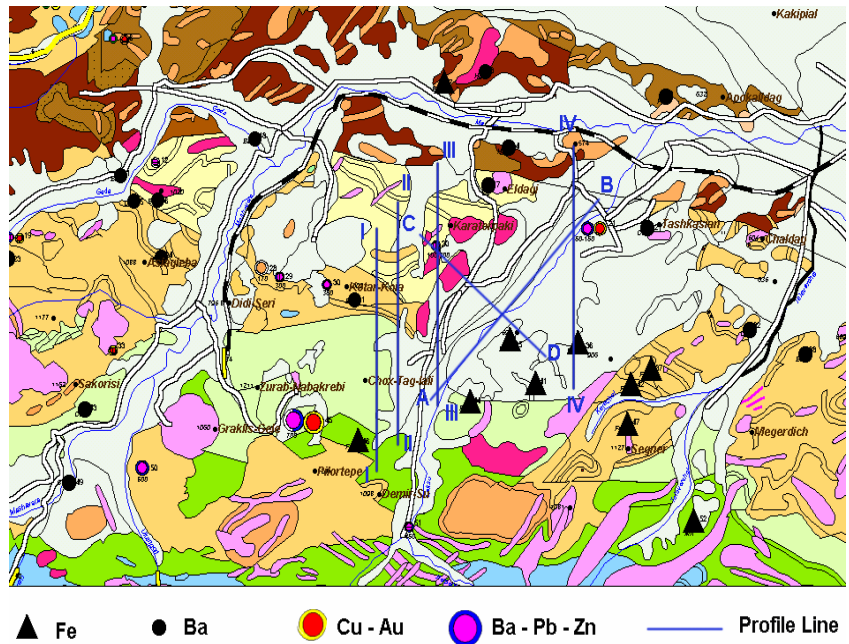
მდინარეები მიუკუთვნება მდინარე მტკვარის აუზს. ხშირი მდინარეული ქსელის გამო ტერიტორია კარგად დრენირებულია და მცირედ დატენიანებული. მდინარეთა კვების ძირითად წყაროს წარმოადგენს მიწისქვეშა წყლები (45%), რომლებიც განთავსებული არიან ახალგაზრდა ლავების ზედა დანაპრიალებულ ნაწილში; აგრეთვე თოვლის ნადნობი წყლები (25-30 %); გაზაფხულსა და შემოდგომაზე მათი კვების ასევე მნიშვნელოვანი წყაროა ნალექები. გაზაფხულის წყალდიდობა გრძელდება მარტიდან ივნისამდე და იწვევს მდინარის დონეების აწევას 1-2 მეტრით. რაიონის კლიმატი ზომიერად თბილია, გრძელი ცხელი ზაფხულითა და ზომიერი ზამთრით. საშუალო წლიური ტემპერატურა შეადგენს +10 C, საშუალო ტემპერატურა იანვარში -2 C, ხოლო ივლისში +18-29 C. საშუალო თოვლის საფარი შეადგენს 0.4-0.5 მეტრს. საშუალო ნალექიანობა შეადგენს 700 მმ.

§3. გეოლოგიური აგებულება

ბოლნისის პოლიმეტალური საბადო განლაგებულია აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემასა და სომხეთ-ყარაბახის ბელტს შორის (10). აქ ბოლნისის ვულკანოგენურ აუზში გავრცელებულია იური, ცარცული და პალეოგენის ასაკის ტუტე ვულკანური და დანალექი ქანები (23).

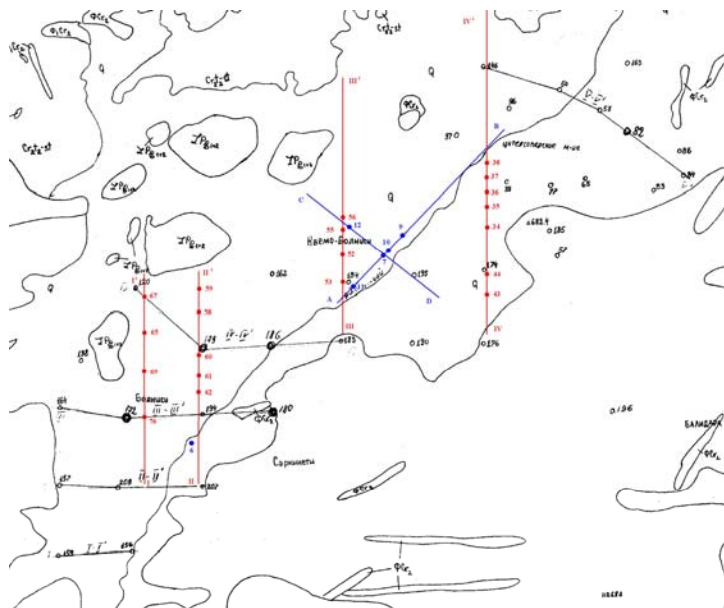
სტრუქტურულად ვულკანური დეპრესია წარმოდგენილია პალეოზოური გრანიტებით, რომლებშიც შეჭრილია უფრო ახალგაზრდა მჟავე შემადგენლობის ინტრუზივები.

ბოლნისის რაიონში გავრცელებულია სხვა და სხვა ტიპის საბადოები(24). ვულკანურ ქანებში გვხვდება ოქროს-სპილენძის-ბარიტის-პოლიმეტალური, ოქროს-ვერცხლის, ჰემატიტის, მარგანეცის საბადოები. გრანიტოიდებში სპილენძ-მოლიბდენის, ოქრო-პოლიმეტალური, ბარიტის და ურანის საბადოები.



ნახ. №7. ბოლნისის რაიონის გეოლოგიური რუკა

მოდელის შესაქმნელად საჭირო იყო ფოლადურის ხეობაში მეოთხეული ასაკის ნალექების სიმპლავრების შესწავლა. ხეობის ტერიტორიაზე ადრეულ პერიოდში გაბურღული ქაბურღილების მონაცემებზე დაყრდნობით, ნახაზზე მოყვანილი ჭრილების გასწვრივ, აგებული იქნა გეოლოგიური ჭრილები.

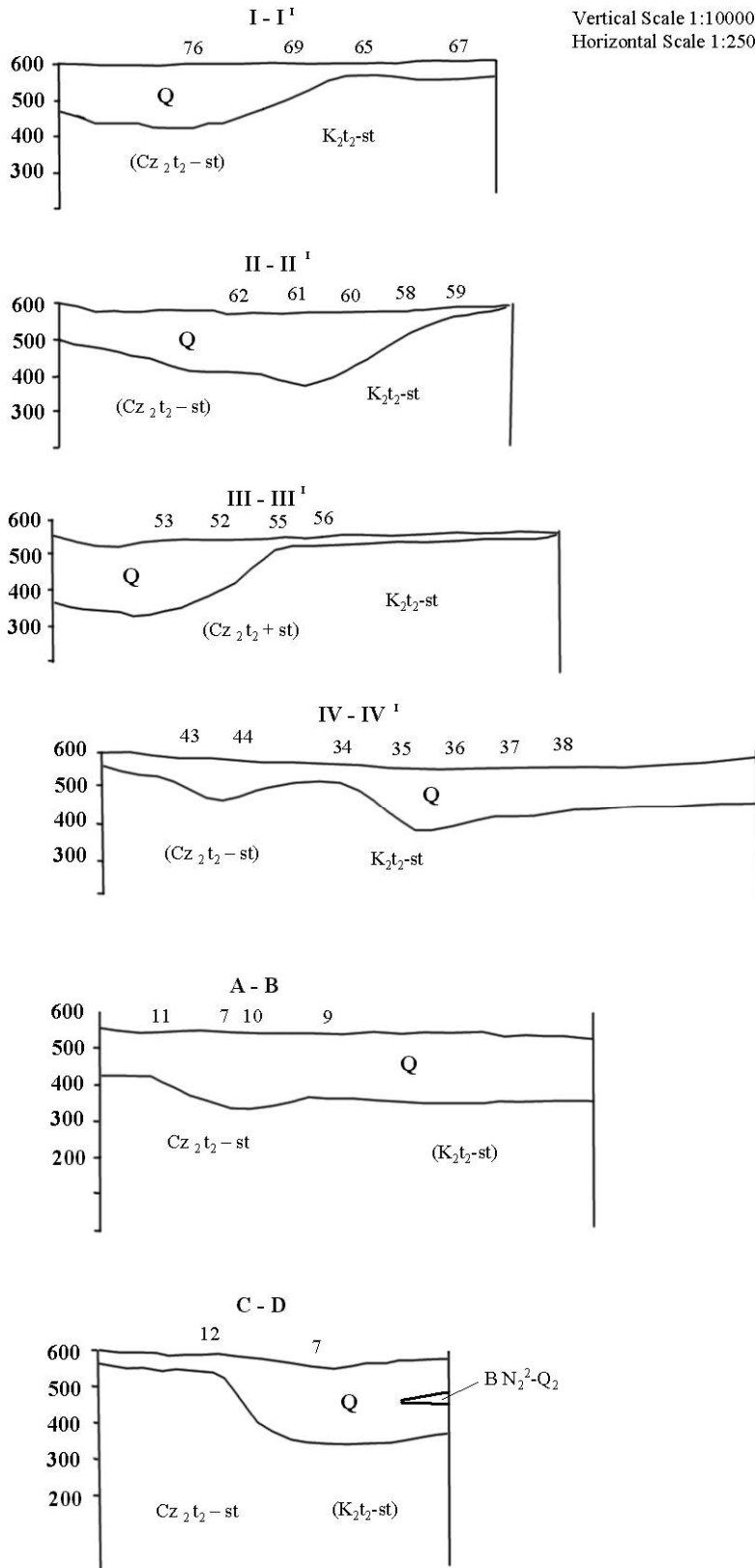


გრავ. №1. გეოლოგიური პროფილების განლაგების სქემა

ფოლადაურის ხეობა თავისი აგებულებით წარმოადგენს ცარცის ასაკის ვულკანოგენურ ქანებზე უშუალოდ დადებულ მეოთხეული ასაკის ალუვიონის წყალშემცველი ჰორიზონტის წყებას. ხეობა სამხრეთიდან ჩრდილოეთი მიმართულებით იშლება და თითქმის თანაბრად იზრდება ალუვიონის სიმძლავრეც. ამაზე მეტყველებს ხეობის გადამკვეთი ჭრილების მონაცემები, რომელთა ნუმერაცია იზრდება სამხრეთიდან ჩრდილო I-IV მიმართულებით. ხოლო A-B და C-D ურთიერთ გადამკვეთი პროფილები უფრო სრულ წარმოდგენას გვიქმნიან მის აგებულებაზე.

აგებული ჭრილების შესაბამისად ხეობის შუაგულში მეოთხეულის სიმძლავრეები აღწევს 150-250 მეტრს, ხოლო ფერდობებზე მცირდება 10-30 მეტრამდე.

Vertical Scale 1:10000
Horizontal Scale 1:25000



გრაფ. №2 გეოლოგიური ჭრილები

§4. ჰიდროგეოლოგიური აგებულება

ი. ბუაჩიძის კლასიფიკაციის მიხედვით ბოლნისის საბადოს ტერიტორია მიეკუთვნება ართვინ-სომხეთის ჰიდროგეოლოგიური ოლქის ბოლნისის ჰიდროგეოლოგიურ აუზს. რაიონის მორფოლოგიის, ტექტონიკური აგებულების, ქანების ლითოლოგიური შემადგენლობის, მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის, ქიმიური შემადგენლობის, ფილტარციული თვისებების გათვალისწინებით გამოყოფილი იქნა სამი წყალშემცველი ჰორიზონტი:

1. ზედა ცარცის ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტი, რომელიც წარმოდგენილია ვულკანური და მაგმატური ქანებით;

2. ზედა მიოცენის და მეოთხეულის ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტი, წარმოდგენილია ანდეზიტ-ბაზალტებით და დოლერიტებით;

3. მეოთხეული ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტი, წარმოდგენილია ქვარგვალეებით, ქვიშებით და თიხნარით.

ზედა ცარცის ასაკის წყალშემცველ ჰორიზონტში გამოყოფენ:

- ვულკანური ქანების მიწისქვეშა წყლები. მათი სიმძლავრე შეადგენს 10-50 მ. ისინი უწნეო ფოროვან-ნაპრაღური ტიპისაა. ამ ჰორიზონტის წყაროების ხარჯი 0.01-2 ლ/წმ ქიმიური შემადგენლობა Ca-Mg-HCO_3 ტიპისაა. მინერალიზაცია ძირითადად 0.5-0.8 გ/ლ.

- მიწისქვეშა წყლების ქვედა წნევიანი ჰორიზონტი გავრცელებულია ვულკანურ ნალექებში. მათი შემადგენლობა $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ ტიპისაა, საერთო მინერალიზაციით 1.3-3.5 გ/ლ.

- ზედა ცარცის ვულკანოგენურ ქანების გამკვეთი დაციტური, ალბიტოფირული და დიაბაზური შემადგენლობის ინტრუზივებში გავრცელებული მიწისქვეშა წყლები. ისინი Ca-Mg-HCO_3 ტიპისაა, საერთო მინერალიზაციით 0.4-0.8 გ/ლ.

ზედა მიოცენის და მეოთხეული ლავების ხასიათდება განვითარებული ნაპრაღური სისტემით და მიწისქვეშა წყლების კარგი გამტარებლობით. წყაროები ხასიათდება დიდი დებიტებით და საშუალოდ შეადგენს 600-700 ლ/წმ. ძირითადი წყაროები Ca-Mg-HCO_3 ტიპისაა, საერთო მინერალიზაციით 0.11 დან 0.14 გ/ლ.

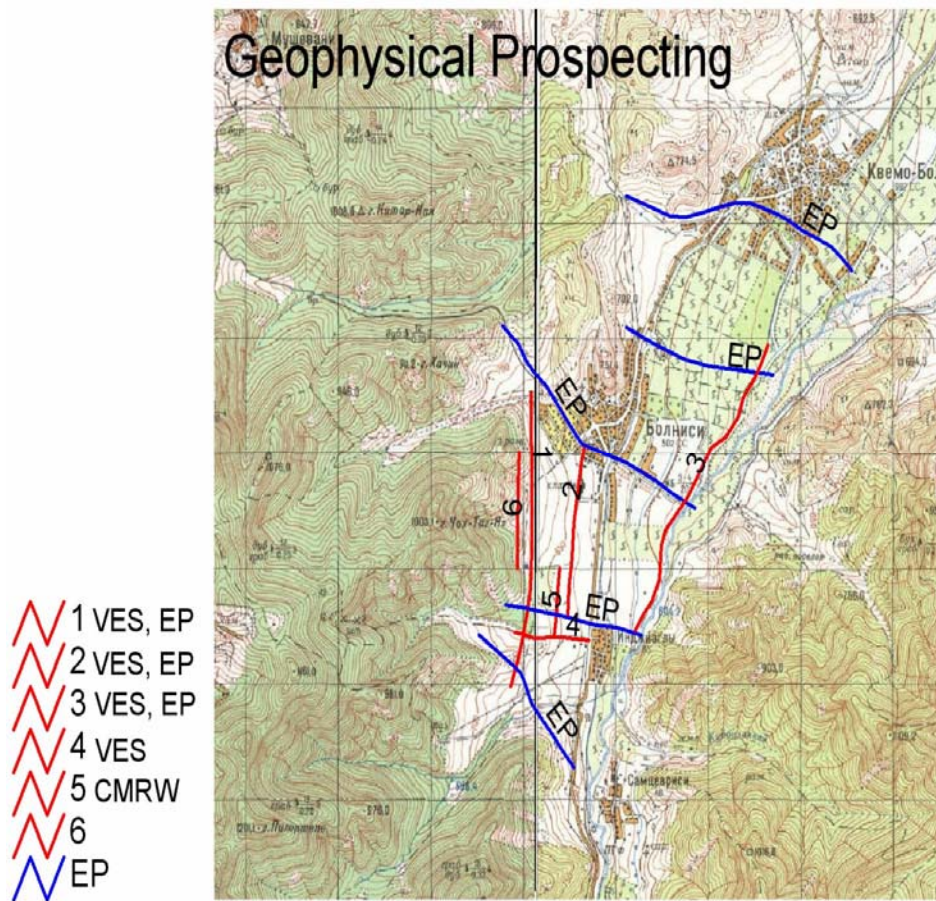
მეოთხეული ასაკის ალუვიურ ნალექებში განასხვავებენ მიწისქვეშა წყლების შემდეგ ტიპებს:

- მდ. ფოლადაურის ტერიტორიაზე განვითარებული ძველი ტბიური და ალუვიური ნალექების მიწისქვეშა წყლები. ქიმიური შემადგენლობა Ca-Mg-HCO_3 и $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ ტიპისაა, მინერალიზაციით 0.5-0.8 გ/ლ.
- თანამედროვე ასაკის ალუვიური ნალექები შეიცავს დიდი რაოდენობით მიწისქვეშა წყლებს. მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ჩაწოლის სიღრმე ვარირებს 0.64-1.1 მ-მდე. ქიმიური შემადგენლობა Ca-Mg-HCO_3 და $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ მინერალიზაცია იცვლება 0.2 დან 0.5 გ/ლ, ზოგჯერ - 1.2 გ/ლ.

§5. მიწისქვეშა წყლების ჩაწოლის სიღრმის დადგენა გეოფიზიკური კვლევებით

მიწისქვეშა წყლების მიმართულების, ჩაწოლის სიღრმისა და სიჩქარის დაზუსტების მიზნით ფოლადაურის ხეობაში ჩატარდა კომპლექსური გეოფიზიკური კვლევები ორ ეტაპად:

პირველ ეტაპზე 2001 წელს ბერძენ პარტნიორთან (ფ. ზევროსი) ერთად ხუთ პროფილზე (ნახ. №8) ჩატარდა გეოფიზიკური კვლევები ბუნებრივი ველის მეთოდის გამოყენებით (86). გამოყენებული იქნა უცხოური წარმოშობის გეოფიზიკური აპარატურა “terrameters”, რომლის საშუალებითაც დადგენილი იქნა გრუნტის წყლების ჩაწოლის სიღრმე და გავრცელება ხეობის გადამკვეთ პროფილებზე (გრაფიკა 18).



ნახ. №8. გეოფიზიკური კვლევების ჩატარების პროფილები

ლურჯი ფერით -პირველი ეტაპის ბუნებრივი ველის მეთოდით ზონდირების პროფილები

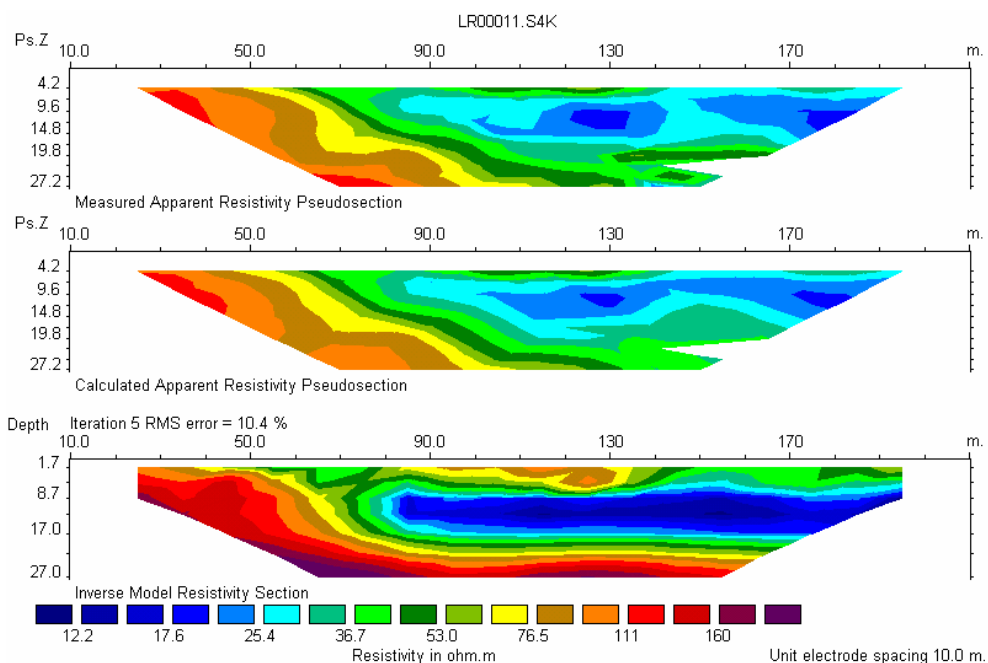
წითელი ფერით –მეორე ეტაპზე ჩატარებული კვლევების პროფილები;

1,2,3 პროფილებზე-ვერტიკალური ზონდირების და ბუნებრივი ველის მეთოდებით;

4- ვერტიკალური ზონდირების მეთოდებით;

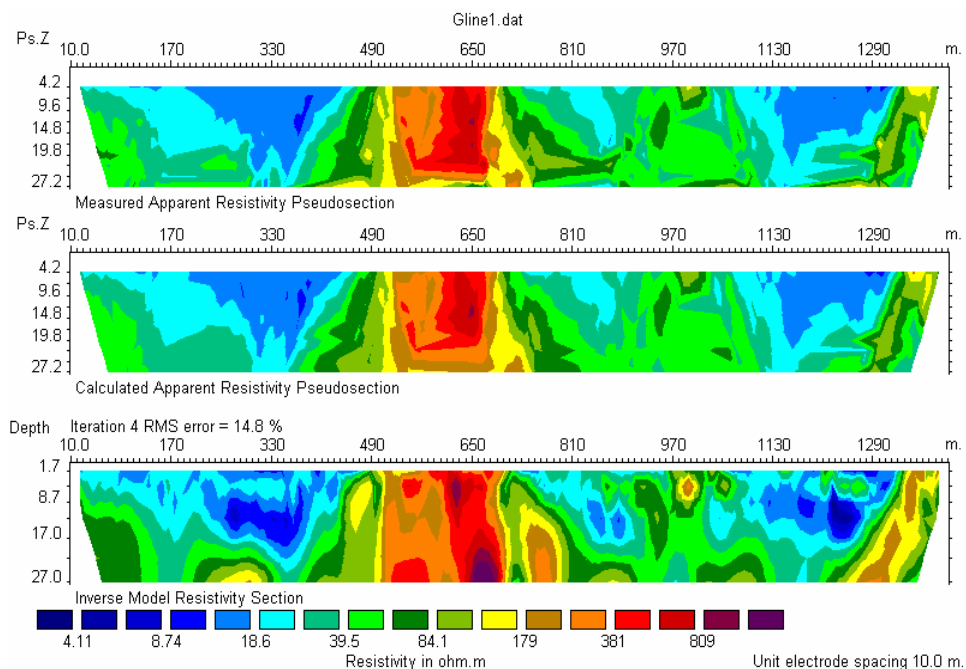
5- გარდატეხილი ტალღების მეთოდით;

6- ბუნებრივი ველით წრიური გაზომვების ჩატარების ადგილი;

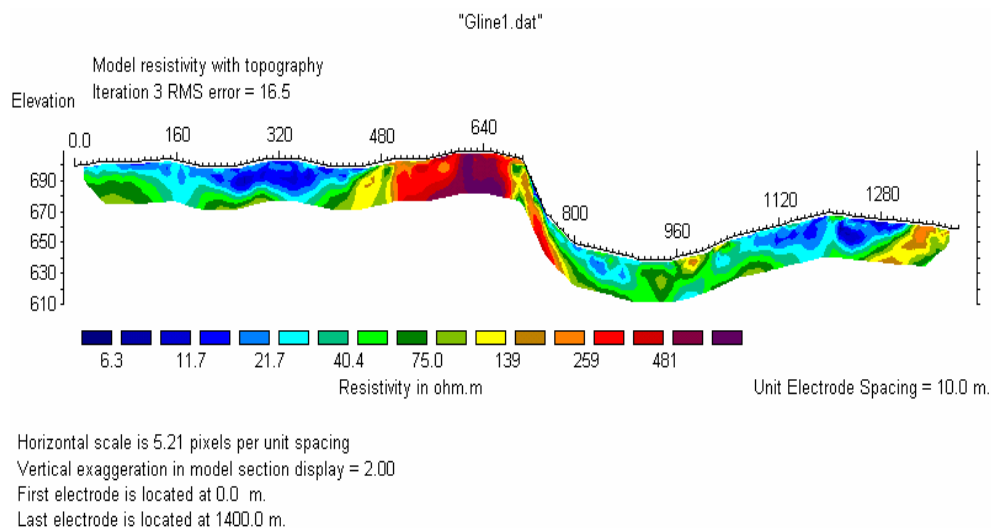


ნახ. №9. ელექტრო წინაღობების ჭრილი №1 პროფილი გასწვრივ.

ზემოდან ქვემოთ: გაზომილი ელექტრული წინაღობის მნიშვნელობები, მეორე-გადათვლილი მნიშვნელობები და მესამე- გამოკვლეული შედეგი.



ნახ №10. ელექტრო წინაღობების ჭრილი 2 პროფილის გასწვრივ.



ნახ. №11. 2 პროფილის გასწვრივ რელიეფის შესწორებების გათვალისწინებით აგებული ელექტრო წინალობების ჭრილი.

ამასთან მიღებული მონაცემებით დადგინდა ხეობაში წყალშემცველი ქანების ელექტრული წინააღმდეგობის შემდეგი სიდიდეები.

Q, N და P - თიხებში, ქვიშაქვებში, მერგელებში – 25 – 50 ohmm

ვულკანურ ქანებში – ანდეზიტებში, დაციტებში, ბაზალტებში, დოლერიტებში – 300-1000 ohmm

ტერიგენულ ქანებში- თიხებში, ქვიშაქვებში, მერგელებში – 25- 200 ohmm

კარბონატულ ქანებში-კირქვები, მერგელებში (K) - 20-50 ohmm

ვულკანურ-ტერიგენულში – ტუფ-ქვიშაქვებში, არგილიტებში, ტუფ-ბრექჩიებში – 100-500 ohmm

მაგმატურში- გრანიტოიდებში (Pz) – 300 –3000 ohmm

მეტამორფულში – თიხა ფიქლები, გნეისებში, ტუფიტებში, კვარციტები,

ამფიბოლიტებში – 500-2000 ohmm

2-2 პროფილზე გამოყოფილი იქნა ინტრუზიული სხეული, რომლის დადასტურება მოხდა მეორე ეტაპზე ჩატარებული კვლევების დროს პროფილებით 2-2' და 3-3'. ეს უკანასკნელი ეტაპი გეოფიზიკური კვლევებისა, ჩატარდა 2002 წელს გეოფიზიკის

ინსტიტუტის თანამშრომლებთან ერთად, ბატონ გ. ჯაშის ხემდღვანელობით (27,108,185).

ძირითადად გეოფიზიკური პროფილები გატრებული იქნა ხეობის გასწვრივ, სოფლების სამწვერისისა და ქვემო-ბოლნის (კაპანახჩს) შორის. მასალების დამუშავება ხდებოდა ტრადიციული მეთოდების და კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით. აგებული იქნა გეოელექტრული ჭრილები, რომლებიც ახასიათებენ დანალექი ქანების დაშრევებას.

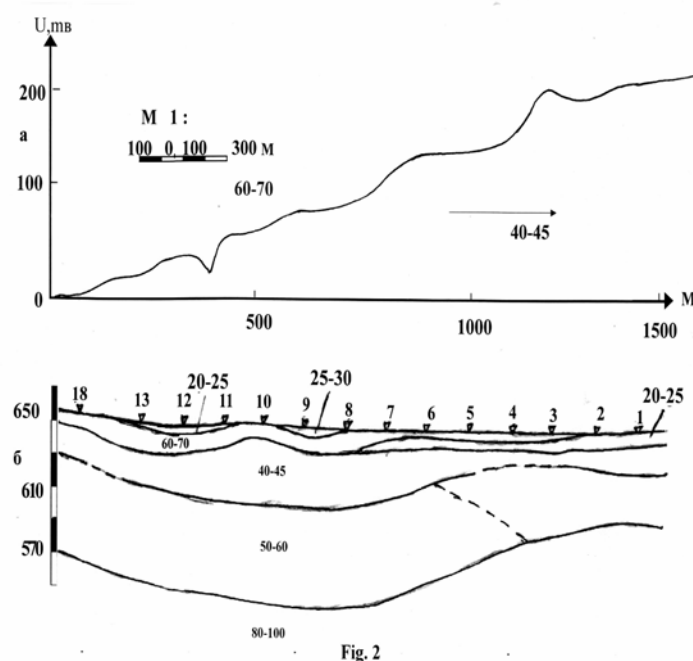


Fig. 2

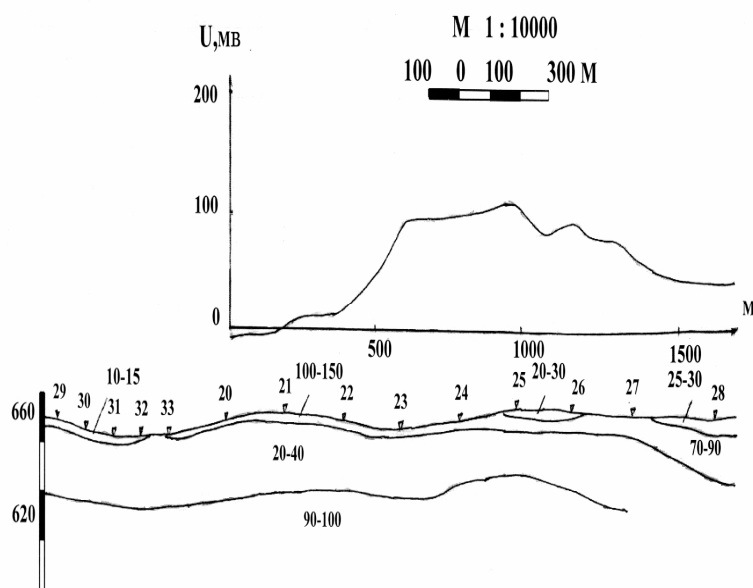
გრაფ. №3 პროფილი I-I'

- 20-30 omm 3 მ თიხნარი
- 60-70- omm 10 m
- 20-25 omm 5-8 m პელიტები
- 40-45 omm 20 m
- 50-60 omm al, dl, pl
- 80-100 omm 80-90 მ ვულკანოგენური

გეოელექტრული ჭრილის (გრაფ. №3) შესაბამისი პროფილი განლაგებულია ხეობის დაბლობ ნაწილში. აქ გამოყოფილი იქნა 3 მ სიმძლავრის დანალექი ზედა ჰორიზონტი 20-30 omm წინააღობით, რომელიც მიეკუთვნება თიხნარ ნიადაგს. ეს ფენა ზემოდან ადევს 60-70 omm წინააღობის ჰორიზონტს, რომლის მაქსიმალური

სიმძლავრეა 10 მეტრი. მის ქვემოთ განლაგებულია 20-25 omm წინაღობის 5-8 მეტრის სიმძლავრის სხვა ჰორიზონტი, რომელიც მიეკუთვნა პელიტური თიხების ფენას. გეოელექტრული ჭრილის მიხედვით ფართო გავრცელებით ხასიათდება 40-45 omm წინაღობის ჰორიზონტი, რომლის ზედაპირი დაკავშირებულია მიწისქვეშა წყლების ზედაპირთან. ამ ფენის სიმძლავრე ცენტრალურ ნაწილში აღწევს 20 მეტრს. ეს ფენა ზემოდან ადევს 50-60 omm წინაღობის ჰორიზონტს, რომელიც შეესაბამება ალუვიურ-პროლუვიურ დანალექ ფენებს. ეს ფენა შემდეგში გადადის 20-25 omm წინაღობის ფენაში, რაც ადასტურებს მის გაჯერებას მიწისქვეშა წყლებით.

ხეობის ცენტრალურ ნაწილში გეოელექტრულ ჭრილში , 80-100 omm წინაღობის 80-90 მეტრზე ჩაწოლილი ჰორიზონტი შეესაბამება ზედა ცარცის ვულკანური ქანებს.



გრაფ. №4 პროფილი II-II'

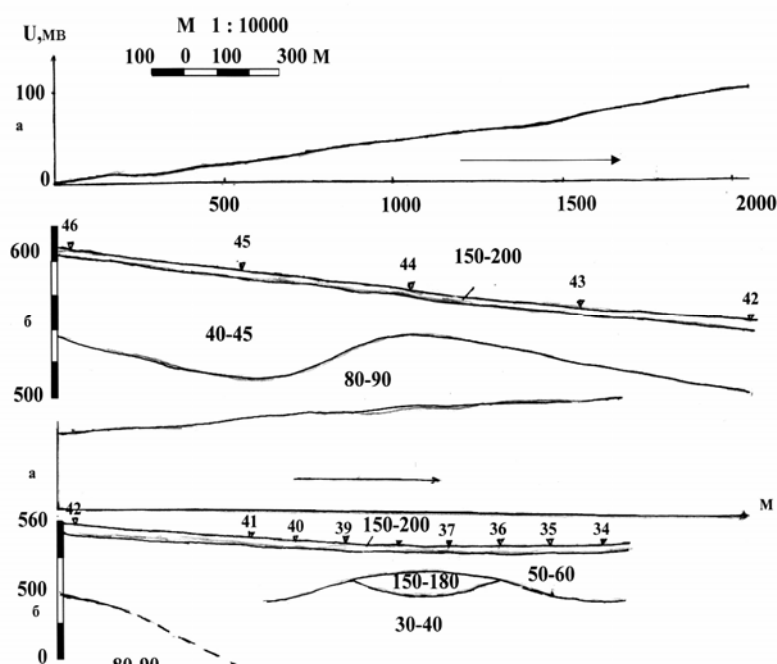
20-40 omm 25-40 m Q

90-100 omm 40->m Cr

გეოელექტრული პროფილი II-II' გატარებული იქნა წინა პროფილის დასავლეთით მის პარალელურად. მეოთხეული ქანების სიმძლავრეები აქ იცვლება

25-40 მეტრის ფარგლებში. მათ საგებს კი წარმოადგენს ზედა ცარცის ვულკანური ქანები.

რელიეფის გეომორფოლოგიური აგებულების თანახმად, სწორია მეოთხეული ნალექების სიმძლავრის შემცირება და ვულკანური ქანების ზედაპირთან მოახლოება. მეოთხეული ასაკის წყალშემცველ ჰორიზონტს შეესაბამება 20-40 omm წინალობის ჰორიზონტი.



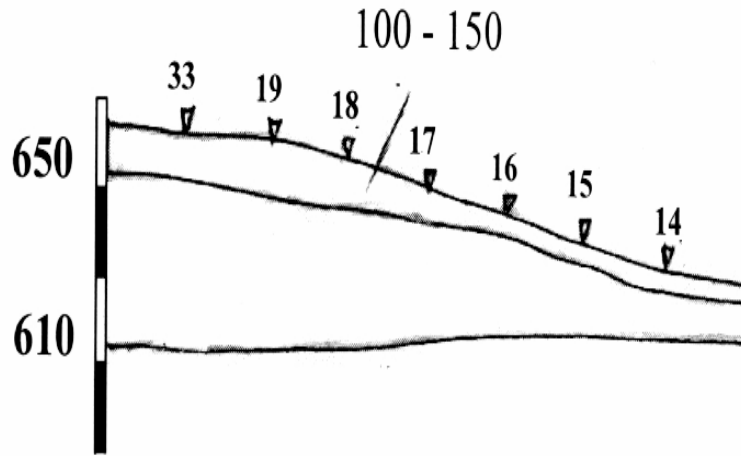
გრაფ. №5 პროფილი III-III'

150-200 omm 4-6 მ კონგლომერატები (al)

150-180 omm 18-65 al, pl, dl

გეოელექტრული პროფილი III-III' გატარებული იქნა წინა პროფილების პარალელურად ფოლადაურის მარჯვენა ნაპირთან ახლოს. აქ გამოიყო რამდენიმე ჰორიზონტი. პირველი, სულ ზედა 4-6 მ სიმძლავრის და 150-200 omm წინალობის, შეესაბამება კონგლომერატებიან მდინარეულ ტერასას. მეორე ალუვიურ-დელუვიური ნალექებისგან შედგება. მათი საშუალო სიმძლავრე 60 მეტრია. ასევე გამოყოფილი იქნა 15 სიმძლავრის ლინზა, რომელიც შეესატყვისება ლავურ განფენებს მეოთხეული ასაკის ალუვიურ ნალექებში. ზედა ცარცის ასაკის ქანების

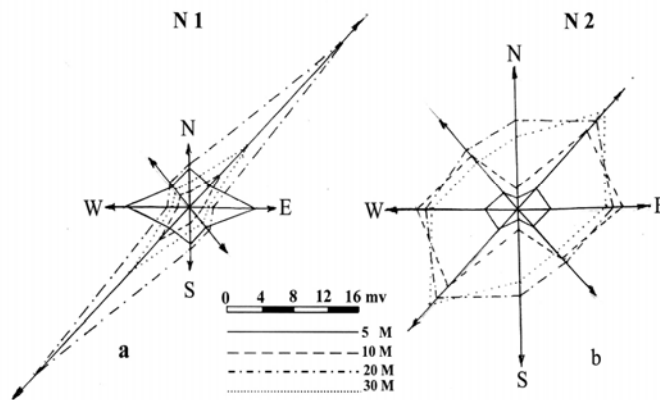
შესატყვისი ჰორიზონტი დაფიქსირდა 95-100 მ სიღრმეზე, რაც შესაბამისობაშია ჭაბურღილების მონაცემებთან.



გრაფ. №6 პროფილი IV-IV'

- 100-150 ომმ 10-3 მ al
- 20-40 ომმ 40-10 მ Pl

IV-IV' პროფილის გეოელექტრული ჭრილიდან ჩანს, რომ ძირითადი ქანების ჩაწოლის სიღრმე მცირდება სოფ. ინჯა-ოღლის მიმართულებით, რაც ხდება ძირითადად მეოთხეული ასაკის ($\rho = 20-40$ ომმ) წყალშემცველი ჰორიზონტის ხარჯზე.



გრაფ. №7 ბუნებრივი ველის წრიული გაზომვები

მიწისქვეშა წყლების მიმართულების დაგენის მიზნით ჩატარებული იქნა ბუნებრივი ველის წრიული გაზომვები ორ წერტილში. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნაკადის ძირითადი მიმართულებები ჩრდილო-აღმოსავლულია, რაც სრულად ეთანხმება ხეობის გეომორფოლოგიურ თავისებურებებს.

საინჟინრო-გეოფიზიკური გამოკვლევების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ფოლადაურის აუზში მეოთხეული ნალექების დანაწევრება ნივთიერი შედგენილობისა და გაწყლიანების ხარისხის მიხედვით.

დადგენილია ცალკეული ფენების ფიზიკური პარამეტრები (ხვედ. ელ. წინაღობა, სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარე) და მათი სიმძლავრეები, რაც კარგ თანხვედრაშია გეოლოგიურ მონაცემებთან (ჭაბურღილების მიხედვით). მეოთხეულ ნალექებში გამოყოფილია მაღალი ხვედრითი ელექტრული წინაღობის შრე, რაც გეოლოგიური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ეფუზიურ განფენას უნდა წარმოადგენდეს. სეისმური მონაცემების მიხედვით ლოკალურ უბანზე გამოყოფილია მაღალ სიჩქარეული გარემო, რაც ინტრუზული სხეულით უნდა იყოს გამოწვეული.

ელექტრომეტრიული გამოკვლევების მიხედვით დადგენილია მეოთხეულ ნალექების სიმძლავრე (100 მეტრზე მეტი) და მათში გრუნტის წყლის დონე. სოფლის ტერიტორიაზე განლაგებულ ჭებში წყლის დონის შესაბამისი პიეზომეტრიული დონე ეცემა ხეობის ფერდებიდან, სადაც ის შეადგენს საშუალოდ 17 მეტრს, სოფლის ცენტრალური ნაწილისკენ- 12 მეტრს და შემდგომ მდინარისაკენ- 1-2 მეტრი. ფილტრაციული ნაკადის გაბატონებული მიმართულებაა ჩრდილო-აღმოსავლური (145).

§6. ჭების ტესტირება ჰიდროდინამიკური პარამეტრების დადგენის მიზნით

აღნიშნული ალუვიონის წყალშემცველი ჰორიზონტის დაბინძურების მასშტაბების დასადგენად პირველ რიგში დასადგენი იყო მისი ჰიდროდინამიური პარამეტრები: წყალშემცავ ჰორიზონტებში ფილტრაციის კოეფიციენტი- k , გამტარებლობა (ტრანსმისივიტი)- T და წყალშემცველობა (სტორატივიტი)- S . სოფელ ქვედა

ბოლნისში (კაპანახჩი), სადაც მდებარეობს წყალსაქაჩი და მძლავ ალუვიონში წყალმომარაგებისთვის გაბურღულია ჭაბურღილები. მათი ნაწილი თვითდინებიანია, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტი ტოლია:

$$K_{a,kve} = 33 \text{ მ/24სთ} = 3.83 \cdot 10^{-4} \text{ მ/წმ}$$

ასევე, უშუალოდ სოფ. ქვემო ბოლნისისა (კაპანახჩი) და ძველი ბოლნისის (ხაჩინი) ტერიტორიაზე შერჩეული იქნა რამოდენიმე ჭა, სადაც ჩატარდა საცდელი ჩასხმები.

მასალათა დამუშავება მიდინარეობდა Cooper-Papadopoulos და Hvorslew მეთოდის მიხედვით (Domenico, Schwartz, 1990) :

საცდელი ჩასხმის მონაცემებით იგებოდა მრუდები და ხდებოდა მათი შედარება ეტალონურთან.

$$T = (Wrc^2)/t = rc^2/t \text{ (for } W=1)$$

t არის დროის მნიშვნელობა როცა $W=1$ საველე მრუდზე, რომელიც აგებულია (h/h_0) მნიშვნელობებით და ემთხვევა ეტალონურ მრუდს. h_0 არის წყლის დონის სიმაღლე ჩასხმის დაწყების წინ. h არის დონე ნებისმიერ დროს. რც არის ჭის საცავი მილის რადიუსი;

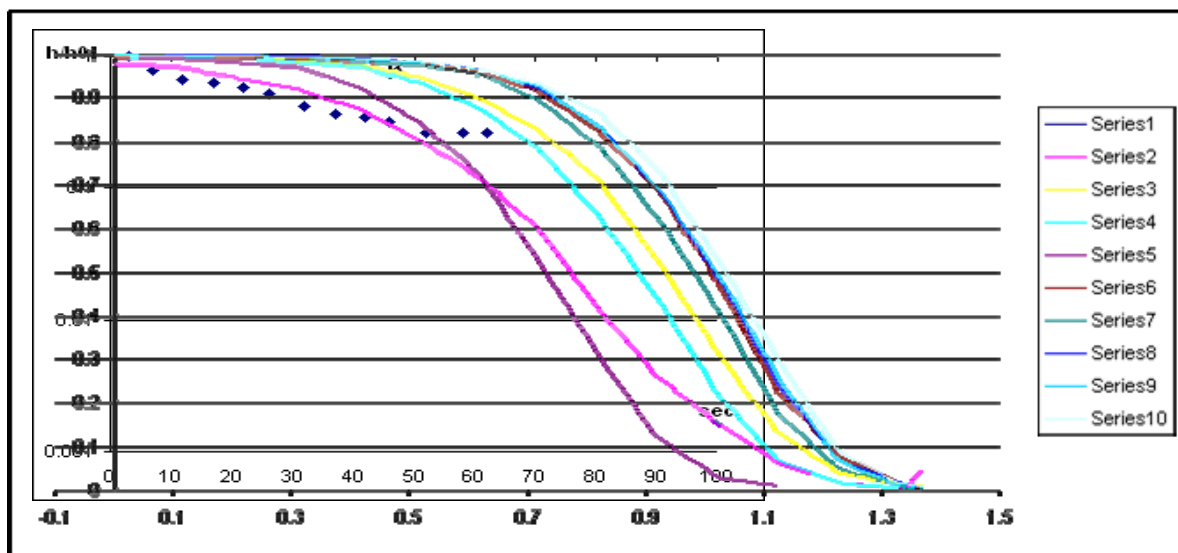
$$S = rc^2\alpha / rs^2$$

r არის ჭის შიდა რადიუსი, α არის პარამეტრი იმ მრუდისა, რომელიც ემთხვევა საველე დაკვირვებით მიღებულ მრუდს. განსაზღვრული წყალშემცველობა არის $Ss = S/L$, სადაც L არის ჭის გამოყენებული ნაწილის სიგრძე;

$$k = (r^2 \ln(L/r)) / 2LT_0,$$

სადაც r არის ჭაბურღილის რადიუსი და T_0 კი დრო, აღებული საველე მრუდზე გადაკვეთის ადგილიდან როდესაც $h/h_0 = 0.37$.

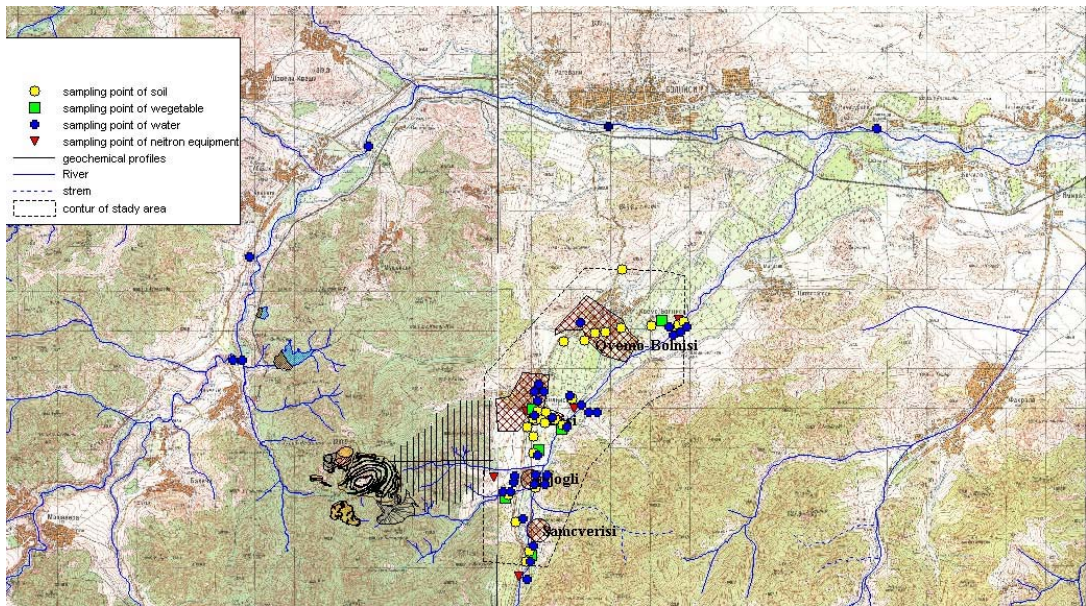
შედეგები მიუთითებენ არსებული ალუვიონის კომპლექსის კარგ გამტარებლობაზე. ხოლო სოფ. ქვემო ბოლნისის (კაპანახჩის) უკიდურეს სამხრეთ და აღმოსავლეთ ნაწილში განლაგებულ ჭებში დელუვიონში კოეფიციენტის მნიშვნელობები ბევრად ნაკლები აღმოჩნდა- 0.001 (87).



წყლის ნაკადი მისი შესაძლო მოძრაობის მიმართულებით მიედინება ალუვიონის ღორღის, კენჭნარის და თიხნარის ნარევეში, რაც საკმაოდ კარგი გამწმენდი გარემოა. მეოთხეულის ქვეშ განფენილ, ცარცული ასაკის ძირითად ქანებში მოძრაობისას წყალი იფილტრება 500 დან 1000 მეტრამდე სიმძლავრის, საშუალო და წვრილ მარცლოვან ბრექჩიებისებურ ტუფებსა და ლინზისებურ კირქვებში, რომელთაც ასევე საკმაოდ მაღალი ადსორბციის უნარი გააჩნიათ და რაც განაპირობებს მათში პოლუტანტების დაგროვებას. ეს დასტურდება ფართობზე დეტალურად მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შემადგენლობის ანალიზისას (86).

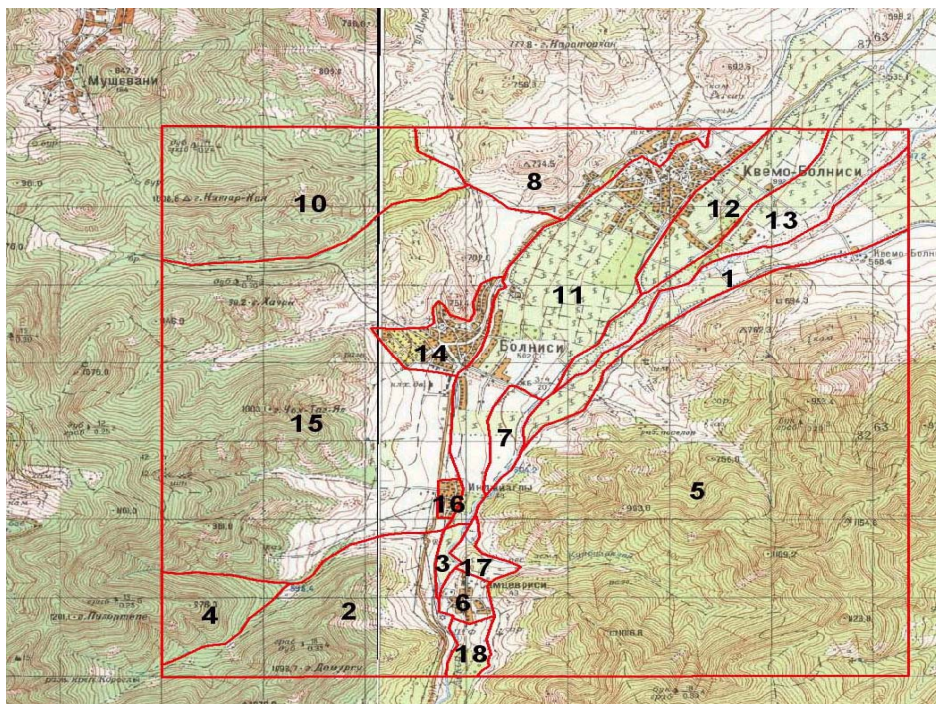
§7. ტოქსიკური ელემენტების კონცენტრაციების დადგენა

ტერიტორიაზე მძიმე მეტალების გავრცელების და მათი კონცენტრაციის დადგენის მიზნით ტარდებოდა ქანების, მიწისქვეშა წყლების (ჭაბურღილები, ზედაპირული ჩამონადენი, წყაროები), ნიადაგის და მცენარეული საფარის დასინჯვები და მათი ქიმიური ანალიზი. დასინჯვა ძირითადად ტარდებოდა მდინარე ფოლადაურის ხეობაში, თუმცა პერიოდულად ხდებოდა მდ. მაშავერას დასინჯვები მუდმივ შერჩეულ უბნებში (ნახ №12).



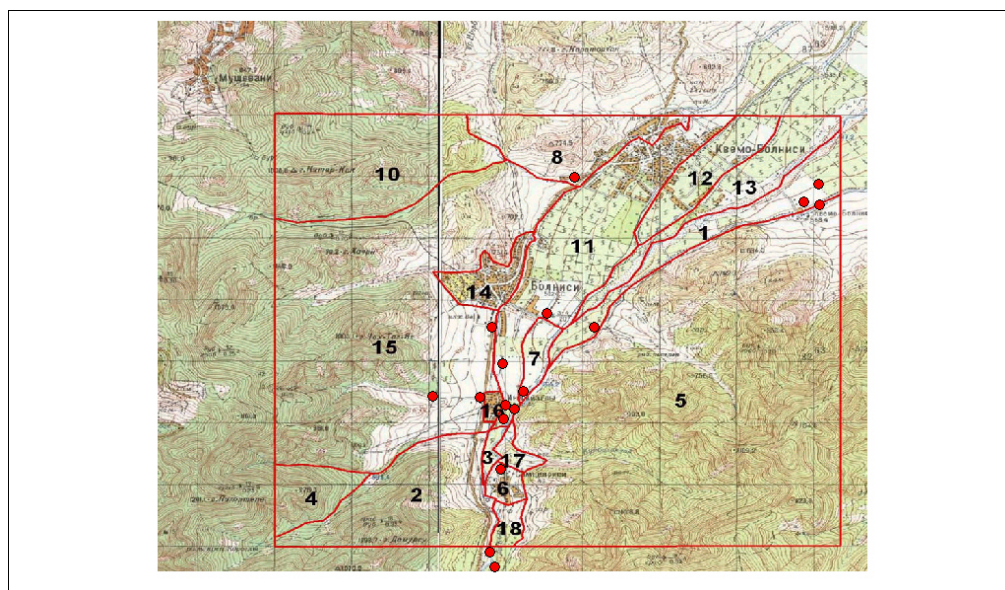
ნახ. №12 დასინჯვების პუნქტების განლაგება

კვლევებისთვის სისტემური ხასიათის მიცემის მიზნით ტერიტორია დაყოფილი იქნა სეგმენტებად- მდინარეებითა თუ ირიგაციული არხებით მორწყვადი ტერიტორიები და დასახლებული უბნების მიხედვით (ნახ №13). თითოეულ სეგმენტში ხდებოდა სინჯების აღება და მათი შემდგომი ანალიზი. ანალიზების დამაჯერებლობის და ცვლილებათა ხასიათის დაგენის მიზნით, ცალკეულ შერჩეულ პუნქტებში პერიოდულად ხდებოდა დასინჯვების გამეორება 1-2 თვეში ერთხელ.



ნახ. №13 საკვლევი რაიონის დაყოფის სქემა

ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების დასინჯვის ადგილები აღნიშნულია ნახ №14.



ნახ. №14. ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების დასინჯვის ადგილები

ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების დასინჯვისას, საველე პირობებში მათი ფიზიკური თვისებების დასადგენად, ისაზღვრებოდა წყალში გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა, ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალი, მჟავიანობა, მინერალიზაცია, წყლის ტემპერატურა და ხვედრითი ელექტრო-გამტარებლობა. გაზომვებისთვის გამოყენებული იყო გერმანული წარმოების ხელსაწყო- Multi-Parameter Meter, pH/DO/Cond/Salinity/Temp.

ცხრილში 16 მოცემულია ჰიდროქიმიური დასინჯვის ფურცლის ნიმუში.

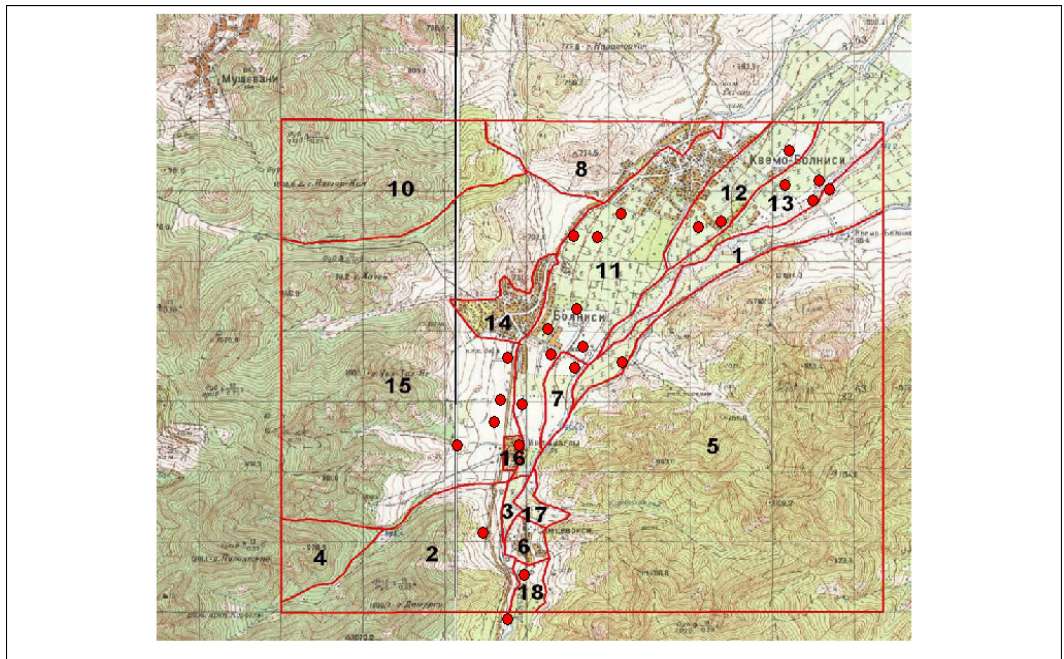
№	სინჯის ხასიათი	ადგილი	O2	%	pH	U	mS/cmsal	
1	20 წყალი	კაზრეთი	12,07	128,4	7,94	52	897	0,2
2	21 წყალი	კაზრეთიდან 2 კმ	123,3	12,54	8,37	77	247	0
3	22 წყალი	სოფ სამწვერისთან	133,1	13,4	8,54	89	181	0
4	12 ნიადაგი	სოფ სამწვერისის დასავლეთი ნაწილი						
5	23 წყალი	საირიგაციო არხი სოფ. ინჯა- ოღლიაში	12,09	138,1	7,97	55	267	0
6	24 წყალი	სოფ. ინჯა-ოღლის სასმელი წყალი	13,78	130,4	8,26	72	216	0
7	25 წყალი	ინჯა-ოღლიში ყვითელი ღელედან	13,12	131,5	5,1	110	936	0,2
8	26 წყალი	სოფ ინჯა-ოღლაში მდ. ფოლადაური	13,59	131,8	8,54	88	186	0
21	28 წყალი	ჭაბურღილი სოფ	9,59	96,5	7,28	17	741	0,1
22	29 წყალი	მდ. ფოლადაურიდან სოფ. რაჭის-უბანში	13,04	131,1	7,79	47	400	0

ერთ-ერთი დასინჯვის დროს, კაზრეთულას მდინარე მაშავერასთან შეერთების ადგილას, აღებული იქნა სინჯი მდ. კაზრეთულადან (16:00 4.08.2003), აღების შემდგომ მდ. კაზრეთულაში მოხდა დაგროვებული კარიერის წყლის ნაკადის გამოშვება, რაც დაფიქსირდა ჩვენს მიერ და ამიტომ აღებული იქნა ახალი სინჯი (16:10 4.08.2003). იმავე დღეს აღებული იქნა სინჯი მდ. მაშავერადან მოშორებულ-ფონურ ადგილას. სინჯებს შორის ცალსახად ჩანს მკვეთრი განსხვავება. სიმჟავიანობის სიდიდე კარიერიდან მეორე სინჯში, ახასიათებს ძლიერ მჟავე გარემოს და ორჯერ ნაკლებია პირველ სინჯთან-კაზრეთულაში წყლის ნორმალურ მდგომარეობასთან შედარებით და სამჯერ ნაკლებია მესამე სინჯთან-შედარებით-სუფთა წყლის, ფონურ მნიშვნელობასთან. ეს განპირობებული იყო დაბინძურებული, კარიერში დანაგროვები ჩანაჟონი წყლის გაშვებით მდ. კაზრეთულაში, რასაც ეტყობა ჰქონდა სისტემატური ხასიათი.

ცხრილი №7. ქიმიური ელემენტების მნიშვნელობები მდ. კაზრეთულაში

ადგილი	თარიღი	ტემპერატურა	ჰმ	გამტარებ ს/კმ	პ. სიმე მგ/ლ	ამონიუმბი მგ/ლ	ნიტრიტი	ნიტრატი მგ/ლ	ქლორი მგ/ლ	ფოსფატი მგ/ლ	სულფ მგ/ლ	ქრომ მგ/ლ	მედი მგ/ლ	თუთია მგ/ლ
კაზრეთუ- ლა	4.08 16:0 0	21,1	6,19	1378	7,05	2,7 5	0	0,134	14,1	0,15	160	0,0 2	1,56	0,0 5
კაზრეთუ- ლა	4.08 16:1 0	23,1	3,01	4560	7,8	2,7 5			27			0,1 4	5,5	2,3 5
მაშავერა (ბოლნი- სის მერე)	19:5 0	22,6	9,1	580	8,7	0,0 8	0,00 4	0,178	12,5	0,23	80	0	0,29	0,0 1

ყველა სექტორში აღებული იქნა ნიადაგის სინჯებიც ნახ. №15



ნახ. №15 ნიადაგის დასინჯვის ადგილები

§8. წყალში, ნიადაგში და მცენარეებში ქიმიური ელემენტების განსაზღვრის მეთოდთა

ძირითადი ანალიზები ჩატარდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ანალიზური ქიმიის ლაბორატორიაში (გ. სუპატაშვილი). ანალიზისათვის გამოყენებული იყო ჰიდროქიმიურ პრაქტიკაში აპრობირებული მეთოდები [56,57,170].

მჟავიანობის მაჩვენებელი (pH) გაზომილი იყო პოტენციომეტრული მეთოდით (პოტენციომეტრი pH 673-M). წყლის სინჯების ხვედრითი ელექტროგამტარობა გაზომილია კონდუქტომეტრ KЭЛ-IM2 საშუალებით, წინასწარ 18°C თერმოსტატირებულ სინჯებში. წყლებში შეტივანარებული ნივთიერებათა რაოდენობა (სიმღვრივე) დადგენილი იყო გრავიმეტრული მეთოდით წყლებიდან გამოფილტრული ნატანის 110°C-ზე გამოშრობის შემდეგ.

ქლორიდების და ჰიდროკარბონატონების განსაზღვრად გამოყენებული იყო მერკურიმეტრული და აციდიმეტრული მეთოდები (ტიტრანტები 0,01 N Hg(NO₃)₂ და 0,1-0,01 N HCl, ინდიკატორები დიფენილკარბაზონი და მეთილწითელი შესაბამისად). სულფატების შემცველობა განსაზღვრულია ტურბიდომეტრული მეთოდით. მაღალმინერალიზებულ ჩამდინარე წყლებში საკონტროლო განსაზღვრები შესრულებულია კლასიკური გრავიმეტრული მეთოდით (დასალექი ფორმა BaSO₄).

კალციუმის და მაგნიუმის შემცველობა, აგრეთვე წყლის საერთო სიხისტე, სინჯებში განსაზღვრულია კომპლექსონომეტრული მეთოდით. მძიმე ლითონების გავლენა აცილებული იყო Na₂S-ის დამატებით. პარალელურ განსაზღვრებში ამავე მიზნით გამოყენებული იყო CaCO₃. ნატრიუმისა და კალიუმის კონცენტრაციები განსაზღვრულია ალის ფოტომეტრული მეთოდით (ფოტომეტრი ФПФ-58).

ბიოგენური ნივთიერებები განსაზღვრული იყო ფოტომეტრული მეთოდებით: NHNH₄-ნესლერის რეაქტივით, NNO₂-გრისის რეაქტივით, NO₃- ნატრიუმის სალიცილატით, ხოლო PO₄-ამონიუმის ფოსფორმოლიბდატით (ლურჯი კომპლექსი).

წყლებში ორგანული ნივთიერების ჯამური კონცენტრაციის დასადგენად გამოვიყენეთ პერმანგანატული და ბიქრომატული ჟანგადობების მეთოდები.

მიკროელემენტების განსაზღვრისათვის გამოყენებული იყო ფოტომეტრული და ატომურაბსორბციული მეთოდები. ტყვიისა და თუთიის იონების შემცველობა განსაზღვრული იყო ატომურაბსორბციული მეთოდით (პერკინ_ელმერი 603). სპილენძი განისაზღვრა ექსტრაქციულ_ფოტომეტრული მეთოდით ტყვიის დიეთილდითიოკარბამატის საშუალებით. რკინა და მანგანუმი წყლებში განსაზღვრულია წინასწარი დაჟანგვის შემდეგ, შესაბამისად აზოტმჟავით (ფოტომეტრული რეაგენტი ორთოფენანტროლინი) და კალიუმის პერიოდატით (ფოტომეტრული ფორმა MnO_4).

მდ. ფოლადაურის წყლის სინჯში აუცილებელი გახდა ალუმინის განსაზღვრა. ამ მიზნით გამოვიყენეთ ფოტომეტრული მეთოდი (რეაგენტი ერიოქრომციანინი). საკონტროლო განსაზღვრა შესრულდა გრავიმეტრული მეთოდით.

საანალიზო სინჯებში დარიშხანის განსაზღვრავად გამოყენებული იყო ფოტომეტრული მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია დარიშხანის გადაყვანაზე არსინში და მის ურთიერთქმედებაზე ვერცხლის დიეთილდითიოკარბამატთან. ფოტომეტრული მეთოდით (რეაგენტი ალიზარინკომპლექსონი) განისაზღვრა ფთორიდოინების კონცენტრაციაც.

მიღებული შედეგების კონტროლის მიზნით (ცხრილი №8-11) ჩატარდა მძიმე ლითონების პარალელური ანალიზები საქართველოში სხვა ატომურ-აბსორბციულ სპექტროფოტომეტრების გამოყენებით (კავკასიის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტსა- გ. სახელაშვილი და საქართველოს პოლიტექნიკურ უნივერსიტეტში- უ. ზვიადაძე, ცხრილი №9) და ასევე დამოუკიდებელი ქრომატოგრაფიული ანალიზები (გრაფ. №9); სპექტრალური ანალიზი ფინეთში (გეოლოგიური სამსახური) და კიევში (გეოქიმიური ინსტიტუტი). უკრაინელი პარტნიორების მიერვე დათვალილი იქნა ბუნებრივ გარემოში მძიმე მეტალების შესაძლო კინეტიკური გარდაქმნები (ნახ. 10).

ცხრილი №8 მოცემულია სრული ქიმიური ანალიზის ნიმუში

დროქ. ფაქტო	ეროველი	ნორმა	02.2003													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pH		6.5-8.5	6.450	6.05	7.45	7.95	3.450	6.95	7	6.95	6.95	7	6.850	7.15	6.8	6.750
დ. ლექტ. გას	სმ/მ*10-2															
Cl	mg/l	350	55.4	74.8	35	62.3	63	37.4	26	47.1	30.4	24.3	33.2	22.8	20.8	33.2
SO4	mg/l	250-500	560	784	58	68.3	4700	19	15.6	29.1	21.3	61.6	89.6	53.8	78	185
HCO	mg/l	400	61	549	159	214	0	259	268	281	268	397	323	250	293	311
Na	mg/l	120-175	18	38	18	31	200	25	23	32	33	28	30	24	30.8	36
K	mg/l	12														
Mg	mg/l	50	66	78	18	37790	306	14.4	15.6	18	23.8	30	24	15.6	20.4	32
Ca	mg/l	100	160	480	50	70	1020	76	64	72	46.4	95	95	64	80	125
NH4	mg/l	0,5														
NO2	mg/l	0,1														
NO3	mg/l	40-50														
PO4	mg/l	3,5														
Corg	mg/l															
Fe	mg/l	0,2-0,5	0.65	10	0.13	0.23	6.200	0.04	0.04	0.21	0.09	0.07	0.06	0.05	0.06	0.04
Cu	mg/l	0.01	0.75	0.005	0.08	0.07	40	0.012	0.005	0.03	0.005	0.003	0.003	0.015	0.003	0.09
Pb	mg/l	0.01	0.028	0.012	0.003	0.003	0.65	0.004	0.004	0.004	0.005	0.003	0.004	0.017	0.01	0.004
Zn	mg/l	0.01-0.1	4.600	0.025	0.13	0.11	256	0.04	0.005	0.02	0.01	0.004	0.005	0.16	0.01	0.1
Al	mg/l															
As	mg/l	0.03		0.008	0.02	0.004	0.007	0.014	0.017		0.038	0.011	0.004		0.013	
Mn	mg/l	0.01	7	0.43	0.31	0.16	87.5	0.013	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.07	0.01	0.06
Ni	mg/l	0.1														
Co	mg/l	1														
Li	mg/l															
Cd	mg/l	0.005	0.025	0.005	0.005	0.005	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
F	mg/l															
სიხისტი	mg/ekv		13.800	31	2.5	5	90	5	4.5	5.1	4.3	7.3	6.500	4.5	5.6	8.300

ცხრილი №9 მძიმე მეტალების შემცველობა წყალში მგ/ლ

#	Cu	Zn	Cd	Pb	As	Mn	Fe
ნორმა							
გ/ლ	0,01	0,005	0,005	0,01	0,001	0	0
2/15	32	310	1,1	1,31	0	48,5	6,2
3/16	0,01	0,6	0,005	1,14	0,007	0,39	0,3
4/17	0,1	0,6	0,009	0,21	0,002	0,1	0
5/18	0,01	0,005	0,005	0,01	0	0	0
6/19	0,18	0,13	0,005	0,14	0,003	0	0,5

ცხრილი №10 მძიმე მეტალების შემცველობა ნიადაგებში მგ/კგ

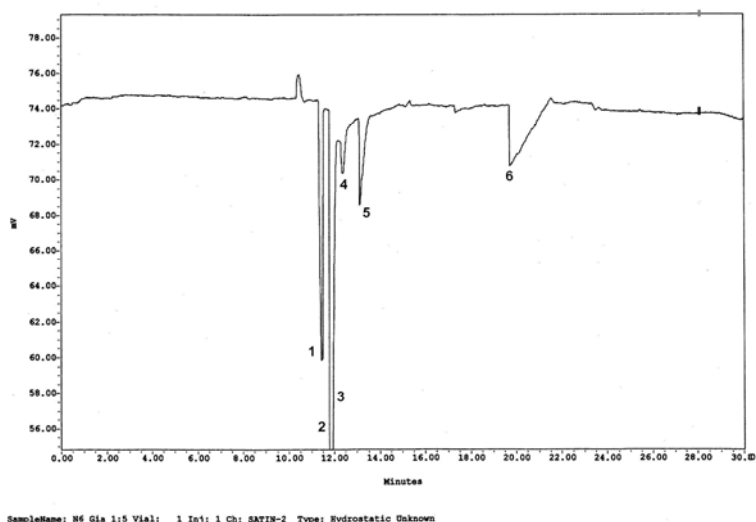
#	Cu	Zn	Cd	Pb	As	Mn	Fe
ნორმა	20	50	0,5	10	2	0,85	38
1/6	85	120	2	50	15	310	36

2/7	80	170	2	40	13	480	33,5
3/8	90	160	2	45	16	400	38
4/9	163	520	2	45	16	450	35
5/10	155	490	3	50	12	340	35
6/11	165	160	2	20	17	370	41

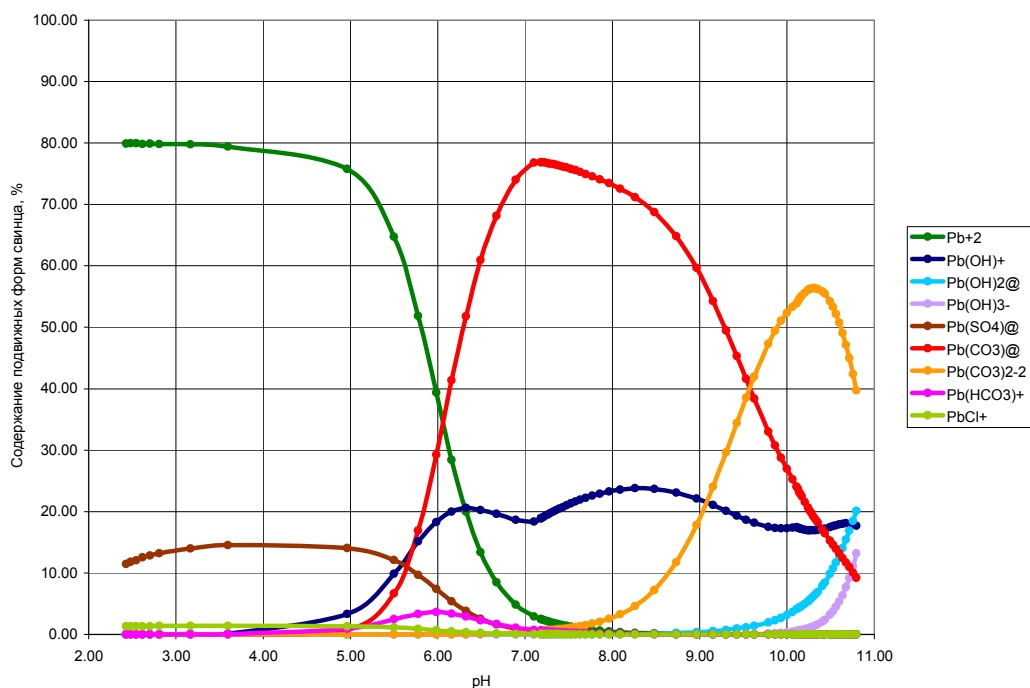
ცხრილი №11 მძიმე მეტალების შემცველობა საკვებ პროდუქტებში მგ/კგ

ლითონების შემცველობა მცენარეულ საკვებ პროდუქტებში 2004 წლის ივლისი							
№	სახეობა	მგ/კგ ჰაერზე მშრალ მასაში					
		Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd
1/7	ხორბალი	5	61	41	21	<2	<0.2
3/9	ხორბალი	5.6	40	30	34	<2	<0.2
4/10	ლობიო მწვანე	8.4	70	13	18	<2	<0.2
5/11	ხორბალი	7.6	40	41	38	<2	<0.2
6/12	ლობიოს მარცვალი	6.1	66.7	9.8	24.2	<2	<0.2
7/13	ლობიოს მარცვალი	11.9	51	11	35	<2	<0.2
8/14	ლობიო მწვანე	9.2	70	15	20	<2	<0.2
9/15	კიტრი	15.2	110	16	48	<2	<0.2
10/16	კიტრი	16	110	18	43	<2	<0.2
12/18	ლობიოს მარცვალი	8.7	59.3	10	26.7	<2	<0.2
13/19	კიტრი	14.4	90	22	45	<2	<0.2
14/20	კიტრი	18.9	90	16	51	<2	<0.2

გრაფ. №9 რკინის განსაზღვრის ნიმუში ელექტროქრომატოგრაფიული მეთოდით.



ნახ №10 ტყეის მოძრავი ფორმების შემადგენლობა



საკონტროლო ანალიზის შედეგები მიუთითებენ ანალიზების პასუხებს შორის არსებულ მცირედ განსხვავებებზე, რაც შეიძლება ახსნილი იქნეს ხელსაწყოების და მეთოდების განსხვავებული მგრძობიარობით. თუმცა არსებული კონცენტრაციებისთვის ეს უმნიშვნელო განსხვავებაა.

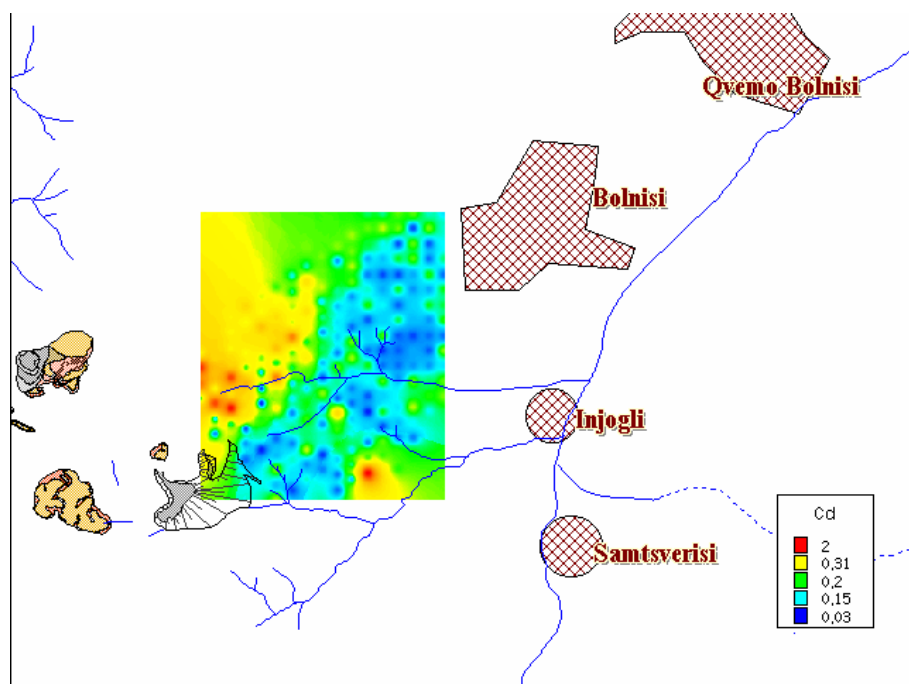
§9. ქანებში მძიმე ლითონების განსაზღვრის მეთოდიკა

ქანებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციის შესასწავლად ჩვენ ვისარგებლეთ არსებული მასალით. კერძოდ, 2002 წელს Ltd “Trans Georgian Resources” შეკვეთით Ltd “Dzhaika”-მ, კარიერის აღმოსავლეთით ფუჭი ქანის სანაყარე-კუდსაცავის ფართობზე ჩატარა B ფენის გეოქიმიური დასინჯვები. 50 ქიმიური ელემენტის ანალიზი ჩატარდა თანამედროვე მეთოდებით მაღალი მგრძობიარობის ICP-MS მასპექტრომეტრზე ვანკუვერში (კანადა). ყველა ელემენტის მნიშვნელობები მოცემულია PPM-ში, გარდა (Ca, K, Na, Fe, S, Ti in %). ამდენად ყველა დანარჩენი ანალიზიც შემდგომში ჩვენ ავსახეთ PPM-ში.

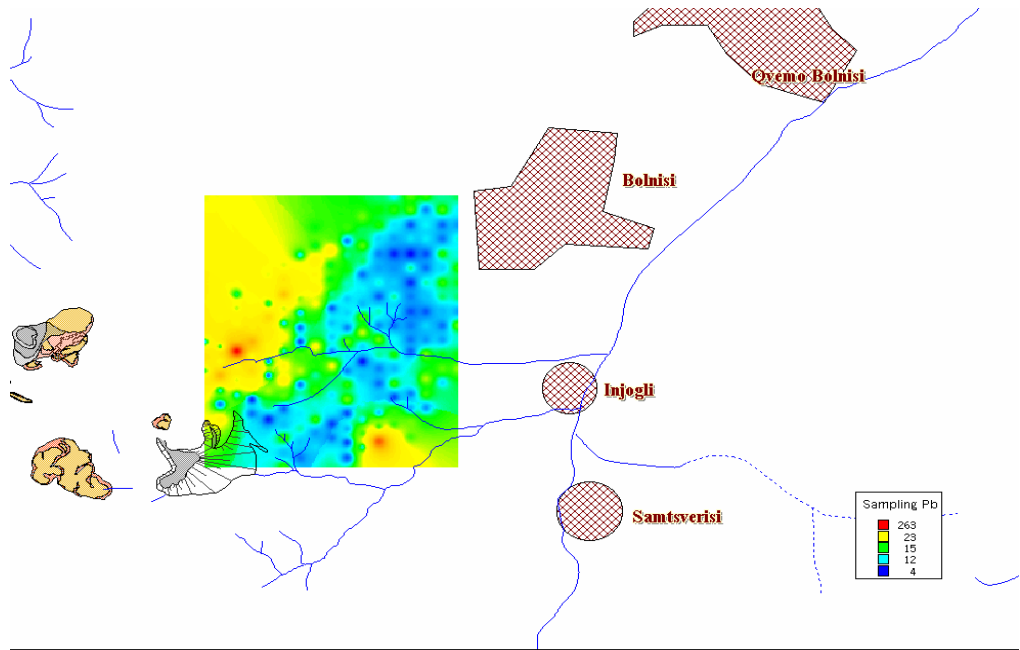
ანალიზის შედეგები

ქვემოთ მოყვანილ ნახაზებზე ასახულია მძიმე მეტალების განაწილება სანაყარეს ტერიტორიაზე.

ნახ. №15 კადმიუმის განაწილება სანაყარეს ფართობზე

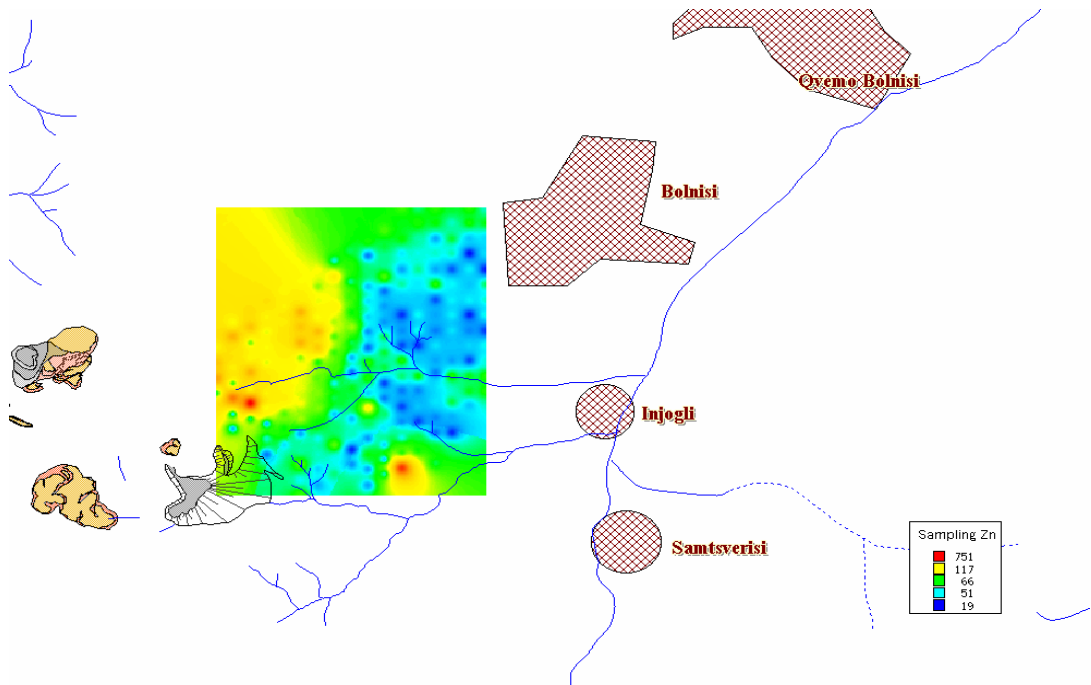


როგორც ნახაზიდან ჩანს, ლითონის განაწილება ფართობზე არათანაბარია. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობები (0.30- 2 გრ/ტ) აღინიშნება ტერიტორიის დასავლეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში. ცენტრალურ ნაწილში ფიქსირდება შედარებით დაბალი (0.03-0.2 გრ/ტ) მნიშვნელობები. ეს ტერიტორია ძირითადად ემთხვევა ფოლადაურის მარცხენა შენაკადების აუზების კონტურებს. ნახ. №16 ტყვიის განაწილება სანაყარეს ფართობზე



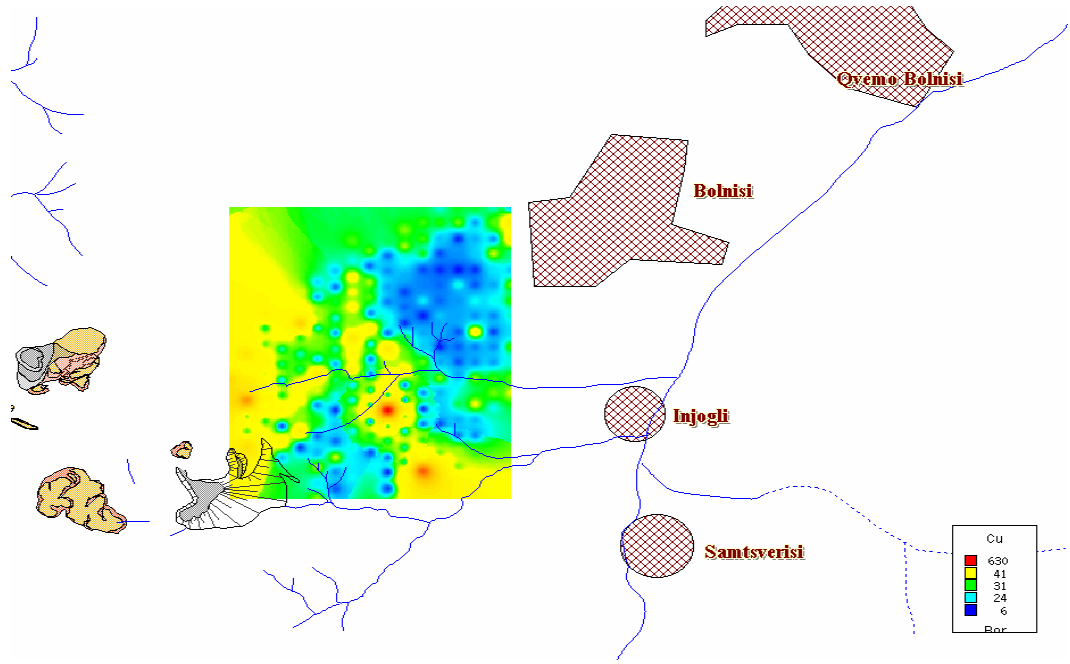
აქაც აღინიშნება ლითონის მომატებული (23-150 მგ/ტ) მნიშვნელობები იგივე განაპირა ტერიტორიებზე.

ნახ. №17 თუთიის განაწილება სანაყარეს ფართობზე



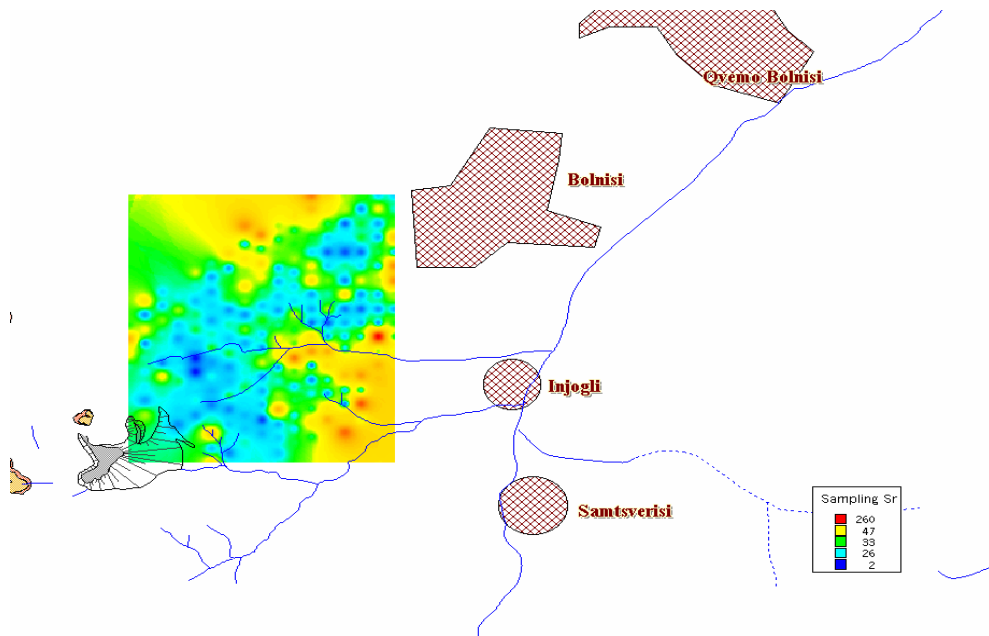
აქაც ლითონის მომატებული (100-750 მგ/ტ) მნიშვნელობები ფიქსირდება იგივე ტერიტორიებზე.

ნახ №18 სპილენძის განაწილება სანაყარეს ფართობზე



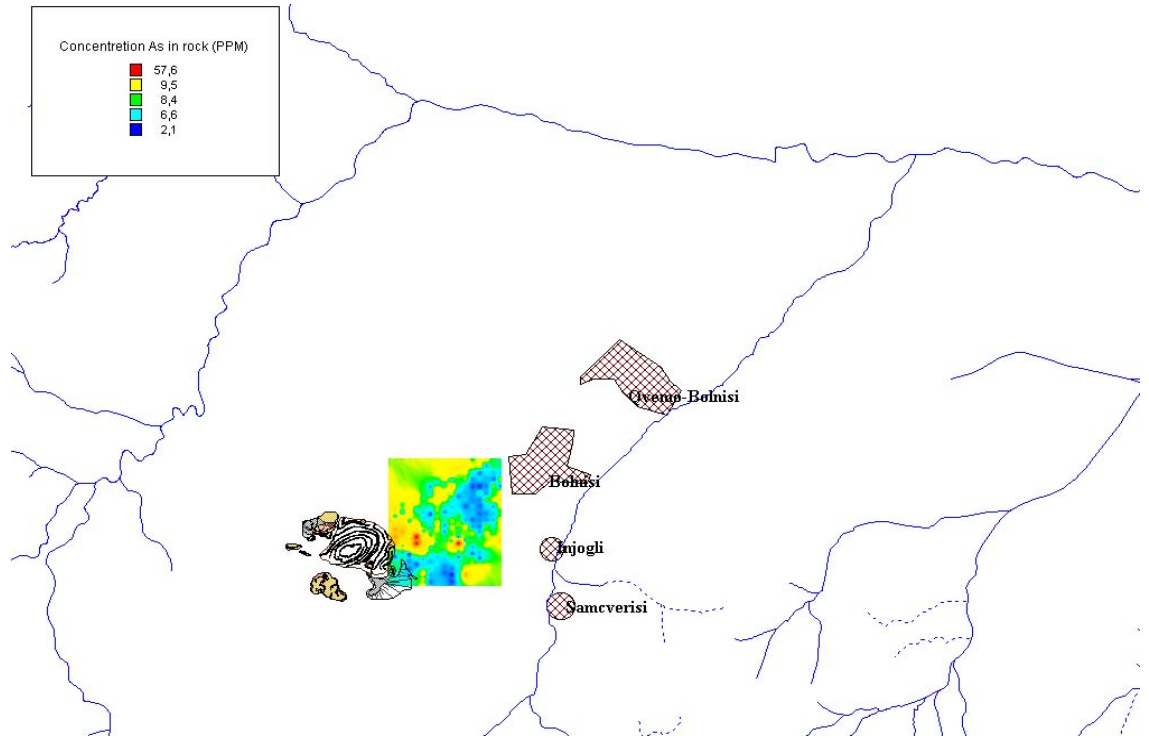
განსხვავებით წინა სურათებისა, სპილენძის მომატებული (40-500 გრ/ტ) მნიშვნელობები აღინიშნება ფართობის ცენტრალურ ნაწილშიც.

ნახ №19 სტრონციუმის განაწილება სანაყარეს ფართობზე



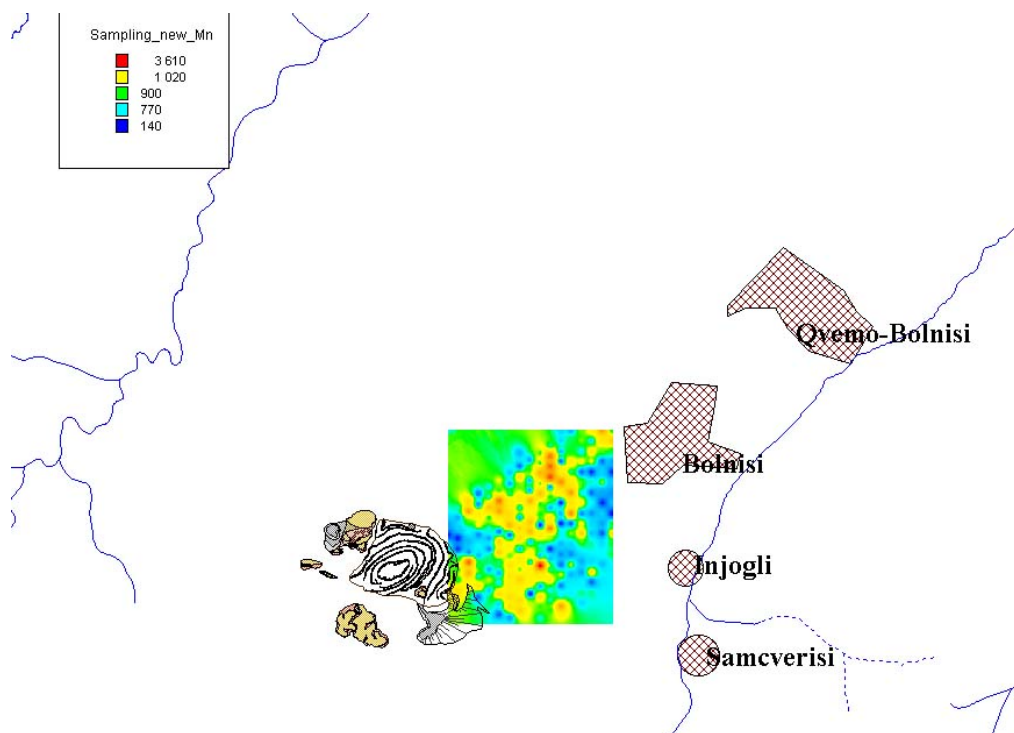
სტრონციუმის მაღალი მნიშვნელობები (40-250 გრ/ტ) ფიქსირდება ტერიტორიის ჩრდილო და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში.

ნახ №20 დარიშხანის განაწილება სანაყარეს ფართობზე

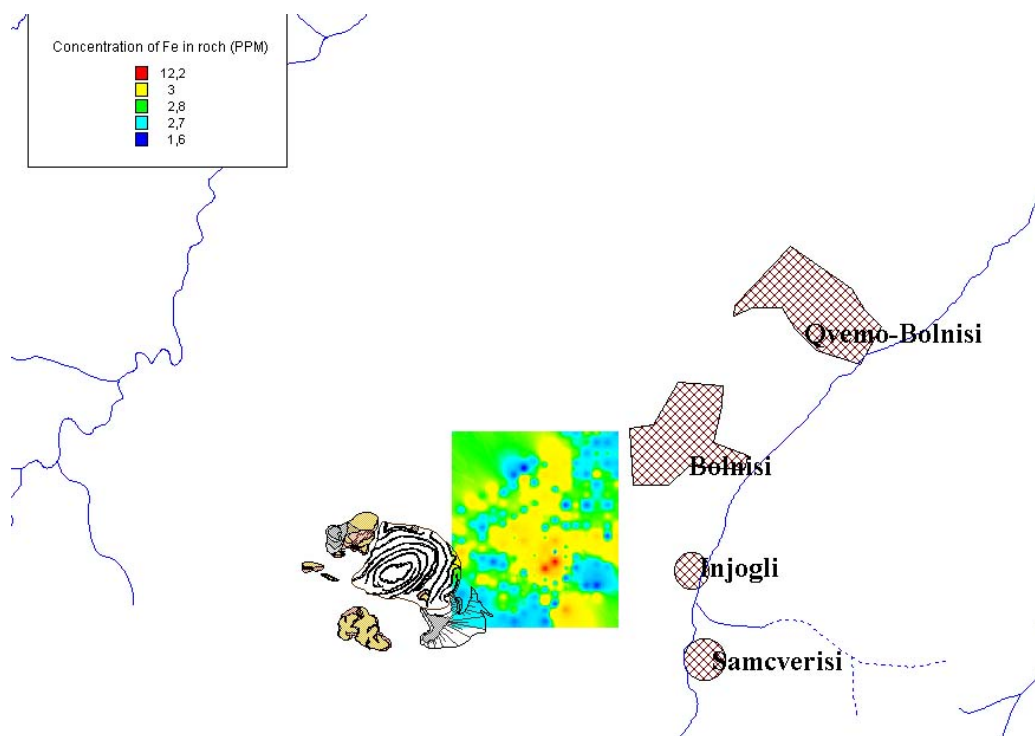


დარიშხანის განაწილება, მაქსიმალური მნიშვნელობები (10-60 გრ/ტ), ემთხვევა სპილენძის განაწილების კანონზომიერებას.

ნახ №21 მანგანუმის განაწილება სანაყარეს ფართობზე



მანგანუმის განაწილება გამოირჩევა სხვა ზემოთ მოყვანილი სურათებისგან (მაქსიმალური მნიშვნელობები 1000-3500 გრ/ტ), იგი თანაბრადაა განაწილებული მთელ ტერიტორიაზე. ასევე თანაბრადაა განაწილებული ფართობზე რკინა. მაქსიმალური მნიშვნელობები (3-12 გრ/ტ).



ნახ №22 რკინის განაწილება სანაყარეს ფართობზე

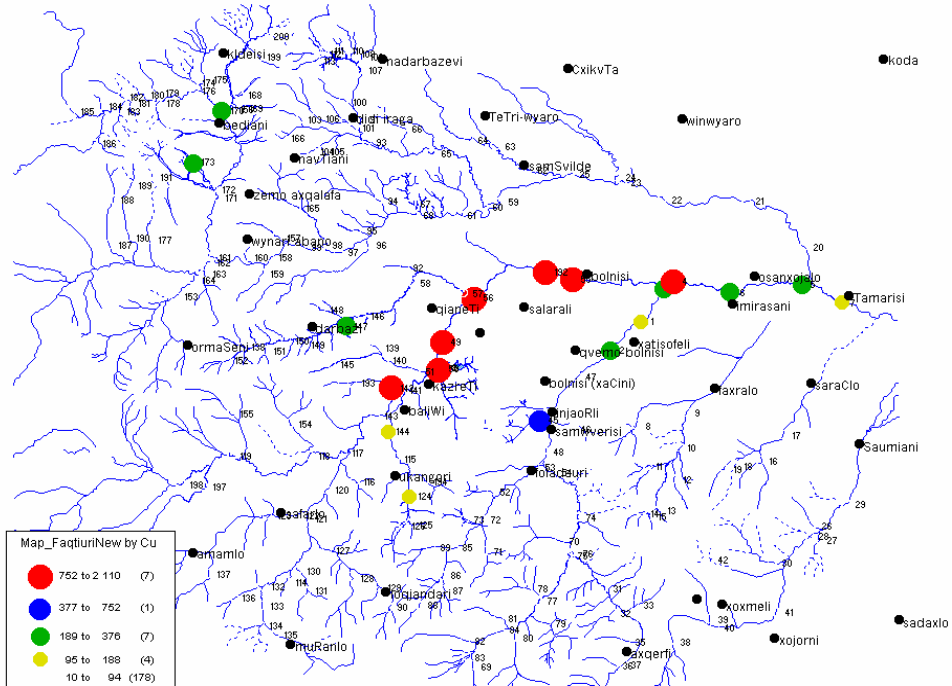
მძიმე ლითონების განაწილების სურათებიდან ნათლად სჩანს, რომ ძირითადად მათი დაბალი მნიშვნელობები ზოლად გაიდევნება სამხრეთ-დასავლეთიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით. ეს ტერიტორია ძირითადად ემთხვევა მდინარეული ქსელის და გრუნტის წყლების მოძრაობის მიმართულებას.

თუმცა, აქვე უნდა აღინიშნოს ცალკეული ლითონების (მანგანუმი და რკინა) მონაცემების განაწილების მცირედი გადახვევები საერთო ფონიდან, რისი ახსნაც უნდა ვეძებოთ მათი ხსნადობის განსხვავებული კოეფიციენტებით და მიგრაციის ფორმებით.

მიღებული შედეგები ადასტურებს იმ აზრს, რომ ხდება აღნიშნული ფერდის მიწისქვეშა წყლებით ინტენსიური გარეცხვა მდ. ფოლადაურის შენაკადებით და იგი წარმოადგენს ხეობის დაბინძურების ძირითად მიზეზს.

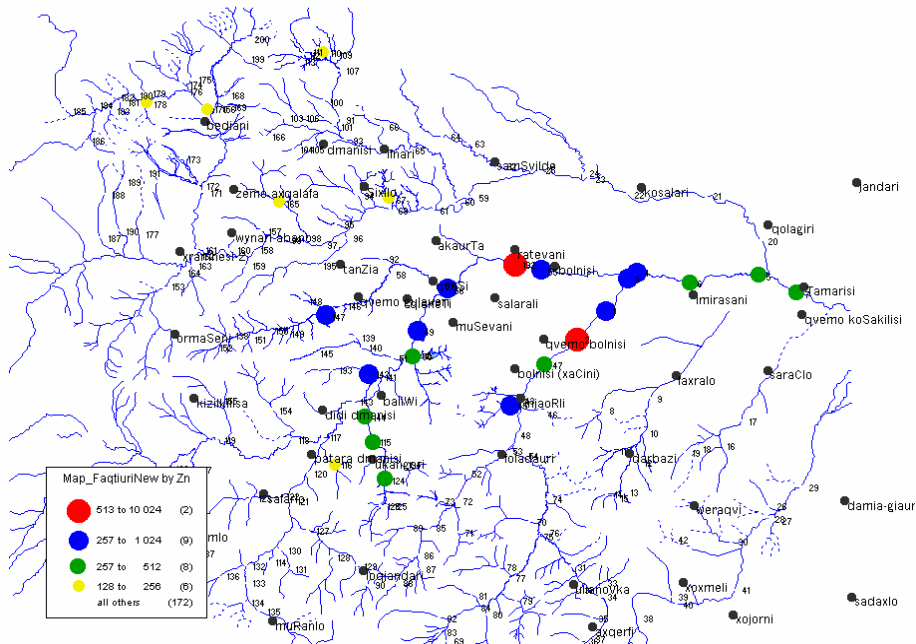
ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლებით მძიმე ლითონების მიგრაციისას ხდება მათი დალექვა მდინარის ფსკერზე. ეს აზრი დადასტურდა მდინარეების ლამიდან აღებული სინჯების ანალიზით (ნახ №23-24).

ნახ №23 მდინარის ფსკერზე- შლამში დალექილი სპილენძის ონცენტრაციების განაწილება



მრავალწლიანი აკუმულაციის შედეგად შლამში დაგროვილი სპილენძის კონცენტრაცია (377-2000 გ/ტ) ბევრად აჭარბებს დასაშვებ ნორმებს, როგორც ნიადაგში (20 მგ/კგ) ასევე წყალში (0.1 მგ/ლ).

ნახ №24 მდინარის ფსკერზე- შლამში დალექილი თუთიის კონცენტრაციების განაწილება

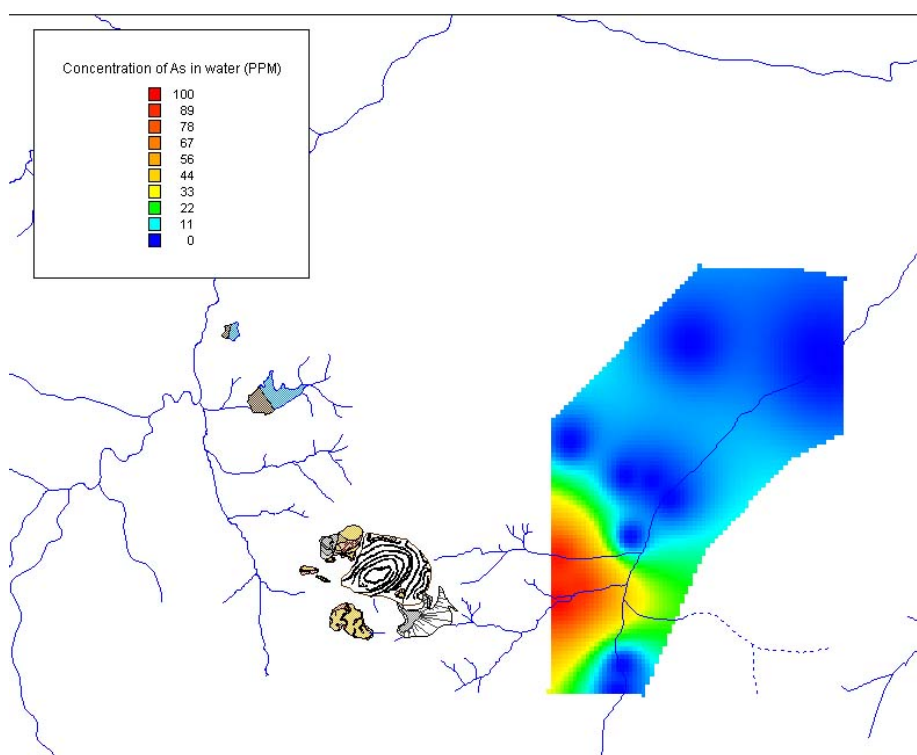


თუთიის მნიშვნელობები შლამებში (257-10000 გ/ტ) ასევე ბევრად აღემატება დასაშვებ მნიშვნელობებს.

ჩვენს მიერ დაფიქსირდა დაბინძურების მაღალი დონე ბოლნისის ორივე ძირითად მდინარეში მაშავერასა და ფოლადაურში.

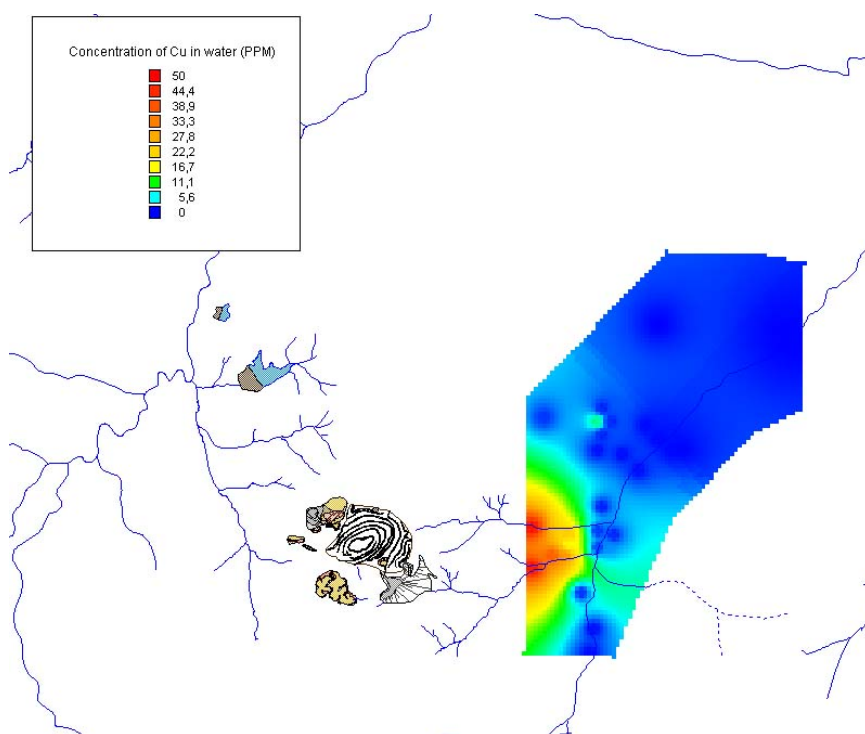
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მძიმე მეტალების მიგრაციის გზების და მათი განაწილების კანონზომიერებების დატალური შესწავლის მიზნით, დასინჯული და გაანალიზებული იქნა შემჩეულ ფართობზე, მძიმე ლითონების შემცველობა მიწისქვეშა წყლებში, ნიადაგებში და სასოფლო სამეურნეო პროდუქტებში. ქვემოთ მოყვანილია ლითონების განაწილების სურათები მიწისქვეშა წყლებში.

ნახ №25 დარიშხანის კონცენტრაციების განაწილება მიწისქვეშა წყლებში



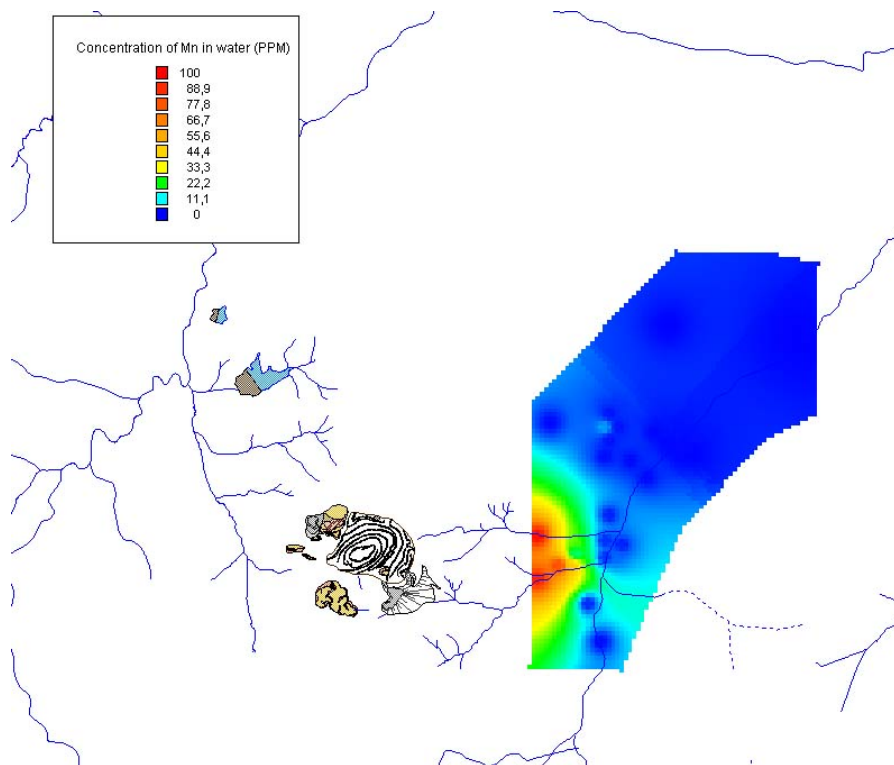
ნათლად გაიდევნება დარიშხანის მაქსიმალური მნიშვნელობების (80-100 მგ/ლ ანუ PPM) მიგრაცია კარიერის სანაყარიდან უშუალოდ მდ. ფოლადაურამდე, ხოლო მისი შარავანდები თითქმის თანაბრად კლებულობს (44-33-22-11 მგ/ლ - მდე) იგივე მიმართულებით, თუმცა არ ჩამოდის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებამდე - ზ.დ.კ. (0.001 მგ/ლ). საკმაოდ მაღალი მნიშვნელობები (20 მგ/ლ) აღინიშნება ფოლადაურის მარჯვენა ნაპირზეც.

ნახ №26 სპილენძის კონცენტრაციების განაწილება მიწისქვეშა წყლებში



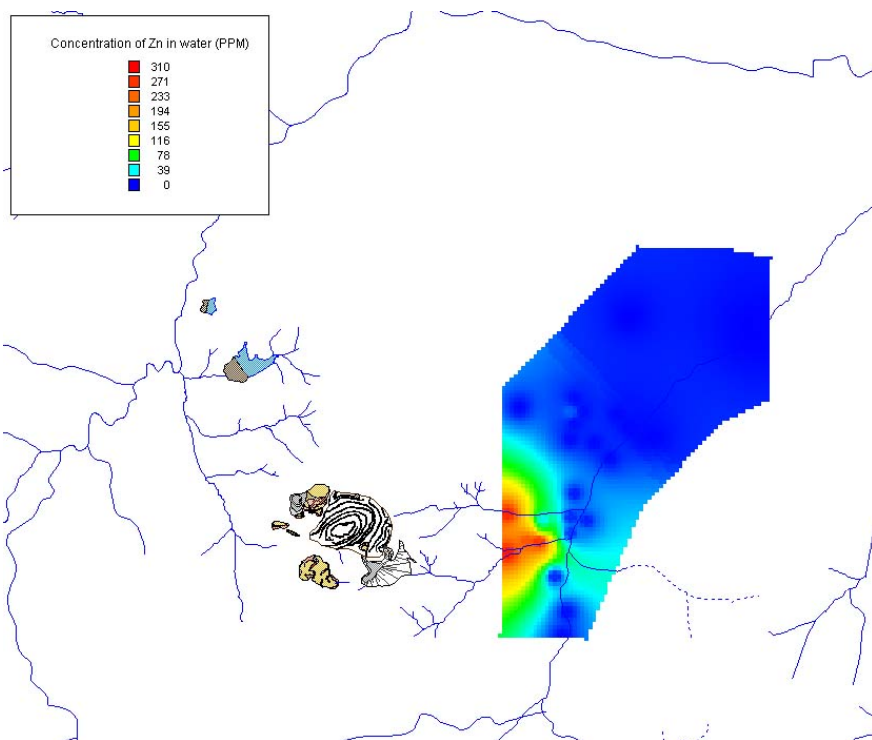
სპილენძის განაწილებაშიც შეიმჩნევა მსგავსი სურათი. კარიერის სანაყარესთან ახლოს დაფიქსირებული მაქსიმალური მნიშვნელობები (45 მგ/ლ), რომელიც თანაბრად იკლებს მდინარე ფოლადაურის მიმართულებით (5.6 მგ/ლ და ქვემოთ ზ.დ.კ. 0.1 მგ/ლ).

ნახ №27 მანგანუმის კონცენტრაციების განაწილება მიწისქვეშა წყლებში



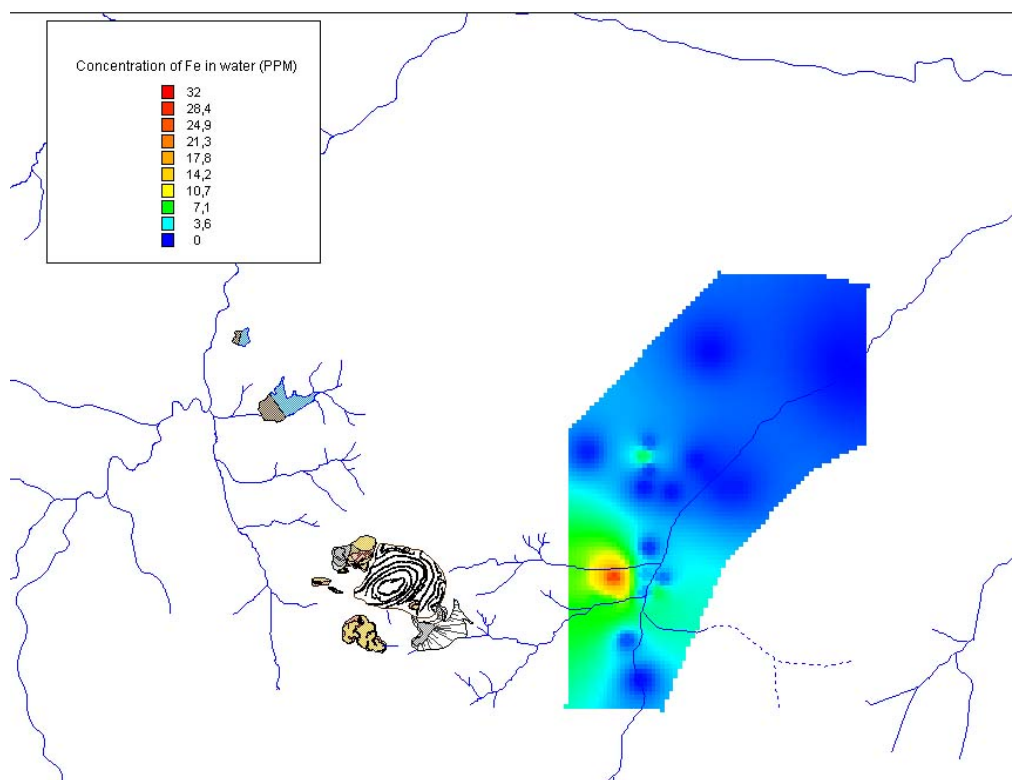
სრულიად მსგავსია ასევე მანგანუმის განაწილების სურათიც. აქ ანომალიური კონცენტრაციები თანაბრად იკლებს 90 მგ/ლ დან 11 მგ/ლ მდე. მხოლოდ ჩრდილო ნაწილში იგი ნაკლებია ზ.დ.კ. 0.01 მგ/ლ-ზე.

ნახ №28 თუთიის კონცენტრაციების განაწილება მიწისქვეშა წყლებში

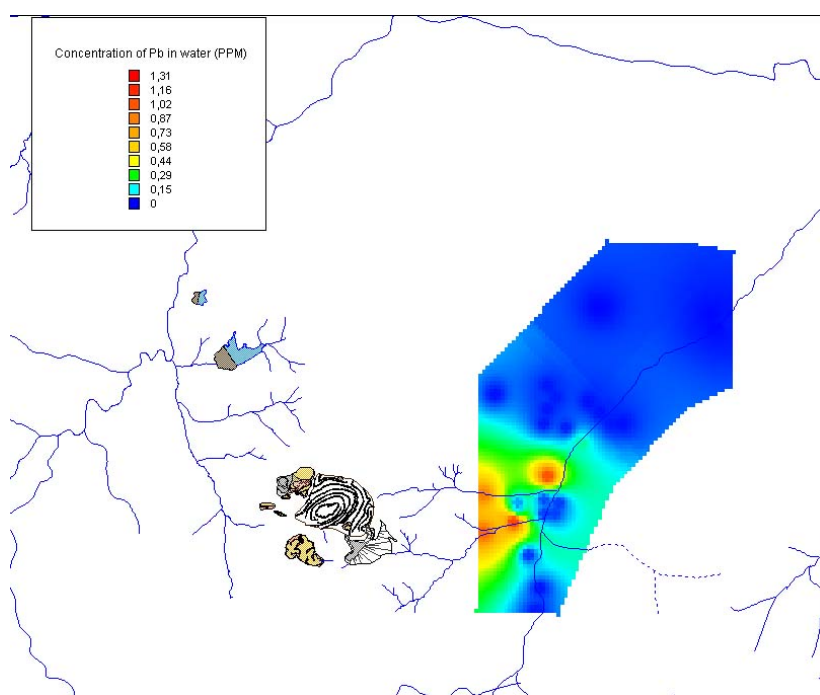


თუთიის მაღალი კონცენტრაციები (>200 მგ/ლ, ზ.დ.კ- 0.02 მგ/ლ) აღწევენ მდინარე ფოლადაურამდე და იქ იფანტებიან.

ნახ №29 რკინის კონცენტრაციების განაწილება მიწისქვეშა წყლებში



ნახ №30 ტყვიის კონცენტრაციების განაწილება მიწისქვეშა წყლებში

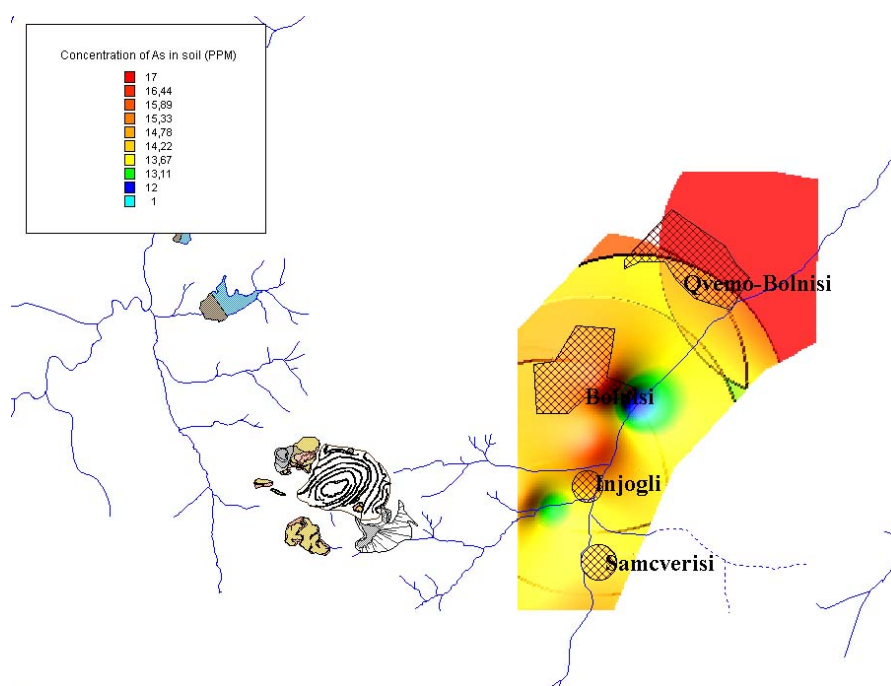


სრულიად მსგავსია რკინის მიგრაციის ამსახველი სურათიც. აქ დაფიქსირდა რკინის მაქსიმალური შემცველობა 25 მგ/ლ, რომელიც ბევრად მეტია ზ.დ.კ -0.07 მგ/ლ. ტყვიის კონცენტრაციის განაწილებაში შეიმჩნევა მცირედი განსხვავება. შენარჩუნებულია საერთო ტენდენცია-კონცენტრაციის კლება 1 მგ/ლ დან 0.3 მგ/ლ – მდე, თუმცა ის ისევ მეტია ვიდრე ზ.დ.კ. 0.001 მგ/ლ. მაგრამ აქ გვაქვს უფრო ფართო შარავანდი და ფიქსირდება მაღალი ანომალია ხეობის გასწვრივ მდინარის მოძრაობის მიმართულებით. ეს განპირობებული უნდა იყოს ტყვიის უფრო მეტი გაფანტულობით ტერიტორიაზე.

როგორც ვხედავთ, ლითონების კონცენტრაციების განაწილება ზედაპირულ წყლებში ცალსახად მიგვითითებს დაბინძურების წყაროს-სანაყარეს ტერიტორიას. სხვა და სხვა ინტენსივობის ანომალიები აღწევს რა მდინარის ძირითად არტერიამდე, ქრება და იფანტება მდინარისა და საირიგაციო სისტემის მეშვეობით.

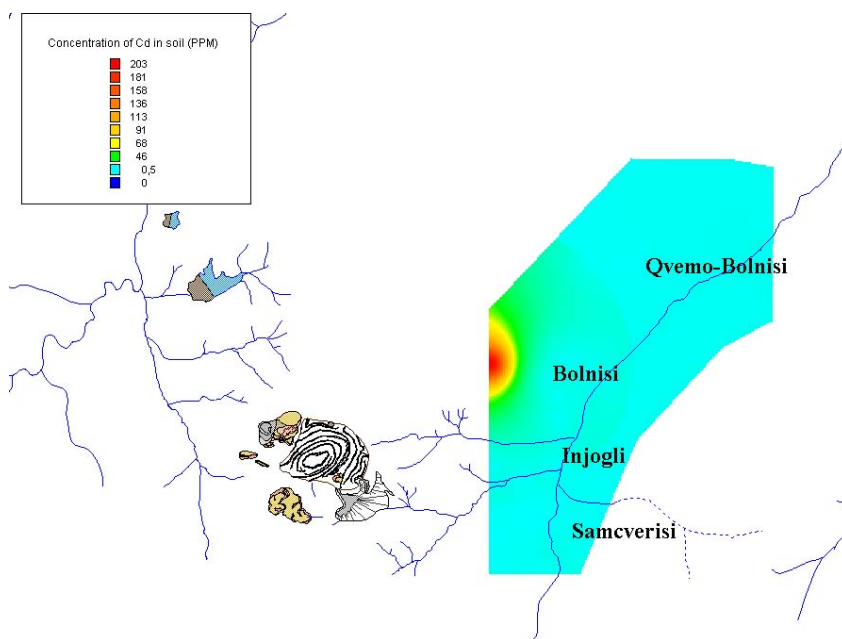
სრულიად განსხვავებული სურათი შეიმჩნევა ნიადაგებში მძიმე ლითონების განაწილების შესწავლისას.

ნახ №31 დარიშხანის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



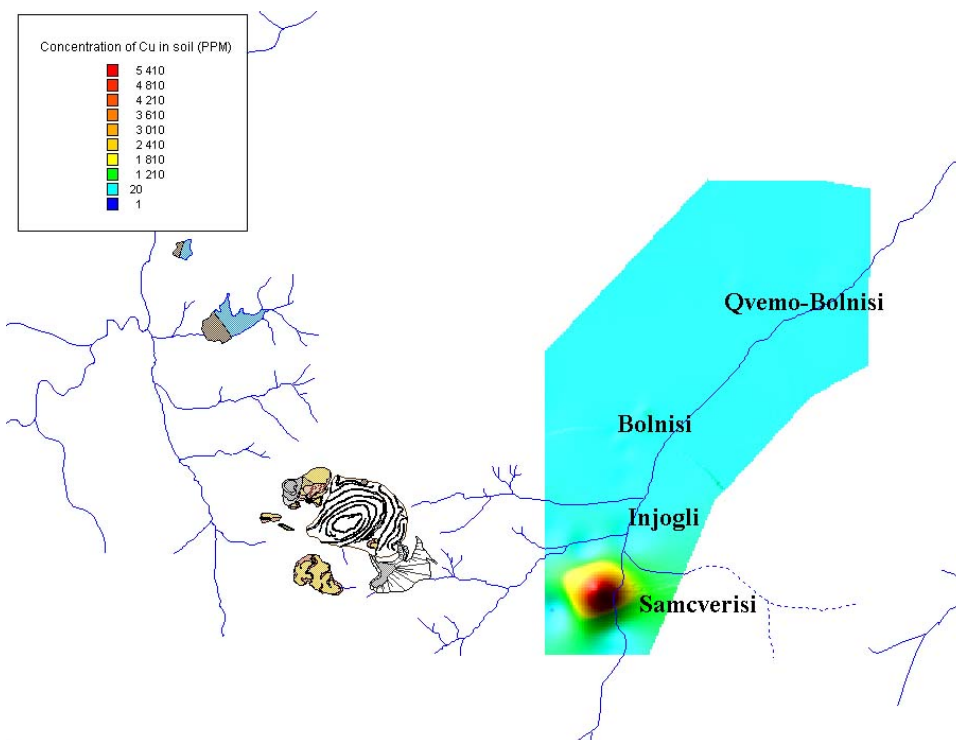
მთელ ტერიტორიაზე ფიქსირდება დარიშხანის მაღალი ფონი (>10 მგ/კგ, შედარებით ზ.დ.კ. 2.0 მგ/კგ). ამასთან, ტერიტორიაზე დაფიქსირებული დარიშხანის მაღალი კონცენტრაციები (>15 მგ/კგ) ემთხვევა ზედაპირული ნაკადების მოძრაობის მიმართულებას სანაყარედან -სოფ. ინჟა-ოლი- სოფ. ბოლნისი, ხოლო დაბინძურების წყარო ქვემო ბოლნისთან, დაკავშირებული უნდა იყოს ქვედა ბოლნისის ბარიტულ საბადოებთან, რომელიც განთავსებულია საკვლევ კონტურიდან ჩრდილო-დასავლეთ მიმართულებაზე.

ნახ №32 კადმიუმის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



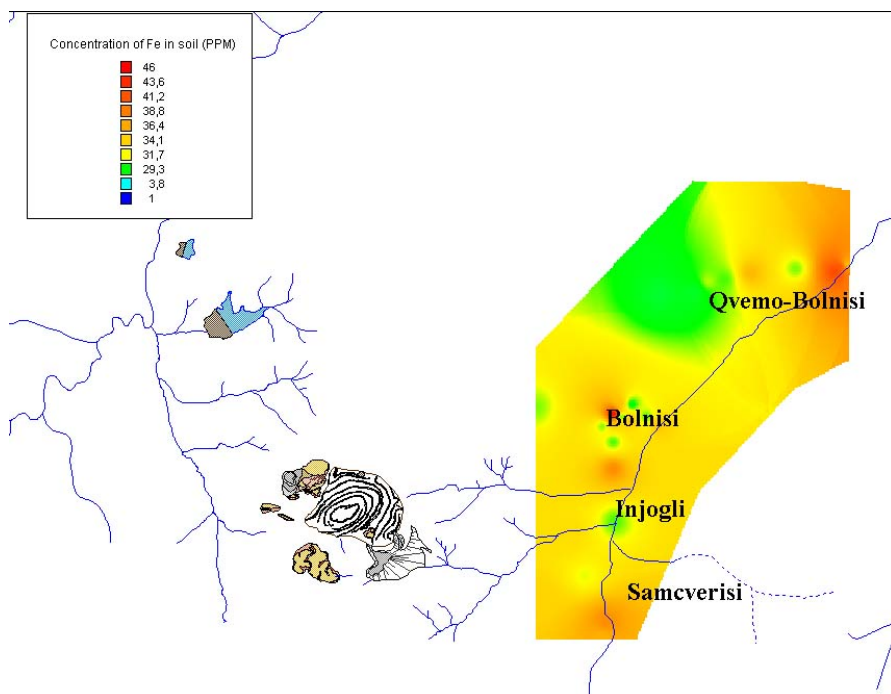
იგივე მიმართულებით აღინიშნება კადმიუმის მაღალი კონცენტრაციები (>100 მგ/კგ), რომელიც ბევრად მეტია ვიდრე ზ.დ.კ. -0.5 მგ/კგ.

ნახ №33 სპილენძის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



ზ.დ.კ. (20 მგ/კგ) შედარებით სპილენძით ყველაზე გაჯერებულია სოფ სამწვერისის მიმდებარე ტერიტორია (>4000 მგ/კგ).

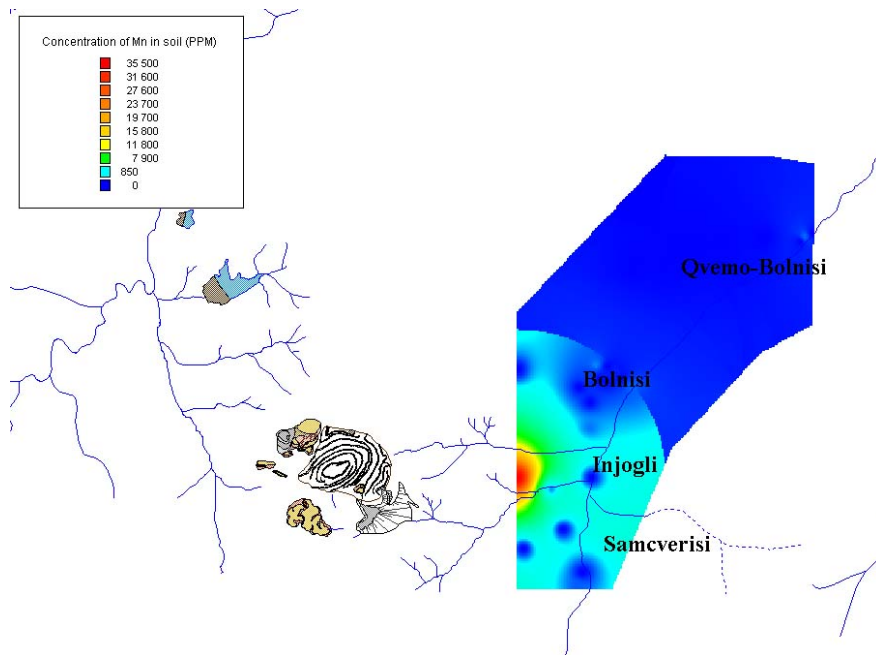
ნახ №34 რკინის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



შეიძლება ითქვას, რომ ხეობა ამართლებს თავის სახელს, რამდენადაც ტერიტორიაზე თითქმის ყველგან ფიქსირდება რკინის მაღალი კონცენტრაციები ზ.დ.კ. 38 მგ/კგ),

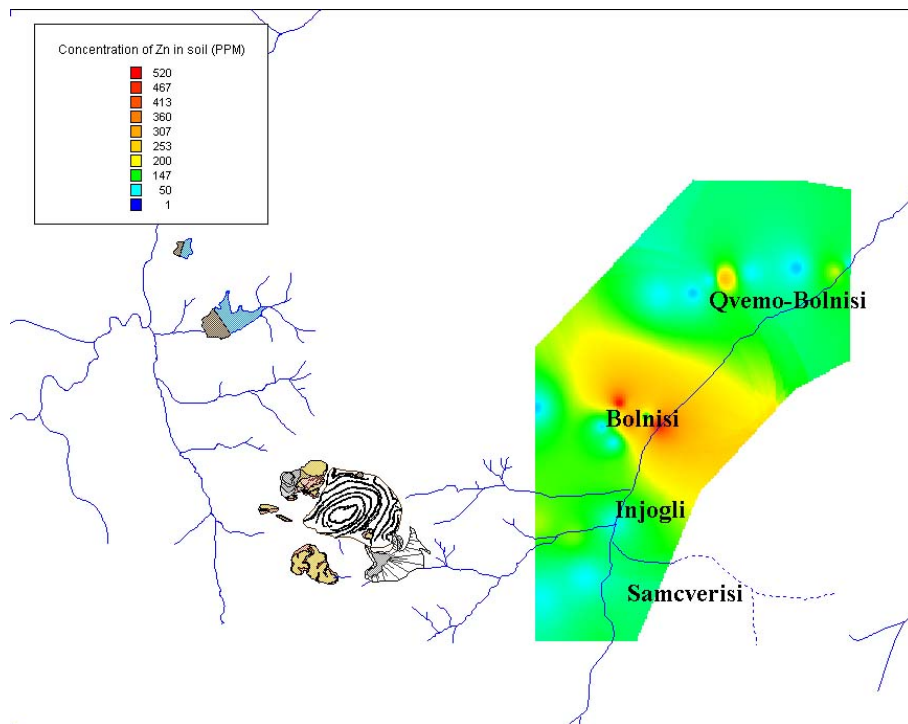
ისევე როგორც რკინის განაწილებისას სანაყარეს ტერიტორიაზე. ამასთან ანომალიები გვხვდება მდ. ფოლადაურის გასწვრივ მის მთელ სიგრძეზე.

ნახ №35 მანგანუმის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



რკინისაგან განსხვავებით, მანგანუმის ანომალია უფრო ლოკალიზირებულია და დაკავშირებულია სანაყარედან ჩამომდინარე ღელეებთან. ზ.დ.კ. 1500 მგ/კგ.

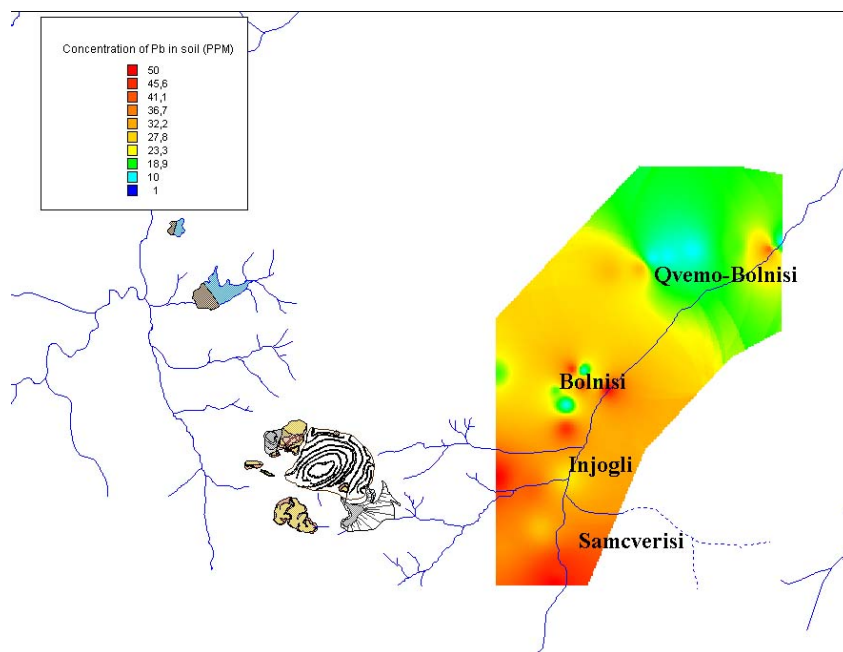
ნახ №36 თუთიის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



ზ.დ.კ. (50 მგ/კგ), შედარებით ლოკალიზირებულია თუთიის ანომალური კონცენტრაციების განაწილება ფართობზე. ისინი უკავშირდება სოფ ბოლნისის

(ხაჩინის) ტერიტორიას და განპირობებული უნდა იყოს თუთიის შემოტანით ფოლადაურის მარჯვენა შენაკადებიდან.

ნახ №37 ტყვიის კონცენტრაციების განაწილება ნიადაგებში



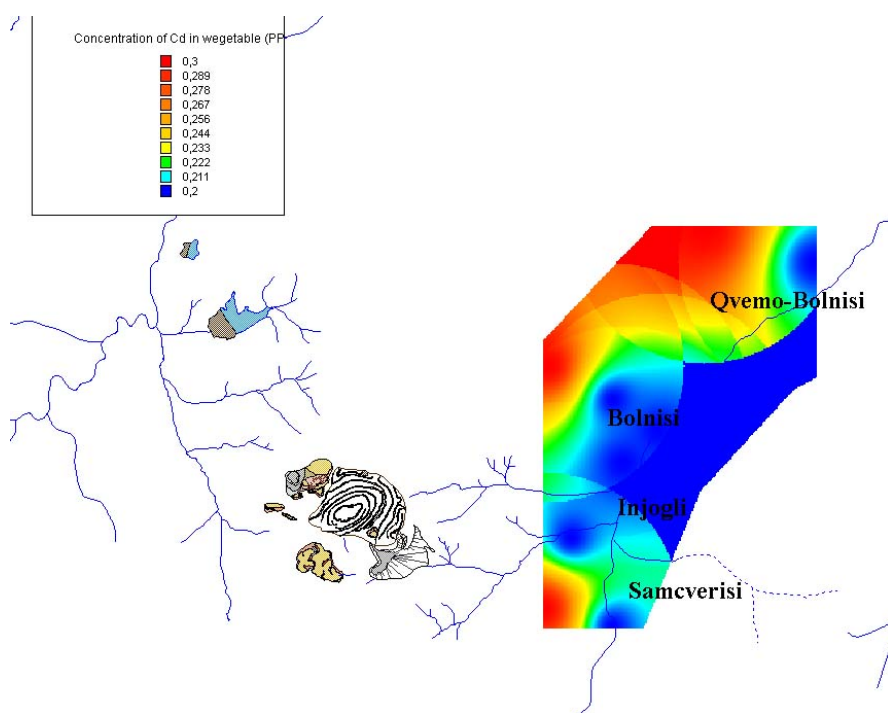
რკინის მსგავსად, ტყვიის მომატებული (>38 მგ/კგ, ზ.დ.კ. -10 მგ/კგ) კონცენტრაციები ფიქსირდება მთელ ტერიტორიაზე, თუმცა აქ ანომალიების უფრო ხშირი განლაგებით ტერიტორიის სამხრეთ ნაწილში, შეიძლება ვივარაუდოთ მისი მიგრაციის მიმართულება სამხრეთიდან ჩრდილოეთით, მდ. ფოლადაურის გასწვრივ, დინების მიმართულებით.

როგრც ჩანს, განსხვავებით ზედაპირულ წყლებში მძიმე ლითონების კონცენტრაციის განაწილების სურათისგან, ნიადაგში ლითონების ანომალური მნიშვნელობები გვხვდება თითქმის მთელ ტერიტორიაზე და ზოგ შემთხვევაში მათ ასეთ განლაგებას აქვს კანონზომიერი ხასიათი. ამის ახსნა ერთის მხრივ უნდა ვეძებოთ დიდი ხნის განმავლობაში ლითონების მიგრაციით არა მარტო ზედაპირული, არამედ მიწისქვეშა წყლებითაც და ნიადაგების კარგი ადსორბციული უნარით; და მეორეს მხრივ, დაბინძურების სხვა წყაროების არსებობით საკვლევი რაიონის მომიჯნავე ტერიტორიებზე.

გარემოს დაბინძურების ეკოლოგიურად სრული სპექტრის შესწავლის მიზნით, გაანალიზდა ტოქსიკური ელემენტების შემცველობები სოფლის მეურნეობის პროდუქტებში. ამ მიზნით, ფოლადაურის ხეობის სავარგულებზე შედარებით

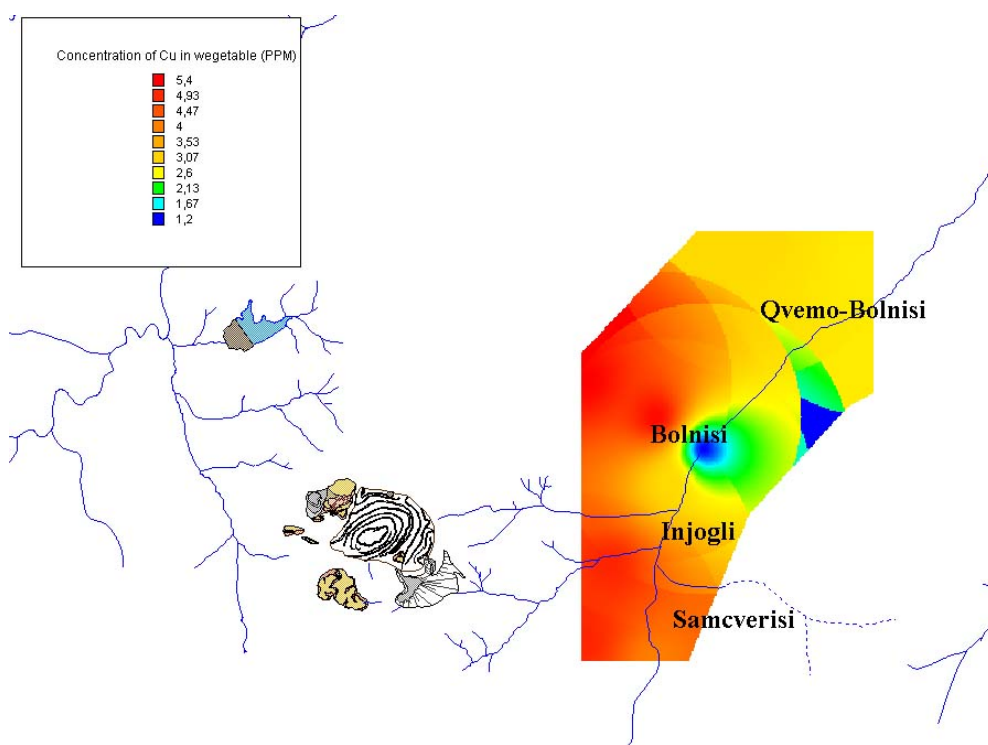
თანაბარი დაფარვით აღებული იქნა ერთნაირი პროდუქტი (ხორბალი, სიმინდი ყრმენი და კიტრი) და გაანალიზდა მათში მძიმე მეტალების შემცველობა (ნახ. 38-43). საკვებ პროდუქტებში მძიმე ლითონების შემცველობა, მსგავსად ნიადაგებში ლითონების შემცველობისა, მახასიათებელია სტაბილური დაბინძურების, დროში უფრო გაწეილი მძიმე პროცესების. რამდენადაც განსხვავებით წყლისაგან, შეუძლებელია ამ სახის დაბინძურებების დროის მოკლე პერიოდში გამოსწორება.

ნახ. №38 კადმიუმის კონცენტრაციების განაწილება საკვებ პროდუქტებში



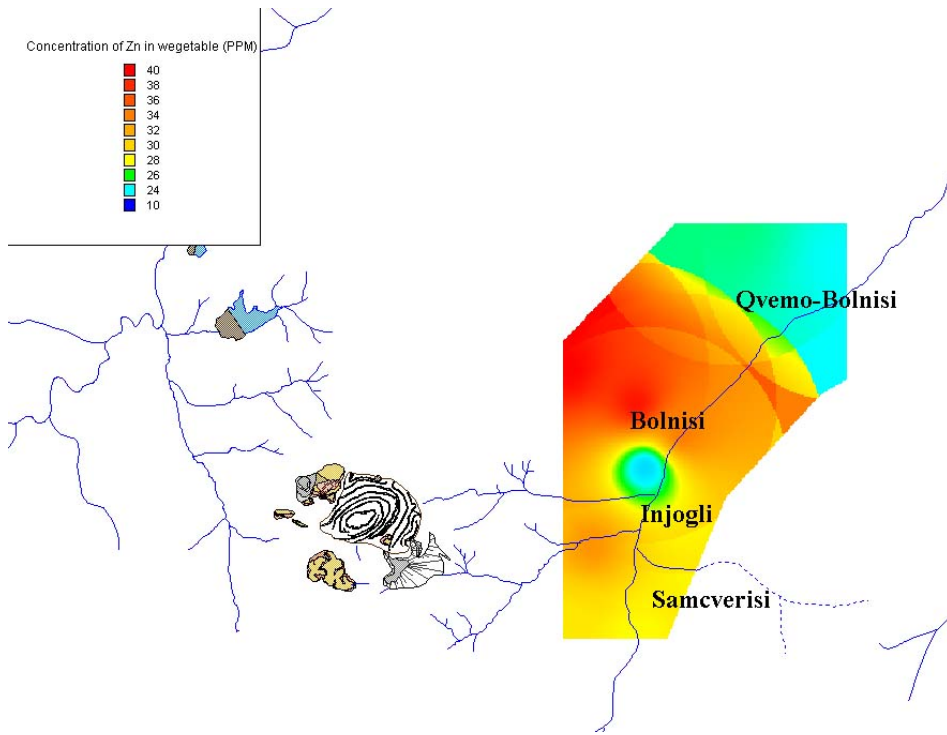
მსგავსად ნიადაგებში კადმიუმის შემცველობების განაწილების სურათისა, აქაც დაბინძურების მაღალი მნიშვნელობები (0.2 მგ/კგ შედარებით 0.03 მგ/კგ) ფიქსირდება რაიონის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში, თუმცა ანომალია აღინიშნება ასევე სამხრეთ ნაწილშიც-სოფ. ინჟა-ოღლისთან

ნახ. №39 სპილენძის კონცენტრაციების განაწილება საკვებ პროდუქტებში



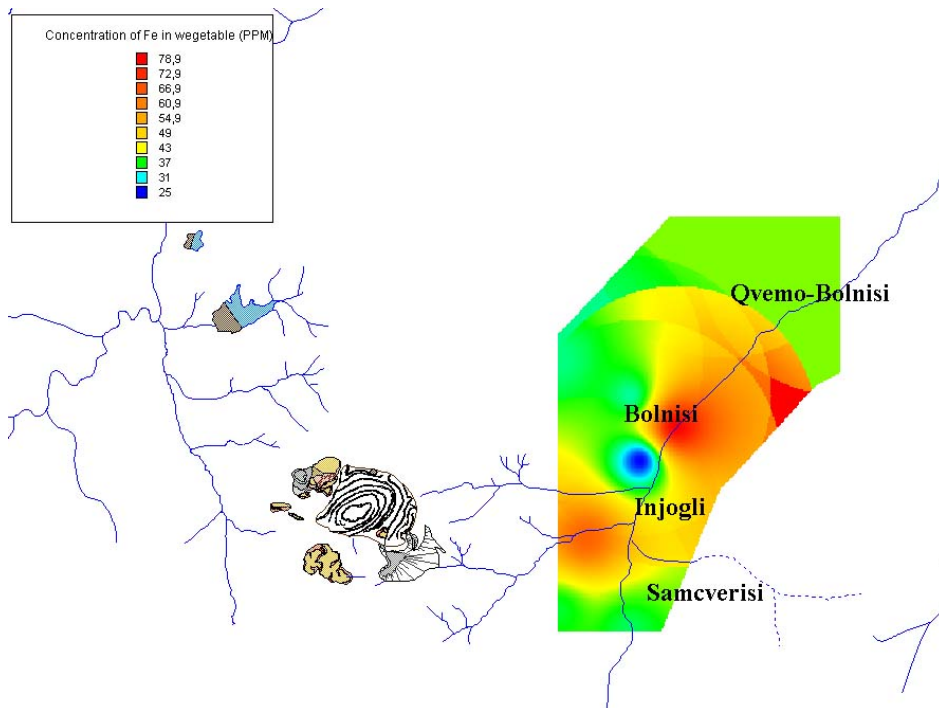
განსხვავებით სპილენძის შემცველობის მნიშვნელობების განაწილებისა ნიადაგებში, მისი ანომალური მნიშვნელობების განაწილების ხასიათი პროდუქტებში (ზ.დ.კ. -5 მგ/კგ) უფრო ვრცელია და მოიცავს მდ. ფოლადაურის თითქმის მთელ მარცხენა ფერდს. თუმცა ისიც აღსანიშნავია, რომ მცენარეებში სპილენძის კონცენტრაცია 1000-ჯერ ნაკლებია ნიადაგთან შედარებით და ამდენად, სპილენძის ამ შემცველობების აკუმულირება მცენარეებს შეეძლოთ ნიადაგების მაღალ ფონად მიჩნეული უბნებიდანაც. ალბათ ამით აიხნება ეს ფართობრივი განსხვავებები.

ნახ. №40 თუთიის კონცენტრაციების განაწილება საკვებ პროდუქტებში



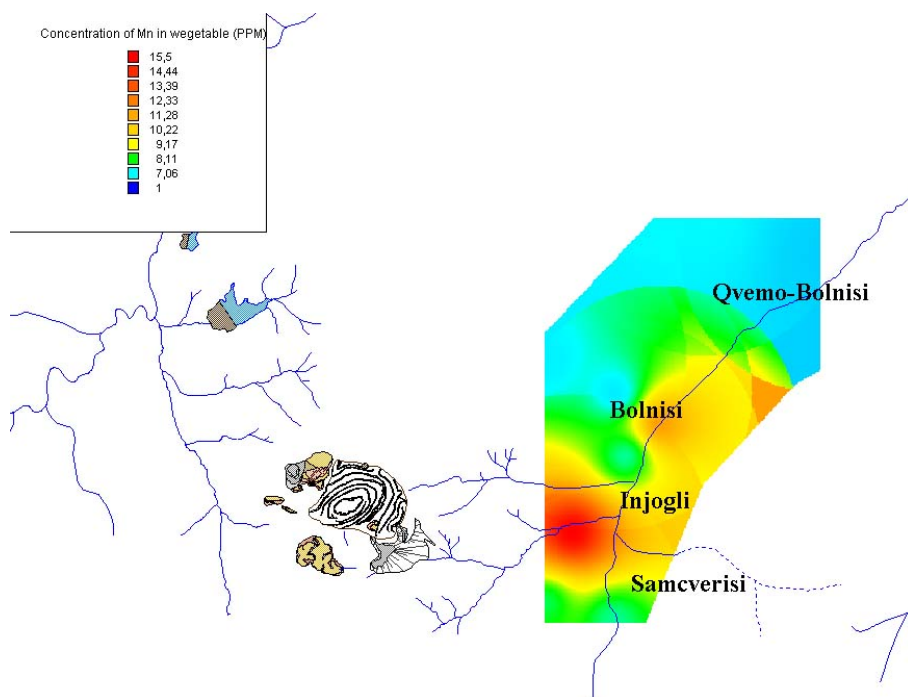
როგორც ნიადაგების შემთხვევაში, აქაც თუთიის შემცველობების ანომალური მნიშვნელობები (ზ.დ.კ.-10 მგ/კგ) ფიქსირდება სოფელ ბოლნისსა (ხაჩინი) და ქვემო-ბოლნისს (კაპანახჩი) შორის ტერიტორიაზე

ნახ. №41 რკინის კონცენტრაციების განაწილება საკვებ პროდუქტებში



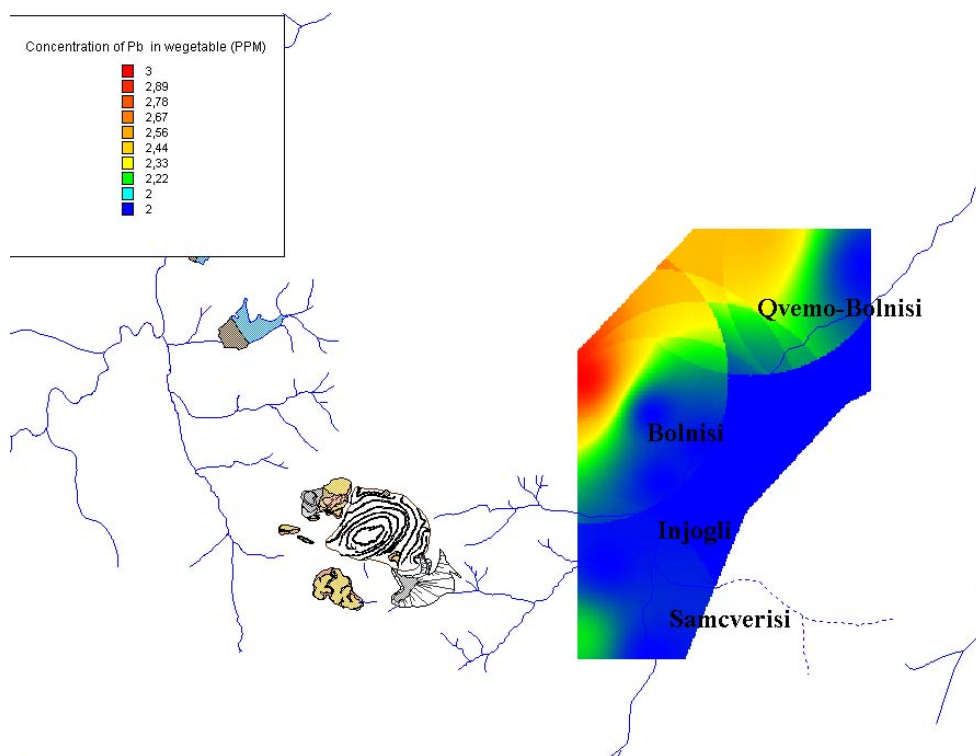
საერთოდ მაღალ ფონთან შედარებით, რკინის ანომალურად მაღალი (>70 მგ/კგ შედარებით ზ.დ.კ. 30 მგ/კგ) მნიშვნელობები ფიქსირდება სანაყარეს მიმდებარე

ტერიტორიზე და სოფელ ბოლნისსა (ხაჩინი) და ქვემო-ბოლნისს (კაპანახჩი) შორის.
ნახ. №42 მანგანუმის კონცენტრაციების განაწილება საკვებ პროდუქტებში



აქაც, ისე როგორც ნიადაგებში, მანგანუმის კონცენტრაციებში ანომალურად მაღალი მნიშვნელობები (>15 მგ/კგ შედარებით ზ.დ.კ.) გაიდევენება სანაყარედან მდინარე ფოლადაურამდე და ქვემოთ მდინარის მოძრაობის მიმართულებით კონცენტრაციების თანდათანობითი კლებით.

ნახ. №43 ტყვიის კონცენტრაციების განაწილება საკვებ პროდუქტებში



ნიადაგებში ტყვიის შემცველობების მსგავსად საკვებ პროდუქტებში ტყვიის შემცველობები (ზ.დ.კ. 0.5 მგ/ლ) მაღალია მთელ ტერიტორიაზე, ხოლო ანომალურად მაღალი (>2.5 მგ/ლ) მნიშვნელობები დაფიქსირდა ტერიტორიის ჩრდილი-დასავლეთ ნაწილში.

ეს შედეგები ადასტურებენ სოფლის მეურნეობის პროდუქტების დაბინძურებას და რეგიონში მძირე ეკოლოგიური სიტუაციის. არადა, ფოლადაურის ხეობა თბილისის ერთ-ერთი ძირითადი მომმარაგებელია სოფლის მეურნეობის პროდუქტებით, რაც თვალნათლივ განსაზღვრავს კატასტროფის მასშტაბებს.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ტოქსიკური ელემენტების მიწისქვეშა წყლებში განაწილების სურათების მიხედვით, მათი მნიშვნელობები ყველაზე მეტია კარიერიდან ჩამონადენ ღელეებში, სადაც სპილენძის, თუთიის, ტყვიის და კადმიუმის შემცველობები მგ/ლ –ში შესაბამისად შეადგენს საშუალოდ Cu-30-50; Zn- 190-300; Pb-0.5-1.5; Mn -50-100; Fe- 30 და Cd-0.04-2.5. საერთო ფონთან შედარებით (Cu-0.1; Zn-0.1; Pb-0.3; Cd-0.01). ამ წყლებში ძლიერ გაზრდილია სპილენძისა და კადმიუმის კონცენტრაციები. ფოლადაურის მარცხენა ფერდზე არსებულ დელუვიონში, საიდანაც ჩამოედინებიან ეს ღელეები. ეს ნალექები ხასიათდება დაბალი ფილტრაციის კოეფიციენტითა და მაღალი ადსორბციის უნარით, რის გამოც გრუნტის წყლებში და დელუვიონში გროვდება აღნიშნული ელემენტები. ამის დასტურია მათი კონცენტრაციის შედარებით მაღალი

მნიშვნელობები მარცხენა ფერდზე განლაგებულ ღრმა ჭაბურღილსა და წყაროებში, სადაც აღინიშნება თუთიის მნიშვნელობების ზრდა 17 დან 37.5 მდე. ასევე ყველაზე მაღალია Mn, Cu, და Cd შემცველობები ამ ტერიტორიაზე არსებულ ნიადაგსა და საკვებ პროდუქტებში.

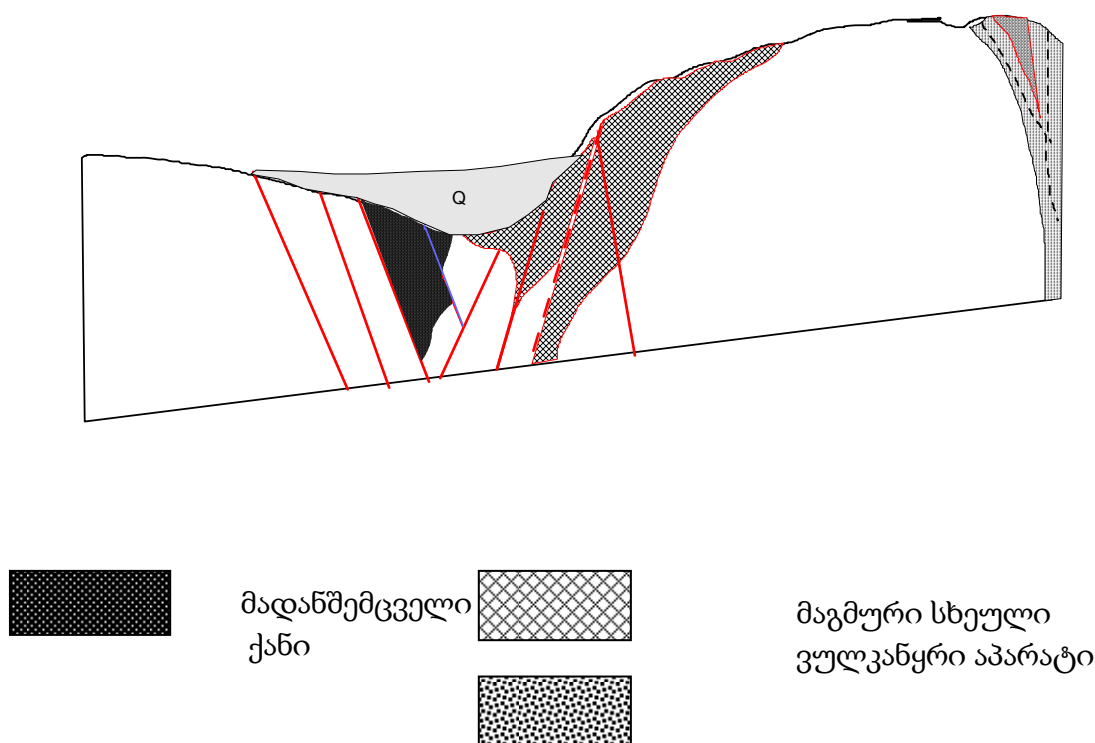
მდინარე ფოლადაურის სათავეებიდან სოფ ინჟი-ოლლამდე და მის მარცხენა ფერდზე გამავალი არხები სოფელ ქვ. ბოლნისის მისადგომებამდე, ხასიათდება მძიმე მეტალების ასეთი კონცენტრაციებით მგ/ლ –ში Cu-0.2-1.5; Zn-20-25; Pb-0.5-1.5; Cd-0.02-0.5. ეს მნიშვნელობები შედარებით მარცხენა ფერდის შენაკადებთან, ხასიათდება დაბალი სპილენძისა და მომატებული ტყვიის მნიშვნელობებით. ხოლო ნიადაგებსა და საკვებ პროდუქტებში აღინიშნება Pb მაღალი მნიშვნელობები. რაც შეეხება ფოლადაურის მარჯვენა შენაკადებს და უშუალოდ მისი დინების ქვემოთ, აქ აღინიშნება თუთიის მნიშვნელობების ზრდა მგ/ლ –ში Cu-10-20; Zn-50-120; Pb-1.5-2; Cd-0.02-0.2. ხოლო ნიადაგსა და მცენარეებში Zn თანაბრადაა განაწილებული ფოლადაურის მარცხენა ფერდსა და მარჯვენა ფერდს შორის სოფლების ინჯა-ოლლისა და ბოლნისს შორის. ეს მკვეთრი ცვლილება გამოწვეული უნდა იყოს მარჯვენა შენაკადების მიერ მადანშემცველი ქანების გამორეცხვით. ასეთივე მაღალი მნიშვნელობები რჩება სოფელ ქვ. ბოლნისის (კაპანახჩის) მთელ ტერიტორიაზე, რაც გამოწვეული უნდა იყოს ქვ. ბოლნისის ბარიტიანი საბადოს გამორეცხვითა და დაბინძურების გადატანით სარწყავი არხების ხშირი ქსელით. ნიადაგის (დელუვიონი) დაბალი ფილტრაციის უნარის გათვალისწინებით იგი გაჯერებულია ტოქსიკური ელემენტებით.

ამასთან, ალუვიონის ქვედა წნევიანი ჰორიზონტები ამ დროს რჩება შედარებით სუფთა. სოფელ ბოლნისთან და ქვედა ბოლნისთან (კაპანახჩი) ალუვიონში გაბურღულ ჭაბურღილებში მათი მნიშვნელობა მგ/ლ-ში ბევრად დაბალია Cu-0.5-1; Zn-8-35; Pb-1.5-2; Cd-0-0.05. ეს განპირობებულია ალუვიონის დიდი სიმძლავრით (100-200 მ) და მასში წყალგაუმტარი შუა შრეების-ლავური განფენების არსებობით.

სოფელ ქვ. ბოლნისის (კაპანახჩი) ჩრდილოეთით ზედაპირულ წყლებშიც ელემენტების მნიშვნელობა მკვეთრათ ეცემა და მოკლე მანძილის (800-1000 მ) შემდგომ შეადგენს მგ/ლ –ში Cu-1-2; Zn-20-30; Pb-2-2.5; Cd-0.5. თუმცა სოფელ წითელსოფლიდან ხდება ტოქსიკური ელემენტების კონცენტრაციის მკვეთრი

მატება, ხეობის მიმართულებით, რაჭის უბნისკენ (Cu-15 Zn-50 Pb-3 Cd-0.08 მგ/ლ – ში).

ერთი შეხედვით გაბინძურებები თავისი ხასიათით ზედაპირულია და იგი მოიცავს მხოლოდ მეოთხეული ასაკის დელუვიონისა და ალუვიონის წყებებს. თუმცა, მიუხედავად ამ უკანასკნელის დიდი სიმძლავრისა (200 მეტრა) ცალკეულ უბნებზე (წითელი სოფელი და რაჭის უბანი) იგი ადევს ზემოდან მადანშემცველ ძირითად ქანებს და შესაბამისად ხდება მათი გარეცხვა. ალბათ ამით აიხსნება მძიმე მეტალების მაღალი კონცენტრაციები აღნიშნულ უბნებზე, ზედაპირული წყლებით დაბინძურების წყაროებიდან მომორებით. ამდენად, იქმნება საკმაოდ რთული დაბინძურების გეოქიმიური სურათი, რომელიც იცვლება არა მარტო ლატერალზე, არამედ ვერტიკალურ ჭრილშიც. (ნახ. 44)



§10. მძიმე ლითონების მაღალი კონცენტრაციებით გამოწვეული დაავადებების გავრცელება ფოლადაურის ხეობაში

სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ტოქსიკური მეტალებით დაბინძურება გვამღევს საფუძველს ვივარაუდოთ, რომ ასეთ ნიადაგებზე მოწეული საკვები

პროდუქტების სისტემატური მოხმარება გარდუვალად მოახდენს უარყოფით ზემოქმედებას ადამიანის ჯანმრთელობაზე. იგივე შეიძლება ითქვას მეცხოველეობის პროდუქტებზეც (ხორცი, რძე და რძის ნაწარმი), რომლებიც მიღებულია აღნიშნულ ნიადაგზე გაზრდილი მცენარეულობით ნაკვები საქონლისაგან (58,60,173,174,179).

მძიმე მეტალების სისტემატური მოხვედრა ადამიანის ორგანიზმში განსაკუთრებით სახიფათოა ჯანმრთელობისათვის, რადგან ისინი ხასიათდებიან ისეთი ბიოლოგიური თავისებურებებით, როგორცაა: ორგანიზმში კუმულაციის (დაგროვების) უნარი, მუტაგენური (მემკვიდრეობითი ცვალებადობის გამომწვევი), კანცეროგენული (სიმსივნის გამომწვევი), ებრიოტოქსიკური (სასქესო უკრედეზზე ტოქსიკური ზემოქმედების მქონე) თვისებები.

დადგენილია, რომ მძიმე მეტალები აქტიურად მონაწილეობენ ადამიანის ორგანიზმში მიმდინარე რთულ ბიოქიმიურ პროცესებში, მათი, როგორც არასაკმარისი, ისე ჭარბი შემცველობა შეიძლება სხვადასხვა მძიმე დაავადებათა მიზეზი გახდეს.

მძიმე მეტალების ტოქსიკურ ზემოქმედებას განსაკუთრებით სერიოზული ხასიათი აქვს ბავშვებსა და ორსულ ქალებში. მთელი რიგი გამოკვლევებით დადასტურებულია მიკროელემენტების მნიშვნელოვანი როლი ე.წ. «თანდაყოლილი სიმახინჯეების» ჩამოყალიბებაში. იაპონელი მეცნიერების გამოკვლევებში ხაზგასმითაა აღნიშნული, რომ კადმიუმის, მანგანუმის, სპილენძის, თუთიისა და რკინის კომბინირებული ზემოქმედება მძიმედ აზიანებდა ნაყოფს და პრაქტიკულად არ ვნებდა დედის ორგანიზმს. კადმიუმი მთლიანად გადადიოდა პლანცეტაში და გროვდებოდა ნაყოფის თითქმის ყველა შესწავლილ ქსოვილში.

გარემოში მძიმე ლითონების მიმოქცევის სრული ციკლის შესწავლისა და მათი ადამიანზე უარყოფითი ზეგავლენის დადგენის მიზნით მოვიპოვეთ ინფორმაცია მდ. ფოლადაურის ხეობაში ლითონების მაღალ კონცენტრაციებთან დაკავშირებულ დაავადებათა სახეობებისა და მათი გავრცელების შესახებ.

ასევე დაზუსტებული იქნა ხეობაში მაცხოვრებელთა ზუსტი რაოდენობა

მოსახლეობის რაოდენობა

- წითელ სოფელში (ხატის სოფელი)-480, კაცი-239, ქალი-241
- შუა ბოლნისში (ინჯა-ოღლი) -618, კაცი-331, ქალი-287
- სამწვერისი-361

- ძველი-ბოლნისი (კაპანახჩი)-6766 კაცი-3387, ქალი-3379
- რაჭის-უბანი-795

მოსახლეობაზე მძიმე მეტალების უარყოფითი გავლენის დასადგენად 1999-2001 წლებში ჯანმთელობის დაცვის დეპარტამენტის (დავით წერეთელი, ქეთევან ნაკაიძე) მიერ ჩატარებული იქნა გამოკვლევები ბოლნისის რიონის სოფლებში: ქვეში, დარბაზი, ქვედა ბოლნისი, და სხვა. კვლევები მოიცავდა ინსტრუმენტალურ (ულტრასონოგრაფია, სპირომეტრია, ეკგ) და ლაბორატორიულ (სისხლის, შარდის და სხვა) კვლევას. ასევე ადამიანთა თმაში მძიმე მეტალების დადგენა ატომურ-აღსორბციული სპექტრო-ფოტომეტრის გამოყენებით. გამოკვლევა ჩატარდა 1450 ადამიანს (150).

შედეგებმა გვიჩვენეს, რომ ფონურთან შედარებით რაიონის მოსახლეობის თმაში კადმიუმის შემცველობა მაღალია (0.15-0.35; 0.79; 0.95), თუთიის (155-166; 234, 204), გამოკვლეულთა 47.8% თმაში ტყვიის შემცველობა 4-ჯერ უფრო მეტია. დაავადების სტრუქტურაში წამყვანი ადგილი უკავია სისხლის მიმოქცევის დაავადებებს-56.5 %, სუნთქვის ორგანოების დაავადებებს-27%, შარდსასქესო სისტემებს-30.3%. აღინიშნება ფარისებრი ჯირკვლის პათოლოგიათა გავრცელების სიხშირე, რაც ასევე გამოწვეულია მძიმე მეტალების მაღალი კონცენტრაციებით გარემოს დაბინძურებით.

ბოლნისის რაიონის სოფლების კაპანახში, წითელსოფელი და ქვემო ბოლნისი მამაკაცთა შორის ფარისებური ჯირკვლის პათოლოგიათა გავრცელება შეადგენს 23,2%-ს, ქალთა შორის 48,5%, მამაკაცებში კი 35,3%. ქალებში მამაკაცებთან შედარებით ფარისებური ჯირკვლის პათოლოგიათა განვითარების ფარდობითი რისკია 2,1.

ენდემიური ჩიყვის გავრცელების სტრუქტურაში წამყვანი ადგილი უკავია Ia ხარისხის ჩიყვს (ხვედრითი წილია 61,3%), შემდეგ მოდის Ib (ხვედრითი წილი _ 25,3%) და II ხარისხის ჩიყვი (ხვედრითი წილი _ 11,3%), იშვიათია III ხარისხის ჩიყვი (2,1%).

მოზრდილი მოსახლეობის გამოკვლეულ კონტიგენტში ქრონიკული ბრონქიტის გავრცელება შეადგენს 7,6%-ს. მამაკაცებში ქალებთან შედარებით ქრონიკული ბრონქიტის განვითარების ფარდობითი რისკი შეადგენს 6-ს.

არტერიული ჰიპერტენზიის გავრცელება მოზრდილ მოსახლეობაში შეადგენს 30,4%-ს.

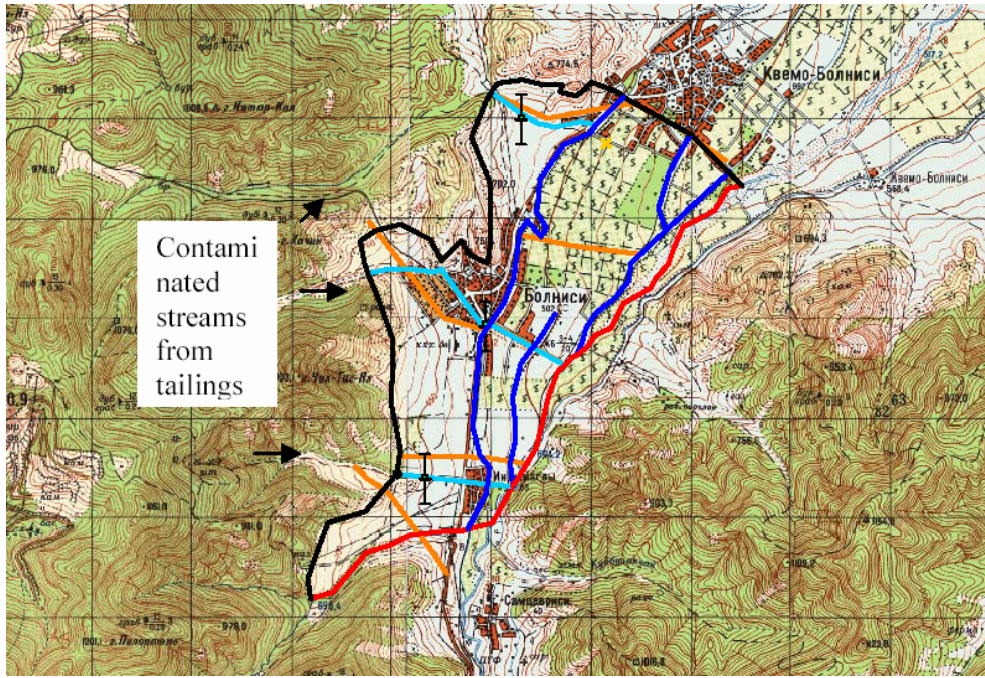
როგორც ვხედავთ, ცალსახად იკვეთება მიზეზ-შედეგოვრივი კავშირი მადნეულის პოლიმეტალური კომბინატის ეკოლოგიურად გაუმართავი ექსპლოატაციის გავლენისა ადამიანთა ჯანმთელობაზე.

§11. მოდელირება

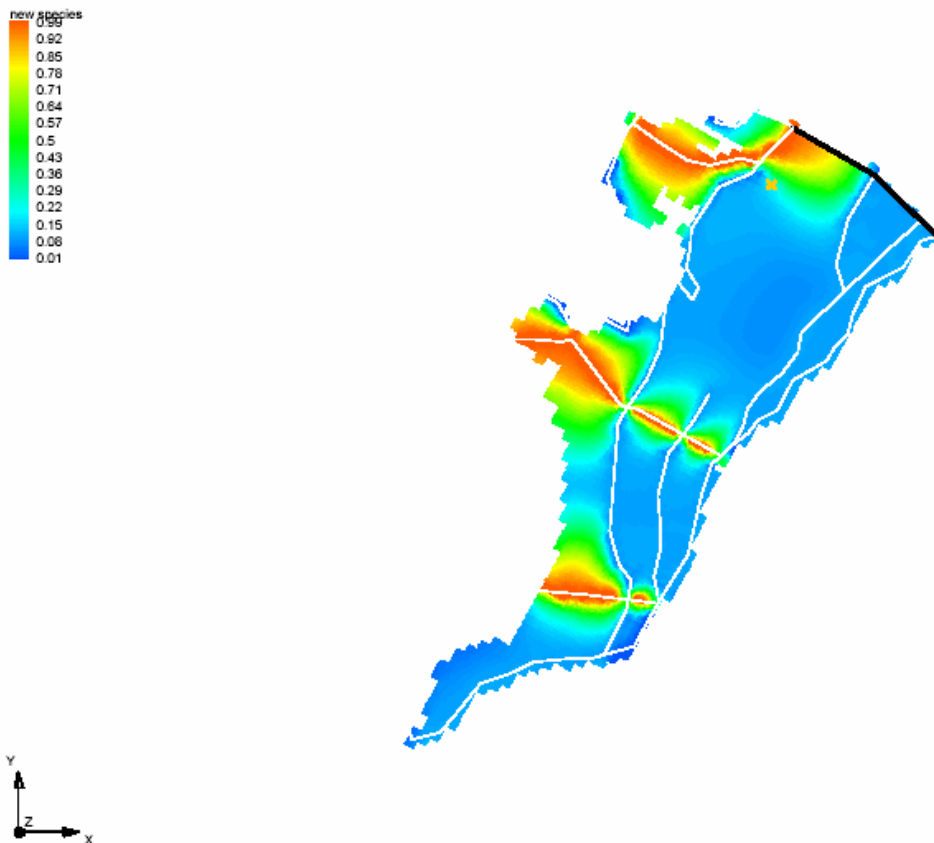
ამ ეტაპამდე ჩატარებული კვლევები (გეოლოგიური, გეოფიზიკური, ჰიდროგეოლოგიური და ჰიდროქიმიური), ემსახურებოდა მის ერთ-ერთ მთავარ მიზანს, ფოლადაურის ხეობის ჰიდროქიმიური მოდელის შესაქმნელად ბაზის მომზადებას. ამის შემდეგ განისაზღვრა მოდელის სასაზღვრო პირობები (145).

იმდენად, რამდენადაც ჩვენ გვინტერესებდა სანაყარის გარეცხვის შედეგად ფოლადაურის სავარგულების დაბინძურების მასშტაბების დაგენა, შესაბამისად შემოკონტურდა საკვლევი რაიონი. მისი დასავლეთი მხარე ჩაითვალა კვების არედ, ანუ დაბინძურებული ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების შემოდენის კონტურად. რამდენადაც პოლუტანტების გადატანა ხდება მდინარით და საირიგაციო სისტემებით, სამხრეთი და დასავლეთი მხარეები ჩაითვალა შედარებით წყალგაუმტარ კონტურებად. ჩრდილო საზღვარი გავლებული იქნა სოფ. ქვემო-ბოლნისის ჩრდილოეთით (ნახ №45). რადგანაც ზედა ცარცის ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტი ფაქტიურად არაა დაბინძურებული მძიმე ლითონებით, ამიტომ მეოთხეული ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტი შეირჩა როგორც საკვლევი ფენა მოდელირებისთვის. მისი სახურავი ჩაითვალა უწნეო ჰორიზონტის სახურავად, ხოლო საგები წყალგაუმტარ ფენად. მოდელში შეტანილი იქნა გაზომილი ჰორიზონტის მახასიათებელი ჰიდროდინამიკური (ფილტრაციის კოეფიციენტი, წყალგაცემა და წყალშემცველობა) კოეფიციენტები და ჩატარდა მოდელირება ამერიკული პროგრამული პაკეტის -PMWIN გამოყენებით.

ნახ №45. საკვლევი მოდელის კონტურები



ნახ. №46. მძიმე ლითონებით ფოლადურის დაბინძურების მოდელი

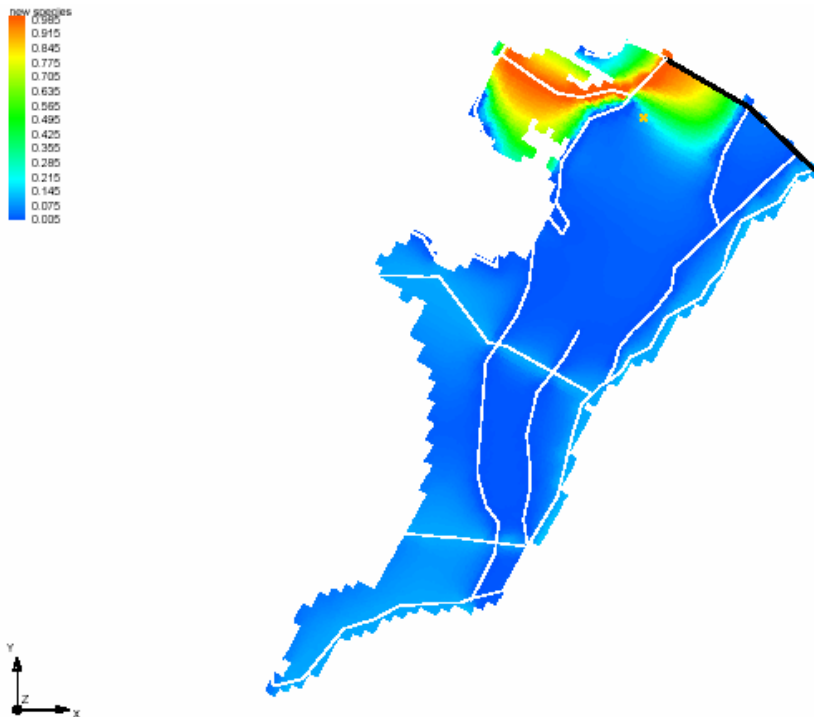


მოდელირების პროგრამები გამოყენებული იყო დაბინძურებულ ტერიტორიაზე ლითონების მიგრაციის მიმართულების, ზღვარისა და სიდიდის განსაზღვრისათვის. რაც ხელს შეგვეწყობს გარემოს მართვისას მაღალი რისკის ტერიტორიების

იდენტიფიკაციას, დამაბინძურებელი საშუალებისაგან მათ დაცვას და პროფილაქტიკური სამუშაოების დაგეგმვას.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, კარიერის სანაყარედან მიწისქვეშა და ზედაპირულ წყლებს ჩამოაქვთ დიდი მოცულობით მძიმე ლითონები, რომლებიც მდინარე ფოლადაურითა და საირიგაციო არხებით გადაიტანება და ილექება მაღალი ადსორბციის უნარის მქონე ალუვიურ და პროლუვიურ ნალექებში, რომლებზეც განთავსებულია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები. დაბინძურებული წყლის ნაკადი მთლიანად კვეთს ხეობას მთელ სიგანეზე და შესაბამისად დაბინძურება მოიცავს მთელი ხეობის ფართობს. ლითონთა შემადგენლობიდან და მათი კონცენტრაციებიდან გამომდინარე გამოთვლები ამტკიცებს, რომ მიმდინარე დაბინძურების ტემპით დაბინძურება შესაძლოა გაგრძელდეს საუკუნეების მანძილზე. ამავე დროს, გაიზრდება და უფრო თვალნათელი გახდება ჯანმრთელობის უარყოფითი ეფექტები

ნახ. №47. მოდელირების ერთ-ერთი სცენარი



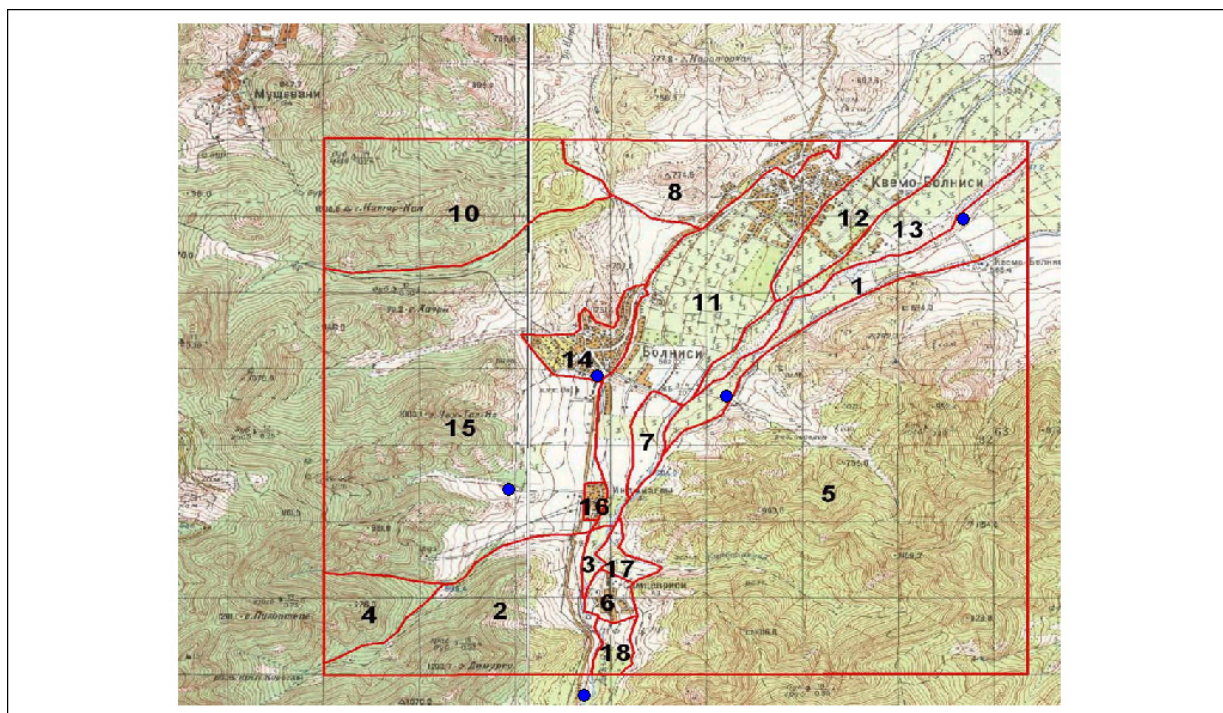
მოდელირებამ დაგვანახა, რომ არ არსებობს დაბინძურების შემსუბუქების რაიმე ბუნებრივი პირობა. აუცილებელია პროფილაქტიკური ღონისძიებების გატარება დაბინძურების მასშტაბების შესამცირებლად. შემუშავდა სცენარი, სადაც არსებული მძიმე ლითონებით დაბინძურების დონე დაწეულ იქნა 0.1 მგ/ლ-მდე, სანაყარედან

ჩამომდინარე ორ ლელეში. მოდელირების შედეგმა აჩვენა, რომ 5 წელიწადში შესაძლოა მიღწეულ იქნას ხეობაში კონცენტრაციების საგრძნობლად შემცირების ეფექტი. წინააღმდეგ შემთხვევაში მოსალოდნელი იქნება სიტუაციის გაუარესება (160,161).

§12. ეკოლოგიური მონიტორინგი

დაბინძურების მასშტაბის დროში ცვლილებისა და ხასიათის შესწავლის მიზნით ორგანიზება გაუკეთდა მძიმე ლითონების კონცენტრაციების მონიტორინგს. დაკვირვებები წარმოებდა გერმანული წარმოშობის ნეიტრონული გეოფიზიკური ხელსაწყოს გამოყენებით. დაკვირვებების პუნქტის შერჩევის მიზნით ჩატარდა საცდელი გაზომვები სხვა და სხვა პუნქტებში (ნახ. №48).

ნახ. №48. პუნქტები სადაც ჩატარდა საცდელი გაზომვები.



საბოლოოდ ინფორმაციულად შერჩეულ პუნქტში, სანაყარედან ჩამომდინარე ლელის შეერთების ადგილი მდ. ფოლადაურთან, გაგრძელდა მონიტორინგი. მონიტორინგის დროს დისკრეტულად (რამდენიმე დღეში ერთხელ) იზომებოდა მძიმე ლითონების კონცენტრაციები ზედაპირულ წყალში.

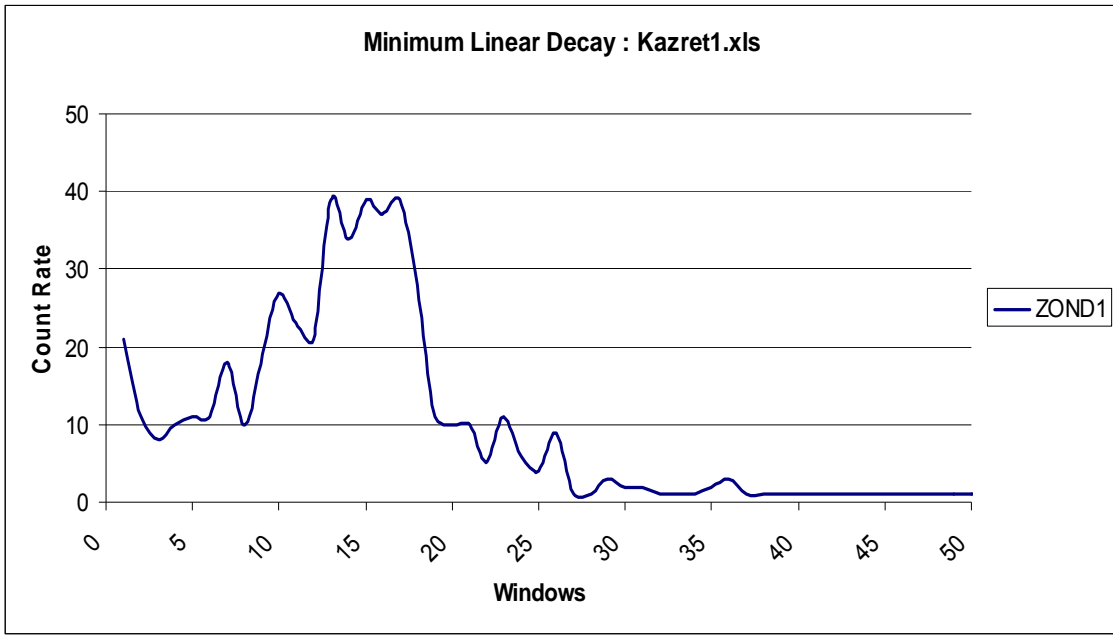
ნახ. №49 სამონიტორინგო ნეიტრონული ხელსაწყოს ტესტირების პროცესი



ნახ. №50 სამონიტორინგო ხელსაწყოს მიმღები ნაწილი



გრაფ. №11 ხელსაწყოს ჩანაწერი

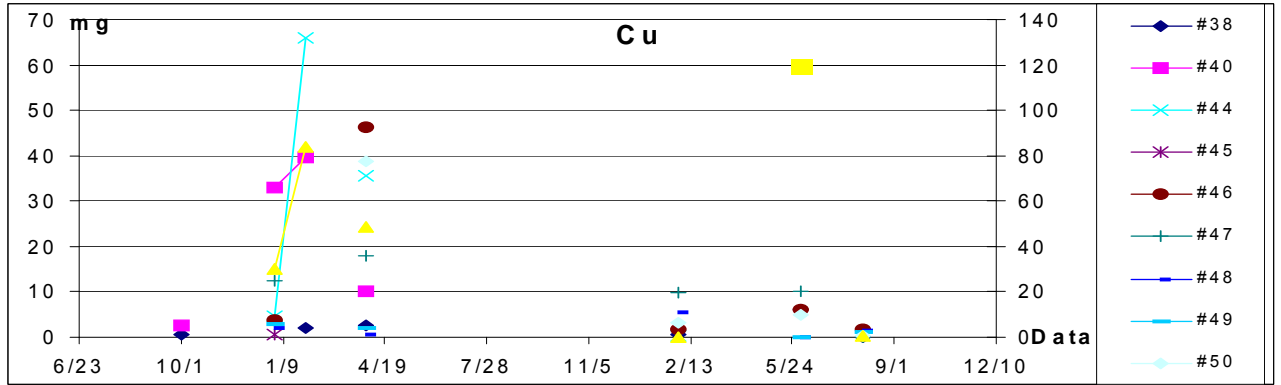
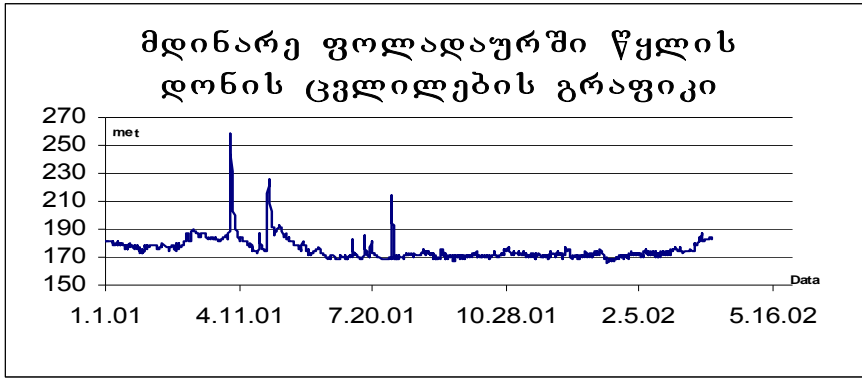


ცხრილი №12 ნეიტრონული ხელსაწყოთი მიღებული მონაცემების ნიმუში

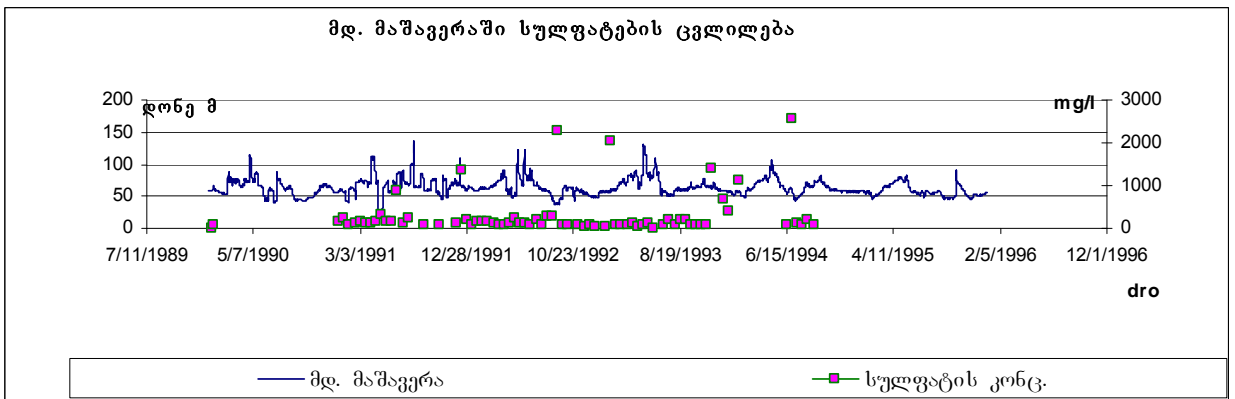
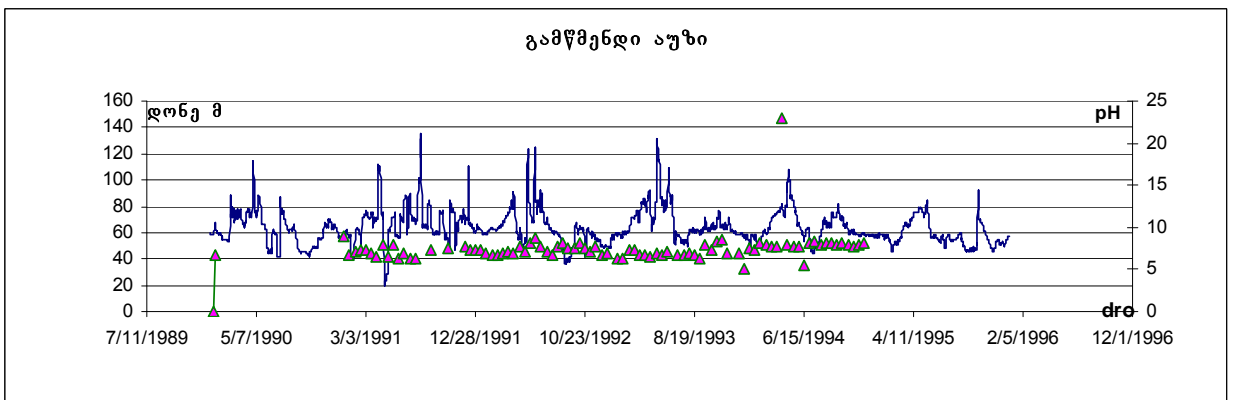
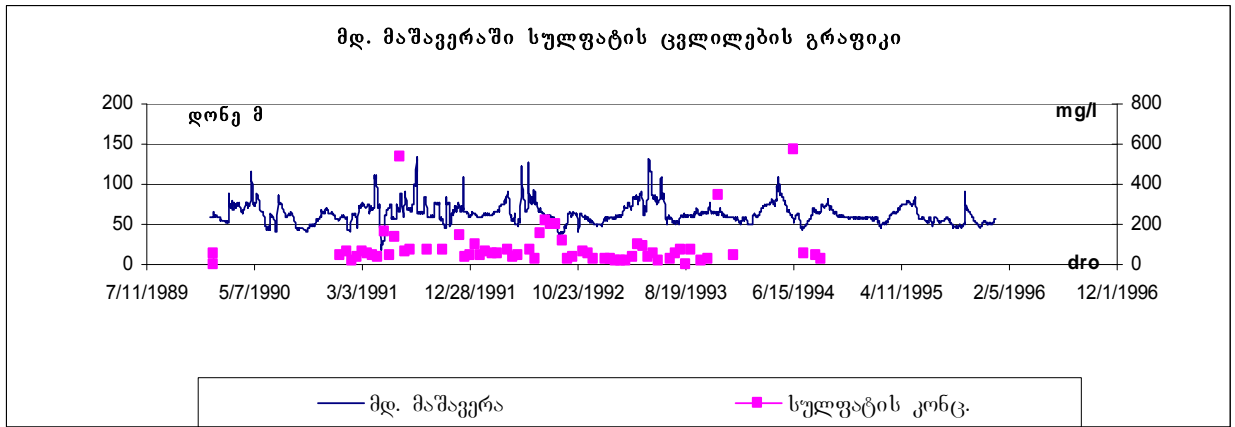
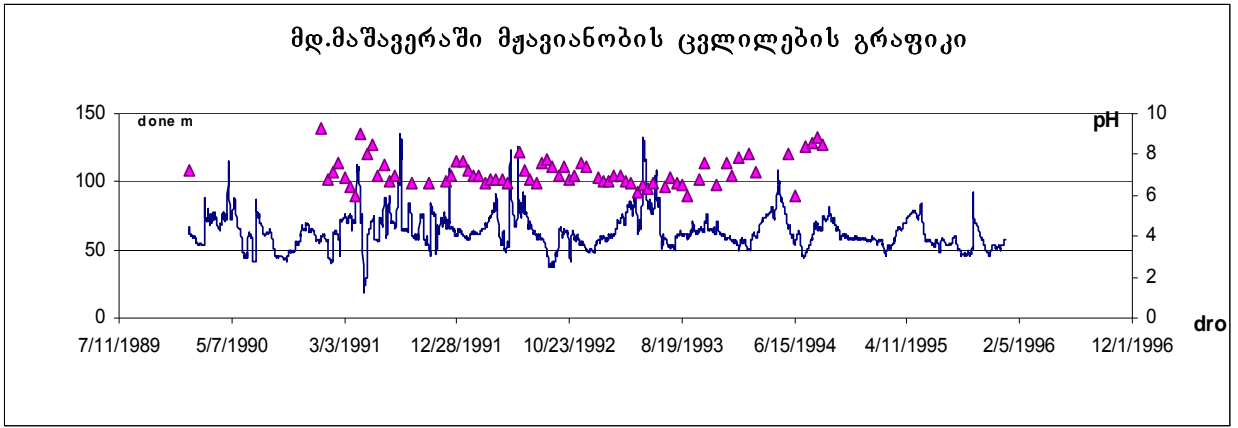
1 ზონდი			ზონდი				
15	20	25	5	10	15		
58	45	26	30	14	9	კაპანახი	8.08.2003
54	49	29	41	20	8	კაზრეთი	3.02.2003
60	62	45	43	19	9	კაზრეთი	8.08.2003
63	62	51	45	18	10	აზრეთი 2	8.08.2003
55	53	36	38	16	8	აზრეთი 3	8.08.2003
57	58	44	43	18	9	აკის უბან	8.08.2003
54	59	40	42	16	8	სუფთა	8.08.2003
ილენძი	რკინა	იუთია	ილენძი	ადაგი	ადაგი		

როგორც მონიტორინგის მასალებმა დაგვანახა, კონცენტრაციების დროში ცვლილება მნიშვნელოვნადაა დაკავშირებული ნალექიანობასთან, შესაბამისად ფუჭი ქანების ატმოსფერული ნალექებით გარეცხვის ინტენსიობასთან და მდინარეების წყალუხვობასთან (გრაფ. №12). აღნიშნული პუნქტი შემდგომში ყველაზე შესაფერისი ადგილია გამწმენდი სამუშაოების ორგანიზაციისათვის.

ნახ. №12 მდინარე ფოლადაურში სპილენძის კონცენტრაციის ცვლილების კავშირი ნალექების ინტენსიობასთან



ანალოგიური კავშირ-ურთიერთობები დასტურდება კაზრეთის ხეობაში წინა პერიოდში ჩატარებული ანალიზების მიმართ. კერძოდ, კაზრეთისა და მაშავერას ხეობაში შპს 'გეოლოგის' მიერ 1990-95 წლებში, საკონტროლო პუნქტებზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური მონიტორინგის შედეგები კორელირდება ნალექიანობასთან. (გრაფ. №13). გარდა ამისა, ბუნებრივ პროცესებით მაშავერას დაბინძურებას, ემატება კარიერის წყლის ხელოვნურად "გაჟონვა" -ჩაღვრა მდინარეში, რისი მიზეზიცაა ქარხნის მეპატრონეთა უპასუხისმგებლობა და საწარმოს ტექნოლოგიური არასრულყოფილება.



დღეისათვის ნათელია, რომ მადნეულის საბადოს ექსპლუატაცია უნდა გაგრძელდეს, რადგანაც მას ძალუმს მნიშვნელოვანი როლი შეასრულოს საქართველოს ეკონომიკის აღორძინებაში, მაგრამ შესაბამისი ზომების მიუღებლობის შემთხვევაში გარემოს დაბინძურების ზემოთ აღნიშნული ტენდენცია შეიძლება შეუქცევად პროცესად იქცეს.

დაბინძურებული წყლიდან მძიმე და ფერადი ლითონების ამოღების პრობლემის გადაწყვეტა მეტად მნიშვნელოვანია, როგორც ეკოლოგიურად სუფთა გარემოს შენარჩუნებისთვის, ასევე დიდი რაოდენობით ლითონების მისაღებად. ჩვენს მიერ მოპოვებული იქნა და გადამუშავდა ინფორმაცია მძიმე ლითონებისგან ზედაპირული წყლის გაწმენდის ეკონომიური მეთოდის შესარჩევად. ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ მეთოდად შეიძლება ჩაითვალოს მათი სორბცია სხვა და სხვა ადსორბენტებზე. მსგავსი მეთოდი, დარიშხანისა და მძიმე ლითონების ამოღებისა, დაამუშავეს ჩვენი კოლეგების ჯგუფმა უნგრეთიდან და ჰოლანდიიდან. ეს მეთოდი ხასიათდება მცირე დანახარჯებითა და ეფექტიური ტექნოლოგიით, რომელიც პრაქტიკულად წარმოადგენს მცირე საამქროს და შეიძლება გამოყენებული იქნას ცალკეულ სამეურნეო სუბიექტებისა და მუნიციპალიტეტის მიერ (ნახ. №51).



აღნიშნული მეთოდი ითვალისწინებს იაფი ბუნებრივი ადსორბენტების, ცოლიტების გამოყენებას. ამასთან, ბუნებრივი ცოლიტების გამოყენების სფერო შეუზღუდავია მისი უდიდესი მარაგების, ყოველგვარი დამუშავების გარეშე მისი

შესაძლო გამოყენების, იაფი, უნიკალური იონური გაცვლისა და სორბციის უნარის გამო.

ბუნებრივი ცეოლიტები წარმოადგენენ კრისტალურ ალუმოსილიკატურ მინერალებს, რომლებიც კათიონების სახით ტუტე და ტუტემიწა ლითონებს შეიცავენ. ცეოლიტების გამოყენებაზე დაფუძნებულ ტექნოლოგიურ სქემებს წარმატებით ახორციელებენ მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში ნიადაგებისა და წყლის მავნე მინარევებისაგან გასაწმენდად.

ბუნებრივი ცეოლიტები თავისი სპეციფიური კრისტალური აღნაგობის გამო ხასიათდებიან განვითარებული მიკროფორული სტრუქტურით და ავლენენ უნიკალურ მოლეკულურ-საცრული ადსორბციისა და იონმიმოცვლის უნარს. ამ თვისებების გათვალისწინებით მათ წარმატებით იყენებენ საწარმოო ჩამდინარე წყლებისა და გამონახობლქვი აირების მავნე ნივთიერებებისაგან გასაწმენდად. ამას გარდა, ცეოლიტები გამოიყენება სოფლის მეურნეობაშიც: მეცხოველეობაში, როგორც საკვების დანამატი; მემცენარეობა-მებაღეობაში, როგორც სასუქი, ან მინერალური სასუქის დანამატი.

ბუნებრივი ცეოლიტები ამჟღავნებენ მაღალი სელექტიურობას ისეთი მეტალების კათიონების მიმართ, როგორიცაა: ცეზიუმი, სტრონციუმი, ნიკელი, კადმიუმი, ტყვია, სპილენძი, თუთია, კობალტი, კადმიუმი. ეს თვისება შესაძლებელს ხდის ბუნებრივი ცეოლიტების გამოყენებას მძიმე მეტალებით დაბინძურებული ბუნებრივი წყლებისა და ნიადაგების გასაწმენდად. კერძოდ, ჩვენს მიერ ჩატარებულმა გამოკვლევებმა ცხადყვეს, რომ ბუნებრივი ცეოლიტების ფენაში მძიმე მეტალებით დაბინძურებული წყლის გატარების შემდეგ მასში მკვეთრად (4-10 ჯერ) მცირდება მძიმე მეტალების შემცველობა. ანალოგიური შედეგებია მიღებული ნიადაგების ბუნებრივი ცეოლიტებით დამუშავებითაც. ამავე დროს შესაძლებელია მათი ერთდროული გაწმენდაც. შესაძლებელია ცეოლიტის ფილტრების პერიოდული გაწმენდა ლითონების ამოღების შემდგომ. ამ მეთოდის დასაწარმოებლად საქართველოში საჭიროა შესაბამისი დამატებითი სამუშაოების ჩატარება.

§13 ძირითადი შედეგები

- დღემდე, გარემოს გაჭუჭყიანების საკითხებთან დაკავშირებით მადნეულის რეგიონის განხილვისას ძირითადი აქცენტი გადატანილი იყო უშუალოდ კარიერის დასავლეთიდან მიმდებარე მდინარეებზე - კაზრეთულასა და მაშავერაზე.
- მდინარე ფოლადაურში ჩატარებულმა სისტემურმა გეოფიზიკურმა და ჰიდროგეოლოგიურმა კვლევებმა დააფიქსირა არა ნაკლებ მძიმე ეკოლოგიური სიტუაცია. ტოქსიკური ლითონების ანომალურად მაღალი შემცველობები აღინიშნება სასიცოცხლო მნიშვნელობის ეკოსისტემებში: ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში, ნიადაგებში და სასოფლო სამეურნეო პროდუქტებში.
- მოდელირებამ გამოავლინა დაბინძურების წყაროები, დაადასტურა გარემოს დაბინძურების მძიმე მდგომარეობა და არასასურველი პერსპექტივა- მდგომარეობის მკვეთრი დამძიმების შესაძლებლობა შემდგომ წლებში;
- ნეიტრონულმა მონიტორინგმა დააფიქსირა ფოლადაურის ხეობის დაბინძურების კავშირი ფუჭი ქანების ატმოსფერული ნალექებით გარეცხვის ინტენსივობასთან;
- შეირჩა საკვანძო უბნები დაბინძურებული წყლის გაწმენდის ორგანიზაციისთვის და შემუშავდა რეკომენდაციები მის განსახორციელებლად ბუნებრივი ცეოლიტების გამოყენებით.

მეორე თავი - თბილისის თერმული რაიონის ჰიდროდინამიკური ციფრული მოდელი და სითბური ველის განაწილების კანონზომიერებები

§1. შესავალი

თბილისის რეგიონი მდებარეობს კავკასიის მაღალი სეისმოაქტიურობის ზონაში, ტექტონიკური ფილაქნების კონტაქტზე, სადაც ამ ბოლო დროს მოხდა M-4.5 სიძლიერის მიწისძვრა, რომელმაც გამოიწვია მსხვერპლი და მნიშვნელოვანი ნგრევები. დღეისათვის, რეგიონში დაფიქსირებულია სეისმურობის ზრდა და არ არის გამორიცხული ძლიერი მიწისძვრების განმეორება. სიტუაცია მძიმდება ეკოლოგიურ ასპექტშიც, რადგან ამ ტერიტორიაზე მიმდინარეობს თერმული და ნავთობიანი ჰორიზონტების ექსპლუატაცია.

გეოლოგიური თვალსაზრისით თბილისი განლაგებულია აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემაში, რომელიც განმხოლოებულია სეისმოაქტიური გეოლოგიური რღვევებით და რომელთა ნაწილი თბილისის ცენტრალურ უბანში მდებარე ბალნეოლოგიური კურორტის გოგირდიანი წყლების დრენაჟებს წარმოადგენს. ამ თერმალურ მინერალურ წყლებს - “გოგირდის აბანოებს” ჰქონდათ სპეციფიკური მნიშვნელობა ქალაქის მთელი 1500 წლიანი ისტორიის მანძილზე. ამ აბანოების წყლის ტემპერატურა მერყეობს 40-50 °C შორის. გოგირდ-წყალბადის შემცველობის გამო იგი გამოიყენება თერაპიული მიზნებისა და დასვენებისთვის. კურორტი და მის ბაზაზე მომუშავე აბანოები დაკავშირებულია მტკვრის ხეობაში შუა ეოცენის ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტის ზედაპირზე გამოსავალთან. ვულკანური ქანებით წარმოდგენილი ეს ჰორიზონტი ფართოდაა გავრცელებული რეგიონში. ქალაქის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში (ლისის უბანი) გაბურღულია რამდენიმე ჭაბურღილი, რომლებიც იძლევიან გოგირდიან თერმალურ წყალს (60-70 °C). და გამოიყენება ქალაქის თბომომარაგებაში. დაგეგმილია ბურღვის გაგრძელება, მთელი გეოთერმული ენერჯის 30-40 % გამოსაყენებლად (7).

დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ეს ჰორიზონტი იძირება უფრო ახალგაზრდა ნალექების ქვეშ. 20-30 კმ დაშორებით ამ უბნიდან, ანტიკლინურ სტრუქტურებში ნაპოვნი იქნა ნავთობი. 80- იან წლებში მისმა ინტენსიურმა ექსპლოატაციამ გამოიწვია ცენტრალური უბნის რესურსების მკვეთრი შემცირება, დონეების დაცემა და საერთო ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესება. ამის მიზეზი შეიძლება გამხდარიყო დაბინძურებული გრუნტის წყლების შემოდენა მინერალური წყლების არეალში. ამასთან, მასათა მკვეთრი გადანაცვლება შეიძლება მიზეზი გამხდარიყო სეისმურობის აქტივიზაციისა (59).

დღემდე ამ სამ უბანს შორის (“ლისის”, “ცენტრალური” და “ნავთობიანი”) ჰიდროდინამიური კავშირები სრულყოფილად შესწავლილი არაა, რაც დეტალური რეჟიმული დაკვირვებების გარეშე შეუძლებელს ხდის ბალნეოლოგიური, თერმალური წყლებისა და ნავთობშემცველი უბნების ეკოლოგიურად გამართლებულ და რაციონალურ ექსპლუატაციას (35).

მიწისქვეშა ჰიდროთერმული რესურსების სითბური ენერჯის გამოყენება თერაპიული მიზნებისა ან სითბოს მისაღებად ტრადიციულია მთელს მსოფლიოში, თუმცა, საჭიროებს ამ გარემოს დეტალურ ჰიდროდინამიკურ და ჰიდროქიმიურ

შესწავლას. როგორც წესი, ასეთი ჰიდროთერმული რესურსების სამგანზომილებიანი მოდელირებისას ითვალისწინებენ აუზის როგორც ჰიდროდინამიკურ, ასევე სითბურ თავისებურებებს.

ითვლება, რომ სამ-განზომილებიანი ციფრული მოდელირებისას, ჰიდროდინამიკური და თერმული გრადიენტების შერჩევა მეტად მნიშვნელოვანია დაბალი სითბოტევადი ჰიდროთერმული აუზების სწორი რეჟიმისა და ეკოლოგიურად გამართლებული ექსპლუატაციის პირობების დადგენისას. ამავე დროს, გეოთერმული ანამალიების არქონისას, მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკური რეჟიმის მოდელირებისას, სამ-განზომილებიანები ხშირად იცვლება უფრო მარტივი ორ-განზომილებიანებით. ეს არ ვრცელდება ჰიდროთერმულ აუზებზე, სადაც არსებული დამაბულებები განაპირობებენ მიწისქვეშა ნაკადის კვებისა და მისი მოძრაობის პირობებს. როგორც წესი, ამისთანა გარემოში, მიწისქვეშა წყლების ნაკადი დაკავშირებულია არა მარტო ჰიდროდინამიკურ გრადიენტთან, არამედ ასევე ტემპერატურულ გრადიენტებთანაც, რომლებმაც შეიძლება განაპირობონ სიმკვრივეთა განსხვავებები ნაკადში და მისი მოძრაობა. გასათვალისწინებელია აუზის გეოლოგიური თავისებურებები. ხშირად, გეოთერმული ანამალიები დაკავშირებულია ტექტონიკურად აქტიურ ზონებთან, სადაც ხდება ტოპოგრაფიული სიმაღლეების მკვეთრი ცვლილებები და არსებული გეოლოგიური რღვევები და ნაოჭები განაპირობებენ წნევათა გრადიენტების წარმოქმნას. სიღრმეთა ასეთი სხვაობები სრულ კორელაციაშია ტემპერატურულ და შესაბამისად ნაკადის მამოძრავებელ, სიმკვრივეთა სხვაობებთან,

შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჰიდროთერმულ სისტემებში სამი მთავარი პირობაა წარმოდგენილი: ჰიდროთერმალური გრადიენტი, ტემპერატურული გრადიენტი და გეოლოგიური სტრუქტურა. ასე რომ, გარდა იმისა, რომ მიწისქვეშა წყლების მოდელი უნდა მოიცავდეს თერმულ გრადიენტების ეფექტს, ასევე სამ-განზომილებიანი მოდელი ზუსტად უნდა ასახავდეს გეოლოგიურ სტრუქტურას.

დაბალსითბოტევადი რესურსების შედარებით დაბალი ეკონომიური ღირებულება და ჰიდროთერმული აუზების გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური თავისებურების შესწავლის სირთულე განაპირობებენ მცირე მოთხოვნას ამ აუზების სამ-განზომილებიანი მოდელების შემუშავებაზე. ღრმა ცირკულაციის მიწისქვეშა წყლების მოდელირებისთვის საჭირო ჰიდროგეოლოგიური პირობების შესწავლა

მოითხოვს დიდ ეკონომიკურ დანახარჯებს, რაც მიუღებელია კურორტების ბიუჯეტებისა და ასეულობით შენობის თბომომარაგების სისტემებისთვის.

თუმცა, დაბალტბოტევადი ჰიდროთერმული აუზების ექსპლუატაცია მეტად გავრცელებულია რეგიონალურ და ლოკალურ ეკონომიურ საქმიანობაში, რაც განპირობებულია მისი როგორც განახლებადი ენერჯის წყაროს სიიაფით და ეკოლოგიური სისუფთავით. რომ დავიცვათ რესურსები და სწორად ვმართოდ ისინი, საჭიროა რესურსების სწორედ შეფასება და ექსპლოატაციის სწორი სტრატეგიის განსაზღვრა. ეს შესაძლებელი ხდება სამ-განზომილებიანი ციფრული მოდელის მეშვეობით ჰიდრავლიკური და ჰიდროთერმული პირობების მოდელირებისას.

1999-2002 წლების განმავლობაში ავტორთა ჯგუფის მიერ ჩატარებული იქნა კვლევები ფონდი "ინკო-კოპერნიკუსის" მიერ დაფინანსებული გრანტით, რათა დადგენილიყო თბილისის თერმალური რეგიონის საზღვრები და კავშირ-ურთიერთობები ცალკეულ უბნებს შორის, ასევე შექმნილიყო აღნიშნული რეგიონის ჰიდროდინამიკური მოდელი, რაც იძლევა საშუალებას განგვესაზღვრა ნაკადის ჰიდროდინამიკური და ჰიდროთერმული პირობები, რაც რესურსების დაცვისა და მისი ეკოლოგიურად გამართლებული მართვის გარანტიაა (159).

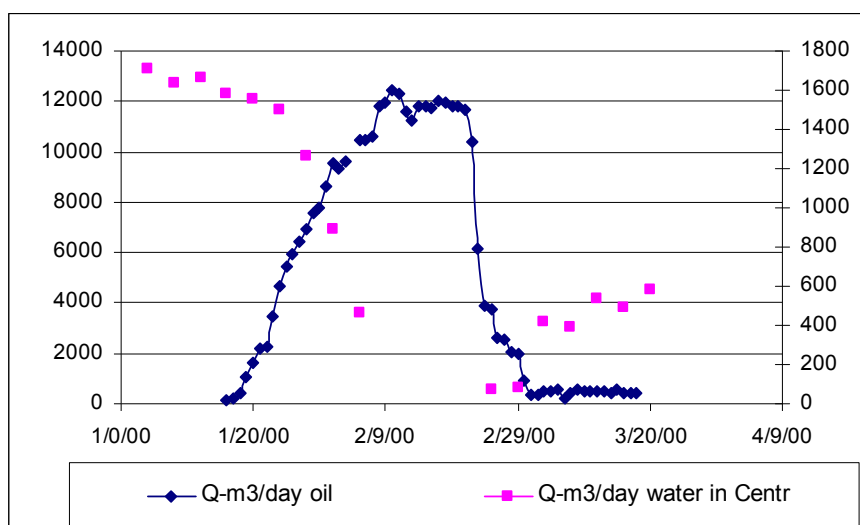
§2. წინა პერიოდში ჩატარებული კვლევები

ცხელი წყლის ბუნებრივ გამოსავლებთან, რომლებიც ამჟამად "ცენტრალური უბნის" სახელით არის ცნობილი, საძიებო სამუშაოები დაიწყო 1932 წ-ს. 1957 წლამდე გაყვანილი იქნა 8 ჭაბურღილი, რომელთა საშუალებითაც 40⁰-43⁰C ტემპერატურის მქონე წყლის საერთო ხარჯი გაიზარდა დღეღამეში 3500 მ³-მდე. საბადოს გაფართოებისა და მაღალტემპერატურული წყლის დამატებითი რესურსების გამოვლენის მიზნით 1953-1956 წლებში, მტკვრის ორივე ნაპირზე დამატებით გაყვანილი იქნა 7 ჭაბურღილი, რომლებშიც იმავე წყალშემცველი ჰორიზონტიდან მიიღეს 45⁰-50⁰C ტემპერატურის მქონე განსხვავებული ტიპის წყალი. ცენტრალურ უბანზე (მტკვრის მარჯვენა ნაპირზე) მოხდა წყლის გადანაწილება ჭაბურღილებს შორის, ხოლო მარცხენა ნაპირზე დამატებით მიიღეს 1500 მ³/დღ ოდენობის თერმული წყალი.

1969 წელს, ლისის ანტიკლინის თაღურ ნაწილში, ნავთობის №1 ღრმა (2556 მ) ჭაბურღილში, პირველად ცენტრალური უბნის გარეთ მიღებული იქნა შედარებით მაღალტემპერატურული (57°C) იმავე ტიპის წყალი.

1970 წლიდან, საგანგებოდ თერმულ წყალზე, მიებას ანხორციელებდა სამმართველო "საქბურგეოთერმია". 1982 წლამდე ქალაქისა და მისი შემოგარენის ფარგლებში გადაყვანილი იქნა 1867 დან 3702 მ-მდე. სიღრმის 8 ჭაბურღილი. ქვედა და შუაეოცენური ასაკის ვულკანოგენური თერმოწყალშემცველი ჰორიზონტიდან მიღებული იქნა $52^{\circ}\text{--}74^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის წყალი. ბურღილების დებიტი შეადგენდა 163 მ^3 დან 6000 მ^3 /დღელამეში.

80-იან წლებში ცენტრალური უბანზე, "ბალნეოლოგიური" კურორტის ჭაბურღილებში შემცირდა ხარჯები და ბოლოს კატასტროფიულად დავარდა დონეები. ამის მიზეზი შეიძლება ყოფილიყო ამ რაიონში მეტროპოლიტენის მშენებლობა, რომლის დროსაც დარღვეული იქნა შუა ეოცენის ძირითადი წყალშემცველი ჰორიზონტის მთლიანობა და რასაც შეიძლება გამოეწვია წნევების გადანაწილება და თერმალური წყლის ნაკადის გადადენა ჰიდროგეოლოგიური "ფანჯრების" მეშვეობით. გარდა ამისა, თბილისის რეგიონის აღმოსავლეთ დაძირვის ზონაში შუა ეოცენის წყალშემცველ ჰორიზონტში განლაგებული ნავთობიანი უბნების ინტენსიურმა ექსპლუატაციამ გამოიწვია პლასტური წნევის მკვეთრი დაცემა დიდ ფართობზე და შესაბამისად თერმალურ უბნებში ხარჯების შემცირება. (გრაფ. №14)



მინერალური წყლების წნევის დაცემას, როგორც წესი თან სდევს მის არეალში მტკნარი, დაბინძურებული გრუნტის წყლების შემოჭრა და ეკოლოგიური სიტუაციის მკვეთრი დამძიმება. ამის შედეგად ბალნეოლოგიურმა კურორტმა და ცნობილმა ისტორიულმა "გოგირდის" აბანოებმა ფაქტიურად შეწყვიტეს ფუნქციონირება.

აღნიშნული ფაქტორების გავლენის შესწავლისა და თერმული წყლების ახალი რესურსების გამოვლენის მიზნით 1984-85 წლებში "საქეოლოგიის" მიერ "ცენტრალური უბნის" მიდამოებში ჩატარდა საძიებო სამუშაოები, რომლის დროსაც გაყვანილი იქნა 400-დან 3000 მ-მდე სიღრმის 11 ჭაბურღილი. მათგან ორში (№27 და №28) მიიღეს 39⁰-41⁰C ტემპერატურის წყალი.

ძიების შედეგად თბილისის თერმული წყლების საბადოზე, რომელსაც პირობითად შეიძლება ვუწოდოთ "დიდი თბილისი", გამოიყო სამი ერთმანეთისაგან იზოლირებული უბანი: ცენტრალური უბანი – ძველი გამოსავლებისა და კურორტის მიმდებარე მიდამო, ლისის უბანი – ლისის ტბის შემოგარენი და საბურთალოს უბანი (ვაკე-საბურთალოს რაიონი). ცალკეული უბნის შიგნით დადგენილია ჭაბურღილებს შორის მჭიდრო ჰიდროდინამიური კავშირი, ხოლო უბნებს შორის ჰიდროდინამიური ურთიერთკავშირის ბუნება ჯერჯერობით გაურკვეველია. არ არის გამორიცხული მომავალი საძიებო სამუშაოების შედეგად ასეთი უბნების რიცხვის გაზრდა.

დღეისათვის ცენტრალურ უბანზე მიღებული დაბალტემპერატურული წყალი გამოიყენება თბილისის ბალნეოლოგიური კურორტისა და ჰიგიენური აბანოების მიერ. ლისის (ჭაბურღილები 5-ტ, 7-ტ, 8-ტ) და საბურთალოს (ჭაბურღილები 1, 4-ტ, 6-ტ) უბნების მაღალტემპერატურული (57-74⁰C) წყალი, საერთო რაოდენობით 3800 მ³/დღ-ში, გამოიყენება მოსახლეობისა და დაწესებულებების გათბობისა და ცხელწყალმომარაგებაში. აღსანიშნავია, რომ სამივე უბნის თერმული წყალი ერთნაირი შედგენილობისაა: დაბალმინერალიზებული (0,19-0,26 გრ/ლ), ტუტე რეაქციის, სულფატურ-ქლორიდულ-კარბონატული ტიპის, გოგირდწყალბადის შემცველობით.

ლისის უბნის ექსპლუატაციის 33 წლიანმა გამოცდილებამ დაგვანახა, რომ არსებული რეჟიმით (ჭაბურღილი-მომხმარებელი-კანალიზაცია) თერმული წყლების გამოყენება იწვევს პროდუქტული ჭების დებიტის მონოტონურ შემცირებას, რადგან მოპოვებული წყლის რაოდენობა ჭარბობს მიწისქვეშა რეზერვუარის ბუნებრივი შევსების (კვების) ტემპს.

§3. თბილისის თერმალური უბნის ბუნებრივი პირობები

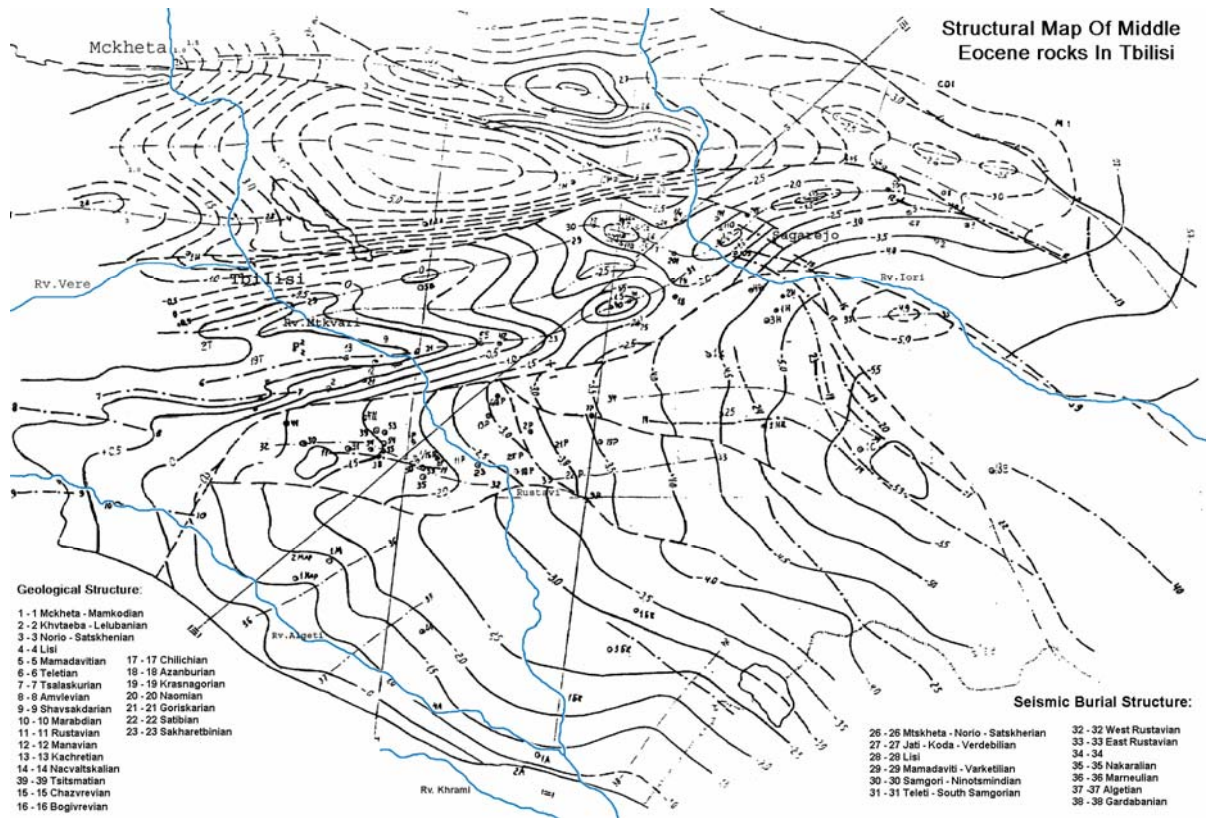
თბილისი ადმინისტრაციულად მდებარეობს აღმოსავლეთ საქართველოში და განლაგებულია მდ. მტკვრის ორივე ნაპირზე, ზღვის დონიდან 410-730 მ-ს სიმაღლეზე. ტერიტორია გახსნილია აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო დანარჩენი მხარეებიდან შემოსაზღვრულია მთებით. დასავლეთი ნაწილი ხასიათდება ეროზიული ტექტონიკური რელიეფით, რომლის სიმაღლეები მერყეობს ზღვის დონიდან 2000-3000 მეტრის ფარგლებში, ხოლო აღმოსავლეთი შედარებით დაბალი 300-1000 ნიშნულებით, მოსწორებული დაბლობით და ზოგან აკუმულაციური რელიეფით, კლიმატურად მიეკუთვნება გარდამავალ ოლქს სუბტროპიკული კონტინენტური კლიმატიდან ზღვიური კლიმატისაკენ. ნალექების საშუალო რაოდენობა არ სცილდება 300-700 მმ წელიწადში.

§4. გეოლოგიური და ტექტონიკური პირობები

საქართველოს ტექტონიკური აგებულების (23) შესაბამისად თბილისის რეგიონი მიეკუთვნება აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის სამხრეთ ზონას, რომელიც დასავლეთით გადადის ასპინძა-მანგლისის ქვეზონაში, ხოლო ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან იგი ესაზღვრება საქართველოს და ართვინ-ბოლნისის ბელტებს. მისი სამხრეთი საზღვარი მკვეთრად გაიდევნება თელეთის ანტიკლინის სამხრეთი ფერდის გასწვრივ.

თბილისის რეგიონის ფარგლებში, სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ განლაგებულია თელეთის, თაბორის (მამადავითის) ლისის და მცხეთის ანტიკლინები და მათ შორის კრწანისის, საბურთალოს და დიღმის სინკლინები. ყველა აღნიშნული ნაოჭები ვრცელდება განედურად და იძირებიან დასავლეთიდან აღმოსავლეთით 10-15°.

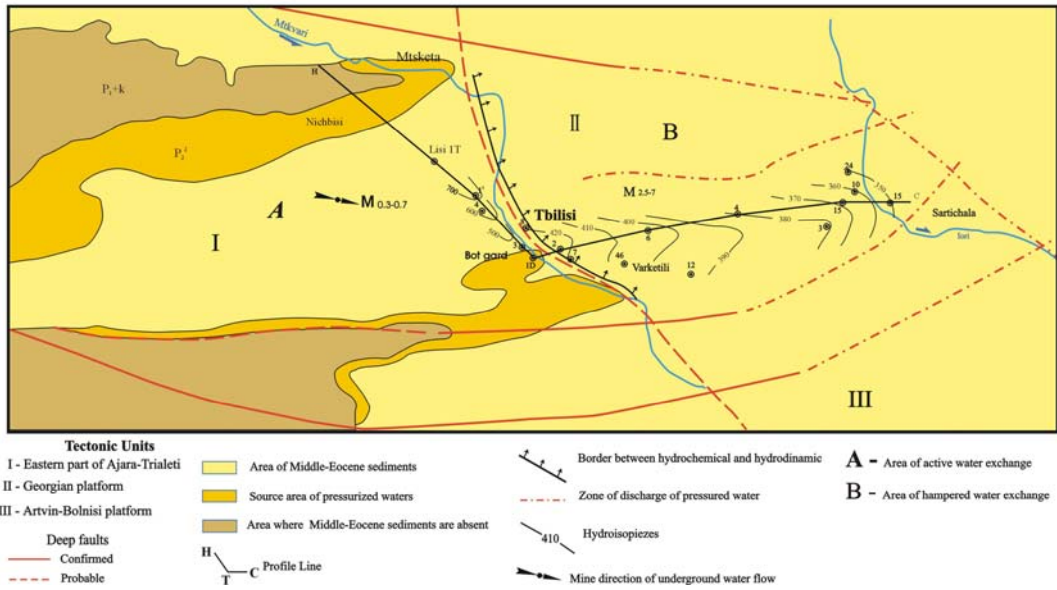
ნახ. 52 სტრუქტურული რუქა



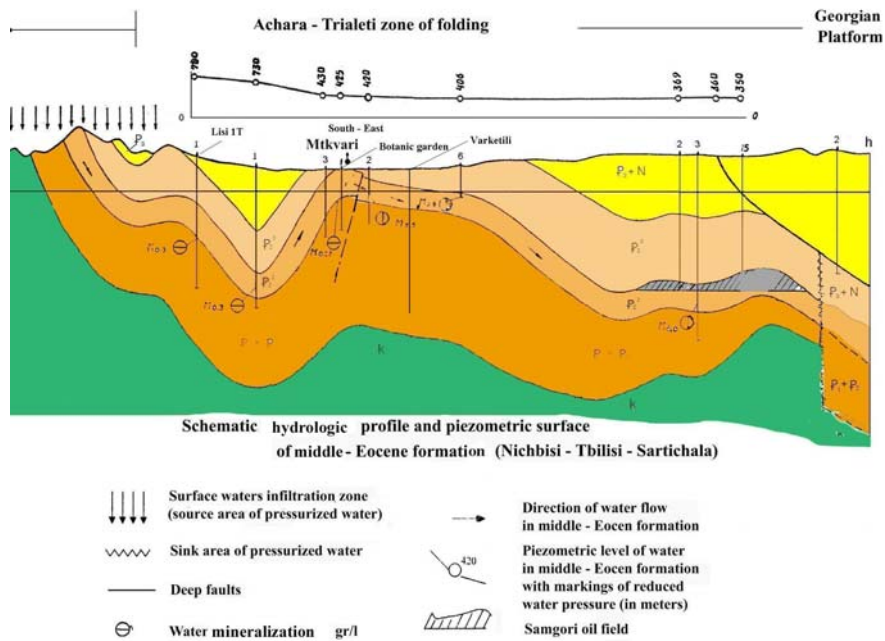
გეოლოგიური თვალსაზრისით რეგიონი მიეკუთვნება აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის დაძირვის სამხრეთი ზონის სართიჭალის ქვეზონას. მის აგებულებაში მონაწილეობენ ზედა ცარცის, პალეოგენის და ნეოგენის ასაკის დანალექი ქანები.

ნახ. 53 გეოლოგიის რუკა

Geological map of eastern part of Ajara-Trialeti middle Eocene Formation



ნახ. 54 გეოლოგიური კრილი



§5. ჰიდროგეოლოგიური პირობები

თბილისის ტერიტორიის ფარგლებში ცარცული ასაკის დანალექი ქანების ამოსავალი ზედაპირზე არ აღინიშნება. ისინი მხოლოდ გახსნილია ღრმა სტრუქტურული ჭაბურღილების (№25, №39) მიერ თელეთის ანტიკლინის თალურ ნაწილში, 3400-3914 მ ინტერვალებში. წყება წარმოდგენილია კარბონატული ქანების

მძლავრი კომპლექსით, მაგრამ ჩატარებული კაროტაჟული კვლევების მასალებით იგი უწყლოა.

ქვედა ეოცენ-პალეოცენის ნალექები რეგიონში ფართოდაა გავრცელებული. ისინი აგებულია სხვადასხვა მარცლოვანი ქვიშაქვების, ალევროლიტების, არგილიტების, და მერგელების მონაცვლეობით. თბილისის ტერიტორიაზე ეს წყებები გახსნილია მრავალი ჭაბურღილით. მათი საერთო სიმძლავრე შეადგენს 2200-2800 მ. ფლიშური ნალექები ზედაპირზე ამოდიან (კვების არე) რაიონის დასავლეთ და ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში. ქანები ინტენსიურად დანაპრალიანებულია, რაც ხელს უწყობს ამ ქანებში მიწისქვეშა წყლების ფორმირებას. ცენტრალურ უბანზე №37 ჭაბურღილში გამოვლენილია თერმალური წყალი, დებიტით 1.3 ლ/წმ და ტემპერატურით 38 °C. ასევე №31-დებიტით 2.23 ლ/წმ, ტემპერატურით 46 °C. ამ წყლებიდან ლისის უბანზე მიღებული იქნა თერმალური წყალი 17 ჭაბ. (ინტერვალი 2100-3700 მ), დებიტით-400 მ³/დღ. ქიმიური შემადგენლობით თერმალური წყალი სულფატურ-ჰიდროკარბონატულ-ქლორიდულ-ნატრიუმის და ქლორიდულ-ნატრიუმის-კალციუმისაა. საერთო მინერალიზაციით 0.2-0.5 გ/ლ-დან 4.4 გ/ლ-ზე. მინერალიზაცია იზრდება დანალექი ქანების დამირვის მიმართულებით დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ.

აღნიშნული წყებების ზემოთ განლაგებულია შუა ეოცენის ვულკანოგენური ქანები, რომლებიც ხასიათდებიან ფართო გავრცელებით მთელ რეგიონში. ამ ქანებითაა აგებული თრიალეთის ქედის ფერდები და მთლიანად თელეთის ქედი. ეს ქანები ამოდიან ზედაპირზე თელეთის, თაბორის და მცხეთის ანტიკლინების თალურ ნაწილებში, მტკვრის ორივე ნაპირზე. შუა ეოცენის ნალექები წარმოდგენილია ტუფოგენური ქვიშაქვებით, კონგლომერატებით, ბრექჩიებით და ტუფებით, რომლებიც ხასიათდებიან ნაპრალიანობით მთელ სიმძლავრეზე და რომელთა უმრავლესობა გახსნილია. ეს შესაბამისად ქმნის მიწისქვეშა წყლების თავისუფალი ცირკულაციის შესაძლებლობას. ლისის უბანზე ჭაბურღილებში №4-ტ, 5-ტ, 6-ტ, 7-ტ და 8-ტ დაფიქსირებულია აღნიშნული წყლების საერთო სიმძლავრე 500-800 მ. ფარგლებში. ცენტრალურ უბანზე, წყლების ზედაპირზე გამოსავალთან დაკავშირებულია წყაროები, რომელთა ბაზაზე 1930 წლიდან ფუნქციონირებს ბალნეოლოგიური კურორტი. ქიმიური შემადგენლობით, მიწისქვეშა წყლები ჰიდროკარბონატურ-სულფატურ-კალციუმ-მაგნიუმისაა. საერთო მინერალიზაცია

მერყეობს 0.4- დან 1.0 გ/ლ მდე. აღნიშნული წყაროები ხასიათდება მაღალი ტემპერატურით 40-50 °C. გოგირწყალბადის შემცველობის გამო ეს წყლები სამკურნალო თვისებების მატარებელია. შემდგომში ამ რაიონში ჭაბურღილების ბურღვის გამო წყაროებმა შეწყვიტეს ფუნქციონირება. ამ ჭაბურღილებში გახსნილია შუა ეოცენის ყველაზე ზედა მცირე ნაწილი, ხოლო წყალუბვობა არ აღემატება 114 მ³/დღ და ტემპერატურა 42.6 °C.

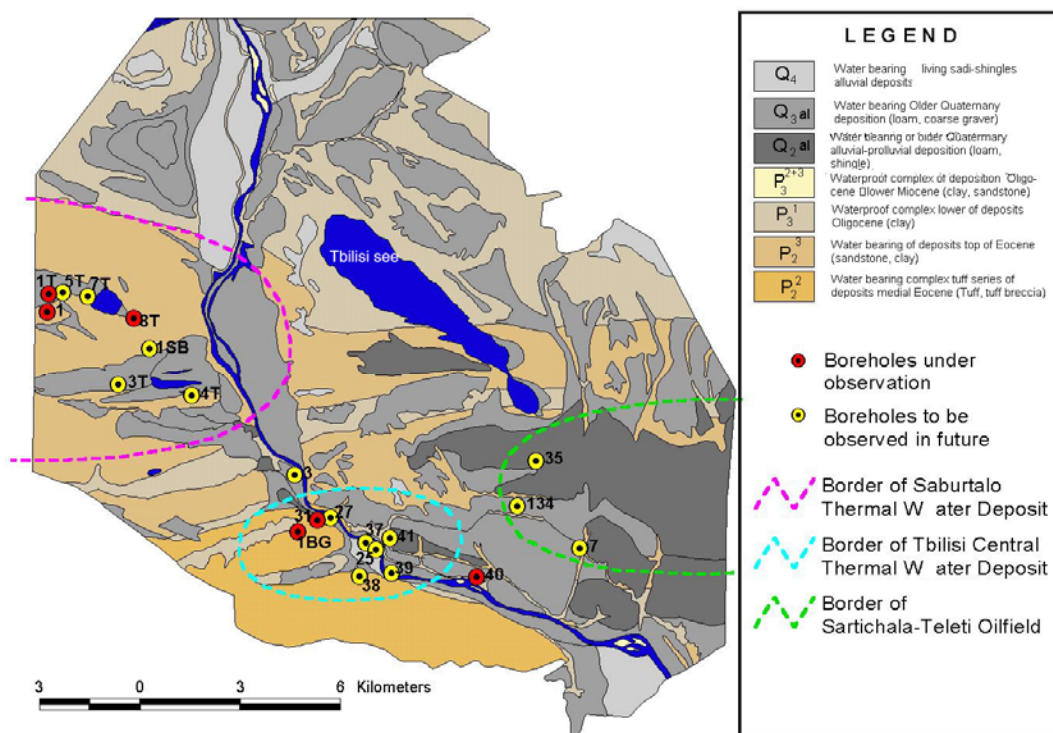
შუა ეოცენი ზემოდან გადაფარულია ზედა ეოცენის ნალექებით, რომელიც ხასიათდება ფართო გავრცელებით თბილისიდან აღმოსავლეთით. ასევე ამ ქანებითაა აგებული თბილისის რეგიონის სინკლინები. მათი საერთო სიმძლავრე ადგენს 1300 მ. წყება ძირითადად წარმოდგენილია თიხებით და მცირე სიმძლავრის მოთეთრო ქვიშაქვების შრეებით. წყება მთელ სიმძლავრეზე წყალგაუმტარია და წარმოადგენს შუა ეოცენის წყებისთვის დაწნევის ბაზისს.

აღმოსავლეთის მიმართულებით აღნიშნული წყება გადაფარულია ოლიგოცენის ასაკის მძლავრი წყებით, რომელიც წარმოდგენილია ქვიშაქვებისა და თიხების მორიგეობით და თიხა-ფიქლების თხელი შრეებით. მათი საერთო სიმძლავრე შეადგენს 1000 მ. (მაიკოპის წყება). იგი ფაქტიურად წყალგაუმტარია.

წყალშემცველ ფენად შეიძლება ჩაითვალოს ზემოთა ნეოგენისა და კარაგანის წყებები, რომლებიც წარმოდგენილია კონგლომერატებით, თიხებით და ქვიშაქვებით. წყება გავცელებულია რეგიონის აღმოსავლეთ ნაწილში, გეოლოგიური სტრუქტურების საერთო დამირვის ზონაში. წყაროების დებიტი მერყეობს 0.1-8 ლ/წმ-მდე.

თბილისის რეგიონში მეოთხეული ასაკის დანალექი ქანები წარმოდგენილია ალუვიური და ტბიური ნალექებით. მიწისქვეშა წყლების მინერალიზაცია აღწევს 1.0 გ/ლ-ზე, ხოლო დებიტი იცვლება 0.2 დან 3.0 ლ/წმ მდე. ტემპერატურა 14 °C.

როგორც ვხედავთ, რეგიონის ძირითად წყალშემცველ ჰორიზონტს წარმოადგენს შუა ეოცენის ვულკანოგენური და ეოცენ-პალეოცენის ფლიშური წყებები, რომლებიც გახსნილია ღრმა თერმალური ჭაბურღილებით ლისის, საბურთალოს და ცენტრალურ უბნებზე. ასევე ნავთობის საექსპლოატაციო ჭაბურღილებით რეგიონის უკიდურეს აღმოსავლეთ ნაწილში.



ნახ. №55 ჰიდროგეოლოგიური რუკა

§6. გეოთერმული პირობები

მიწის ქერქში ტემპერატურის განაწილების კანონზომიერების ცოდნა საჭიროა რეგიონის გეოთერმული პირობების დასადგენად, მათი ცვლილებების პროგნოზირებისა და თერმული წყლების რაციონალური ექსპლოატაციისთვის. ტემპერატურული რეჟიმის ჩამოყალიბება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. მისი გათვლისას მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული სითბური ნაკადისა და ქანების სითბოგამტარებლობის კოეფიციენტი ტემპერატურასა და წნევაზე შესწორებების გათვალისწინებით. სითბური ანომალიების ჩამოყალიბებაში დიდ როლს თამაშობს ნეოტექტონიკური მოძრაობები, ქანების სიმძლავრე, მათი თერმული წინაღობა და ჰიდროგეოლოგიური პირობები. ასე მაგალითად, საქართველოს ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების სირთულე განაპირობებს მისი სითბური ველის არაერთგვაროვნებას.

გეოთერმული კვლევებით დადგინდა სითბური ნაკადის სიდიდეები საქართველოს ტერიტორიის ძირითადი რეგიონებისათვის: I. კავკასიონის სამხრეთი ფერდისათვის

–(100 mWm⁻²); 2. საქართველოს ბელტისათვის ა) დსავლეთ დაძირვის ზონისათვის (40 mWm⁻²); ბ) აღმოსავლეთ დაძირვის ზონისათვის (30mWm⁻²); 3. აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემისათვის: ა) ცენტრალური ნაწილისათვის (90 mWm⁻²): ბ) აღმოსავლეთ დაძირვის ზონისათვის (50 mWm⁻²); 4. ართვინ-ბოლნისის ბელტისათვის (60 mWm⁻²). ამრიგად, სითბური ნაკადების განაწილებაში საქართველოს ფარგლებში შეიმჩნევა შემდეგი კანონზომიერება: მაქსიმალური სითბური ნაკადი შეიმჩნევა ნაოჭა სისტემების ცენტრალურ ნაწილებში და მინიმალური – საქართველოს ბელტის დაძირულ ზონაში, ხოლო აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემას სითბური ნაკადის სიდიდის მიხედვით უკავია მათ შორის შუალედური ადგილი (17).

აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემისათვის რეგიონულად დამახასიათებელია კარგი გეოთერმული პირობები, რის გამოც წყალგამოვლინებების უმეტესობა თერმულია. მათი უმრავლესობა უხსოვარი დროიდან გამოიყენებოდა ბალნეოლოგიური და ჰიგიენური მიზნებისათვის. თერმული წყლების ბუნებრივ გამოსავლებთან ბურღვის ჩატარებით ხდებოდა რესურსების მრავალჯერადი გაზრდა. შედეგად ამ რეგიონში გვაქვს გეოთერმული წყლის მრავალი საბადო, რომელთა სითბოც გამოიყენება ბალნეოლოგიასა და სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა სექტორში.

პალეოცენ-შუაეოცენური თერმოწყალშემცველი კომპლექსის ტემპერატურული პირობები ყველაზე კარგად შესწავლილია ქ. თბილისის ფარგლებსა და მის შემოგარენში. აღმოჩნდა, რომ კომპლექსის ტემპერატურულ პირობებზე გავლენას ახდენს მისი გადამფარავი, დიდი სითბური წინააღმდეგობის მქონე ზედაეოცენური ქანების როგორც განლაგების სიღრმე, ისე მათი სიმძლავრე.

შუა ეოცენის ვულკანოგენურ-დანალექი ფორმაციის ზედაპირზე გაშიშვლების ადგილიდან ქანების ტემპერატურა (20°C) თანდათანობით 100°C-მდე იზრდება მათი დაძირვის ყველა მიმართულებით. ჩრდილო-აღმოსავლეთისკენ ტემპერატურის ზრდა შედარებით ნაკლებია საქართველოს ბელტის სიახლოვის გამო. ცარცისა და ეოცენის კონტაქტზე ტემპერატურის მნიშვნელობა დიდ ფარგლებში მერყეობს; ასე, მაგალითად: უკიდურეს დასავლეთით, სადაც ზედა ცარცი ამოზიდულია 500 მ-ს სიღრმემდე, ტემპერატურა მერყეობს 100-160°C ფარგლებში, ხოლო ჩრდილო და აღმოსავლეთ მიმართულებით, სადაც ცარცი დაძირულია 600 მ-დე, ტემპერატურა არის 240°C.

აჭარა-თრიალეთის პალეოგენური ქვიშაქვებისათვის თბოგამტარებლობის გენერალური საშუალო შეფასებულია როგორც $6,10 \pm 0,23$ კალ/სმ $wm^{\circ}C$. გეოთერმული გრადიენტების სტატისტიკური დამუშავების შედეგად აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის მესამეული ასაკის კომპლექსებისათვის გრადიენტის გენერალური საშუალო შეფასებულია, როგორც $31,27 \pm 4,04^{\circ}C/100m$, რაც სხვა კომპლექსებთან შედარებით მაღალი მაჩვენებელია (6).

რაც შეეხება თერმული წყლების თბილისის რეგიონს, აქ ზედა, შუა და ქვედა ეოცენის ასაკის ქანებში თერმული წყლები ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით (ცხრ. 13).

№ ჭაურდილის	ჰორიზონტის სიღრმე	ასაკი	Q მ ³ /დღ	C	P კგ./სმ ²	მინერალი ზაცია
3-ტექნიკური	3075-3286	P	86	33	-	0.44
4- ტექნიკური	1050-2685	P	680	70	13.1	0.22
5- ტექნიკური	1086-1878	P	3400	62	2.87	0.28
6- ტექნიკური	1921-2771	P	340	66	24.1	0.41
7- ტექნიკური	2118-3702	P	425	62	4.16	0.30
8- ტექნიკური	1740-2529	P	155	46	5.20	0.35
1-საბურთალო.	2140-2867	P	370	66	16.28	0.25

თბილისის რეგიონში დამყარებულ გეოთერმული ველის პირობებში თერმომეტრია ჩატარდა მხოლოდ ლისი №1 ჭაბურდილზე და ასევე შედარებით ნორმალური რეჟიმის დროს №2-ტ №3-ტ ში. სხვა შემთხვევაში ცალკეულ ჭაბურდილებში ჩატარდა გაზომვები აღრეულ ველში (ცხრ. №14).

გეოთერმული გრადიენტი $^{\circ}C/100m$	ქანების ასაკი	ჭაბურდილი № 1 ლისი	ჭაბურდილი № 2 ტექნიკ.	ჭაბურდილი №3 ტექნიკ
	ოლიგოცენი	-	2,50	1,66
	ზედა ეოცენი	2,37	3,30	1,88
	შუა ეოცენი	2.04	2.97	-
	ქვედა ეოცენი	2.10	-	-
	საშუალო	2.17	3.86	1.71

შემდგომში დამყარებული რეჟიმის პერიოდში დაკვირვებები ჩატარდა 12 და 18 ჭაბურღილებში, სადაც თერმოგრადიენტებია 2.8 და 2.23 °C/100.

ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინერო-გეოლოგიის ინსტიტუტის მიერ სითბური ველის შესწავლის მიზნით ტარდებოდა საველე და ლაბორატიულ გაზომვათა კომპლექსი. მათ მიერ ჩატარებული იქნა გაზომვები საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე და მათ შორის თბილისი შემდეგ ჭაბურღილებში (ცხრილი №15).

ჭაბ. №	სიღრმე	დასინჯვის ინტერვალი	ასაკი	ლითოლოგია	გრადიენტი °C/100მ	$\lambda \cdot 10^{-3}$ კალ/სმ.°C	$q \cdot 10^{-6}$ კალ/სმ.წმ
თაბორი №1	3000	0-500	P ₂ K	ტუფები	36.85	3.25	1.2
თბილისი №9	3426	203-3426	P ₂	ტუფები კირკვები	30.2	4.45	1.34
თბილისი №11	3004	860-1700	P ₂ P ₁	ტუფები ქვიშქვები	29.3	4.16	1.22
თბილისი №12	3550	178-3550	P ₂	ტუფები ქვიშქვები	17.97	4.69	1.31
თბილისი №13	3010	465-3000	P ₂ P ₁	ტერიგენული კირკვები	28.05	4.4	1.22
თბილისი №21	2730	800-2400	P ₂ P ₁	ტუფები ტერ. კირკვები	28.2	4.33	1.21
თბილისი №22	2000	200-1800	P ₂ P ₁	ტუფები კირკვები	29.13	3.57	1.04
რუსთავი №1	2140	1400-2140	P ₃ P ₂	თიხაფიქლები ტუფები	33.54	3.13	1.05
სამგორი №4	2760	760-2760	P ₂	ტუფები	35.15	3.38	1.31

ამდენად გაზომვებმა დაადასტურეს თბილისის რეგიონის ჰიდროგეოლოგიური ზონალობა.

თავისუფალი წყალგაცვლის ზონაში-ანტიკლინების თაღში, თერმოგრადიენტი შეადგენს 2.17-2.23 °C/100 მ, ხოლო სინკლინებისთვის 1.71 °C/100 მ. ეს მეტყველებს გეოტექტონიკური და გეოთერმული ზონალობის ნორმალურ კავშირზე. შეზღუდული წყალგაცვლის ზონაში, როგორც მოსალოდნელი იყო, გეოთერმული გრადიენტი იზრდება 2.8-2.86 °C/100 მ-მდე.

§7. პროექტით ჩატარებული კვლევები

მიწისქვეშა თერმული წყლების ფორმირების კანონზომიერების დადგენის, სეისმურ რეგიონში მათი გავრცელების ფართობის განსაზღვრისათვის და მიწისძვრის მოკლევადიანი წინამორბედების გამოვლენის მიზნით ჩატარებული იქნა კვლევები ფონდ “ინკო-კოპერნიკუსის” მიერ დაფინანსებული გრანტით (77,78).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თბილისის რაიონში მიწისქვეშა თერმული წყლების ფორმირების კანონზომიერების დადგენის მიზნით ჩატარებული იქნა კვლევები შემდეგი მიმართულებებით:

1. შექმნილიყო აღნიშნული რეგიონის ჰიდროდინამიკური მოდელი;
2. დადგენილიყო კავშირურთიერთობა ცალკეულ უბნებს შორის;
3. მომხდარიყო თერმული წყლების მარაგების საპროგნოზო შეფასება კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით.
4. შემუშავებულიყო ჰიდროთერმული აუზის ეკოლოგიურად გამართლებული ექსპლოატაციის მოდელი.
5. დაწყებულიყო თერმული წყლების ჰიდროდინამიკური და მიკროტემპერატურული მონიტორინგი;

როგორც ვხედავთ, აუზის ციფრული მოდელის შემუშავება ერთ-ერთი მთავარი სტადიაა კვლევების უფრო ფართო გეგმისა, რომელიც მიზნათ ისახავდა გეოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური და გეოფიზიკური მეთოდების კომპლექსით შესწავლილიყო თბილისის ჰიდროთერმული უბანი.

§8. რეჟიმული დაკვირვებები

მოდელის შექმნისათვის საჭირო კომპლექსური მასალის მოპოვების სამუშაოების პარალელურად 1999 წლიდან თბილისის რეგიონის ყველა ძირითად თერმულ უბანზე განლაგებულ ღრმა ჭაბურღილებზე ორგანიზებული იქნა ხანგრძლივი დაკვირვებები წყლის დონესა და ტემპერატურაზე.

აპარატურა

დაკვირვებები წარმოებდა პროფესორ გ. ბუნდერბარტის მიერ გერმანიაში შექმნილი უახლესი, მაღალმგრძობიარე ციფრული სარეჟიმო აპარატურით (Buntebarth, 1999). wylis donis mzomi ხელსაწყოები საშუალებას იძლევა გაიზომოს

წყლის დონის (ან წნევის-1%) ვარიაციები 0.1 სმ სიზუსტით. ჭაბურღილში ჩაშვებული 200 მეტრის სიგრძის კაბელზე დამონტაჟებულია სამი ან ოთხი ტემპერატურული სენსორი, რომლებიც ავტომატურ რეჟიმში ზომავენ წყლის ტემპერატურის ცვლილებებს 0.5 მილიკელვინის სიზუსტით. ორივე ტიპის ხელსაწყო ენერგო ეკონომიურებია. ისინი მხოლოდ 3 D ზომის ბატარეის გამოყენებით საშუალებას იძლევიან 1, 2, 5, 10 ან 20 წუთის სიხშირით განსაზღვროს პარამეტრები და დაიმახსოვროს ისინი 2 ან 3 თვის განმავლობაში. ინფორმაციის მოხსნა ხდება კომპიუტერის მეშვეობით.

სარეჟიმო ქსელი

აღნიშნული ხელსაწყოები გარკვეული პერიოდის მონაცვლეობით მონტაჟდებოდა სხვადასხვა ჭაბურღილზე, რათა დაგვედგინა ჰიდროდინამიკური კავშირი ცნობილი თერმული უბნის ცალკეულ ჭაბურღილებსა და თვითონ ამ უბნებს შორის. ასევე მთლიანად თერმული რეგიონის გავრცელების საზღვრები.

ჭაბურღილების შერჩევისას ვლემდვანელობდით შემდეგი პრინციპებით:

- ჭაბურღილები უნდა განლაგებულიყვნენ გეოლოგიური აგებულების და ჰიდროგეოლოგიური აუზების განლაგების გათვალისწინებით (ნახ №55).
- ჭაბურღილები შერჩეული იქნენ დაურღვევი რეჟიმით, საექსპლუატაციო გავლენის გარეშე; მათი მინიმალური სიღრმე შეადგენდა 350 მ; ჭის პირის მინიმალური დიამეტრი 150-200 მმ; აპარატურის დაცვისა და მისი ხანგრძლივი ექსპლუატაციის უზრუნველსაყოფად, წყლის ტემპერატურა არ აღემატებოდა 60 °C.
- ჭაბურღილის ფილტრის არეალში წყლის დინებას არ უნდა ჰქონოდა ტურბულენტულობა, რათა არ დაზიანებულიყო სენსორები.

დაკვირვებებისთვის, როგორც საბაზისო, შერჩეული იქნა “ლისის” უბანზე “ლისის” ჭაბ. №1, “ცენტრალურ” უბანზე-“ბოტანიკური ბაღის” ჭაბ. 1 და ნავთობშემცველ უბანზე-“ვარკეთილი” ჭაბ №46. ამასთან ერთად, სხვადასხვა პერიოდში დაკვირვებები წარმოებდა შემდეგ ჭაბურღილებზე: “ლისის” უბანი-“ლისი” №1-ტ, “საბურთალოს” უბანზე- “საბურთალო” №1, “ცენტრალური” უბანი- ჭაბ. №31, ნავთობიანი უბანი-“ გოსპიტალი” ჭაბ. №41. ასევე აღნიშნული უბნებიდან მოცილებულ- “ფონიჭალა” ჭაბ. №43-ზე (79,80).

ცხრილი №16 სარეჟიმო ჭაბურღილების მონაცემები

ჭაბურღილი (მისი ნომერი და ადგილმდებარეობა)	ჭაბურღილი სიღრმე	ჭაბურღილები ს მიერ გადაკვეთილი გეოლოგიური ჭრილი	კონსტრუქციის სახე	წყლიანი ჰორიზონტების ინტერვალი და ასაკი	ტემპერატურა °C	წყლის ქიმიური შემადგენილობა
1	2	3	4	5	6	7
ჭაბურღილი N1 (ბოტანიკური ბაღის ტერიტორიაზე – თაბორის ანტიკლინი)	1245	0 – 16.8 მ – თიხა-ლორდიანი ქანები მეოთხეული ქანები (Q) 16.8 – 505 – ტუფური ქანები (ტუფებისა და ტუფოქვიშაქვების მორიგეობა შუა ეოცენი) (P P ₂) 505 – 1245 მ – ფლიშური ნალექები თიხა – ქვიშაქვების მორიგეობა ქვედა ეოცენი (P P ₁)	168 მმ – 0 – 22 მ (მთლიანი დაცემენტები) 127 მმ – 0 – 160 მ (მთლიანი დაცემენტები) 160 მ დან ჭის ლულა გადაუხურავი ღიაა (საბოლოო ფ - 91 – 76 მმ)	350 – 370 მ შუა ეოცენი (P P ₂) 700 – 750 მ 1054 – 1090 მ ქვედა ეოცენი (P P ₁)	47,5	M0.27 <u>Cl 44 CO3 90</u> (Na+K) 88 Σ He s – 0.009
ჭაბურღილი N31 (ბალნეოლოგიურთან ახლოს)	1400	0 – 406 ტუფები შუა ეოცენი (P P ₂) 406 – 1400 მ თიხა ქვიშაქვები ქვედა ეოცენი (P ₁)	245 მმ 0 – 11 მთლიანი დაცემენტები 146 მმ 0 – 850 მ ცემენტი 650 – 850 მ 850 – დან გადაუხურავია	850 – 1400 ქვედა ეოცენი (P P ₁)	47	M 0.377 <u>SO4 32 Cl 31 HCO3 27</u> (Na+K) 86

ჭაბურღილი N41 (ჰოსპიტალის ეზოში)	1204	0 – 205 ზედა ეოცენი (P P ₃) 205 – 760 მ შუა ეოცენი (P P ₂) 760 – 1200 ქვედა ეოცენი (P P ₁)	245 მმ 0 – 210 მთლიანი დაცემენტები თ 168 მმ 134 – 456 მთლიანი დაცემენტები თ	456 – 842 შუა და ქვედა ეოცენი (P P ₂ + P P ₁)	23	M 1.8 Cl 90 (Na+K) 67 Ca 33
ჭაბურღილი N43 (ავტოტექმოსახურებ ის სადგურთან)	641	0 – 100 ზედა ეოცენი (P P ₃) 100 – 641 შუა ეოცენი (P P ₂)	324 მმ 0 – 18 მ მთლიანი დაცემენტები თ 245 მმ 0 – 100 მ მთლიანი დაცემენტები თ	100 – 641 შუა ეოცენი (P P ₂)	26	M 1.2 Cl 89 (Na+K) 82
ღრმა ჭაბურღილი N1 საბურთალოზე ნუცუბიძის მე-2 შესახვევში საბაგიროსთან	2867	0 – 2150 მ თიხები და ქვიშაქვები ოლიგოცენი ზედა ეოცენი (P ₃) 2150 – 2845 ტუფური ნალექები შუა ეოცენი (P P ₂) 2845 – 2867 ქვედა ეოცენი (P P ₁)	325 მმ 0 – 99 მთლიანი დაცემენტები თ 245 მმ 0 – 2009 მთლიანი დაცემენტები თ 2009 დან ღია ლულა	2150 – 2845 მ შუა ეოცენი (P P ₂)	64	M 0.24 CO3 55 Cl 39 Na 92
ჭაბურღილი №46 (ვარკეთილში)	2500	0 – 50 თიხები, ფიქლები (Q4) 50 – 480 ალევილიტი, ტუფები (P3) 480 – 780 ანდეზიტები (P2) 780 – 2500 კირქვები (P1)	245 მმ -0 to 1400 0-900 ემენტაციით ფილტრი 900 - 1400	1840-2500 შუა ეოცენი	61	ქლორ-კალციუმიანი

რეჟიმული დაკვირვებების შედეგები მოყვანილია შემდეგ თავში

§9. უბნის ჰიდროდინამიკური მოდელი

თბილისის თერმული ველის სამგანზომილებიანი ციფრული მოდელის შექმნა საინტერესო იყო მისი თავისებურებების გამო. კერძოდ, გეოლოგიური აგებულება თამაშობს წამყვან როლს აუზის თვისებების განსაზღვრაში; აღინიშნება წყალშემცველი ჰორიზონტის მნიშვნელოვანი ფართობლივი უწყვეტობა, რაც ხშირ შემთხვევაში არ ახასიათებს თერმულ აუზებს; აუზზე მოქმედებენ სხვა და სხვა სახის დაძაბულებები, რომლებიც ექვემდებარებიან აყენებენს მის, როგორც დაბალი სითბოშემცველი მიწისქვეშა წყლების აუზის, ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შესაძლებლობას.

ჰიდროთერმული აუზების მდგრადი განვითარების სცენარების შემუშავება, ასევე მათი ჰიდროდინამიკური პარამეტრების და წყლის რესურსების განსაზღვრა ხშირად ეყრდნობა კომპიუტერულ მოდელირებას. ციფრული მოდელი აქ წარმოადგენს საკვანძო ნაბიჯს, რადგან მისი საშუალებით შესაძლებელია ექსპლუატაციის და პროცესების განვითარების სხვა და სხვა სცენარების შესწავლა.

ციფრული მოდელის შემუშავება მოხდა ცნობილი მეთოდის (Domenico and Schwartz, 1998; Middlemis, 2000) (93)შესაბამისად და ითვალისწინებდა შემდეგ ეტაპებს:

- წყალშემცველი ჰორიზონტის გეოლოგიური აგებულება და ლითოლოგიური შემადგენლობის შესწავლა;
- მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ჩაწოლის სიღრმე და მისი სიმძლავრე, მოძრაობის მიმართულების დადგენა;
- სითბური ნაკადის სიდიდის დადგენა;
- ჰიდროდინამიკური პარამეტრების (ფილტრაციის კოეფიციენტი, წყალგაცემა და სხვა) განსაზღვრა;
- საკვლევი რაიონის სასაზღვრო პირობების დადგენა და კონცეპტუალური მოდელის შემუშავება;
- ციფრული მოდელირების განხორციელება.

პირველი ორი საკითხის განხილვა მოცემული იყო ზემოთ, რის საფუძველზეც მოხდა შესაბამისი გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების შერჩევა.

§10. ჰიდროთერმული პირობები

ჰიდროთერმული აუზის, შუა და ქვედა ეოცენის თერმული პირობები ყველაზე კარგად შესწავლია თბილისის რაიონში. მათ ზემოთ განლაგებულია ზედა ეოცენის წყალგაუმტარი ფიქლების წყება, რომელიც გავლენას ახდენს მის ქვემოთ ღრმად ჩაწოლილ წყალშემცველი ჰორიზონტების თერმულ რეჟიმზე. მიწისქვეშა წყლის ტემპერატურა იზრდება თანდათან 20 °C დან, შუა და ქვედა ეოცენის ასაკის ქანების ზედაპირზე ამოსვლის ადგილიდან-კვების არედან, 100 და მეტ გარდუსამდე აღმოსავლეთის მიმართულებით, ნავთობიანი უბნებისაკენ სადაც წყალშემცველი ჰორიზონტები იძირებიან 3000 მეტრამდე. ტემპერატურის ზრდა ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულებით უფრო ნაკლებია, ალბათ საქართველოს ბელტის სიახლოვის გამო.

წინა პერიოდში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, აუზისთვის თერმული გრადიენტის საშუალო მნიშვნელობა შეფასდა როგორც 31.27 +04 °C/კმ. აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის პალეოგენური ქვიშაქვებისთვის სითბოგამტარებლობის საშუალო მნიშვნელობები მიღებულია 6.1 +0.23 კილოკალორია/სმ/წმ.°C. შესაბამისად ქვედა ეოცენის საგებისთვის სითბური ნაკადის მნიშვნელობა შეესაბამება 0.22 W/m².

მიწისქვეშა წყლების ასეთი დიდი სისტემის მოდელირებას ართულებს სითბური ანომალიების არსებობა აუზის ცენტრალურ ტერიტორიაზე. კერძოდ, ლისის უბანზე ჭაბურღილებში წყლის ტემპერატურა აღწევს 70 °C, ცენტრალურ უბანზე ჭაბურღილებში თერმული წყლის ტემპერატურა აღწევს 38-50 °C, ხოლო სამგორის ნავთობიან უბანზე ჭაბურღილებში დარეგისტრირებული ფლუიდების ტემპერატურა აღემატება 100 °C.

§11. ციფრული მოდელირება

როგორც წესი, მიწისქვეშა ჰორიზონტის საგებზე არსებული მაღალი ტემპერატურის ნაკადი იწვევს სითბურ კონვენციას, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში მთავარი მექანიზმია ჰიდროთერმულ სისტემებში მასათა გადანაცვლებისა.

მიწისქვეშა წყლებზე მოქმედებს სამი მთავარი ფიზიკური მამოძრავებელი ძალა: ჰიდრავლიკური გრადიენტი, გეოთერმული გრადიენტი ან ხსნარების კონცენტრაციის გრადიენტი. როგორც წესი პრაქტიკაში იღებენ ამ პარამეტრების სხვა

და სხვა ვარიანტებს, როგორც დომინანტებს. რაც ზოგ შემთხვევაში იწვევს არამნიშვნელოვანის უგულვებელყოფას. ციფრული მოდელის წინ აუცილებელია წამყვანი ძალების შერჩევა, მათი გათვალისწინება მოდელის მატემატიკურ სტრუქტურაში.

რადგანაც მიწისქვეშა წყლების თერმოდინამიკური თვისებები ბევრადაა დამოკიდებული გეოთერმულ გრადიენტებზე (მათი სიმცირის დროსაც), რამდენადაც ტემპერატურული სხვაობით გამოწვეული წყლის სიმკვრივის ცვლილება შეიძლება საკმარისი იყოს სითბური კონვექციის გამოსაწვევად. კონვექციურ ადგილებში წყლის ნაკადზე ძლიერ მოქმედებს წყლის სიმკვრივის და სიბლანტის დინამიური ცვლილებები, რომლებიც გამოწვეულია სხვაობით ტემპერატურის ვერტიკალურ განაწილებაში. ამდენად, ამ ფაქტორების გათვალისწინება აუცილებელია ნაკადის სამგანზომილებიანი მოდელირებისას (89).

გარდა ამისა, ასეთ აუზებში მიწისქვეშა წყლების ხარისხის დაცვა მნიშვნელოვანი პრობლემაა, რამდენადაც ტემპერატურული ველის ცვლილება, რომელიც გამოწვეულია ცალკეული ნაწილაკებით იზოთერმის გადაკვეთისას, ყოველთვის იწვევს ლოკალურად ქიმიური ბალანსის დარღვევას და ხსნარების აღრევას ან ზოგჯერ მათი შემადგენლობის დაშლას. პრაქტიკულად ბევრ შემთხვევაში კონვექციული მოძრაობებია პასუხისმგებელი ქიმიური ნაერთების მოძრაობისა და მათი შერევის პროცესებისა.

ამიტომ, ჩვენს მიერ შერჩეული უნდა ყოფილიყო ისეთი მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის არაიზოთერმული მოდელი, რომელიც გაითვალისწინებდა მაღალ ტემპერატურასა და მასათა მოძრაობებს შორის კავშირს. საჭირო იყო მოდელის მათემატიკურ სტრუქტურას გათვალისწინებინა ნაკადის სიმკვრივისა და ენერჯის ცვლილებათა კანონზომიერებები, რათა მიგვეღო აუზში ტემპერატურათა სივრცულ-დროითი განაწილების სურათი.

§12. მოდელის აღწერა

სამგანზომილებიანი მოდელირების აუცილებლობა განპირობებული იყო არა მარტო კონვექციური ნაკადის არსებობით, არამედ იმ ფაქტითაც, რომ ლისის უბანზე ძალიან მნიშვნელოვანია, თუ არა გადამწყვეტი, ნაკადის ვერტიკალური მდგენელი. გარდა ამისა, მოდელმა უნდა შეძლოს დააფიქსიროს აღმავალი ნაკადის

ტემპერატურული განაწილება და წყალშემცველი ჰორიზონტის სიღრმის ცვლილების ეფექტი.

ქვედა და შუა ეოცენის წყალშემცველი ჰორიზონტის წყალგამტარებლობა არათანაბარია მათში გამავალი რღვევებისა და ნაპრალოური სისტემების არსებობის გამო. ამიტომ მოდელირების გამარტივებისთვის ჰორიზონტი წარმოჩინდა როგორც რღვევების არმქონე გარემო და რღვევათა სისტემა წარმოდგენილი იქნა როგორც ფოროვანი გარემო შესაბამისი ჰიდრავლიკური თვისებებით. ამ საშუალებით ცალკეული ბლოკები შეიძლება დავახასიათოთ შესაბამისი გამტარებლობის ტენზორით და ფლუიდის ნაკადის მოდელირება შეიძლება გადავიტანოთ ჩვეულებრივი ფოროვანი გარემოს მოდელირებაში. ხოლო ტემპერატურა გათვალისწინებული იქნება გამტარებლობისა და კონვექციის სიდიდეებში.

პროექტის ფარგლებში, ცოფრული მოდელირება განხორციელებული იქნა პორტუგალელ კოლეგებთან ერთად ამერიკული პროგრამის HST3D გამოყენებით. ეს პროგრამა საშუალებას იძლევა დავამოძღვოთ ტემპერატურული ნაკადი, ცვლადი სიმკვრივისა და სიბლანტის მქონე მიწისქვეშა წყლებით გაჯერებულ სამგანზომილებიან სივრცეში.

ფოროვან გარემოში მიწისქვეშა წყლის ნაკადის განტოლება კომბანაციაა მთლიანი ფლუიდის მასის შენახვისა და დარსის კანონისა ფოროვანი გარემოებისთვის:

$$\frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} = \nabla \cdot \rho \frac{k}{\mu} (\nabla p + \rho g) + q\rho^*$$

სადაც p - წყლის წნევაა, t - დრო ϕ - ეფექტური ფორიანობა, ρ - წყლის სიმკვრე, k - ფორიანი გარემოს წყალგაცემის საშუალო ტენზორი, და ρ^* - ფლუიდის წყაროს სიმკვრივე. μ - წყლის სიბლანტე, q - სითხის წყაროს ნაკადის ნორმა g - აჩქარება;

ტემპერატურის გადაცემის განტოლება ითვალისწინებს სითხეებში და ფორიან გარემოში სითბოტევადობის შენარჩუნებას:

$$\frac{\partial}{\partial t} [\phi\rho c_f + (1-\phi)\rho_s c_s] T = \nabla \cdot [\phi K_f + (1-\phi)K_s] I \nabla T + \nabla \cdot \phi D_H \nabla T - \nabla \cdot \phi \rho c_f v T + q_H + q\rho^* c_f T^*$$

სადაც T - სითხის და ფორების საშუალო ტემპერატურაა, T^* - თხევადი წყაროს ტემპერატურა, I_s - მყარი ფაზის სიმკვრივე, c_i - თბოტევადობა I ფაზისთვის, K_i თბოგამტარებლობა I ფაზისთვის, D_H თერმო-მექანიკური დისპერსიის ტენზორი, და q_H - წყაროს ტემპერატურის ნორმა. I - მატრიცა იდენტიურობის 3 კლასის, და შენიშვნა s და f შეესაბამება მყარ და თხევად სტადიებს.

ზემოთ აღნიშნული განტოლებები ხასიათდება დამოკიდებულებით სითხის სიბლანტესა და ტემპერატურას შორის და სითხის სიმკვრივის დამოკიდებულებით წნევაზე და ტემპერატურაზე.

§13. კონცეპტუალური მოდელი

ნახაზზე №56 გამოსახულია თბილისის ჰიდროთერმული აუზის კონცეპტუალური მოდელი. ითვლება, რომ არსებული ჰიდროდინამიკური კავშირი თბილისის ცენტრალურ უბანსა და ლისის უბანს შორის მეტად მცირეა. ამ აზრს ადასტურებს რამოდენიმე ფაქტორი:

- ლისის თერმულ ველზე ჰიდრავლიკური გრადიენტები ბევრად მკვეთრი და დიდია, ვიდრე ცენტრალურ უბანზე, რაც მიუთითებს დაბალ გამტარებლობაზე, მიუხედავად იმისა, რომ ორივე უბანზე წყალშემცველი ჰორიზონტების სისქე თანატოლია. წყალგაცემის (permeabilities) დაბალი სიდიდეები შეიძლება გამოწვეული იყოს ლისის უბანზე წყალშემცველი ჰორიზონტის დიდ სიღრმეზე განლაგებით, რადგანაც ზემოთ მდებარე ქანების დიდი ლიტოსტატიკური წნევა განაპირობებს ნაპრალების საერთო მოცულობის შემცირებას და დაბალ გამტარებლობას, შესაბამისად, ცენტრალურ უბანზე შუა ეოცენის ქანებზე დამაბულობის მოხსნა ალბათ განაპირობებს ნაპრალო სისტემის გახსნას და გამტარებლობის მაღალ მნიშვნელობებს.

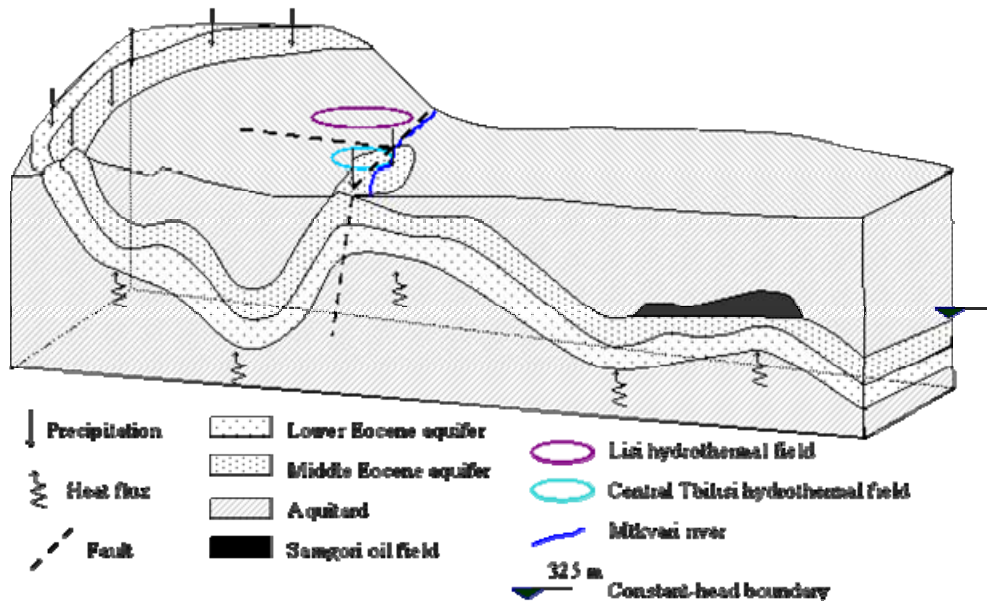
- განსხავებულია ასევე ორივე უბნის მინერალიზაცია, ლისის უბანზე მინერალიზაცია აღწევს 4.4 გ/ლ, ხოლო ცენტრალურ უბანზე მინერალიზაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს 1.0 გ/ლ. ლისის უბნისთვის უფრო ხანგრძლივია მიწისქვეშა წყლების მიგრაციის მანძილი და დრო კვების არედან უბნამდე, შესაბამისად ხანგრძლივი პერიოდისაა წყლის კონტაქტი ღრმად განლაგებულ მეტად გახურებულ ქანებთან, რაც განაპირობებს მინერალიზაციის მაღალ მნიშვნელობებს ცენტრალურ უბანთან შედარებით, რომელიც ბევრად ახლოა კვების არესთან.

- დასასრულს, არგუმენტი, რომელიც ადასტურებს ამ ორ უბანს შორის ჰიდროდინამიკური კავშირის არ ქონას, ეხება ლისის №5 ჭაბურღილზე ჩატარებულ საცდელ დაკეტვას, რომლის დროსაც გრძელვადიანმა დაკვირვებებმა მოიცვეს ლისის და ცენტრალური უბნის მრავალი ჭაბურღილი. წყლის დონის ვარდნა, რომელიც აღინიშნა ცენტრალური უბნის ჭაბურღილებზე ბევრად მცირე იყო იმ მოსალოდნელ

სიდიდეებთან, რომელიც გათვლილი იყო ჭაბურღილებს შორის მანძილისა და ორივე უბნის მახასიათებელი ჰიდროდინამიკური პარამეტრების მნიშვნელობებიდან გამომდინარე, რაც ადასტურებს ლისისა და ცენტრალურ უბანს შორის ცუდი ჰიდროდინამიკური კავშირის ქონას.

ეს ფაქტი შეიძლება განპირობებული იყოს ტექტონიკური რღვევის არსებობით ამ ორ უბანს შორის. თბილისის ჰიდროთერმალური ველის ტერიტორიაზე სულ ორი ღრმა რღვევა იქნა დაფიქსირებული, რომელთა არსებობას ფუნდამენტური მნიშვნელობა აქვს ჰიდროდინამიკური და თერმული კონცეპტუალური მოდელის შემუშავებისას. კერძოდ, განივი რღვევა გატარდა მდინარე მტკვრის გასწრივ და წარმოიქმნა ლატერალური კონტაქტი, მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე განლაგებულ, შუა ეოცენის ასაკის ქანებსა და მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე განლაგებულ, უფრო ახალგაზრდა ქანებს შორის. ეს რასაკვირველია ამცირებს მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის პოტენციალს. გარდა ამისა, გეოფიზიკური კვლევებით, მათ შორის სეისმურით, დაფიქსირებული იყო გრძელი ლინეამენტი, რომელსაც აქვს მიახლოებით დასავლურ-აღმოსავლური მიმართულება და ყოფს ლისის უბანს ცენტრალური უბნისგან. ეს ლინეამენტი აღითქმება როგორც დაბალი გამტარებლობის ზონა და მისი არსებობით შეიძლება აიხსნას უბნებს შორის სუსტი ჰიდროდინამიკური კავშირი.

თბილისის ჰიდროთერმული აუზის დიდი ნაწილი წყალგაუმტარია, ზედა ეოცენის ზემოთა წყალგაუმტარი ნაწილის პიეზომეტრიული დონის ჩათვლით, რაც წყალშემცველი ჰორიზონტებისთვის ქმნის დაწნევის პირობებს. ეს უფრო აშკარად ჩანს ლისის თერმულ უბანზე, სადაც კვების არის სიმაღლეები 730 დან 780 მეტრამდეა, რაც ბევრად მაღლაა წყალშემცველი ჰორიზონტის სახურავზე. ამიტომ, ფაქტიურად ნაწილი ლისის ჭაბურღილებისა თვითდინებიანია. ამის გარდა, მდინარე მტკვრიდან აღმოსავლეთით, სამგორის ნავთობიანი უბნის კვების არის პიეზომეტრიული დონე დაახლოებით 350- დან 370 მეტრამდეა, რაც თითქმის 2000 მეტრით მაღლაა შუა ეოცენის სახურავთან შედარებით.



ნახ. №56. თბილისის ჰიდროთერმული უბნისთვის მიღებული კონცეპტუალური მოდელის ბლოკ-სქემა

რასაკვირველია, განსხვავებაა ჰორიზონტების გახსნილობასა და წყალდაწნევის ხარისხში. განსაკუთრებით, მთიანი ზონის კვების არესა და ცენტრალური უბნის გამომვლელ უბნებს – განტვირთვის არეს შორის. ამ უკანასკნელის ტერიტორიაზე, სადაც არსებობდა წყაროები, წყალშემცველი ჰორიზონტი გახსნილია. მას მერე, რაც გაიბურღა ჭაბურღილები და ეს წყაროები პრაქტიკულად დაიშრიტა, თუმცა უწნეო პირობა ისევ რჩება აქ.

აუზის პიეზომეტრიული რუქები, მინერალიზაცია და სითბური პროფილები მიუთითებენ მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის რეგიონალურ მიმართულებას დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ, ანუ მთიან რაიონებში განლაგებული დაბალი მინერალიზაციის და ტემპერატურის კვების არედან, მიწისქვეშა ჰორიზონტების ყველაზე ღრმა უბნებამდე აღმოსავლეთ ნაწილში, სადაც ფიქსირდება მიწისქვეშა ფლუიდების (წყლის და ნავთობის) ბევრად მაღალი ტემპერატურები და მინერალიზაცია.

თბილისიდან აღმოსავლეთით, სამგორის ნავთობიან უბანზე, სინკლინურ სტრუქტურებში შუა ეოცენის ჰორიზონტი დაძირულია 3000 მეტრამდე. შესაბამისად, შედარებით სწორხაზოვნად იზრდება მიწისქვეშა წყლის ტემპერატურა და მინერალიზაცია მისი მოძრაობის მიმართულებით.

მოდელზე, ჰიდროთერმული აუზის ჩრდილო და სამხრეთი საზღვრები შემოვლელია ვიწრო წყალგაუმტარი ზოლით, რადგანაც არც ერთი თერმული

წყლის გამოვლენის შემთხვევა არაა დაფიქსირებული ამ ზოლის გარეთ. ასეთივე გვერდითი, აღმოსავლეთი ზღუდე უნდა არსებობდეს სამგორის ნავთობიან უბნისთვისაც, რასაც მივყავართ ღრმა რღვევების არსებობის ჰიპოთეზამდე, რომლებიც წარმოადგენენ წყალშემცველი ჰორიზონტებისთვის ფიზიკურ ზღუდეებს. ყოველ შემთხვევაში, არ ხდება მიწისქვეშა წყლების ნაკადებით ამ საზღვრების გადალახვა, ისინი ემთხვევიან ნაკადების მოძრაობის მიმართულებებს და ამდენად, განიხილებიან როგორც წყალგაუმტარი საზღვრები.

მოდელში წყალშემცველი ჰორიზონტის საზღვრები განისაზღვრა ისე, როგორც ნაჩვენებია ნახ№56, სადაც მდ. მტკვრიდან დასავლეთი საზღვარი ემთხვევა წყალშემცველი ჰორიზონტის კვების არეს, გვერდითი (ჩრდილო და სამხრეთი) საზღვრები მისდევს ზემოთ აღნიშნულ წყალგაუმტარ ზოლებს. აღმოსავლეთი საზღვარი დადგენილი იქნა პირობითად, თერმული უბნებიდან მნიშვნელოვანი-40კმ დაცილებით.

შუა და ქვედა ეოცენის გაშიშვლების ზონა წარმოადგენს წყალშემცველი ჰორიზონტის კვების ძირითად წყაროს. შესაბამისად, ეს ზონა აღიქმება დაღმავალი წყლის ნაკადის მუდმივ საზღვრად. ჰორიზონტის წყალმიღების არავითარი რაოდენობრივი შეფასება არ ჩატარებულა, გარდა ლისი №1 ჭაბურღილისათვის ჩატარებული შეფასებისა (96), რომლის მიხედვითაც ჰორიზონტის კვების რაოდენობა შეფასდა, როგორც ნალექიანობის საერთო რაოდენობის 15%.

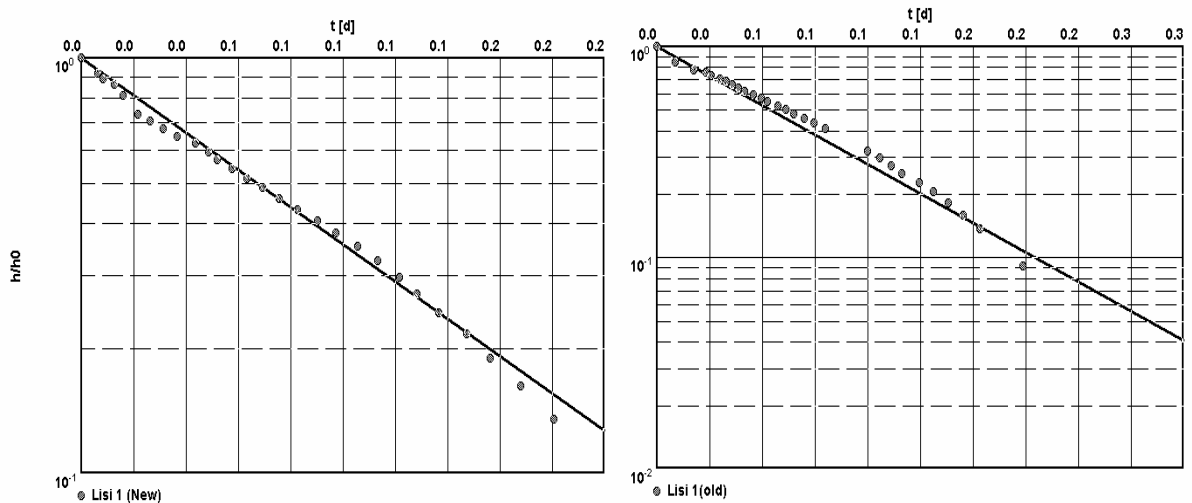
რაც შეეხება სითბურ სასაზღვრო პირობებს, კვების არე მიჩნეული იქნა, როგორც ჩანაჟონი წყლის მუდმივი ტემპერატურული საზღვარი, საშუალო ტემპერატურით 15°C. გეოთერმული გრადიენტის მოდელირებისათვის ქვედა ეოცენის საგები მიჩნეული იქნა მაღალი ტემპერატურის მუდმივი ნაკადის საზღვრად. სითბური ველის ნაკადი დათვლილი იქნა გეოლოგიური ფორმაციების გეოთერმული გრადიენტისა და სითბო გამტარებლობის რეგიონალური მნიშვნელობების საფუძველზე, რომლებიც მოყვანილია წინა თავებში.

წყალშემცველი ჰორიზონტების წყალშემცველობის სიდიდეები შეფასებული იქნა ლისისა და ცენტრალურ უბანზე მოქმედი თვითდინებიანი ჭაბურღილების მონაცემებით (ცხრ.№17).

ცხრ. №17. თბილისის უბნებზე ჭაბურღილებში წყლის დონისა და ხარჯის მონაცემები.

ლისის უბანი		ცენტრალური უბანი	
ჭაბ. №	Q (შ/დღ)	ჭაბ. №	Q (შ/დღ)
ლისი 1	0	1 ბოტ	432
1T	0	31	138.2
5T	3740	27	354.2
7T	425	37	36.4
8T	155	25	28.5
1SB	370	39	86.4
3T	86		
4T	680		

გარდა ამისა, სამივე უბანზე დამატებით ჩატარებული იქნა საცდელი-ჩასხმები და განისაზღვრა ძირითადი ჰიდროდინამიკური პარამეტრები. საველე კვლევები და მასალათა დამუშავება ჩატარდა ცნობილი Cooper-Papadopoulos და Hvorslew მეთოდით, რაც აღწერილი იყო წინა თავში.



გრაფ. №18 საცდელი ჩასხმები. ლისი (ახალი) მისი დიამეტრიც 360 მმ, ფილტრული ნაწილი 1803-2000 მ. ლისი (ძველი) დიამეტრიც 127 მმ, ფილტრი-30-100 მ. სიღრმე

გარდა ამისა, k ფილტრაციის კოეფიციენტი განსაზღვრული იქნა მიმოქცევით ვარიაციაზე ჭაბურღილის რეაქციით (96). ჰიდრაულიკური გამოცდებით და

მიმოქცევითი ვარიაციებით განსაზღვრულ ფილტრაციის კოეფიციენტებს შორის დამაკმაყოფილებელი მსგავსებაა. მაგალითად, ლისის უბნისათვის მიმოქცევითი ვარიაციით დათვლილი $k = 5 \cdot 10^{-7}$ მ/წმ, ხოლო ტესტირებით- $k = 1.8 \cdot 10^{-7}$ მ/წმ.

ფილტრაციის კოეფიციენტი შეიძლება გაიზომოს წყალგამტარებლობის კოეფიციენტიდან $k = T/L$.

ცხრ. №18. ჭაბურღილებში სავლე საცდელი ჩასხმებით გაზომილი

ჰიდროდინამიკური პარამეტრები

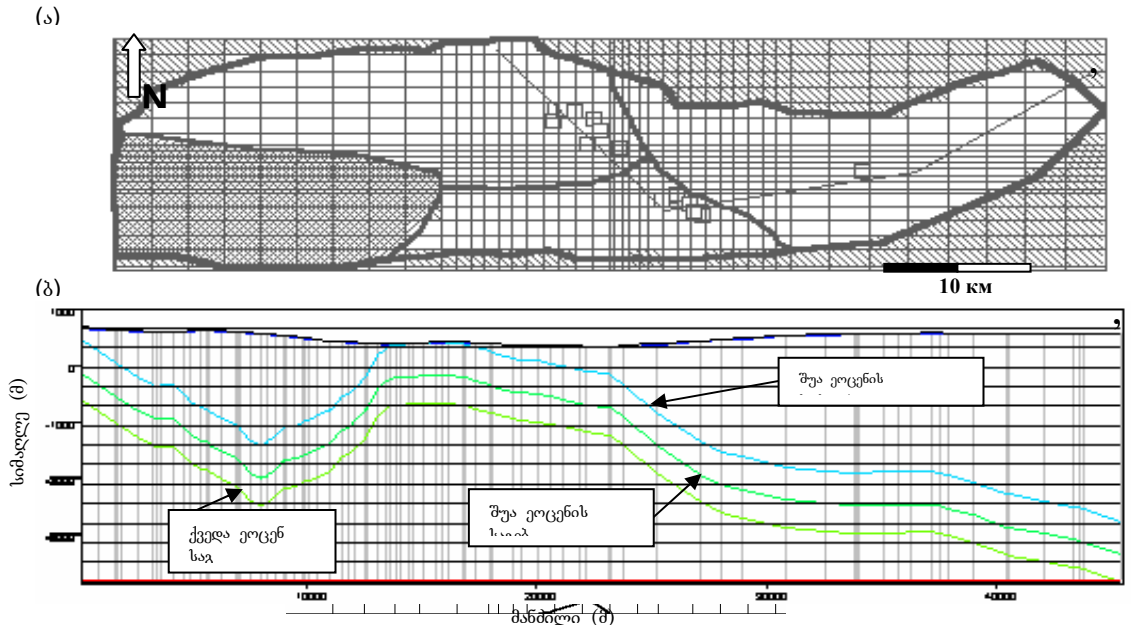
ჭაბურღილი	T, m ² /s	S	S/L, 1/m	k, m/s from (3)	k = T/L, m/s
ლისი ძველი	$1.9 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$2.4 \cdot 10^{-8}$	$2.7 \cdot 10^{-8}$
ლისი ახალი.	$1.4 \cdot 10^{-5}$	10^{-6}	$5 \cdot 10^{-8}$	$6.5 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$
ვარკეთილი №46	$20 \cdot 10^{-3}$	10^{-6}	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$4.7 \cdot 10^{-5}$	$2.5 \cdot 10^{-7}$

ცხრილი გვიჩვენებს, რომ ლისის უბანზე ბევრად დაბალია ფილტრაციის და წყალგაცემის კოეფიციენტები და შეესაბამება მნიშვნელობებს მსგავს ფორმაციებში.

კონცეპტუალურ მოდელში არ განხილულა ჰიდროთერმული ჰორიზონტებიდან სითბოს გაცვლის შესაძლებლობა, თბილისის ტერიტორიაზე მდებარე წყალსაცევეებსა და მდ. მტკვართან, რაც გამოწვეულია მსგავსი ინფორმაციის არქონით.

§14. მოდელის სასაზღვრო პირობების აღწერა

მოდელირება ჩატარებული იქნა რეგიონალურ მასშტაბში, რათა კვლევის არეში მოგვექცია საკვლევი ტერიტორიის როგორც კვების არე, ასევე მისი მაღალი დაწნევის –სამგორის ნავთობიანი უბანი. ეს საშუალებას იძლევა უფრო თავისუფლად შევარჩიოთ სასაზღვრო პირობები, რომლებიც როგორც წესი წყალგაუმტარია და ემთხვევა ჰიდროთერმული აუზის ფიზიკურ საზღვრებს. ასევე საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ ცალკეული დამაბულობების გავლენები, მაგალითად ისეთი, როგორიც არის ნავთობის ან ცხელი წყლის ექსპლუატაცია (ნახ. №57).



ნახ. №57 – საკვლევი ა) და ბ) რეკონსტრუქციის დანაწევრება გეგმაში ა) და კრილში ბ) განივი კრილი აგებულია გეგმა სანიშნავია, რომ აქტიურ ვრად მიღებულია ვარი, ხოლო ყველა დანარჩენი-შუა ეოცენის სახურავი და ქვედა ეოცენის საგები ჩათვლილია ვყალგაუმტარად.

ნახ. №58 – ჭაბურღილების მდებარეობას ლისის (ვიდეო ფერის ვყვეტილი და ცენტრალურ) და არნიშნულია რღვევითი დისლოკაციები.

დეტალური სივრცული დანაწევრება განხორციელდა ორი ჰიდროთერმული უბნისათვის (ლისის და ცენტრალური), სადაც შესაძლებელი გახდა მიგველო უფრო დეტალური ინფორმაცია უბნების ჰიდროდინამიკურ პარამეტრებზე. უბნების დანაწევრებისას თითოეული უჯრედის ზომები არჩეული იქნა ისე, რომ თითო უჯრედში არ მოხვედრილიყო ერთ ჭაბურღილზე მეტი (ნახ N°58).

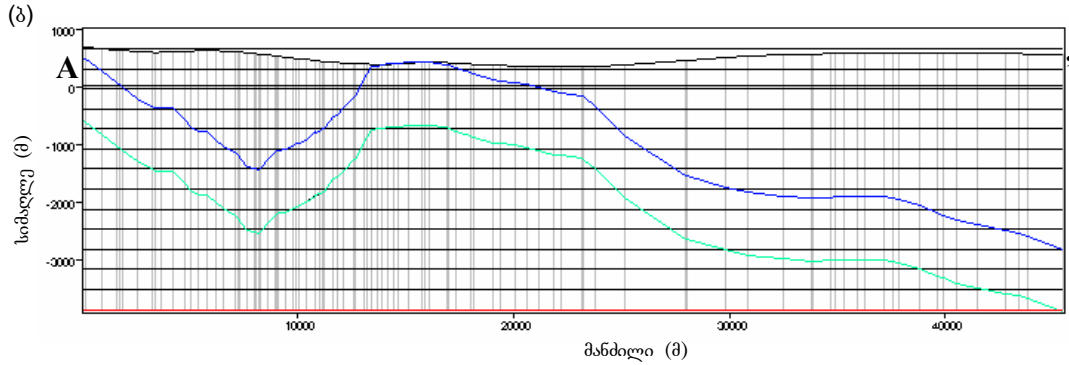
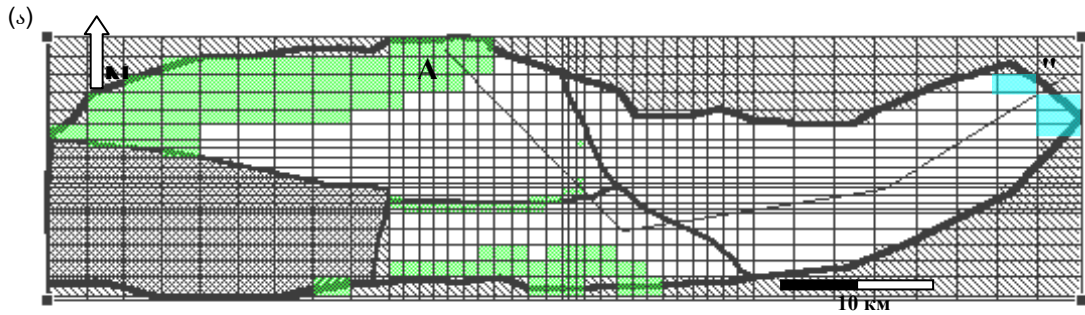
ნახაზზე წარმოდგენილია რღვევა, რომელიც ყოფს ორ თერმულ უბანს და მდ. მტკვარზე გამავალი რღვევა დეტალიზირებულია მჭიდრო ბადით. აღნიშნული პროგრამა არ იძლევა საშუალებას მოდელირება გაუკეთდეს ნაკადს რღვევით დისლოკაციებში, ამიტომ ჩვენს მიერ მოხდა რღვევის ხაზის დეტალური დანაწევრება და ამ უბნების, დაბალი ფილტრაციული გამტარებლობის გათვალისწინება მოდელში.

მოდელირების ასეთი სტრატეგია უშვებს, რომ რღვევები წარმოადგენენ ჰიდრავლიკურად და თერმულად ჰომოგენურ გარემოებს მთელი მათი სიგრძისა და ვერტიკალური (ანდა თითქმის ვერტიკალური) დაცემის კუთხის გასწვრივ და ბადის დანაყოფის მთელ სისქეზე. მართალია დაშვება მათ ერთგვაროვნობასა და დაცემის კუთხის ვერტიკალურობაზე დამაჯერებელია, არაფერია ცნობილი რღვევათა ზოლის შესაძლო სისქეზე. ამიტომ, დანაწევრებისას მაქსიმალურად ვცდილობდით, რომ ბადის სიგანე არ ყოფილიყო დიდი და რღვევები დახასიათებულიყო მთლიანად მთელ მათ სიგრძეზე.

საკვლევი რაიონის მოდელში მოხდა ვერტიკალური დანაწევრება, რაც გულისმობდა შუა და ქვედა ეოცენის შესაბამისი 2 და 3 ვერტიკალური ფენის გამოყოფას (ნახ №59). ასეთი ვერტიკალური დანაწევრება განპირობებული იყო ჰიდროთერმული აუზის რთული აგებულებით, სინკლინური და ანტიკლინური სტრუქტურების არსებობით, რომლებიც იწვევენ მკვეთრ სიმაღლეთა ცვლილებებს. ვერტიკალურ ჭრილში მხოლოდ ის უჯრედები რჩება აქტიურად, რომლებშიც ცირკულირებს მიწისქვეშა წყალი.

წარმოდგენილ სქემაზე, ჰიდროთერმული ჰორიზონტის საზღვრები ემთხვევა წყალგაუმტარ კონტურებს, გარდა კვების არეალისა რომლისთვისაც დაშვებული იქნა ტემპერატურისა და ჩამონადენის მუდმივი სიდიდეები. აღმოსავლეთ მაღალი წნევის მუდვივ საზღვრად მიჩნეული იქნა სამგორის ნავთობიანი უბანი.

წყალშემცველი ჰორიზონტის ზედა საზღვრად, როგორც წყლის ნაკადისთვის ასევე, ტემპერატურული ნაკადისთვის, მიჩნეული იქნა შუა ეოცენის სახურავი. ხოლო წყლის ნაკადის ქვედა გაუმტარ საზღვრად ქვედა ეოცენის საგები. იგივე, ტემპერატურული ნაკადისთვის მიჩნეული იქნა როგორც მაღალი ტემპერატურის წყარო- გეოთერმალური გრადიენტის წარმოქმნის მიზეზი.

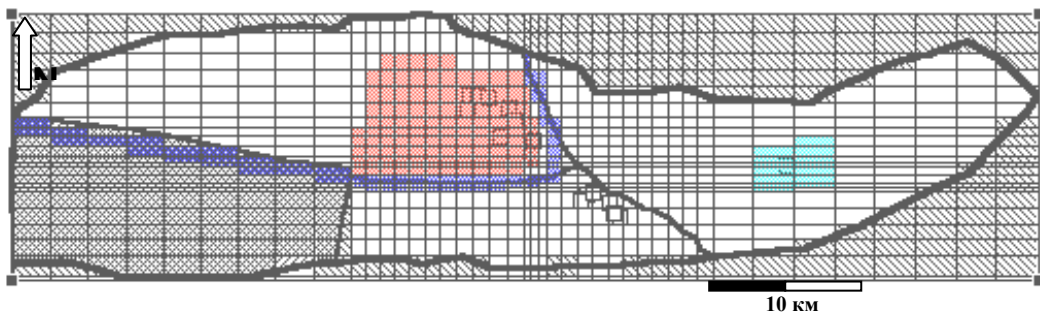


ნახ №59 - პირობები. ა) ეარმოლეგენილია : მკვანე - კვებისმუდმივი ნაკადი = 5 mm/w ტემპერატურით
 = 15°C), ლურჯი - : მკვანე - , დაშტრისული -
 - ველის ნაკადის ვყალგაუმტარ - მუდმივი მაღალი ვნევის (0.16 W/m2)

§15. კალიბრება

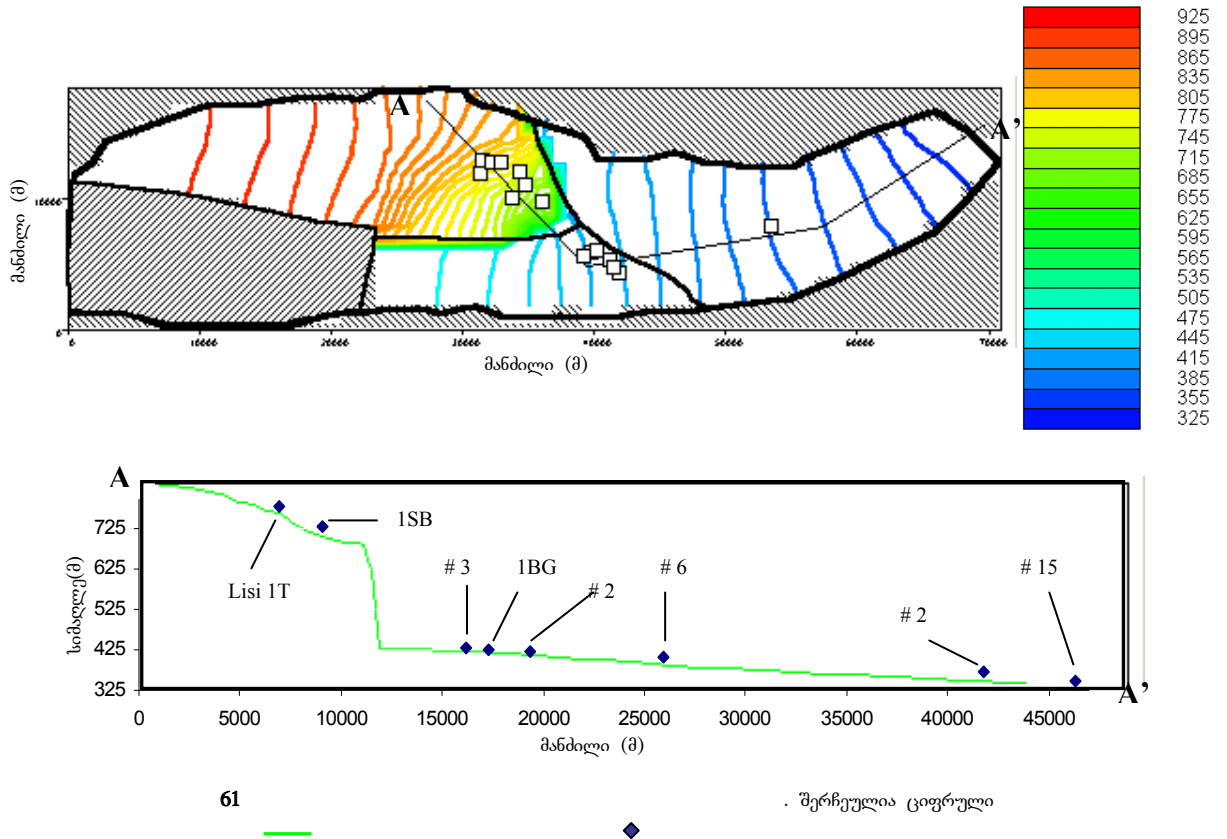
მოდელის კალიბრება მოხდა მისი შედარებით პიეზომეტრულ რუქასთან, რომელიც აგებული იქნა ჭაბურღილების მონაცემებზე დაყრდნობით. ხოლო ტემპერატურული ნაკადის მოდელის კალიბრებისთვის ამავე ჭაბურღილის მონაცემებით აგებული იქნა ტემპერატურების განაწილების რუქა. რამდენადაც, ზემოთ მოყვანილი ფორმულების შესაბამისად, წნევა და ტემპერატურა დამოკიდებულია ერთი და იგივე ფიზიკურ პარამეტრებზე, მათი კალიბრება (შერჩევა) ხდებოდა ერთდროულად, ისეთი პარამეტრების ცვლილებით, როგორებიცაა წყალგაცემის კოეფიციენტი, ჩამონადენის სიდიდე კვების არეში და სითბოგამტარებლობა.

რადგანაც არსებული ჰიდროდინამიკური ინფორმაცია არ გვაძლევს საშუალებას ვივარაუდოთ, რომ მათი მნიშვნელობები იცვლება უბნების ფარგლებში, ამიტომ მოდელის აგებისას წყალგაცემა რჩებოდა მუდმივი სიდიდედ ცალკეულ ჰიდროთერმულ უბანზე. ასევე, კვების არის მთელი ტერიტორიისთვის. ჩამონადენის საშუალო სიდიდეც არ ექვემდებარებოდა ცვლილებას (ნახ №60).



ნახ №60 – ფილტრაციის კოეფიციენტის განაწილება. თეთრი: $K_x=K_y=K_z = 0.72$ მ/დღ, ვითელი: $K_x=K_y = 0.11$ მ/დღ, $K_z = K_x/10$. ღია ლურჯი: $K_x=K_y=K_z 0.021$ მ/დღ, მუქი ლურჯი: $K_x=K_y=K_z = 4 \times 10^{-4}$ მ/დღ. დაშტრიხული უმოქმედო ნავილია.

წნევათა განაწილების მიღებული მოდელი შემოწმებული იქნა სავსე მონაცემებით (ნახ №61). ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ის მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ საუკეთესო მოდელს, გვიჩვენებენ, რომ ლისის უბნის საშუალო წყალგაცემის კოეფიციენტი ნაკლებია ცენტრალური უბნის წყალგაცემის კოეფიციენტზე.

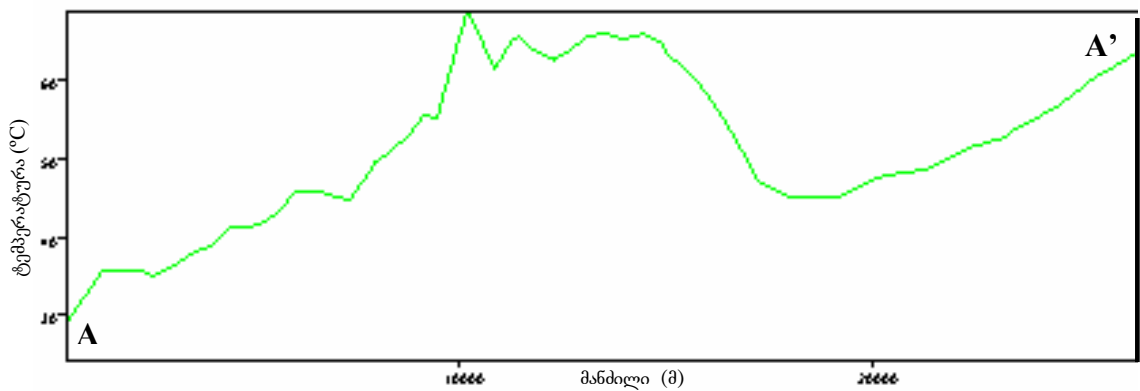
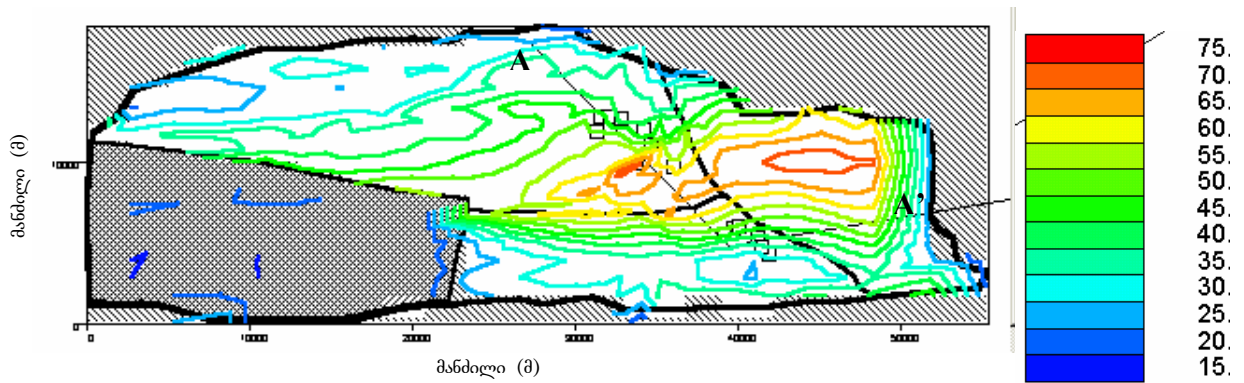


აღსანიშნავია, რომ არ არსებობს საკმაო მონაცემები რღვევის ორივე მხარეს წნევების განაწილების შესახებ, ხოლო საველე გაზომვებით მიღებული ჭაბურღილების ხარჯის მონაცემები არ იძლევიან საშუალებას გაითვალოს გამტარებლობა რღვევის ზოლში, ამიტომ ჩვენს მიერ პირობითად შერჩეული იქნა ისეთი ბიჯი, რომელიც შეესაბამებოდა დაბალ გამტარებლობას.

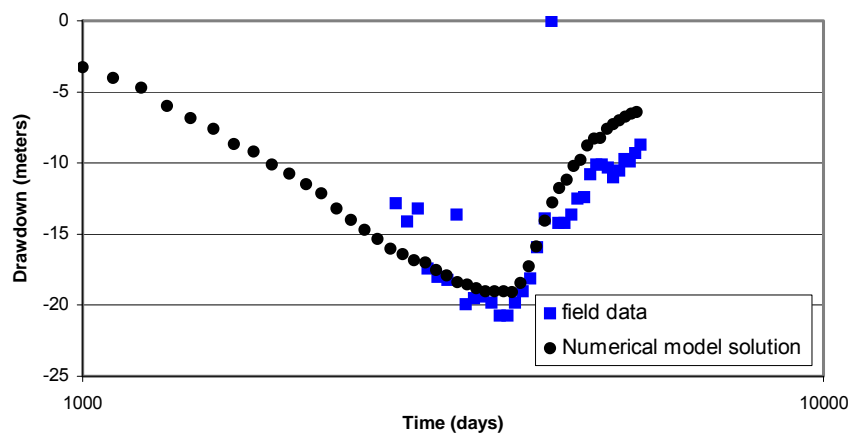
ტერიტორიის პერიფერიული ნაწილებისთვის ტემპერატურული მონაცემების არქონის გამო, ტემპერატურული განაწილება (ნახ. 62) დეტალურად გათვლილი იქნა ორივე თერმული უბნისთვის, უფრო მცირე ტერიტორიისთვის ვიდრე მთელი ტერიტორიაა და შემდგომ იგივე ბიჯით მოხდა მათი გადანაწილება მთელ ტერიტორიაზე.

მიწისქვეშა წყლების ნაკადის მოდელის კალიბრებისთვის გამოყენებული იქნა, ნავთობიანი უბნის ექსპლოატაციის დროს ცენტრალურ უბანზე გამოწვეული დარღვევების მონაცემები. 1974-1990 წლებში ნავთობის ამოქაჩვის გაზრდამ გამოიწვია დონის დაცემა №1- “ბოტანიკური ბაღის” ჭაბურღილზე. ნახ. 163 ნაჩვენებია ამ ჭაბურღილის კალიბრების შედეგი, რომლის დროსაც იცვლებოდა, წყალგაცემის სიდიდის განმაპირობებელი, ფორიანობისა და ქანების კუმშვადობის სიდიდეები.

თუმცა, არსებობდა შეზღუდვები. კერძოდ, არ არსებობდა არავითარი მონაცემი ჭაბურღილებში დამონტაჟებული ტუმბოების შესახებ. ამიტომ, მოდელირებისას ექსპლუატაციის სიდიდე განაწილებული იქნა თანაბრად მთელ ნავთობიან ტერიტორიაზე. ასევე, მიჩნეული იქნა, რომ ნავთობიანი უბანი განთავსებულია ჰიდროთერმული ჰორიზონტების ზემოთ და დროში მუდმივად გაწეილი იყო ამოქაჩვის პროცესი. მიუხედავად ამ დაშვებებისა გრაფ. №17 წარმოაჩენს ამ ორი უბნის ურთიერთ გავლენას ექსპლუატაციის დროს.



ნახ №62 –ა) გეგმა – ტემპერატურის განავილება °C; ბ) ჭრილი – ტემპერატურის განავილება A-A'



ნახ. №63 – ნავთობის ამოქაჩვისას №1 ჭაბურღილში დონის დაცემის გრაფიკი. მიღებული საველე დაკვირვებებით (ღია ლურჯი) და მოდელირებით (შავი ფერის).

§16. მიწისქვეშა წყალშემცველი ჰორიზონტის ჰიდროდინამიკური პარამეტრები და თერმული წყლის რესურსები

პროექტის ერთ-ერთ მიზანს წარმოადგენდა ჰიდროთერმული წყლის მარაგის დადგენა. ციფრული მოდელირებისას ხდება კვების არეში ჩამონადენის გაანგარიშება. ნახ. №56 ნაჩვენებია შუა და ქვედა ეოცენის გაშიშვლების არეალები-კვების არის ტერიტორია. ამ არეში დაღმავალი წყლის საშუალო ტემპერატურად მიჩნეული იქნა 15°. მოდელირებისას, კვების არის 166 კმ.კვ ფართობისათვის შერჩეული იქნა ვარიანტი ჩანაჟონისა -5 მმ/წელ, რამაც შეადგინა $2.27 \cdot 10^4 = 236.08$ მ3/დღ (ანუ 260 ლ/სთ). მეორე შემთხვევაში, კვების არის ჩრდილო ნაწილისთვის შერჩეული იქნა ჩანაჟონის 10 მმ/წელ სიდიდე. ამ შემთხვევაში მარაგი გაიზარდა $3.79 \cdot 10^4 = 394.16$ მ3/დღ.

იგივე პარამეტრებისთვის თუ დავითვლით ბალანსს პლოტნიკოვის ფორმულით:

$$Q=1000 \cdot M \cdot a \cdot F$$

სადაც Q არის ჩანაჟონი ნალექების რაოდენობა;

M-ნალექების წლიური რაოდენობა;

a- ჩაჟონვის კოეფიციენტი, რომელიც იცვლება 0.1 დან 0.9 მდე;

F- კვების არის ფართობი;

მივიღებთ:

$$Q=1000 \cdot 570 \cdot 0.1 \cdot 166 = 9462000 \text{ მ3/წელ ანუ } 25923 \text{ მ3/დღ, რაც ცოტათი მეტია}$$

მოდელირებით მიღებულ შედეგზე.

ცხრილ №20 ნაჩვენებია ორივე თერმული უბნისთვის ჰიდრაულიკური და თერმული პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობები. აღსანიშნავია, რომ ფილტრაციის და წყალგაცემის კოეფიციენტებს ეძლეოდათ განსხვავებული მნიშვნელობები სხვა და სხვა უბნებში. მოდელში შუა ეოცენის წყალშემცველ ჰორიზონტს აქვს მუდმივი სიდიდე -600 მ და ქვედა ეოცენს კი -500 მ. ორივე ჰორიზონტი აღიქმებოდა, როგორც ერთიანი ჰორიზონტი.

რაც შეეხება წყალშემცველობის კოეფიციენტს, მისი გამოთვლისთვის გამოყენებული იყო ფორიანობის, წყლის და ქანების კუმშვადობის და წყლის სიმკვრივის კოეფიციენტები. ეს ბოლო პარამეტრი იცვლება წნევისა და ტემპერატურის ცვლილებისას, ამიტომ მოდელში ყველა უჯრედს შეიძლება ჰქონდეს თავისი წყალშემცველობის კოეფიციენტი.

ეს პარამეტრები იქნა შერჩეული მოდელირებისას,

ცხრილი №19 შუა და ქვედა ეოცენის ასაკის წყალშემცველი ჰორიზონტებისთვის შერჩეული პარამეტრები

<i>პარამეტრი</i>	<i>ფასი</i>	<i>ერთეული</i>
ფორიანობა	0.012	-
ქანის კუმშვადობა	7.5×10^{-11}	Pa^{-1}
სითბოტევადობა	2.24×10^{-6}	$\text{J/kg}^\circ\text{C}$
ფილტრაციის კოეფიციენტი	ნახეთ ცხრილი №	
სითბოგამტარებლობა	3	W/m K

§17. ძირითადი შედეგები

შემუშავდა და გამოყენებული იქნა თერმო-ჰიდროდინამიკური მოდელირების საშუალებები, რამაც საშუალება მოგვცა განგვესაზღვრა ჰიდროთერმული რესურსები და შეგვეფასებინა წყალშემცველი ფენების ჰიდრავლიკური პარამეტრები. ეს საბოლოო ჯამში ხელს შეუწყობს მარაგების ყაირათიან და ეკოლოგიურად გამართლებულ ხარჯვას.

თუმცა ციფრული მოდელირების შესაძლებლობები ამით არ ამოიწურება. კერძოდ:

- შეიძლება ჩატარდეს ნავთობიანი ველის, ლისის თერმული ველის და ბალნეოლოგიური უბნის ექსპლუატაციის ისეთი მოდელირება, რომ მოხდეს მათი ერთმანეთზე გავლენის მინიმუზაცია.
- შესაძლებელია მოდელის გამოყენება ახალი ჭაბურღილების გაყვანის ან ძველის შეცვლის დროს.

- ამ რეგიონალური მოდელის დეტალიზაცია შესაძლებელია ნებისმიერი უბნისთვის დამატებითი ინფორმაციის შეტანისას.

მესამე თავი- ჰიდროგეოდეფორმაციული პროცესების სივრცულ-დროითი ანალიზი და მათი განვითარების კანონზომიერებები

§1. შესავალი

კავკასიის ტერიტორია მიეკუთვნება მსოფლიოს სეისმოაქტიურ რეგიონთა რიცხვს (67). ალპური სეისმური სისტემის კავკასიის სეგმენტი ჩამოყალიბდა არაბეთისა და ევრაზიის ტექტონიკური ფილაქნებისა და მრავალი მიკრო-ფილაქნის შეჯახების შედეგად (10,23,25). ამ დროს წარმოქმნილი ძლიერი დეფორმაციული პროცესები იწვევენ დიდი რაოდენობის ენერჯის დაგროვებას, რომლებიც განიმუხტებიან მრავალრიცხოვანი მიწისძვრების სახით, რაც დიდ ზიანს აყენებს კავკასიის მოსახლეობას და იწვევს ეკონომიურ ზარალს. ამიტომ გეოდეფორმაციული პროცესების განვითარების პროგნოზი მეტად აქტუალური და მნიშვნელოვანი პრობლემაა, რომლის გადაწყვეტაზე დამოკიდებული საქართველოსა და მეზობელი ქვეყნების ეკონომიკური განვითარება და მოსახლეობის უსაფრთხოება.

დღეისათვის, სამეცნიერო ლიტერატურაში მოყვანილია მრავალი ფაქტი წყლის დონის, ჰიდროქიმიური და გეოფიზიკური პარამეტრების მოკლე ვადიანი ანომალიებისა, მათი წარმოქმნის მექანიზმის ანალიზის გარეშე (12,13,14). მსოფლიოს სეისმოაქტიურ რეგიონებში, ბოლო 20 წლის განმავლობაში წარმოებულმა კვლევებმა დაადასტურეს მიზეზ-შედეგობრივი კავშირი ერთის მხრივ მიწისძვრებსა და ლითოსფეროში დაძაბულობის ველის ცვლილებებსა და მეორეს მხრივ, ამ გეოდეფორმაციულ პროცესებსა და მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკურ და ჰიდროქიმიურ რეჟიმს შორის (15,22,28).

კორელაციური კავშირი ტექტონიკური პროცესებით სეისმური მოვლენის მომზადებასა და მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკურ და ჰიდროქიმიურ ანომალიებს შორის, დაფიქსირებულია დიდი ხნის წინ (122,126,127). ნათელია ამ მოვლენის ფიზიკური არსიც, ლითოსფეროს ქანები შეიცავენ ნაპრალებს და ფორებს, რომლებიც რეაგირებენ მექანიკურ დაძაბულობაზე. როგორც ცნობილია, წყალი

უკუმშვადი გარემოა და სისტემის გახსნილობის შემთხვევაში დაძაბულობის ცვლილებისას იგი გამოედინება ამ დეფორმირებული სივრციდან, რაც გვადლევს საშუალებას დავაკვირდეთ დაძაბულობის ცვლილებას მიწისქვეშა წყლების დინამიკაზე დაკვირვებით (26,31,34,48,49,54).

ეს ცვლილებები აისახება მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიურ შემადგენლობასა და ტემპერატურაზეც (105,176,177,180). თუმცა ამ უკანასკნელის ცვლილებების დაფიქსირება ბევრად ძნელია მისი ცვლილებების მცირე სიდიდის გამო. ფაქტიურად, ეს შესაძლებელი გახდა მხოლოდ მილიკელვინის სიზუსტის, მაღალ მგრძობიარე ხელსაწყოების დამზადების შემდგომ (50,52,55,).

§2. ჩატარებულ რეჟიმულ დაკვირვებათა ისტორიული მიმოხილვა

უკვე მე-17 -- მე-18 საუკუნეებში ჩეხოსლოვაკიის კურორტ კარლოვი ვარში დააფიქსირეს მეტეოროლოგიური ფაქტორების გავლენა წყლის რეჟიმზე (63), ხოლო მადაროს წყლებზე ატმოსფერული წნევის, ნალექიანობის და მიმოქცევითი ვარიაციების გავლენა კი დააფიქსირეს ქვანახშირის საბადოებზე დაბა Duchov- ში (120, 152). პირველი სამეცნიერო კვლევები ამ მიმართულებით ჩატარდა მე-19 საუკუნეში Darcy (90), Daubrée (91) მიერ.

პირველი სახელმძღვანელო “Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde”. მიწისქვეშა წყლის მოძრაობის შესახებ გამოიცა გერმანიაში Keilhack მიერ 1912 წელს (110). პირველი ფუნდამენტური ნაშრომი- ამერიკაში მიწისქვეშა წყლების წარმოშობის შესახებ- მე-20 საუკუნის დასაწყისში დაწერა Meinzer (137). ფოროვან გარემოში გაზის მოძრაობის მათემატიკური გათვლები გაკეთდა Muskat & Botset (149) მიერ, ხოლო მიწისქვეშა წყლის მოძრაობის თეორიაზე Hubbert (103). ატმოსფერული წნევის ჩაქრობა სიღმის გაზრდასთან ერთად, გაანგარიშებული იქნა Lucke & Rose-ს მიერ (129). Jacob (107) შემოიტანა ფოროვანი გარემოს ელასტიურობის, როგორც პარამეტრის ცნება.

ბოლო ათწლეულებში გეოთერმულ ენერჯიაზე მოთხოვნილების გაზრდამ, მეტროპოლიტენების გაყვანამ, ეკოლოგიური პრობლემატიკის წამოწევამ, კომპიუტერული ტექნიკის განვითარებამ და სხვა, ბიძგი მისცა მიწისქვეშა წყლის

ნაკადის მოძრაობების ციფრული მოდელირების შემუშავებას და მისი კანონზომიერებების შესწავლას.

ამ მოთხოვნას მოჰყვა გამზომი ხელსაწყოების სიზუსტის გაზრდა (183) და მონაცემთა ავტომატური დაფიქსირება (138). ბოლო წლებში გამოჩნდა ელექტონული ხელსაწყოები, რომლებსაც შეუძლიათ ზუსტად დააფიქსირონ (0.1 მმ) სწრაფი ცვლილებები (136);

წინა საუკუნის ბოლოს, მიწისძვრის პროგნოზირების თემატიკით წარმოებულმა კვლევებმაც ხელი შეუწყო სპეციალიზირებული რეგიონული და ლოკალური ჭაბურღილების მონიტორინგსა და ციფრული მოდელირების კვლევების განვითარებას. (106, 73, 71, 169). ჭაბურღილების რეაქცია ტექტონიკურ დაძაბულობაზე დეტალურად განხილული იქნა Blanchard and Bayerly, Bredehoeft, (70, 73,). მომდევნო წლებში ინტენსიურად ჩაერთვნენ Roeloffs, Rojstaczer, Kumpel, Matsumoto et al. (80, 77, 200, 64) და საბჭოთა კავშირში, ჩინეთში, იაპონიასა და აშშ-ში Vartanian (178), Bredehoeft (73), Roeloffs (166), King et al, (112). კვლევებმა დააფიქსირა მრავალი წინა-სეისმური ანომალია წყლის დონეში, თუმცა არ არსებობს ზუსტი თანხვედრა წინამორბედების მახასიათებლებსა (ამპლიტუდა და ხანგრძლივობა) და სეისმური მოვლენების სიდიდესა და ეპიცენტრალურ მანძილს შორის. თუმცა აღსანიშნავია, რომ დადასტურდა მიწისძვრების განვითარების გაკონტროლების შესაძლებლობა ჭაბურღილებში წნევაზე დაკვირვებით (Wallace (100) Hsieh and Brederhoeft (34) Wesson (102).

ამ ჰიპოთეზის რეალურობის შემოწმების საშალებას წარმოადგენს წყლის დონის კო-სეისმური რეაქციის შედარება Okada (153,154) მიერ გათვლილ მოცულობითი დეფორმაციის თეორიული მნიშვნელობასთან. ის საშალებას იძლევა მიწისძვრის პარამეტრებით გაანგარიშებულ იქნას მიწისძვრით გამოწვეული დაძაბულობის ველი. წყლის დონის მატება უნდა შეესაბამებოდეს კომპრესიის ფართობს და მისი ვარდნა კი – გაჭიმვის ფართობს. იაპონიაში Koizumi et al, (123,124), Jonsson et al, (109) მიერ ჩატარებული კვლევებმა აჩვენეს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში ფიქსირდება დამაკმაყოფილებელი კორელაცია წყლის დონის ცვლილებებსა და თეორიულ მოცულობით დაძაბულობას შორის, მაგრამ საკმაოდ ხშირად წყლის დონის რეაქცია განსხვავდება ამპლიტუდით და ზოგჯერ დაძაბულობის ნიშნითაც. ამ ცდომილებების მიზეზი მოგვიანებით იქნება განხილული.

§3. რეჟიმული ჰიდროქიმიური და ჰიდროდინამიკური დაკვირვებები საქართველოს ტერიტორიაზე

ტაშკენტის (1961 წ.) კატასტროფული მიწისძვრის შემდგომ ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე გააქტიურდა კვლევები მიწისძვრის მექანიზმისა და წინამორბედების დადგენის მიზნით. ორგანიზაცია გაუკეთდა კომპლექსურ გეოლოგო-გეოფიზიკურ, ჰიდროქიმიურ და ჰიდროდინამიკურ დაკვირვებებს ალპური სისტემის ყველა სეისმოაქტიურ რეგიონებში, მათ შორის საქართველოში (45,46,47).

პირველ ეტაპზე, 1979-1985 წლებში, ჰიდროქიმიური დაკვირვებები მიმდინარეობდა საქართველოს ტერიტორიის ჯავახეთის და ენგურის სეისმოაქტიურ პოლიგონებზე, რისთვისაც შერჩეული იქნა ღრმა თვითდინებიანი მინერალური ან თერმული ჭაბურღილები, რომლებიც მდებარეობდნენ სეისმოაქტიური რღვევების მახლობლად და თითქმის თანაბრად ფარავდნენ პოლიგონების ფართობს (36-44). დაკვირვებები წარმოებდა შემდეგ ჭაბურღილებზე: ჯავახეთის პოლიგონზე-ასპინძაში (ჭაბურღილი და წყარო), წყალთბილა – ჭაბურღილი № 4, ნაქალაქევი – ჭაბურღილი № 1 და წყარო № 4, თმოგვი – ჭაბურღილი № 75, ვარძია – ჭაბურღილები №№43 და 22, მინამე- ჭაბურღილი № 4, ახალციხე – ჭაბურღილი № 1, ურაველი – წყარო. გარდა ამისა ჭაბურღილების ნაწილი გამოიყენებოდა დაბალი სეისმოაქტივობის ზონებში დაკვირვებისათვის, რათა განსაზღვრულიყი შესასწავლი მონაცემების ფონური ცვლილებები. ასეთი ჭაბურღილები შეირჩა შემდეგ პუნქტებში: მლაშე – ჭაბურღილი № 19, დიდი სმადა – ჭაბურღილი №18, წინუბანი – ჭაბურღილი № 2. ხოლო, დასავლეთ საქართველოში ენგურის ჰიდროქიმიურ პოლიგონზე შემდეგ პუნქტებზე: სოხუმი-ბესლეთი – ჭაბურღილები № 8 , 4, ზუგდიდი – ჭაბურღილი № 1, კინდლა – ჭაბურღილი № 1, ამაღლება – ჭაბურღილი № 1, სკური – ჭაბურღილი № 1, ლუგელა – ჭაბურღილი № 1, წყალტუბო – ჭაბურღილი № 6 ტ, ცაიში – ჭაბურღილი №9, მენჯი – ჭაბურღილები №№1, 24, სამტრედია – ჭაბურღილი № 1. შემდგომში ჭაბურღილები, რომელთა წყალშემცველ ჰორიზონტშიც აღწევდა ტექნოგენური ფაქტორები, ამოღებული იქნა დაკვირვების სისტემიდან – კინდლა – ჭაბურღილი № 1, მენჯი – ჭაბურღილი № 1 და ბესლეთი – ჭაბურღილი №4.

დაკვირვებების მეთოდის ითვალისწინებდა წყლის სინჯების აღებას 2,5 ლიტრის მოცულობით, ხოლო ზოგიერთ ჭაბურღილებში გაზისაგან- მოცულობით 0,5 ლიტრი.

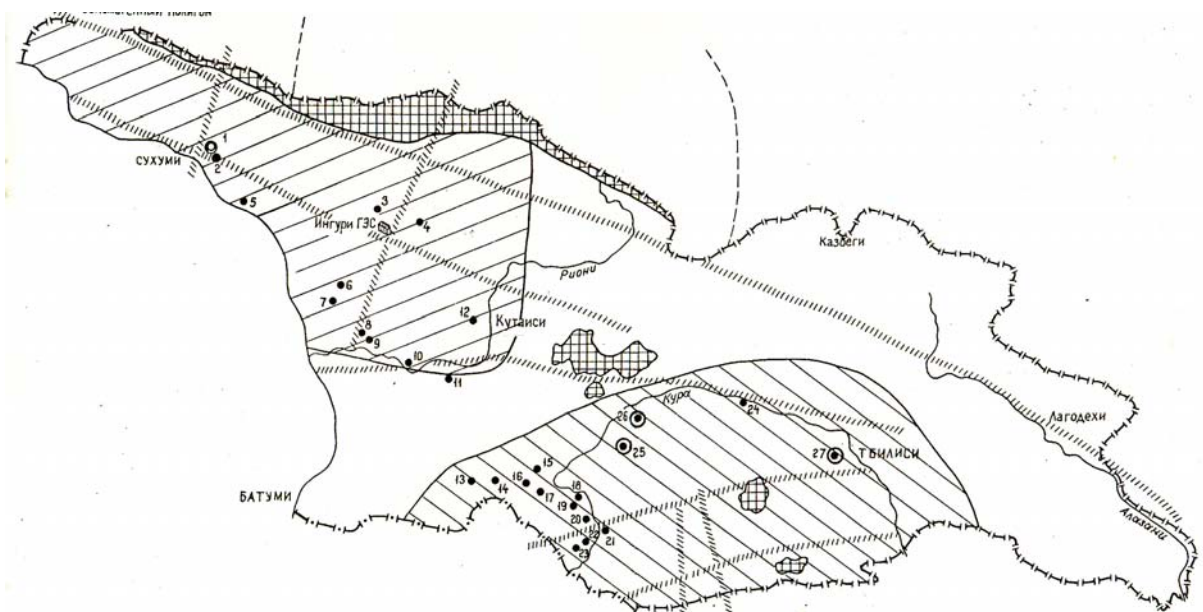
წყლის სინჯები იგზავნებოდა გეოლოგიის სამმართველოს ცენტრალურ ლაბორატორიაში, სადაც ხორციელდებოდა ქიმიური ანალიზი მიწისქვეშა წყლების შემდეგ პარამეტრებზე:

საერთო ფიზიკო- ქიმიური მაჩვენებლები, ფერი, გემო, გამჭვირვალობა; მიკრო და მაკროკომპონენტები: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , J^- , Br^- , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , He , Rn გაგრეთვე მინერალიზაცია და pH (11, 119).

წყლის ანალიზი ტარდებოდა სტანდარტული მეთოდების გამოყენებით.

წყლის სინჯის მოცულობის ნაწილი, 0,5 ლიტრი გამოყენებული იყო ჰელიუმის კონცენტრაციის დასადგენად, ხელსაწყო "ინგემ-1" – ის გამოყენებით(17).

პარალელურად ამავე პუნქტებზე იზომებოდა წყლის ხარჯი, წყლისა და ჰაერის ტემპერატურა. წყლის ხარჯი იზომებოდა მოცულობითი მეთოდით- საზომი ჭურჭლის გამოყენებით. ტარდებოდა სამჯერადი გაზომვები და საბოლოო შედეგად საშუალო მნიშვნელობა ითვლებოდა. ტემპერატურის განსაზღვრა ხდებოდა ვერცხლისწყლიანი თერმომეტრის გამოყენებით, რომლის გაზომვის სიზუსტე შეადგენდა 0,1 C (ნახ. №64).



ნახ. №64. საქართველოს ტერიტორიაზე მოქმედი ჰიდროქიმიური პარამეტრებზე დასაკვირვებელი ქსელი

1. ბესლეთი (ჭაბ. 8); 2. ბესლეთი (ჭაბ. 4); 3. სკური (ჭაბ. 1);

4. ლუგელა (ჭაბ. 1); 5. კინდლი (ჭაბ. 1); 6. ზუგდიდი (ჭაბ. 1);
 7. ციაში (ჭაბ. 1); 8. მენჯი (ჭაბ. 2); 9. მენჯი (ჭაბ. 1);
 10. სამტრედია (ჭაბ. 1); 11. ამაღლება (ჭაბ. 1); 12. წყალტუბო (ჭაბ. 6ტ);
 13. მლაშე (ჭაბ. 19); 14. სმადა (ჭაბ. 18); 15. წინუბანი (ჭაბ. 4);
 16. ახალციხე (ჭაბ. 1); 17. მინაძე (ჭაბ. 2); 18. ასპინძა (ჭაბ. 8);
 19. ასპინძა წყარო; 20. ნაქალაქევი (ჭაბ. 1); 21. თმოგვი (ჭაბ. 75);
 22. ვარძია (ჭაბ. 43); 23. ვარძია (ჭაბ. 22); 24. გორი (ჭაბ. 1);
 25. ბაკურიანი (ჭაბ. 1); 26. ბორჯომი (ჭაბ. 25ე); 27. თბილისი (ჭაბ. 4ტ);
 . დანაკვირვები 1980-85 წ.წ; დანაკვირვები 1985-88 წ.წ. ○

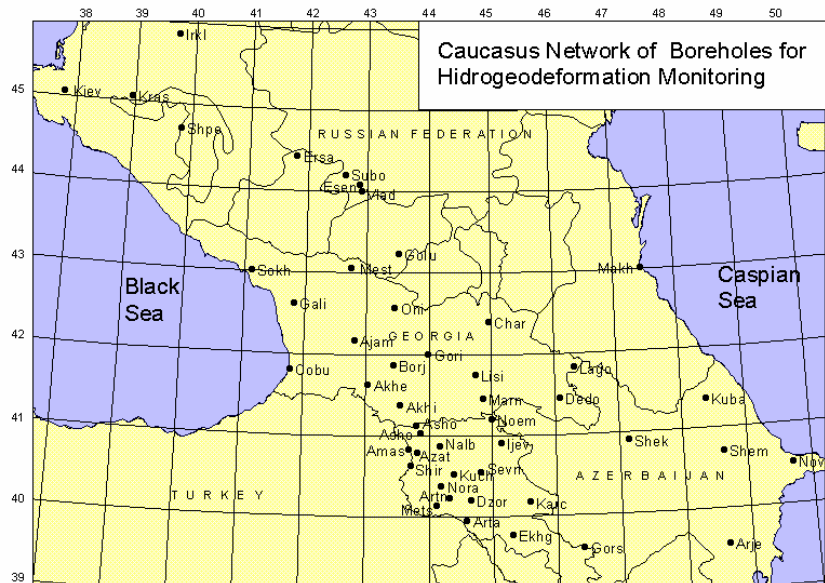
მიღებული მონაცემების შეფასების კრიტერიუმების არარსებობის გამო, მათი ინფორმაციულობის გამოვლენის ერთადერთ საშუალებას წარმოადგენდა მხოლოდ მათ რეტროსპექტიული ანალიზი.

1985 წლიდან დაიწყო მეორე ეტაპი მიწისძვრის წინამორბედების დადგენის საქმეში, როდესაც დაიწყო ე.წ. “ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველის მონიტორინგის” ორგანიზება იმავე ტერიტორიაზე. ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველზე დაკვირვების მეთოდი გამოირჩევა თავისი ინფორმატიულობით. იგი საშუალებას იძლევა რეალურ დროში დავაკვირდეთ ლითოსფეროში მიმდინარე კუმშვა-გაჭიმვით დეფორმაციულ პროცესებს და შევისწავლოთ გარემოს გეოდინამიური განვითარების კანონზომიერებები, მათ შორის ძლიერი მიწისძვრების განმაპირობებელიც (18,19,20).

დაკვირვებისათვის შერჩეული იქნა დაურღვეველი რეჟიმის მქონე ღრმა ინფორმაციული სუბარტეზიული ტიპის ჭაბურღილები, რომლებიც თანაბარი დაფარვით იყვნენ განლაგებული მთელ ტერიტორიაზე. ჭაბურღილის ინფორმაციის განსაზღვრისათვის მასზე ტარდებოდა მისი ჰიდროდინამიკური პარამეტრების დამდგენი საცდელი ჩასხმები და მოკლე ვადიანი რეჟიმული დაკვირვებები. თუ ამ პერიოდში წყლის დონის ვარიაციებში ფიქსირდებოდა დედამიწის მიმოქცევითი ვარიაციები, იგი ირთვებოდა სარეჟიმო ქსელში, შემდეგი გრძელ ვადიანი ტესტირებისთვის (21).

1985-1992 წლების პერიოდში შერჩეული სარეჟიმო ქსელი მოიცავდა 70-მდე ჭაბურღილს ცენტრალურ აზიაში, 50-ს კავკასიაში, მათ შორის 15 საქართველოში. დაკვირვებების პერიოდში ჭაბურღილები, როგორც მოცულობითი დეფორმოგრაფი, მგრძნობიარედ რეაგირებენ ყველა სახის დეფორმაციებზე, როგორც ეგზოგენურ,

ასევე ენდოგენურზე (ნახ. 165). დაკვირვებათა სიზუსტე აღწევდა 10^{-7} - 10^{-9} სიდიდეს (74,75,132,140,157).



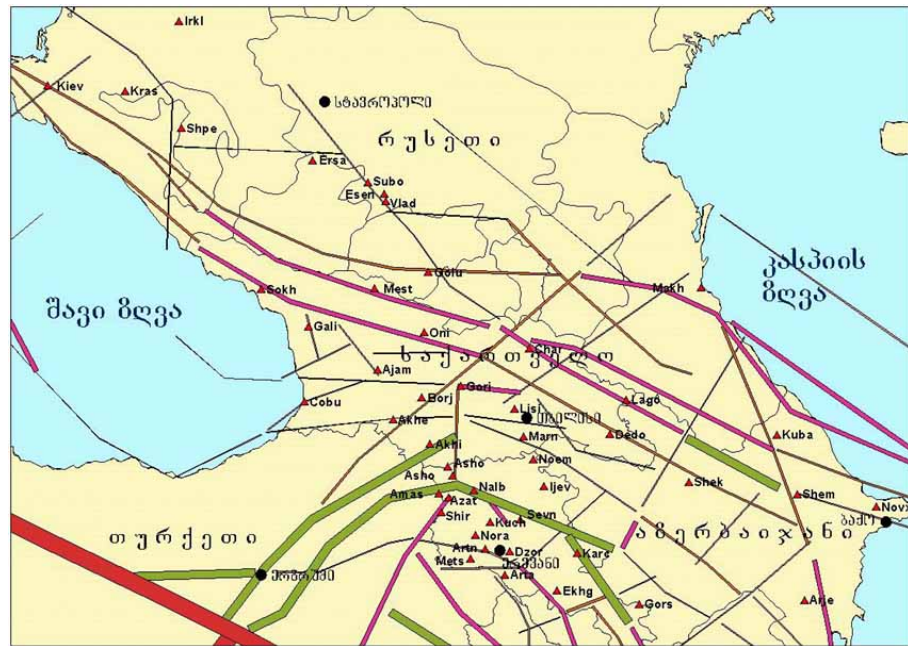
ნახ. 165. ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველზე დაკვირვების კავკასიის ქსელი

ჰიდროდინამიკური დაკვირვებებისას წინა წლებში გამოყენებული იქნა მექანიკური ხელსაწყოები “გრ-83”, რომელის სიზუსტე შეადგენდა 5 სმ და უფრო ზუსტი ეგზემპლიარები 1 სმ.

ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის მონიტორინგისთვის გამოყენებული იქნა წყლის დონისა და ატმოსფერული წნევის გამზომი კომპლექსური ელექტრონული ხელსაწყოები “გდ-2”, სიზუსტით შესაბამისად 1 სმ და 1 მპას.

მიღებული მასალების ანალიზისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭებოდა ყველა რეჟიმშემადგენელი ფაქტორის დადგენას, მათი კორექტული ანალიზისათვის სწორი ალგორითმის შემუშავებას.

სარეჟიმო ჭაბურღილები ირჩეოდა იმ პრინციპით, რომ დაეხასიათებინათ ყველა დიდი, დამოუკიდებელი რეჟიმის მქონე გეოლოგიური ბლოკები (ნახ. 166).



ნახ. №66. სარეჟიმო ჭაბურღილების გეოლოგიურ ბლოკებზე განლაგების სქემა

§4. მონაცემთა დამუშავებისა და ფილტრაციის მეთოდების აღწერა

წყლის დონეების ცვლილებების სწორი ინტერპრეტაციისათვის საჭიროა მათზე მომქმედი ყველა ფაქტორის შესახებ ინფორმაციის მოძიება:

1. ატმოსფერული წნევა;
2. ნალექიანობა და თოვლის საფარის სიდიდე;
3. მიმოქცევითი ვარიაციები;
4. ტექტონიკური დაძაბულობების სიდიდე;

გარდა ამისა საჭიროა დამატებითი ინფორმაცია:

5. ჰაერის ტემპერატურა;
6. წყალშემცველი ჰორიზონტის ჰიდროდინამიკური მახასიათებლები (წყალშემცველობა, წყალგაცემა, ფილტრაციის კოეფიციენტი, გაზური შემაღენლობა და სხვა);
7. სეისმური კატალოგი;
8. წყლის ქიმიური შემაღენლობა და სხვა.

წყლის დონის მონაცემების დამუშავება და ფილტრაცია.

როგორც წესი, წყლის დონის ცვლილებები განპირობებულია ძირითადად შემდეგი ფაქტორებისგან: ატმოსფერული წნევა – (AP); ნალექიანობა (PR); მიმოქცევითი

ვარიაციები- (TI) და ტექტონიკური-სეისმური დამაბულობა $-(T/S)$. მცირე წილი მოდის აპარატურულ ცდომილებაზე (21,58).

წყლის დონე $= f(AP) + f(PR) + f(TI) + f(T/S) + \epsilon$

ტექტონიკური კომპონენტის გამოსაყოფად საჭიროა პირველადი მასალის გაფილტვრა და არატექტონიკური მდგენელის მოცილება (128,129).

ატმოსფერული წნევა

იგი არის ძირითადი ფაქტორი. მისი ცვლილების ΔP გავლენა მნიშვნელოვანია, თავდია ჭაბურღილში ან ჭაში იგი იწვევს წყლის დონის h წვლილებას Δh სიდიდით.

$$\Delta h = -(1 - \alpha) \Delta P / \rho g$$

სადაც ρ არის წყლის სიმკვრივე; g სიმძიმის ძალის აჩქარება; α წარმოადგენს ჭაბურღილის მიმდებარე ფილტრულ ნაწილში- (წყალშემცველ ჰორიზონტში), წყლის დონის ცვლილების შეფარდებას ΔP ატმოსფერული წნევის ცვლილებასთან და მას ეწოდება ზედაპირული დატვირთვის ეფექტურობა (130,156).

.ჰიდრავლური ბარომეტრული ეფექტურობა (BEH) შეიძლება დაუკავშირდეს ზედაპირის დატვირთვის ეფექტურობას α შემდეგი გზით:

$$BEH = \rho g \Delta h / \Delta P = -(1 - \alpha).$$

მიმოქცევითი ეფექტურობა

წყლის დონის ვარიაციები, გამოწვეული მიმოქცევითი ვარიაციებით, შეიძლება მივაკუთვნოთ წყალშემცველი ჰორიზონტის ფოროელასტურ მახასიათებელს. მიმოქცევების ვარიაციებით გამოწვეული დონის ცვლილება ჭაბურღილის სიღრმეში $h(\omega)$ ტოლია:

$$h_i(\omega) = -\frac{1}{\rho g} (TEH) \epsilon_i(\omega)$$

სადაც ω არის სიხშირე, TEH არის მიმოქცევების ჰიდრავლიკური ეფექტურობა და $\epsilon_i(\omega)$ შეესაბამება მიმოქცევისგან გამოწვეულ მოცულობით დამაბულობას Roeloffs (1996). (166)

$$TEH = \frac{2GB}{3} \frac{1 - \nu_u}{1 - 2\nu_u}$$

სადაც G არის ძვრის მოდული, ν_u არის გაუშრობელი პუასონის კოეფიციენტი და B არის სკემპტონის კოეფიციენტი:

$$B = \frac{\beta - \beta_s}{\Phi\beta_f + \beta + \beta_s - \Phi\beta_s}$$

სადაც β , β_s და β_f არიან სისტემის კუმშვადობის კოეფიციენტები, ν_u ფაზა და Φ არის ფორიანობა.

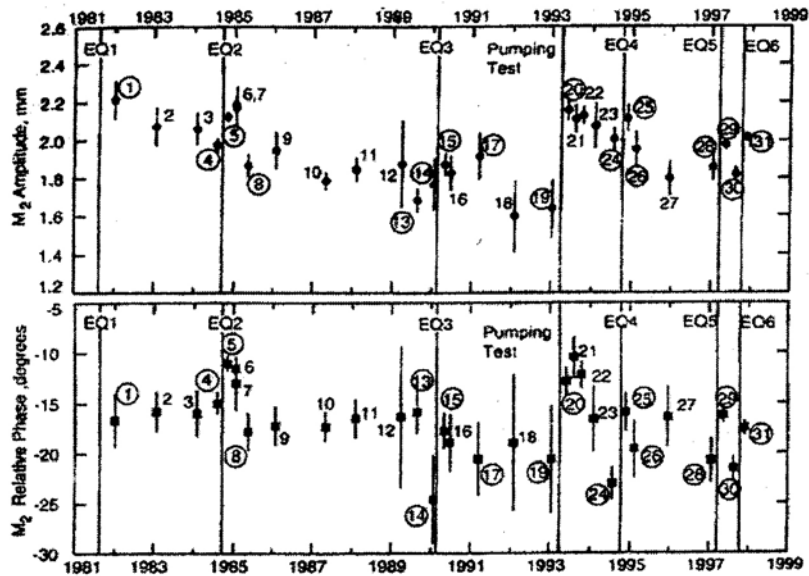
თუმცა, ჭაბურღილებში წყლის დონის ცვლილების ზუსტი აღწერა ბევრად რთულია და ამ ეფექტების გავლენა საჭიროა განხილული იქნას წყალშემცველი ჰორიზონტის შეზღუდული ზომისთვის Matsumoto et al (135).

ტექტონიკური მდგენელი

ჰიდროდინამიკური სიგნალიდან ტექტონიკური მდგენელის გამოსაყოფად სხვა და სხვა ავტორების იყენებენ განსხვავებულ მეთოდებს (158, 163, 164, 181, 182, 183).

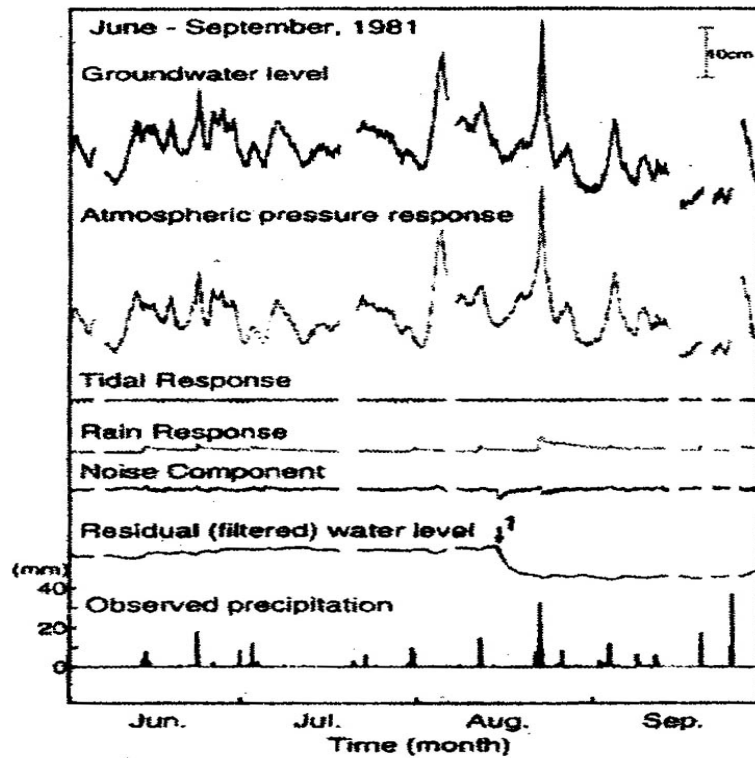
არატექტონიკური კომპონენტების გამოსაყოფად Roeloffs (165) გვთავაზობს გამოვიყენოთ საშუალო კვადრატული რეგრესია ორი კოეფიციენტით ძირითადი TI-კომპონენტებისათვის და AP-კომპონენტისათვის. იმისათვის, რომ გავითვალისწინოთ AP-კომპონენტის სიხშირული დამოკიდებულება, Quilty ო Roeloffs (158) მიერ წარმოდგენილ იქნა სპეციალური გადაცემის ფუნქცია.

Hsieh et al (101)-ის მიხედვით, წყლის დონის ვარიაციებში მიმოქცევითი ვარიაციის ამპლიტუდა და ფაზა დაკავშირებულია წყალშემცველი ჰორიზონტის მდგომარეობასთან. ამპლიტუდა განისაზღვრება წყალშემცველი ჰორიზონტის ფოროელასტიკური მახასიათებლებით, კერძოდ, პუასონის კოეფიციენტით, ქანისა და სითხის კუმშვადობით (გაზური ფაქტორით). ფაზური ჩამორჩენა დედამიწის მიმოქცევებსა და მისი ასახვისა წყლის დონეში, დამოკიდებულია ჭის ფართობსა და წყალშემცველი ჰორიზონტის გამტარობაზე. რამდენადაც წყლის ნაკადს ახასიათებს ინერციულობა, ამპლიტუდის პერიოდული შეფასება და M_2 კომპონენტის ფაზური წანაცვლება გამოავლენს დროით დამოკიდებულებას წყლის დონის რეაქციასა და მოცულობით დაძაბულობის ცვლილებებს შორის ჰაიბარას ჭაში. ეს დარღვევები, როგორც წესი, თან ახლავს მიწისძვრებს და საცდელ ამოქაჩვებს. (ნახ.67).



ნახ №67 ჰაიბარას ჭაბურღილში წყლის დონეში ამპლიტუდისა სხვაობა და ფაზათა წანაცვლება M_2 მდგენელის მიმართ, ვერტიკალური ხაზებით აღნიშნულია მიისძვრები.

Akaike et al, (62) და Tamuta, et al, (171) შეიმუშავეს სპეციალური პროგრამა BAYTAP-G (Bayesian Tidal Analysis Program in a Grouping Method) იმისათვის, რომ გაეფილტრათ ატმოსფერული და მიმოქცევითი ვარიაციები. წყლის დონეზე ნალექიანობის გავლენა რეგრესიული ანალიზის გამოყენებით შეფასებულ იქნა Matsumoto (135) მიერ. აღსანიშნავია ასევე Kitagava და Matsumoto (119) გამოიყენეს კალმანის ფილტრი, რათა გამოეყოთ ყველა არა-ტექტონიკური ვარიაციები და ხმაური. წყლის დონის მონაცემების სრული ანალიზი, რომელიც გამოყენებული იქნა ჰაიბარას ჭაბურღილში (Matsumoto et al, (136 b) წარმოადგენს წყლის დონის ვარიაციებზე დაკვირვების, დამუშავების და გაფილტვრის ყოვლისმომცველი მიდგომის მაგალითს. ნახ. №68 გვიჩვენებს თუ როგორ შეიძლება წყლის დონის სიგნალიდან გამოცალკევებული იქნას ატმოსფერული წნევის, მიმოქცევების, ნალექიანობის და ხმაურის გავლენები.

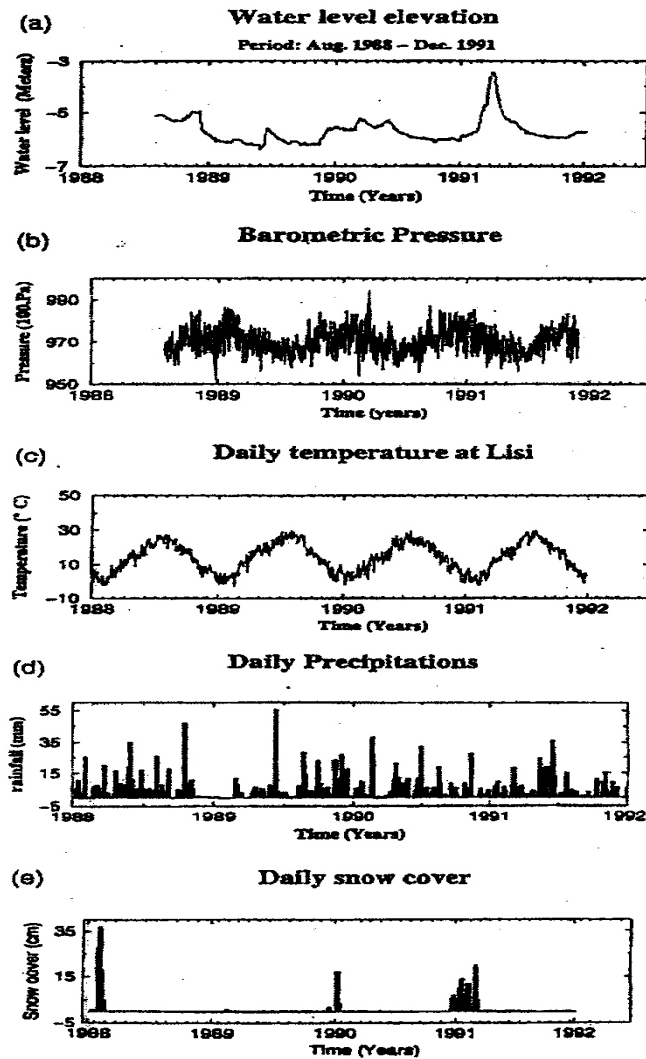


ნახ №68 ასახულია ჰაიბარას (იაპონია) ჭაბურღილში წყლის დონის მონაცემების დამუშავების პროცესი. მულტი სიგნალიდან ატმოსფერული წნევის, მიმოქცევითი ვარიაციების და ატმოსფერული ნალექების გამოყოფის შემდეგ რჩება წყლის დონის დაყვანილი მნიშვნელობა.

პრობლემისადმი თანმიმდევრული მიდგომის კიდევ ერთ მაგალითს წარმოადგენს წყლის დონის მონაცემების ანალიზი ლისის ჭაბურღილზე (საქართველო) (96), სადაც წყლის დონის დეკომპოზიციისათვის გამოყენებულ იქნა განსხვავებული მეთოდი. 1988-1992 წლების პერიოდის მიმოქცევითი ვარიაციების, ატმოსფერული წნევის და ნალექიანობის რეალურ მონაცემებზე დაყრდნობით მოხდა ლისის ჭაბურღილში წყლის დონის ვარიაციის თეორიული რეაქციის სინთეზი, რომელსაც შედარდა წყლის დონის რეალური ვარიაციები. (ნახ. №69).

ამ პერიოდში კავკასიაში მოხდა ორი დიდი --სპიტაკისა (7.12.1988, $M = 6,8$, $\Delta = 110$ km) და რაჭის (29.04.1991, $M = 6,9$, $\Delta = 125$ km) მიწისძვრა. აქ M არის მაგნიტუდა და Δ არის ეპიცენტრალური მანძილი. მიმოქცევითი ანალიზი ჩატარდა Hsieh et al (102) თეორიის და თეორიული მიმოქცევითი პოტენციური პროგრამის RATG95 Roosbeek, (167) გამოყენებით. ბარომეტრული ეფექტი დაანგარიშებულ იქნა სიხშირეზე დამოკიდებული ფუნქციის გამოყენებით Bendat and Piersol (66); Rojstaczer (162).

პლუვიომეტრული ანალიზი ჩატარდა წყლის ხარჯის ყველა კომპონენტის გათვალისწინებით: ნალექიანობა PR, დაფარვა E და წყალშემცველობის ცვლილება Thornthwaite (172); Willmott (184). კო-სეისმური ეფექტები შეფასებულ იქნა ექსპონენტური ჩაქრობის ფუნქციით. ჭაბურღილში ქანების ფოროელასტიური მახასიათებლები დადგენილი იქნა მიმოქცევით ვარიაციებზე რეაქციით და ჰიდრავლიკური ტესტირებით (საცდელი-ჩასხმები). ეს მიდგომა იძლევა ჭაბურღილის ჰიდრავლიკური სიგნალის თეორიული რეაქციის რეკონსტრუქციის შესაძლებლობას და ითვალისწინებს მასზე მომქმედ ყველა ფაქტორს. სხვაობა წყლის დონის თეორიულ და რეალურ მნიშვნელობებს შორის წარმოადგენს ჩვენთვის საინტერესო ტექტონიკური მდგენელით გამოწვეულ ცვლილებების სიდიდეს.



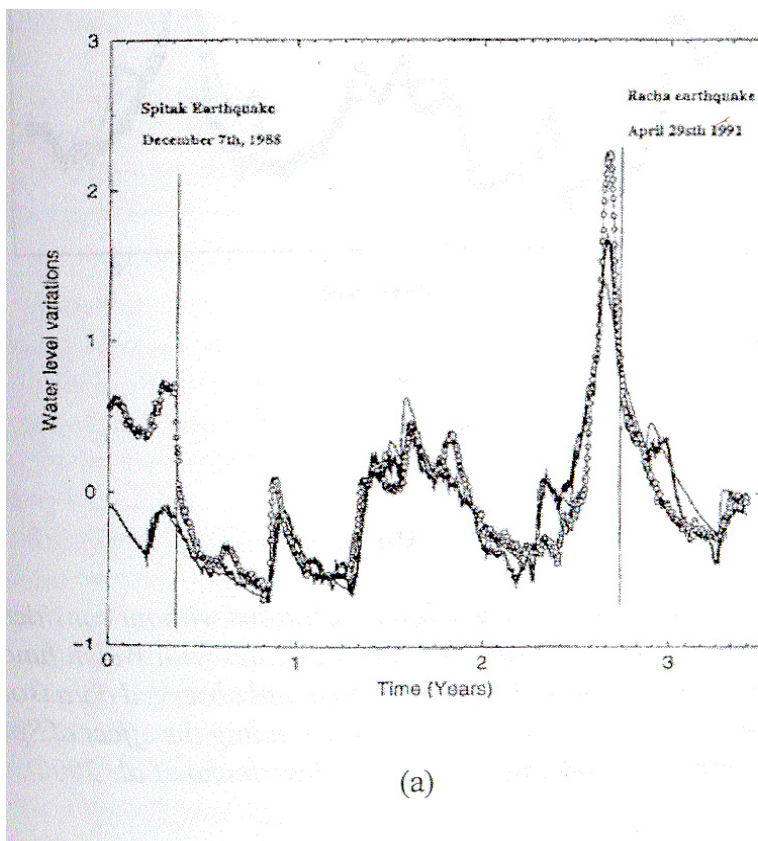
ნახ №69 მოცემულია შეყვანილი მონაცემები a) წყლის დონე, b) ატმოსფერული წნევა, c) ნიადაგის ტემპერატურა d) ნალექიანობა e) თოვლის საფარის სიდიდე

ჰიდროდინამიკური მოდელირების მაგალითები

მასალის სწორი ინტერპრეტაციისთვის, აუცილებელია შევისწავლოთ წყლის დონის რეაქცია მიმოქცევებით ვარიაციებზე, ბარომეტრიულ წნევაზე და ნალექიანობაზე, საჭიროა ასევე წყალშემცველი ჰორიზონტის ძირითადი პარამეტრების ცოდნა. ისეთების, როგორცაა ფილტრაციის კოეფიციენტი K , წყალშემცველობის კოეფიციენტი S , ჭაბურღილის ტენზომგრძნობიარობა k_s , წყალშემცველი ჰორიზონტის საზღვრები და წყალმიღების უნარი, რაც ართულებს ამოცანას (28, 64). თუმცა, K და S პარამეტრები შეიძლება განსაზღვრული იქნას

მიმოქცევითი რეაქციებიდან და ჰიდრავლიკური ტესტებიდან, რაც საშუალებას იძლევა დამაჯერებლად შეფასდეს ეს მონაცემები.

წყლის დონის მონაცემების ინტერპრეტაციის და პროცესების მოდელირების ერთ-ერთი მცდელობა ჩატარდა ავტორთა ჯგუფის მიერ: გავრილენკო, მელიქაძე, ჭელიძე და სხვები (96). ნახ. №70 a, b მოცემულია დაკვირვებებით და თეორიული მოდელირებით მიღებული წყლის დონის ცვლილებები: (ა) ნაჩვენებია ყველა არა-ტექტონიკური კომპონენტის გათვალისწინებით აგებული მრუდი და (ბ) სპიტაკის და რაჩის მიწისძვრების ეფექტიანი მრუდი. ავტორების დასკვნითი ინტერპრეტაციით ლისის ჭაბურღილის ჩანაწერებში სპიტაკის მიწისძვრას წინ უსწრებდა წყლის დონის მკვეთრი ანომალია, ხოლო რაჩის მიწისძვრის შემთხვევაში, ანომალია არა მკვეთრია. როგორც ნახაზიდან ჩანს, თეორიული მოდელირების და რეალური დაკვირვების შედეგები კარგად ედრება ერთმანეთს, თუმცა აღსანიშნავია, რომ თეორიული მოდელი დაფუძნებულია რამდენიმე ვარაუდზე.



ნახ №70 ა- თეორიულად გათვლილი წყლის დონის ცვლილებები (თხელი წრფე) და რეალურად დანაკვირვები (მსხვილი წრფე წრფეებით); ბ-იგივე სპიტაკის მიწისძვრის გავლენის გათვალისწინებით.

მიწისძვრის შემდგომი განტვირთვის პროცესები

მოდელირებისას თეორიული მრუდის მისაღებად არატექტონიკური კომპონენტების გათვალისწინების გარდა, საჭიროა აღვწეროთ წყლის წნევის ცვლილების ის ფუნქცია, რომელიც ასახავს კო-სეისმურ წყლის დონის რეაქციას.

ჰიდროდინამიკური წნევის კო-სეისმურ აღდგენას –რელაქსაციას, როგორც წესი, სჭირდება დიდი დრო. ჰიდროდინამიკური რელაქსაციის დროის დაკავშირება მიწისძვრის შემდგომი ქმედებების პერიოდთან წარმოადგენს უმარტივეს ჰიპოთეზას. მეორეს მხრივ, ჰიდროდინამიკური და ელასტიური რელაქსაციის პროცესებს შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა ფიზიკური ხასიათი და შეიძლება ასევე განსხვავებული იყოს საწყის მდგომარეობამდე დასაბრუნებლად საჭირო დრო.

ავტორებმა ლისის ჭაბურღლის მასალებზე დაყრდნობით შემოგვთავაზეს სპიტაკის მიწისძვრის (1988) ჰიდროდინამიკური შედეგების მოდელი. კო-სეისმური ჰიდროლიკური (გაფილტრული) რეაქციის $u(t)$ გარდამავალი ნაწილი გამოსახული იქნა შემდეგნაირად:

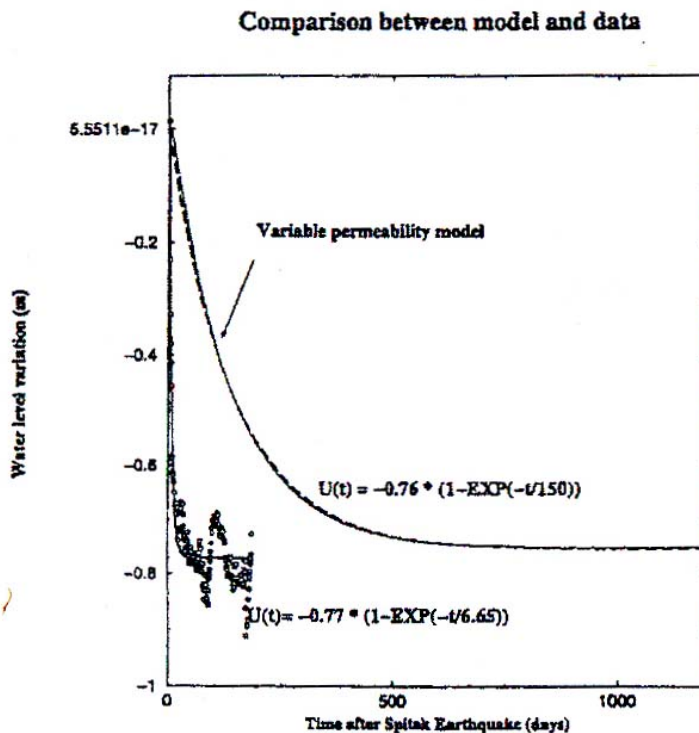
$$u(t) = u_0 [1 - \exp(-t/t_c)]$$

სადაც $u_0 = 78$ სმ და მუდმივი დროის სიდიდე უდრის $t_c = 6.65$ დღეს. ეს ნიშნავს, რომ 6.65 დღის შემდეგ ანომალია მცირდება თავისი საწყისი (კო-სეისმური) მნიშვნელობის $1/e$ - მდე; ამასთან, წყლის დონის ვარდნა 78 სმ-ით მუდმივი სიდიდეა. ექსპერიმენტული მონაცემი ადასტურებს, რომ წყლის საწყისი დონე არ აღსდგა მომდევნო სამი წლის განმავლობაში, ანუ მიწისძვრამ გამოიწვია წყლის დონის ვარდნა ხანგრძლივი დროით.

Rojstaczer (79) и Roeloffs (166) წყლის დონის ხანგრძლივი ანომალიები სცადეს აეხსნათ მოსული სეისმური ტალღით გამოწვეული წყალშემცველი ჰორიზონტის დაზიანებით.

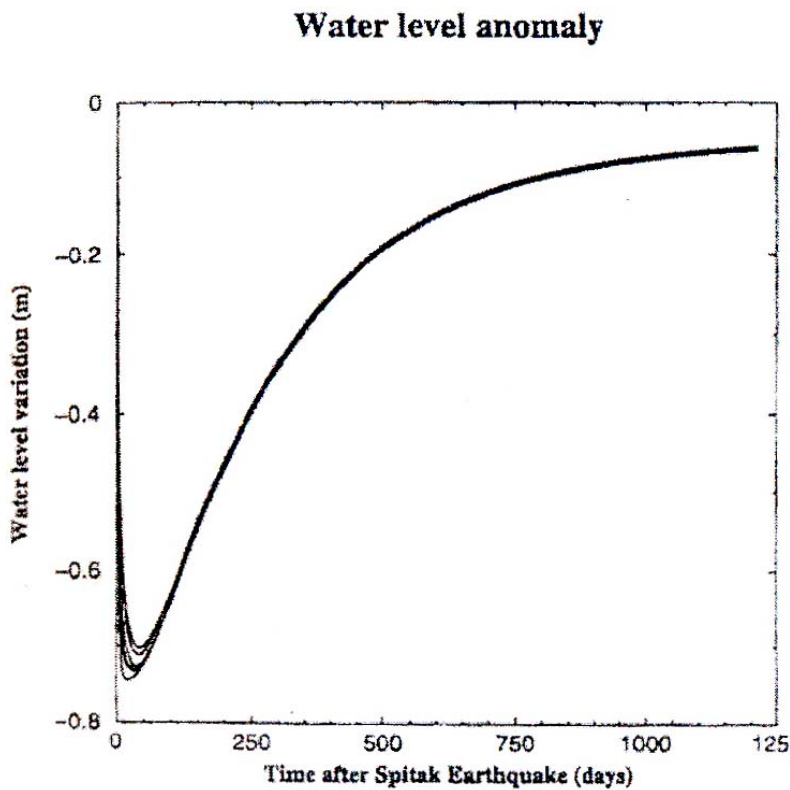
Gavrilenko, Melikadze et al (96) ეცადენ გაეანალიზებინათ შესაძლო ფიზიკური (ფოროელასტიური) პროცესები, რომელსაც შეიძლება გამოეწვიათ სპიტაკის მიწისძვრის შემდგომ დანაკვირვები რეაქცია, წინა ემპირიული ფორმულის გამოუყენებლად. ამისათვის წყალშემცველი ჰორიზონტი წარმოდგენილი იქნა როგორც ორგანოზომილებიანი შრე, რომელსაც ჰქონდა 6000 მ სიგრძე და დიფუზიის კოეფიციენტი შეადგენდა $c = 1.15 \text{ m}^2/\text{s}$. მოდელირებისას განხილული იქნა ორი განსხვავებული, ცვალებადი-გამტარებლობისა და ცვალებადი-ფორიანობის რეჟიმები.

ცვალებადი გამტარებლობის მოდელი კარგად ხსნის სპიტაკის მიწისძვრის შემდგომ წყლის დონის ვარდნის საბოლოო მნიშვნელობებს, რისთვისაც საჭირო იყო დაგვეშვა კო-სეისმური ჰიდროდინამიკური გამტარებლობის ზრდის შესაძლებლობა $1.5 \cdot 10^{-7}$ მ/წმ-დან $3 \cdot 10^{-7}$ მ/წმ-მდე (ბოლო მნიშვნელობა გაიზომა მიწისძვრის შემდგომ). მეორეს მხრივ, ამ მოდელში დროის მუდმივა t_c გათვლილი იყო 150 დღეზე, რაც გაცილებით მეტია ვიდრე ექსპერიმენტულად დანაკვირვები 6.65 დღის მაჩვენებელი.



ნახ №71- დანაკვირვები მონაცემების (მსხვილი მრუდი) და ცვლადი გამტარებლობის მოდელით გათვლილი ანომალიების შედარება.

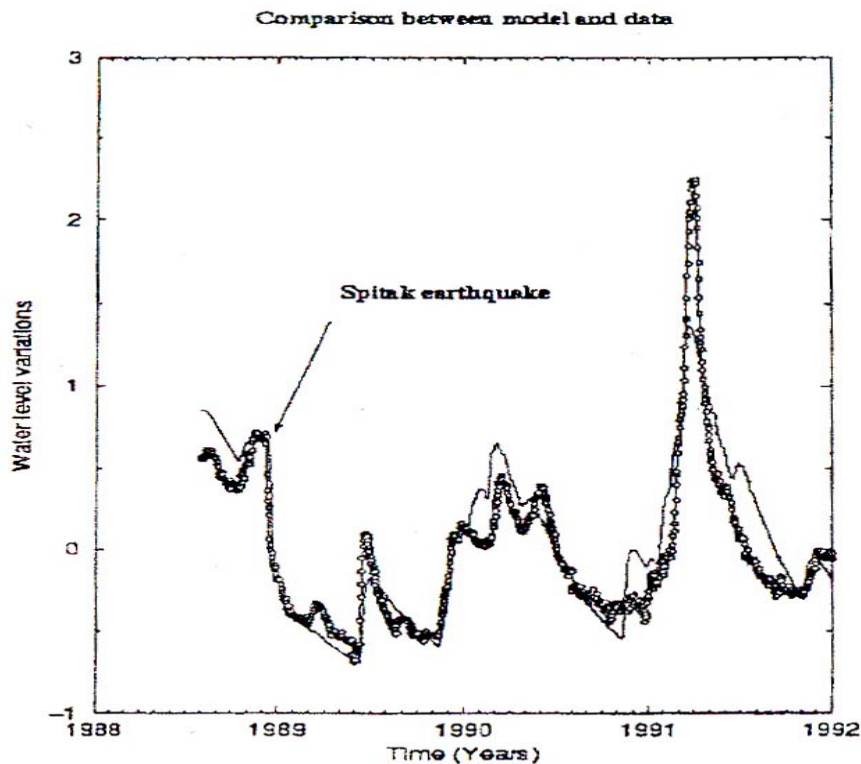
მეორე, ცვალეზადი-ფორიანობის ვარიანტის მოდელირებისას, წყალშემცველი ჰორიზონტის დაზიანებებით (ფორიანობის ცვლილებებით) გამოწვეული წნევის ვარდნა შეფასდა სხვადასხვა გეომეტრიისა და დაკვირვების წერტილიდან სხვადასხვა დაშორებზე განლაგებული წყალშემცველი ჰორიზონტის განხილვის მეშვეობით. ამ შემთხვევაში, წყლის დონის ანომალიის მოდელირებული მოკლევადიანი ნაწილი კარგად შეესაბამა ექსპერიმენტულ მონაცემებს, მაგრამ მისი გრძელვადიანი ცვლილების სიდიდე განსხვავდებოდა დანაკვირვები სიდიდეებისგან.



ნახ 72 -ცვლადი ფორიანობის მოდელით გათვლილი წყლის დონის ცვლილება.

იმისათვის, რომ შექმნილიყო მოდელი, რომელიც ახსნიდა მიწისძვრის წინ წყლის დონის რეაქციას და მასში მოკლევადიანი და გრძელვადიანი წინამორბედების

წარმოშობის მექანიზმს, ავტორებმა შემოგვთავაზეს შერეული მოდელი, სადაც ცვალებადი-გამტარებლობის ვარიანტი ხსნის გრძელ-ვადიან ცვლილებებს-დონის მუდმივი ვარდნის ხასიათს, ხოლო ცვალებადი-ფორიანობის ვარიანტი წარმოსახავს წყლის დონის მოკლე-ვადიან რეაქციას. შერეული მოდელი გვთავაზობს თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების შერწყმის კარგ მაგალითს.



ნახ №73-წყლის დონის ვარიაციები ლისის ჭაბურღილზე, რომელიც პროგნოზირებულ იქნა “შერეული” ფიზიკური მოდელის მეშვეობით (წვრილი ხაზი) ემპირიული ფორმულის გამოყენების გარეშე და დანაკვირვები მონაცემები მსხვილი ხაზი წრებით.

რა თქმა უნდა ნახაზზე თეორიული მრუდი იძლევა შესაძლო ინტერპრეტაციის მხოლოდ ერთ ვარიანტს. მაგალითად, მონაცემები თოვლის საფარის სიდიდის შესახებ აღებულია საქართველოს მთიანი ტერიტორიებიდან, რომლებიც რეალურად დაშორებული არიან ლისის ჭაბურღილის ტერიტორიიდან, სადაც თოვლის საფარი სიდიდე გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე მთებში. თუ შევიტანთ მსგავს შესწორებებს თოვლის საფარის სიდიდეზე, რომელიც პირდაპირ კავშირშია ლისის ჭის კვების არესთან, შეიძლება შეიცვალოს მოსაზრება რაჭის მიწისძვრის წინ მკვეთრი ანომალიის არ არსებობის შესახებ.

იაპონიაში, ჰაიბარას ჭაზე, ჩატარდა წყლის დონის კო-სეისმური ვარიაციების დეტალური ანალიზი მაცუმოტოსა და როელოფის მიერ (63). დადგინდა, რომ წყლის დონის ვარდნის კო-სეისმური ეფექტი დაფიქსირდა იმ მიწისძვრებისთვის, რომელთა სიდიდე შეესაბამებოდა მოთხოვნას $M \geq 2.45 \log_{10} \Delta + 0.45$ და ალბათობის 0.55 თანრიგს. ყველა კო-სეისმური ცვლილების დროს აღინიშნა წყლის დონის ვარდნები, თუმცა ამ შემთხვევიდან ერთი მესამედისთვის, Okada-ს მოდელის მიხედვით, დაძაბულობა შეფასდა როგორც შეკუმშვა, რასაც უნდა გამოეწვია წყლის დონის აწევა.

მაგრამ წყლის დონის ვარდნა არ არის უნივერსალური კო-სეისმური რეაქცია მიწისძვრაზე; ზოგიერთ ჭაბურღილში წყლის დონის კო-სეისმური რეაქცია გამოიხატება მის ზრდაში, მიუხედავად მოცულობითი დაძაბულობის ნიშნისა (166). შესაბამისად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჭაბურღილში წყლის დონის კო-სეისმური რეაქცია შეიძლება იყოს როგორც დაცემა, ასევე ზრდა, მიუხედავად Okada-ს მოდელით ნაანგარიშები მოცულობითი დაძაბულობის ნიშნისა. ასეთივე შედეგებამდე მივიდა King et al (112).

ჰაიბარას ჭაბურღილზე დანაკვირვები მიმოქცევითი ვარიაციებით გამოწვეული დაძაბულობებისთვის მგრძნობელობა შეადგენდა მხოლოდ 16 მმ/10⁹, რაც 100-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე უნდა ყოფილიყო მოცულობითი დაძაბულობის მოდელის მიხედვით. გარდა ამისა, წყლის დონის ვარდნასა და მოცულობითი დაძაბულობის ცვლილებას შორის კორელაცია ძალზედ სუსტია. ამავე დროს, არის ძლიერი კორელაცია წყლის დონის კო-სეისმურ დაცემასა და დედამიწის ჰორიზონტალური მოძრაობის ამპლიტუდას შორის (კორელაციის კოეფიციენტი არის 0.735). როგორც ჩანს, წყალშემცველი ჰორიზონტის ჰიდრავლიკური გამტარებლობის სიდიდე იზრდება მიწისძვრებისა და ამოტუმბვის ოპერაციების შემდეგ.

ყველა ზემოთ აღნიშნული ჰიდრავლიკური ეფექტი ახსნილი იქნა Matsumoto-მ და Roeloffs-ს (136 b) მიერ, ფოროვან გარემოში გაზის მცირე ოდენობის არსებობით. გაზური ფაზის შეკუმშვის მაღალი შესაძლებლობის გამო, ფლუიდის შესაძლო რეაქცია მიმოქცევით ვარიაციებზე, უნდა იყოს მცირე. გათვლებმა აჩვენა, რომ სითხის შეკუმშვის ეფექტურობა შესაძლებელია გაორმაგდეს თუ შეიცავს მხოლოდ 0.1% გაზს. ამის შედეგად, წყლისა და გაზის ნარევი ფლუიდი თავის თავზე იღებს დაძაბულობის უმეტეს ნაწილს გაზური ნაწილის დეფორმირების ხარჯზე.

შესაბამისად, გაზის არსებობის შემთხვევაში მცირდება ჭაბურღილის მგრძნობიარობა მიწისძვრების მიმართ, გაზური ფაქტორის არმქონე უკუმშვად წყალთან შედარებით და მეორეს მხრივ, იწვევს წყლის დონის კო-სეისმური მნიშვნელოვან დაცემას მიწის რყევებით გამოწვეული გაზის დეგაზაციის გამო, ისევე როგორც წყალშემცველი ჰორიზონტის ჰიდრავლიკური გამტარებლობის კო-სეისმურ ზრდას.

დროითი მწკრივების მიმოქცევით ვარიაციებზე რეაქციის ცვლილების ანალიზმა აჩვენა, რომ ჰაიბარას ჭაბურღილის მგრძნობიარობა იცვლებოდა დროში (136 b). დაფიქსირებული იქნა წყლის დონის გრძელ-ვადიანი ვარიაციები და მათ ფონზე მიწისძვრის შემდგომი ან ჭაბურღილებში ამოტუმბვის შემდგომი (ნახ 167). ნელი ცვლილება შეიძლება ახსნილი იქნას გაზის ბუშტუკების ფორიან სივრცეში აკუმულირებით, ხოლო კო-სეისმური და ამოტუმბვის ეფექტები შეიძლება დაკავშირებულ იქნას გამტარებლობის ზრდასთან ან ჭაბურღილის დიამეტრთან (81,82,84). თუმცა არსებობს წყლის დონის გრძელვადიანი ვარდნის მექანიზმის და დროში დაძაბულობისადმი მგრძნობიარობის ცვლილების სხვა ალტერნატიული ახსნა, რომელიც დაფუძნებულია ფლუიდების გამტარებლობის თეორიის მიხედვით მისი დროში ცვლილებების კანონზომიერებებზე (83,85,88).

წყლის დონის სივრცული განაწილების მაგალითები

კავკასიის წყლის დონეზე დასაკვირვებელი, სამონიტორინგო ქსელის შედარებით დიდ სიმჭიდროვეს საშუალება უნდა მოეცა გამოგვევლინა ჰიდროსტატიკური ნაკადის სივრცული განაწილების კანონზომიერებები (116,117). იგულისხმებოდა, რომ წყლის დონის სივრცულ განაწილებას უნდა აესახა მოცულობითი დაძაბულობის ცვლილება. თუმცა ხშირ შემთხვევაში იგი არ ედრებოდა სეისმურ მოდელს (18,19).

მრავალი ავტორი (169, 112) აღნიშნავს, რომ წყლის დონის ვარიაციები შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს ახლოს განლაგებულ ჭაბურღილებშიც კი. ეს ეფექტი შეიძლება აიხსნას ლოკალური გეოლოგიითა და ფილტრაციის კოეფიციენტის განსხვავებული სიდიდეებით (94,97,98,99). Vartanian et al. (178)-ის მიერ შემოთავაზებული მეთოდის შესაბამისად, შესაძლებელი გახდა დაგვეკავშირებინა სხვადასხვა ჭაბურღილების მონაცემები და მიგველო წყლის დონის

ცვლილებებით, პირობითი დამაბულობის რეგიონალური დროითი დამოკიდებულება, ე.წ. ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის (ჰგდ) რუკები. ქვემოთ მოყვანილია კავკასიის რეგიონის ჰგდ- პირობითი დამაბულობების რუკები (ნახ 92). ჰგდ ველის დროში ცვლილება ასახავს რეგიონში პირობითი ტექტონიკური დამაბულობის დინამიკას. თუმცა, აუხსნელი დეტალია დროში პირობითი დამაბულობის განაწილების შედარებით სწრაფი ცვლილება სისტემის შედარებით მდგრადი პირობის ფონზე. ზოგჯერ დამაბულობის ანომალიების განაწილება იცვლება დღეების განმავლობაში. რა თქმა უნდა, წყლის დონის ცვლილების დროში ინვერსია და მისი კავშირი ტექტონიკური დამაბულობის დინამიკასთან მოითხოვდა დეტალურ ანალიზს (95,111).

“ჩუმი” მიწისძვრები

“გაფილტრული” წყლის დონის ანომალიების ინტერპრეტირება, რომელსაც ვერ მივაწერთ ვერც ერთ სეისმურ ან არა-სეისმურ ცვლილებებს რჩება ძალზედ მნიშვნელოვან, მაგრამ რთულ პრობლემად (147,148,151). მაგალითად, დიდი ანომალია იქნა დაფიქსირებული ჰაიბარას ჭაზე, რომელიც ვერ დაუკავშირეს ვერც ერთ მოვლენას ან მიწისძვრას. ამის ერთადერთი რაციონალური ახსნა შეიძლება იყოს მხოლოდ ასეისმურ ტექტონიკურ მოვლენაში- შეცოცებაში ან ნელ “ჩუმ” მიწისძვრაში. ამ ბოლო დროს დადგინდა, რომ “ჩუმი” მიწისძვრები ხდება “დინამიკური” მოვლენების სიხშირით. ეს ძალზედ ართულებს “დინამიკური” მოვლენების წინამორბედების შესწავლას, რადგან სეისმურ და ასეისმურ მოვლენებს შეიძლება ჰქონდეთ მსგავსი მოსამზადებელი ეტაპი, მაგრამ დამაბულობის მოხსნის ბოლო ეტაპზე მათ ახასიათებთ დამაბულობის განტვირთვის განსხვავებული სიჩქარე, რაც დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე, მათ შორის ისეთებზეც რომელთა დაფიქსირება ჯერ-ჯერობით ვერ ხერხდება.

§5. საქართველოს ტერიტორიაზე ჰიდროქიმიური და ჰიდროდინამიკური დაკვირვებების შედეგად მიღებული მასალის ანალიზი

ჰიდროქიმიური მონაცემების ინფორმატიულობის შეფასებისათვის გამოყენებული იქნა მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები.

კვლევების პირველ ეტაპზე შესწავლილი იქნა არსებული ჰიდროქიმიური კომპონენტების მნიშვნელოვანი არაერთგვაროვნება. ამისათვის გამოიყენებოდა სხვადასხვა პარამეტრების სპექტრული სიმკვრივის განაწილების ანალიზის გრაფიკული ხერხები. მაგალითად: დროითი მწკრივების $\{C_i(t_k)\}$ სადაც C_i – ჰიდროქიმიური პარამეტრის კონცენტრაციაა დროში დისკრეტული აღების t_k ფუნქციაში. ანალიზდებოდა: ა) შერჩეული საშუალო მნიშვნელობებიდან ამპლიტუდების დროში განაწილების გადახრები; ბ) ამ გადახრების ხანგრძლივობები; გ) საკვლევი წყვილი პარამეტრების ერთდროული ანომალური გადახრის არსებული ფუნქციონალური კავშირი $C_i(t_k)/C_j(t_k)$ თვით ანომალიის სიდიდესთან.

ბუნებრივია, თვით მცირე ანომალიის დროსაც, ერთდროული სამივე გადახრის გამოვლენის შემთხვევაში, საგრძნობლად ძლიერდებოდა და დასაბუთებული ხდებოდა პარამეტრის ინფორმაციულობა. ამავე დროს, კორელაციის კოეფიციენტის $k < 0.2$ მნიშვნელობისას, რომლის გამოთვლაც მნიშვნელოვან შრომასთანაა დაკავშირებული, არ იძლევა ზუსტი მსჯელობის საშუალებას (1 სახის შეცდომა).

ზემოთ ჩამოთვლილი ნიშნების მიხედვით მომენტების განაწილების გამოთვლები შემოიფარგლებოდა მხოლოდ არჩევითი საშუალო მაჩვენებლებით და სტანდარტული გადახრებით. მწკრივის საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლები და დროითი მწკრივების სტანდარტული გადახრები ინფორმაციულები არიან მხოლოდ გამოსაკვლევი კომპონენტის სტაციონარული მდგომარეობის გამოვლენის შემთხვევაში. უფრო სწორედ ეს გამოთვლები დასაბუთებულია პროცესის ერთგვაროვნებისას. ამიტომ, საჭირო იყო ერთგვაროვნების გამოკვლევები, რაც მიზნად ისახავს ე.წ. ხმაურზე ზედდებული იმ სხვა პროცესების გამოვლენასაც, რომლებიც შესაძლებელია შეიცავდეს ინფორმაციას მიწისძვრების პროგნოზირებისთვის (43).

“შერჩეული” პარამეტრის არაერთგვაროვნების გამოვლენისას უფრო ეფექტური და ნაკლებად შრომატევადია არჩეული პარამეტრის ანომალიის სიხშირის განაწილების სიმკვრივის გრაფიკების აგება და მათი შემდგომი ანალიზი.

ამისათვის, პარამეტრის "საშუალო მნიშვნელობიდან" გადახრის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც შეიცავს ერთგვაროვნებაზე შესასწავლი “შერჩეული”, იყოფა

"n" ინტერვალზე. თითოეული ინტერვალისთვის გამოითვლება პარამეტრის გადახრის შემთხვევების პროცენტი (სიხშირე) მოცემული ინტერვალისთვის. თუ კი "შერჩეული" "წარმომადგენლობითია" (ყველა არსებული გადახრების ჯამი ≥ 30), ხოლო აგებული სპექტრის გრაფიკი აღიწერება $y = xe^{-x}$, $x = \mu t$, სადაც μ განაწილების პარამეტრია, t - ფუნქციის დრო. ე. ი. მრუდი ერთი მაქსიმუმით, მაშინ გასაანალიზებელი შერჩევა არის ერთგვაროვანი, მოცემული პარამეტრის შერჩეული საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრების განაწილება ნორმალურია და ამიტომაც თვითონ "შერჩეული" არ არის ინფორმატიული. გამომდინარე იქიდან, რომ საშუალო მნიშვნელობიდან პარამეტრის გადახრის ნორმალურ განაწილებას ე.წ. "თეთრი ხმაური", ახასიათებს მაქსიმალური ენტროპიით, ანუ საკმაოდ განუსაზღვრელი შერჩევაა.

თუკი სპექტრის გრაფიკი შეიცავს ერთზე მეტ მნიშვნელოვან მაქსიმუმს, მაშინ "შერჩევა" არაერთგვაროვანია და წარმოადგენს სუპერპოზიციას, უკიდურეს შემთხვევაში, ორი პროცესისას, რომელთაგანაც ერთი, როგორც წესი, არის ხმაურის შედეგით გამოწვეული ანალიზის ცდომილებით, ხოლო მეორე ახასიათებს თვითონ პარამეტრის ვარიაციულობას. ეს უკანასკნელი შეიძლება განპირობებული იყოს რეგიონში ჰიდროგეოლოგიური ცვლილებებით, სეზონური ან ტექნოგენური ფაქტორებით, ქანების დამაბული მდგომარეობით.

ასე რომ, მიღებული დროითი მწკრივების ერთგვაროვნების ანალიზი საშუალებას გვაძლევდა კომპონენტების ინფორმატიულობაზე გარკვეული დასკვნები გაგვეკეთებინა. ზემოთ განხილული ანალიზი გამოყენებული იქნა ჰიდროქიმიური რეჟიმული დაკვირვებების დროითი მწკრივებისათვის და შერჩეული იქნა ინფორმაციული ჰიდროქიმიური პარამეტრები როგორც ცალკეული უბნების (წამყვანი მაკროკომპონენტებიდან), ასევე რეგიონისთვის (pH და მინერალიზაციის მაჩვენებელი) (61, 141).

ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერებების დადგენის მიზნით შეწავლილი იქნა და პროგრამულად დამუშავდა, დროითი მწკრივების ცნობილი მეთოდები. ჩატარდა საცდელი ანალიზები სხვა და სხვა მეთოდების გამოყენებით (68,142,92,144). შედარდა BAYTAP-G და თეორიული სიგნალის სინთეზის მეთოდები. ერთი და იგივე ჭაბურღილის მონაცემებიდან ეგზოგენური მდგენელის (ატმოსფერული წნევა, მიმოქცევითი ვარიაციები და ნალექიანობა)

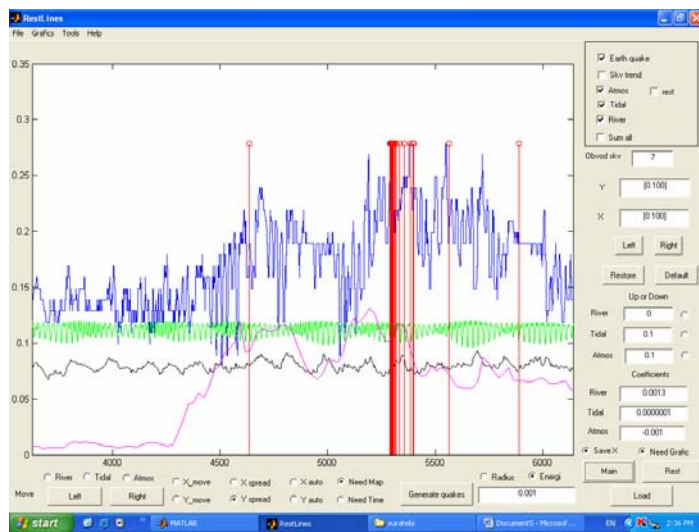
გავლენის მოხსნის შემდგომ მიღებული იქნა ტექტონიკური მდგენელის ფაქტიურად მსგავსი სურათი. მაგრამ ეს უკანასკნელი მეთოდი, რომელიც დაიწერა MatLab გარემოში, განსხვავებით BAYTAP-G, საშუალებას იძლევა ცალკე დახასიათდეს ყველა ეგზოგენური პარამეტრი, მოხდეს წყლის დონეზე მათი გავლენის შესწავლა და კორელაციის კოეფიციენტის გათვლა. პროგრამით შესაძლებელია მონაცემების შეყვანის შემდგომ, სპეციალური კოეფიციენტების შერჩევით მოხდეს პარამეტრების დაყვანა და მათი ცვლილებების მისადაგება წყლის დონის ვარიაციებთან. ეს საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ ურთიერთ თანაზომადი პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი (კორელაცია, რეგრესია და სხვა.), მოვახდინოთ მათი ურთიერთ გამოკლება და დაყვანილი ტექტონიკური სიგნალის გამოყოფა.

დადგინდა, რომ ყველა ჭაბურღილზე მეტ-ნაკლებობით მოქმედებს ეგზოგენური და ეგზოგენური ფაქტორები (131,132), თუმცა ცალკეული მათგანის რეაქციის მიხედვით, შეიძლება ერთ-ერთი ფაქტორი იყოს წამყვანი-დომინანტი. ეს განსხვავებები განპირობებულია ჭაბურღილების სიღრმით, კონსტრუქციით, მთლიანად წყალშემცველი ჰორიზონტის გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური თავისებურებებით, გაზური ფაქტორის სიდიდით და სხვა (ცხრილი №20).

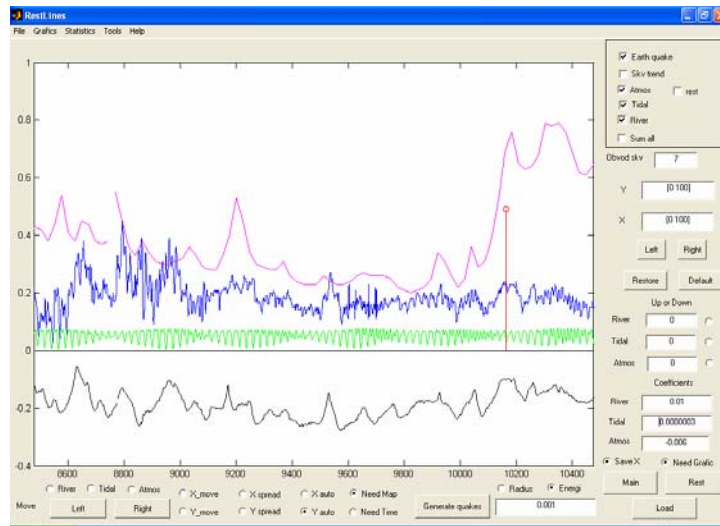
№	ადგილმდებარეობა	სიღრმე მ-ში	დიამეტ მმ-ში	საცავი მილი მმ-ში	ფილტრი მ-ში	წყლის დონე მ-ში
1	ქობულეთი	2000	225 180 135	0-10 0-58 0-205 ღია ლულა	187-640	-0.5
2	ახალქალაქი	1400	219 146 137	0-11 0-500 479-700	1000	-0.2
3	ბორჯომი	1339	219 168 127	0-11 0-109 0-748 ღია ლულა	1260-1300	-23
4	მარნეული (თამარისი)	3505	360 270 225 127	0-80 0-1258 1258-2527 2527-3024	1235-1600	-5
5	ლისი	330	127	0-330	30-67 170-250	-4.5

6	აჯამეთი	1339	219 146	0-14 0-460	520-740	-6
7	ლაგოდეხი	800	245 168 146	0-5 0-30 0-85 ღია ლულა	255-367	-35.8
8	გორი	1500	168 146	0-26 0-54 ღია ლულა	960-1200	-5
9	ონი	255	168	0-8	70-250	-5
10	ჩარგალი	100	127	0-50	50-95 მ	-5

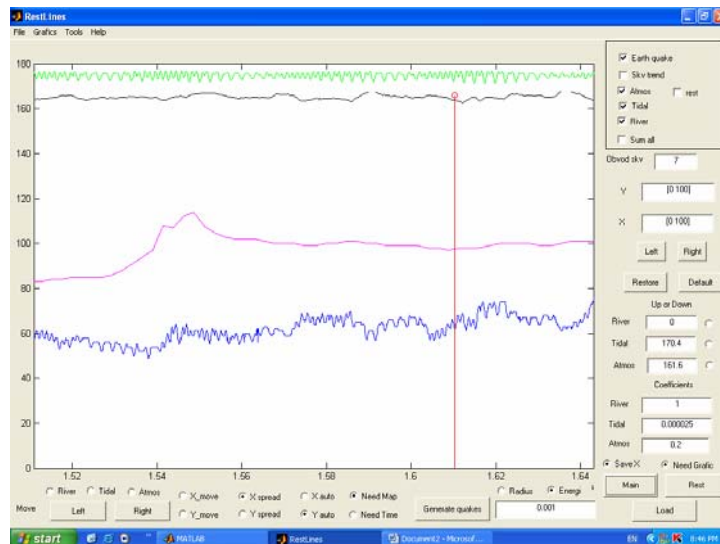
ასე მაგალითად: ახალციხის და აჯამეთის ჭაბურღილებზე დომინანტებად გვევლინება წყლის დონის რეაქცია პირველ რიგში მიმოქცევით ვარიაციებზე და შემდეგ, ატმოსფერულ ნალექებზე (ნახ. №74-ა).



ქობულეთის, ონის და ჩარგალის ჭაბურღილებისთვის წამყვანი ფაქტორია პირველ რიგში მიმოქცევით ვარიაციები და შემდეგ ატმოსფერული წნევა;



თამარისის, ბორჯომის და ლაგოდეხის ჭებში ფაქტიურად კორელაციაა მხოლოდ მიმოქცევით ვარიაციებთან და ა. შ (ნახ. №74-ბ).



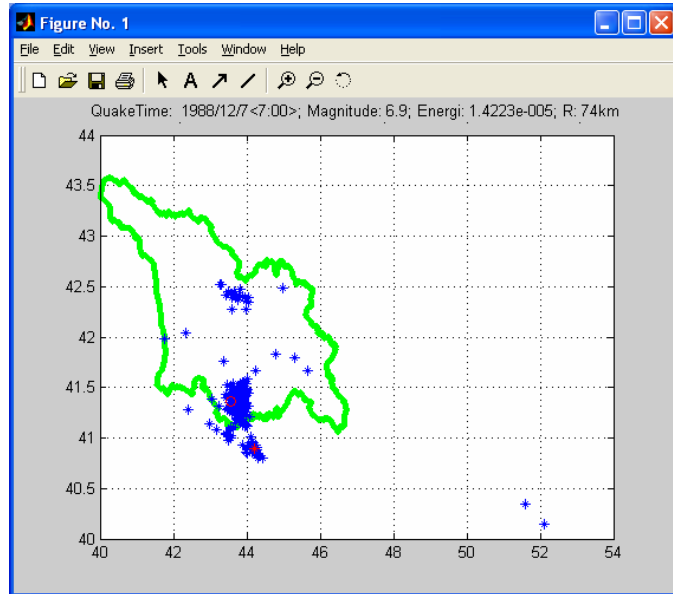
სეისმური წინამორბედების გამოვლენის მიზნით ხდებოდა წყლის დონისა და დომინანტი ფაქტორის ურთიერთ დაყვანილი სიდიდეების შედარება და კორელაციური ვარიაციის გათვლა. მიღებული სხვაობის ანუ “ანომალიის” დეფორმაციული სიდიდის დასათვლელად მისი ვარიაცია დარდებოდა ამავე პერიოდის მიმოქცევითი ვარიაციის სიდიდეებს და “ნამატი” აითვლებოდა 10^{-n} ხარისხში (64,65,67,143).

მიწისძვრიდან ჭაბურღილის წყალშემცველ ჰორიზონტთან მოსული, რეალური დეფორმაციული სიდიდის დასადგენად გამოყენებული იქნა დობროვოლსკის (30) ფორმულა $e=10^{1.3M-8.19} / R^3$, სადაც $R=\sqrt{(x^2+y^2+h^2)}$, აქ x და y მიწისძვრის კორდინატებია, ხოლო h -მიწისძვრის სიღრმეა. ყველა ჭაბურღილისთვის გადათვლილი იქნა

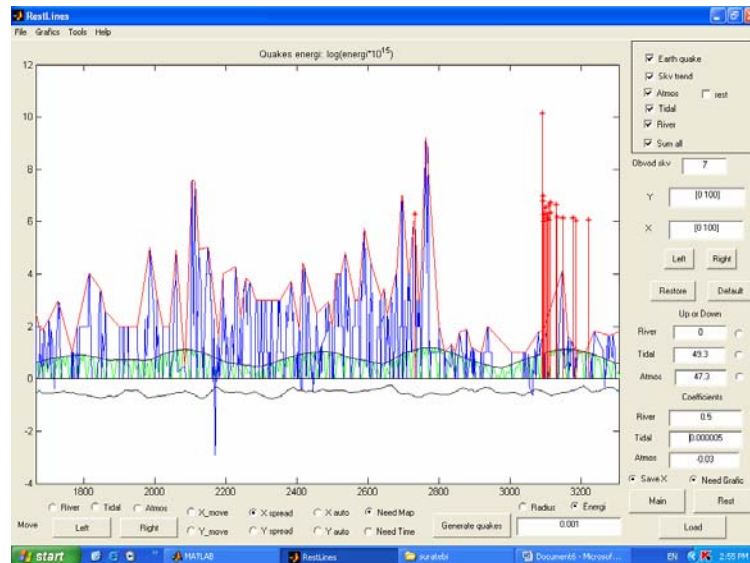
დამაბულობის დეფორმაციული სიდიდეები. ყველა მნიშვნელოვანი $M > 3$ მიწისძვრისათვის, ჩატარდა ამ მიწისძვრიდან გადათვლილი და “ანომალური” გადახვევების კორელაციური ანალიზი,

მაგალითად, განვიხილოთ საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული ჭაბურღილების რეაქცია ძლიერი მიწისძვრების მომზადებაზე.

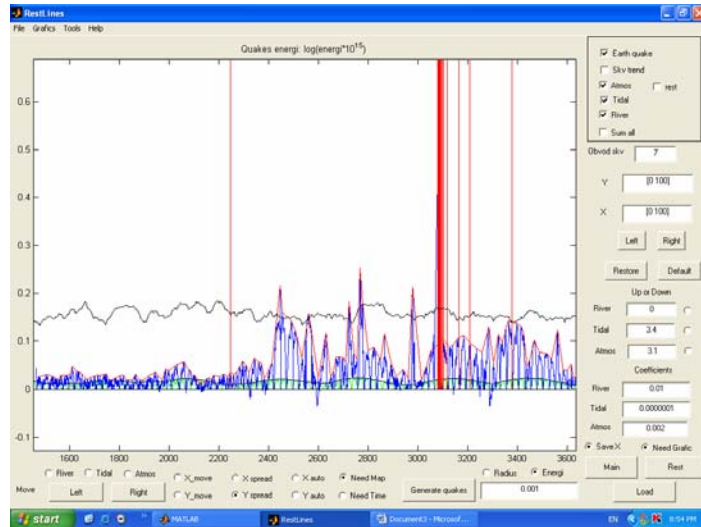
სპიტაკის მიწისძვრიდან ახალქალაქის ჭაბურღილზე, რომელთა ურთიერთ დაცილება შეადგენს 74 კმ-ს, მოაღწია 10^{-5} ხარისხის დეფორმაციამ (ნახ №75-ა).



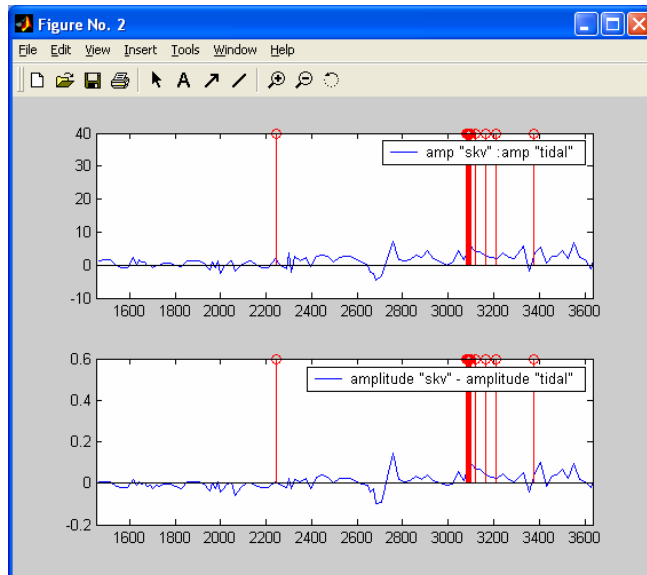
10 დღით ადრე მოვლენამდე, წყლის დონეში აღინიშნა ამპლიტუდების გაზრდა და მიმოქცევითი ვარიაციის მახასიათებელი სურათის დამახინჯება (ნახ №75-ბ).



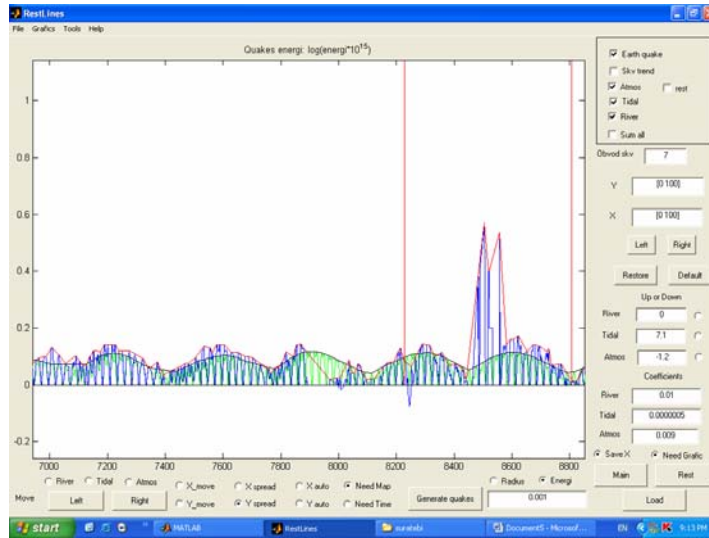
ერთი თვით ადრე კი აღინიშნა დარღვევები წყლის დონეში თამარისის ჭაბურღილზე, რომელიც 85 კმ-ით იყო დაცილებული სპიტაკს (ნახ. №76-ა).



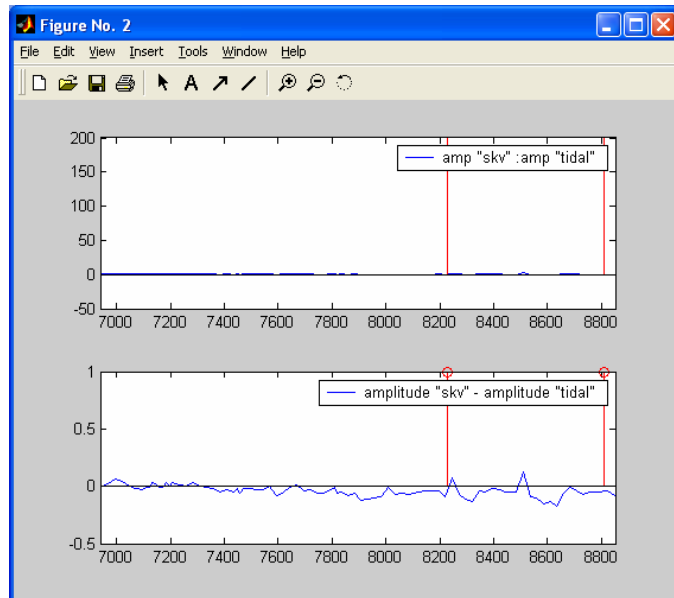
დარღვევების ამპლიტუდაც მნიშვნელოვანია ახალქალაქის ჭაბურღილისავით (ნახ. №77-ა).



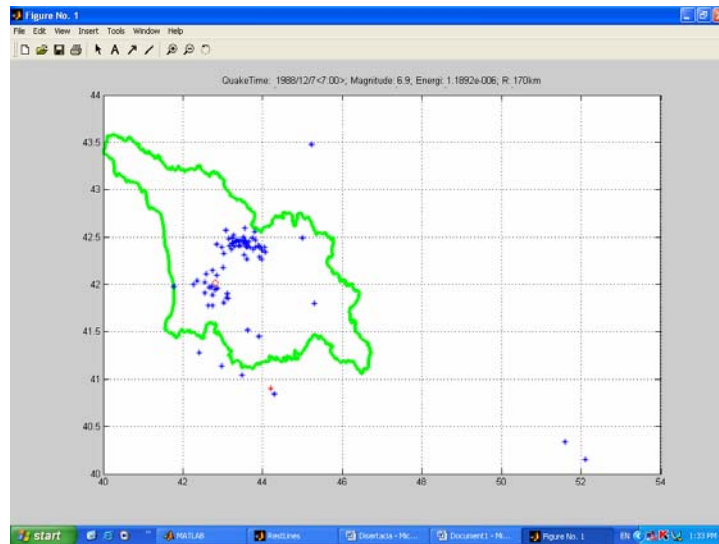
უფრო მცირე პერიოდის (5-7 დღე) და დაბალი ამპლიტუდური დარღვევები აღინიშნა წყლის დონის ვარიაციებში უფრო მოცილებულ ბორჯომის ჭაბურღილზე (ნახ №78-ა).



დარღვევების ნაკლები სიდიდე ჩანს ამპლიტუდათა განაყოფის სიდიდეებშიც (ნახ. №78-ბ).



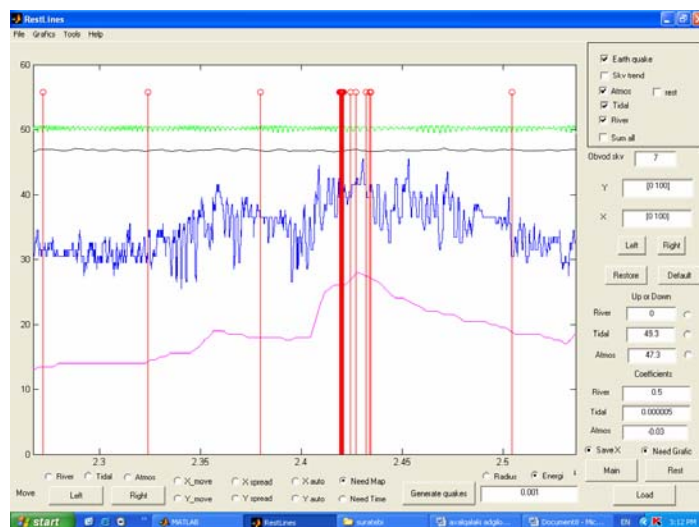
განსხვავებული სურათი ფიქსირდება ეპიცენტრიდან უფრო დაცილებულ აჯამეთის სადგურზე, სადაც მხოლოდ მცირედი კორელაციური დარღვევები აღინიშნა წყლის დონის ცვლილებასა და მდინარის დონის ცვლილებას შორის, ასევე პირველსა და ატმოსფერული წნევის ცვლილებებს შორის. ასევე, მცირე სიდიდის იყო დარღვევის ამპლიტუდაც და მისი პერიოდიც-3-5 დღე (ნახ. №79).



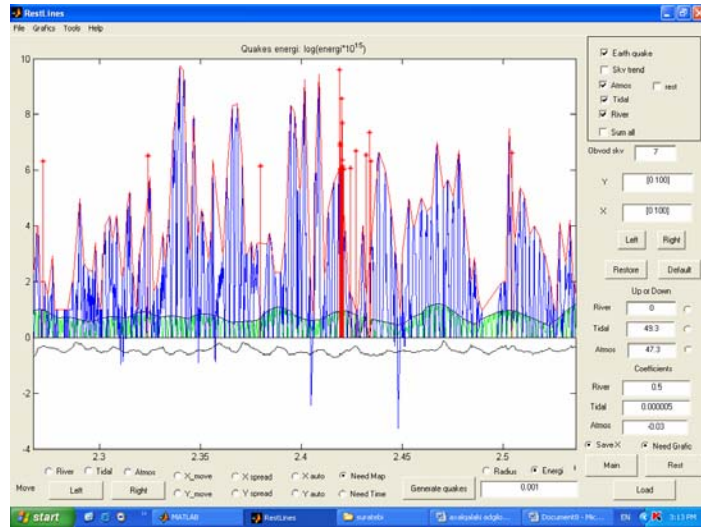
რაჭის მიწისძვრის წინ

მსგავსი სურათი აღინიშნება მეორე ძლიერი მიწისძვრის პერიოდშიც. ტერიტორიულად ახლო მდებარე ჭაბურღილებზე დარღვევები უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე დაშორებულზე. ასე მაგალითად:

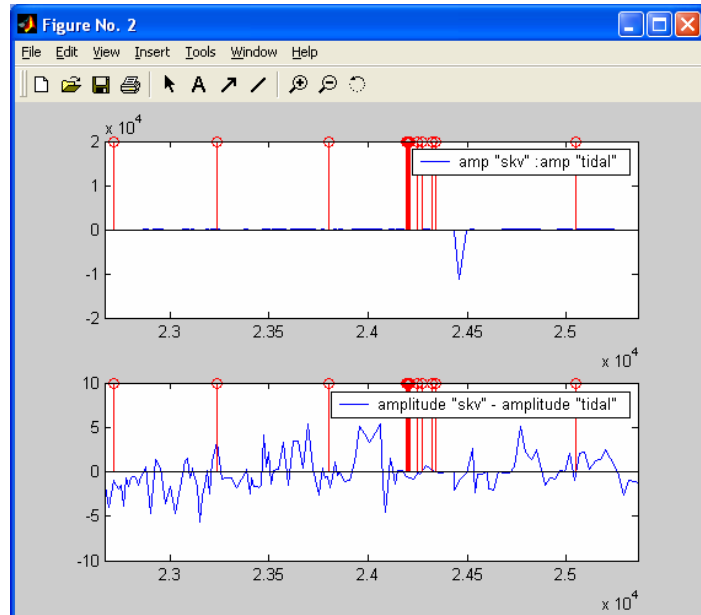
ახალქალაქის ჭაბურღილზე, 10 დღით ადრე მოვლენამდე, თანდათანობით იზრდება წყლის დონე, რაც კორელაციაშია მდინარე ფარავანის დონის ცვლილებასთან, რაც თავის მხრივ გამოწვეულია ატმოსფერული ნალექების ინტენსივობის ცვლილებით (ნახ. №80-ა).



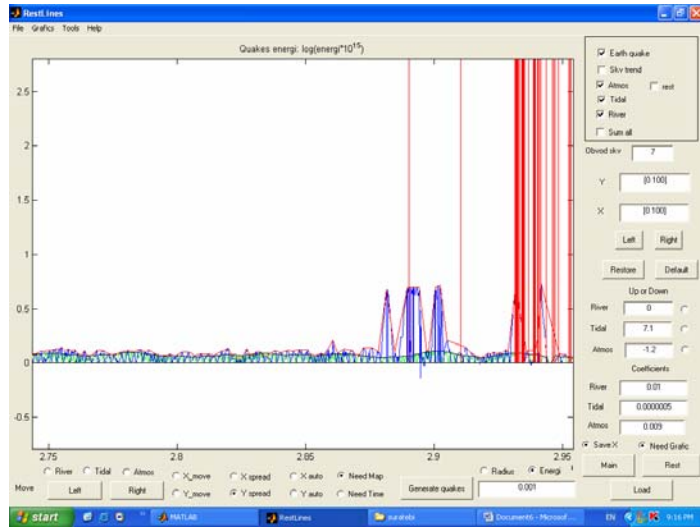
თუმცა ამ ფონზე თანდათანობით იზრდება წყლის ამპლიტუდების სიდიდე მიმოქცევით ვარიაციებთან შედარებით (ნახ. №80-ბ).



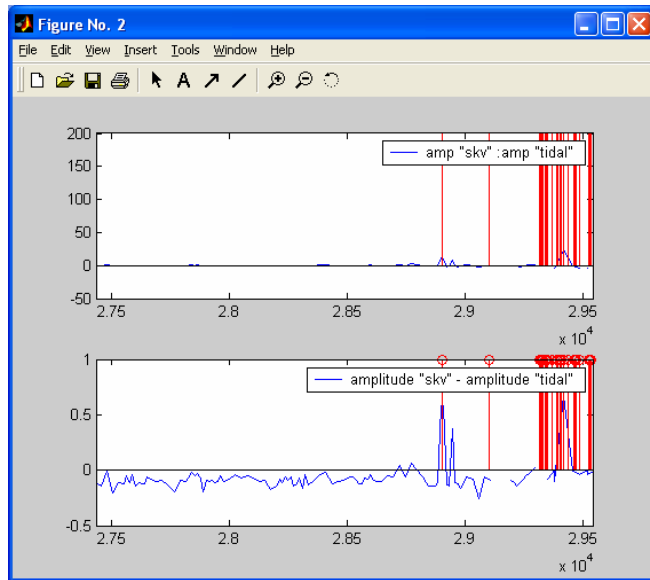
და ირღვევა კორელაციური დამოკიდებულება წყლის დონესა და მიმოქცევით ვარიაციებს შორის (ნახ. №81).



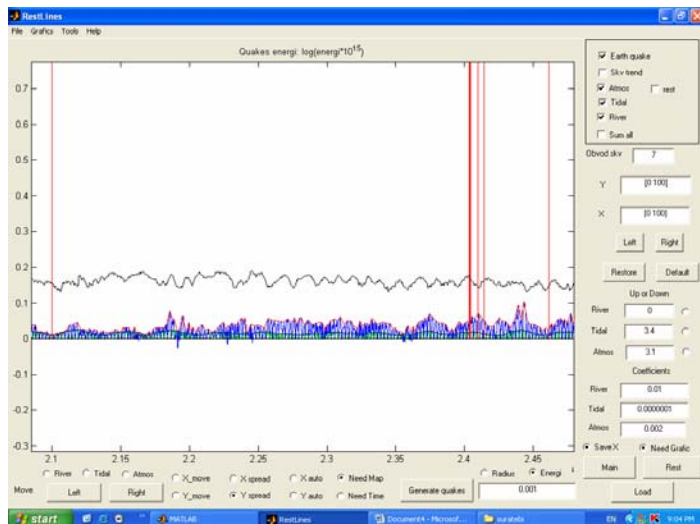
განსხვავებით სპიტაკის მიწისძვრისაგან, რაჭის მიწისძვრის წინ 10-15 დღით ადრე აღინიშნა დარღვევები წყლის დონის ცვლილებებში ბორჯომის ქაბურღილზე (ნახ. №82).



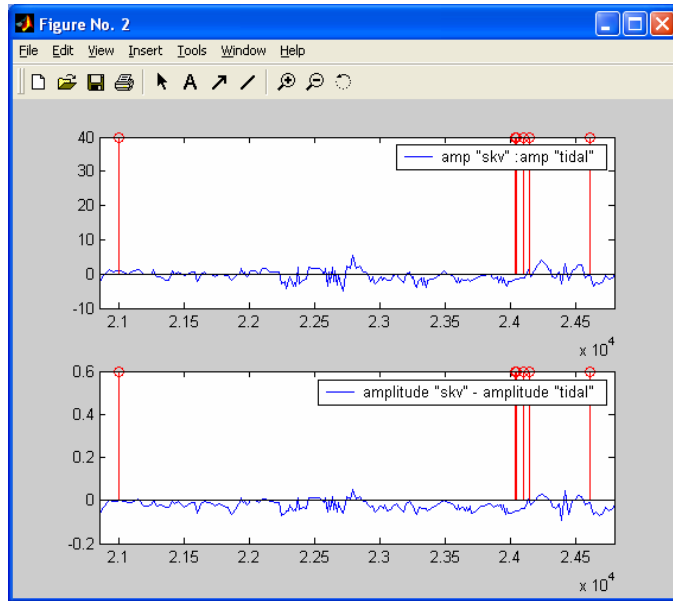
რაც დასტურდება კორელაციური დამოკიდებულების გრაფიკიდან (ნახ №83).



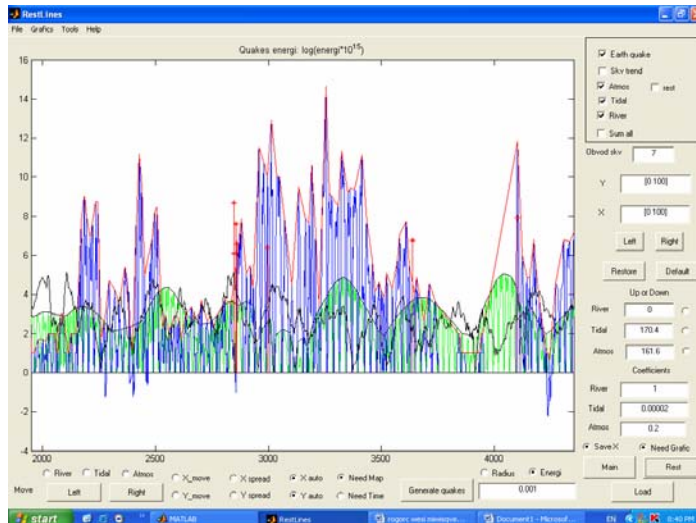
10 დღით ადრე დაიწყო დარღვევები თამარისის ჭაბურღილზე, რომელიც 140 კმ-ით იყო დაცილებული ეპიცენტრს, ეს მეტყველებს ასეთი სიმძლავრის მიწისძვრის მომზადების პროცესში ჩართული ტერიტორიის დიდ არეალზე (ნახ. №84).



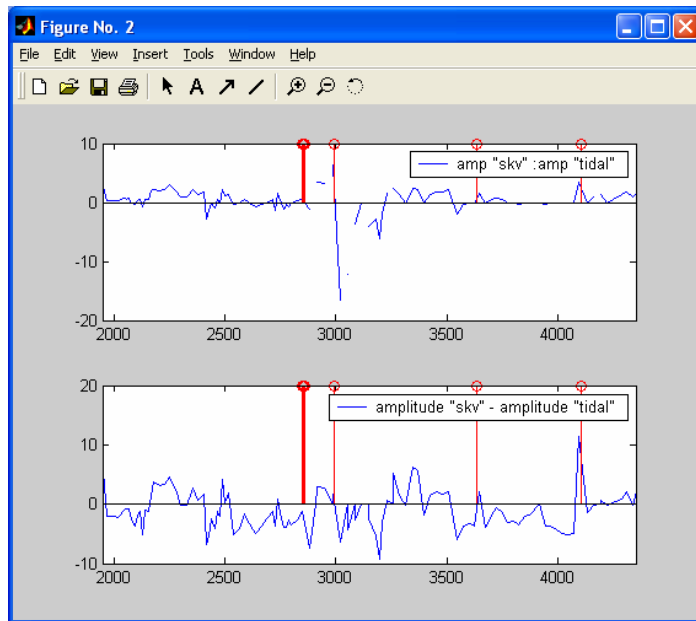
გარდა ამპლიტუდური სხვაობებისა, დაირღვა კორელაციური დამოკიდებულება წყლის დონესა და მიმოქცევით ვარიაციებს შორის (ნახ. №85).



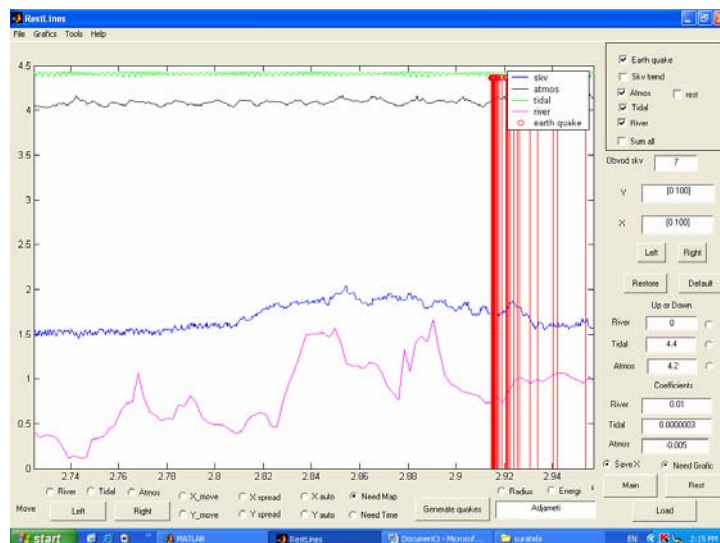
ასეთივე პერიოდის დაღრვევები აღინიშნა ლაგოდების ჭაბურღილზეც (ნახ. №86).



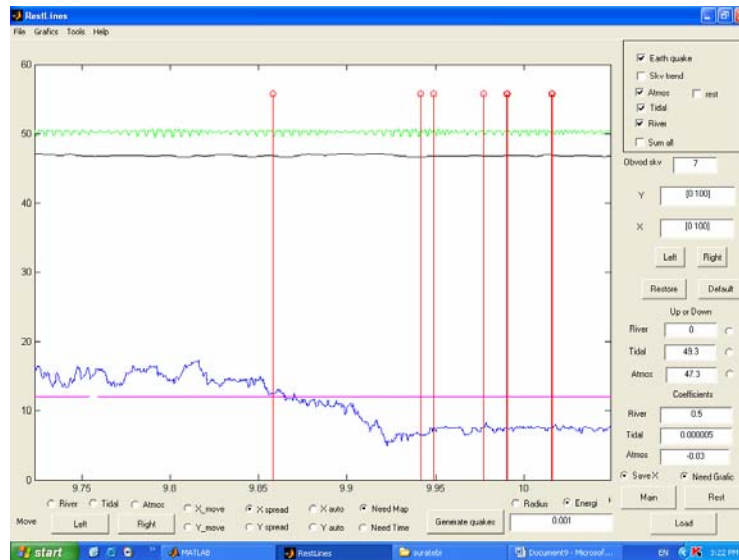
აქაც აღინიშნა კორელაციური დაღრვევები (ნახ. №87).



წინა სადგურებისაგან განსხვავებით, აჯამეთის ჭაბურღილზე აღინიშნა კორელაციის დარღვევა წყლის დონის ცვლილებასა და მდინარეში წყლის დონის ცვლილებას შორის, ასევე პირველსა და ატმოსფერულ წნევას შორის (ნახ. №88).



მსგავსი სურათები ფიქსირდება ადგილობრივი სუსტი მიწისძვრის წინ. ასე მაგალითად, ბოგდანოვკის მიწისძვრის პერიოდში ახალქალაქის ჭაბურღილზე აღინიშნა დარღვევები (ნახ. 189).



როგორც ზემოთ აღნიშნულიდან სჩანს, ცალსახად დასტურდება წყლის დონის, როგორც ტექტონიკური დამაბულობის ინდიკატორი- პარამეტრის ინფორმაციულობა. მიწისძვრის წინ რამდენიმე დღით ადრე მოვლენამდე (ეს პერიოდი დამოკიდებულია მიწისძვრის სიმძლავრეზე) ირღვევა კორელაციური დამოკიდებულება დომინანტ ფაქტორსა და წყლის დონის ვარიაციებს შორის (131,132133).

ამას ადასტურებს, მიწისძვრების ენერგეტიკულ კლასსა და დარღვევების პერიოდებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი, სადაც დაფიქსირდა თითქმის სწორხაზოვანი დამოკიდებულება. მიწისძვრის სიმძლავრის გაზრდასთან ერთად იზრდება დარღვევის პერიოდი-რამდენიმე საათიდან რამდენიმე დღემდე.

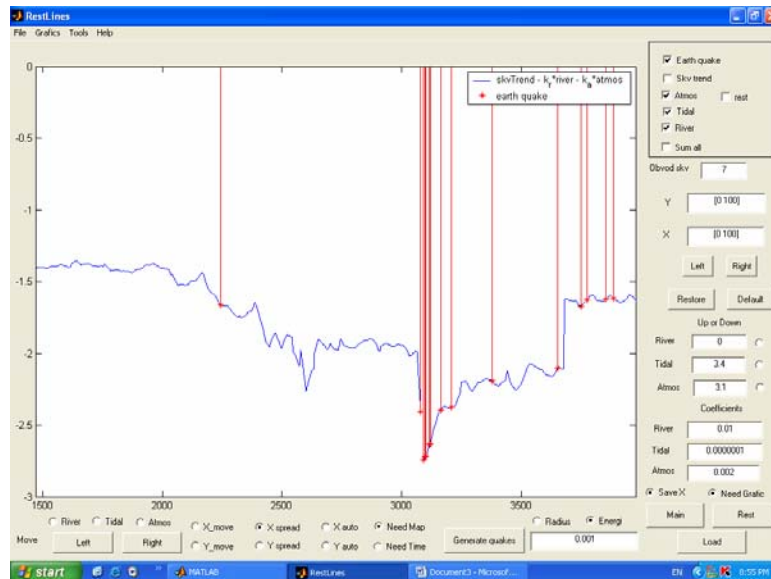
§6 ანომალიათა გამოვლენის სივრცულ-დროითი კანონზომიერებები

ტექტონიკური დამაბულობის მახასიათებელი სიდიდეების მისაღებად MatLab- ში წყლის დონის ვარიაციების ტრენდული მნიშვნელობები აკლდებოდა სინთეზური გზით მიღებულ თეორიულ მრუდს, რაც ახასიათებდა ამ პუნქტში- წყალშემცველ ჰორიზონტში ჭაბურღილის გარშემო მოცულობითი დეფორმაციის სიდიდეს (143). შემდგომი დეფორმაციის სიდიდის დასადგენად ხდებოდა მისი კალიბრება მიმოქცევითი ვარიაციების შესაბამისი დეფორმაციული სიდიდეებით. აღნიშნული პროგრამით შესწავლილი იქნა ყველა ჭაბურღილის (20 ჭაბ.) დროითი მწკრივები (1988 წლიდან) და მოხდა მათი დახასიათება. ყველა ჭაბურღილისთვის ითვლებოდა გეოდეფორმაციული ფაქტორი. მიღებული სხვაობის დადებითი მნიშვნელობები

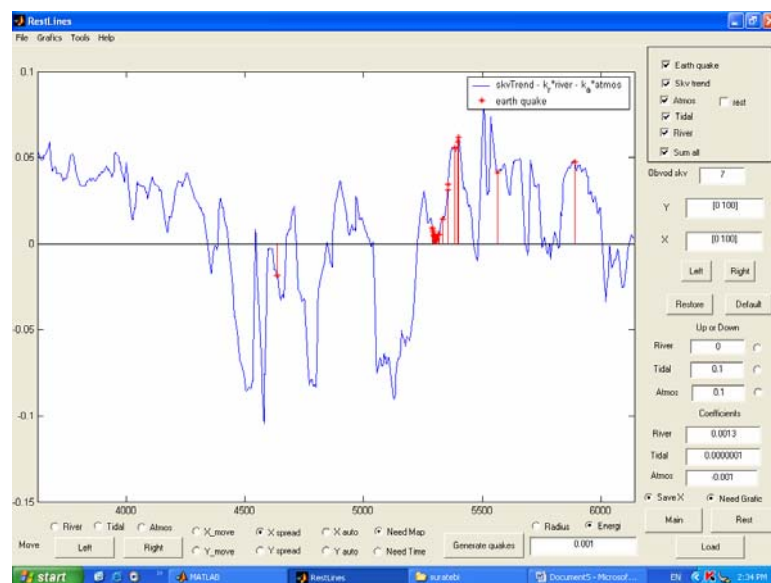
(წყლის დონის რეალური მნიშვნელობები მეტია ვიდრე თეორიული) ახასიათებს შეკუმშვის –კომპრესიულ დეფორმაციას, ხოლო უარყოფითი სხვაობა გაჭიმვის დეფორმაციას.

მაგალითად მოგვყავს სპიტაკის და რაჭის ძლიერი მიწისძვრების პერიოდისთვის სხვა და სხვა ჭაბურღილისათვის დათვლილი დამაბულობის სიდიდეები.

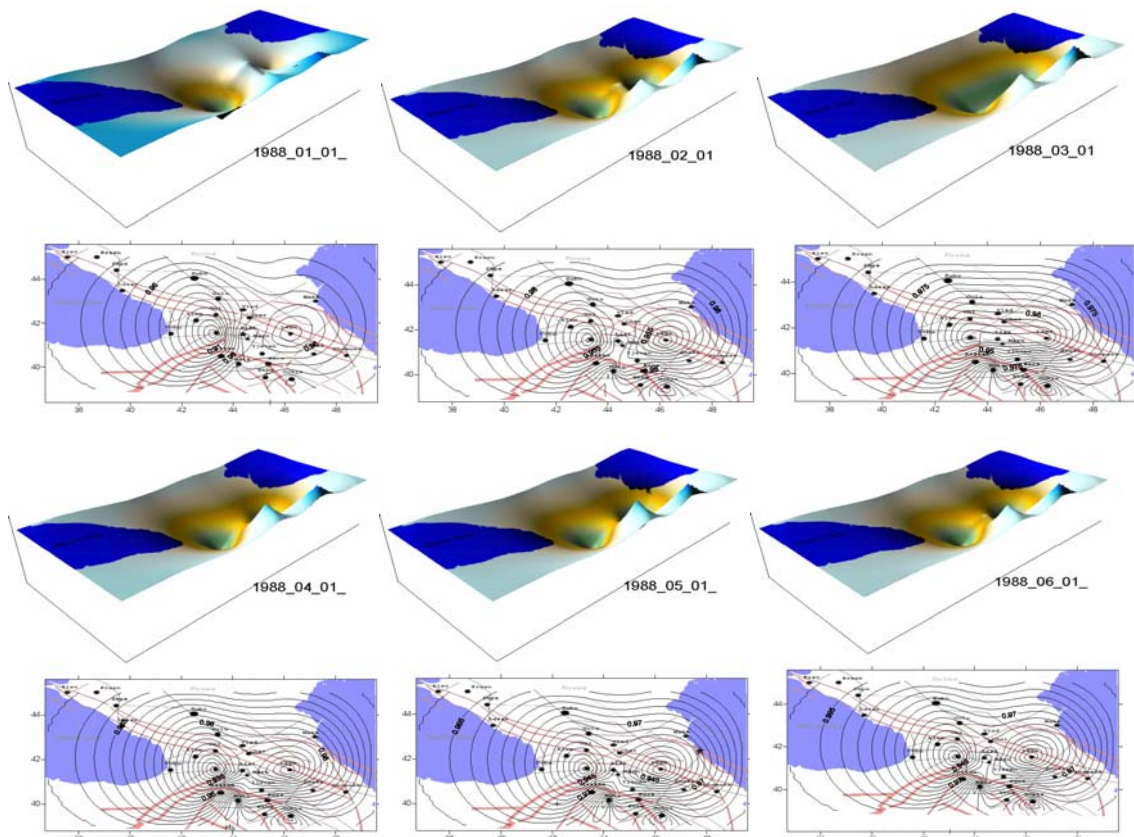
სპიტაკის მიწისძვრის წინ აღინიშნა გაჭიმვის დეფორმაცია თამარისის ჭაბურღილზე (ნახ. №90).

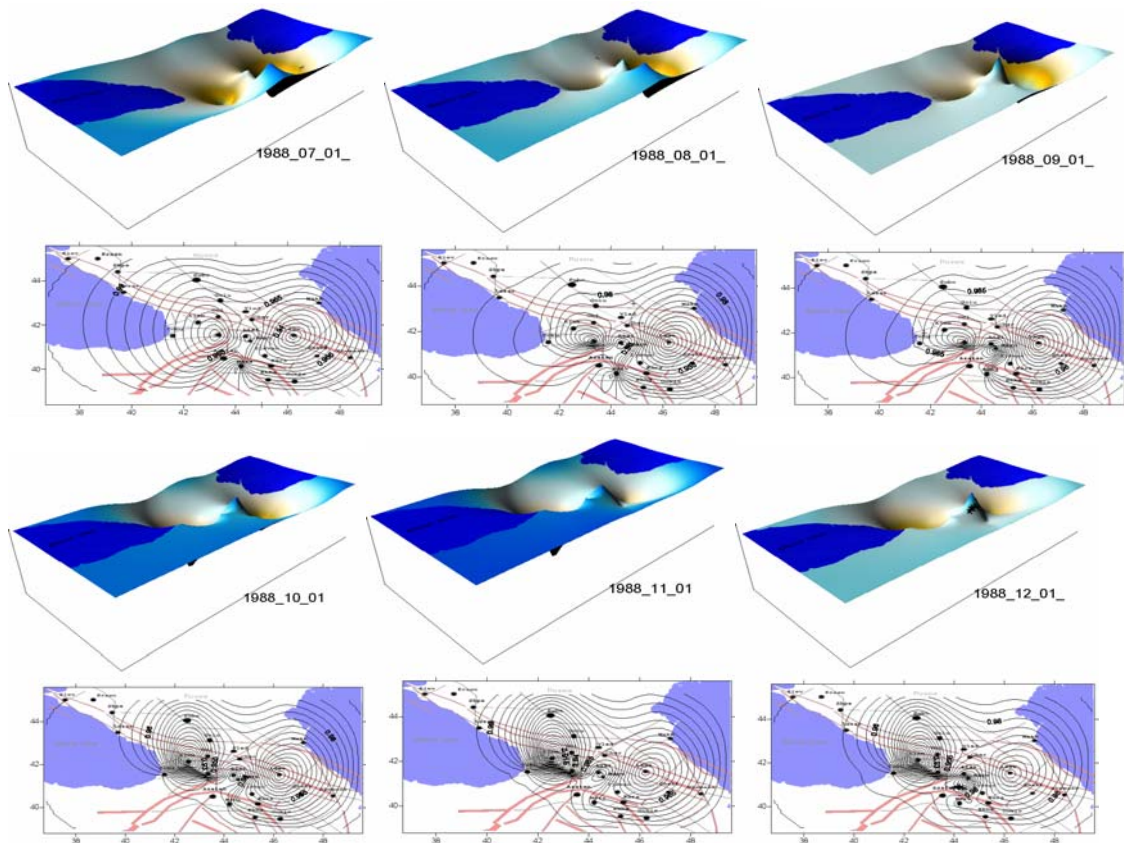


რაჭის მიწისძვრის წინ ახალციხის ჭაბურღილზე ასევე აღინიშნებოდა გაჭიმვის დეფორმაციული პროცესი (ნახ. №91).

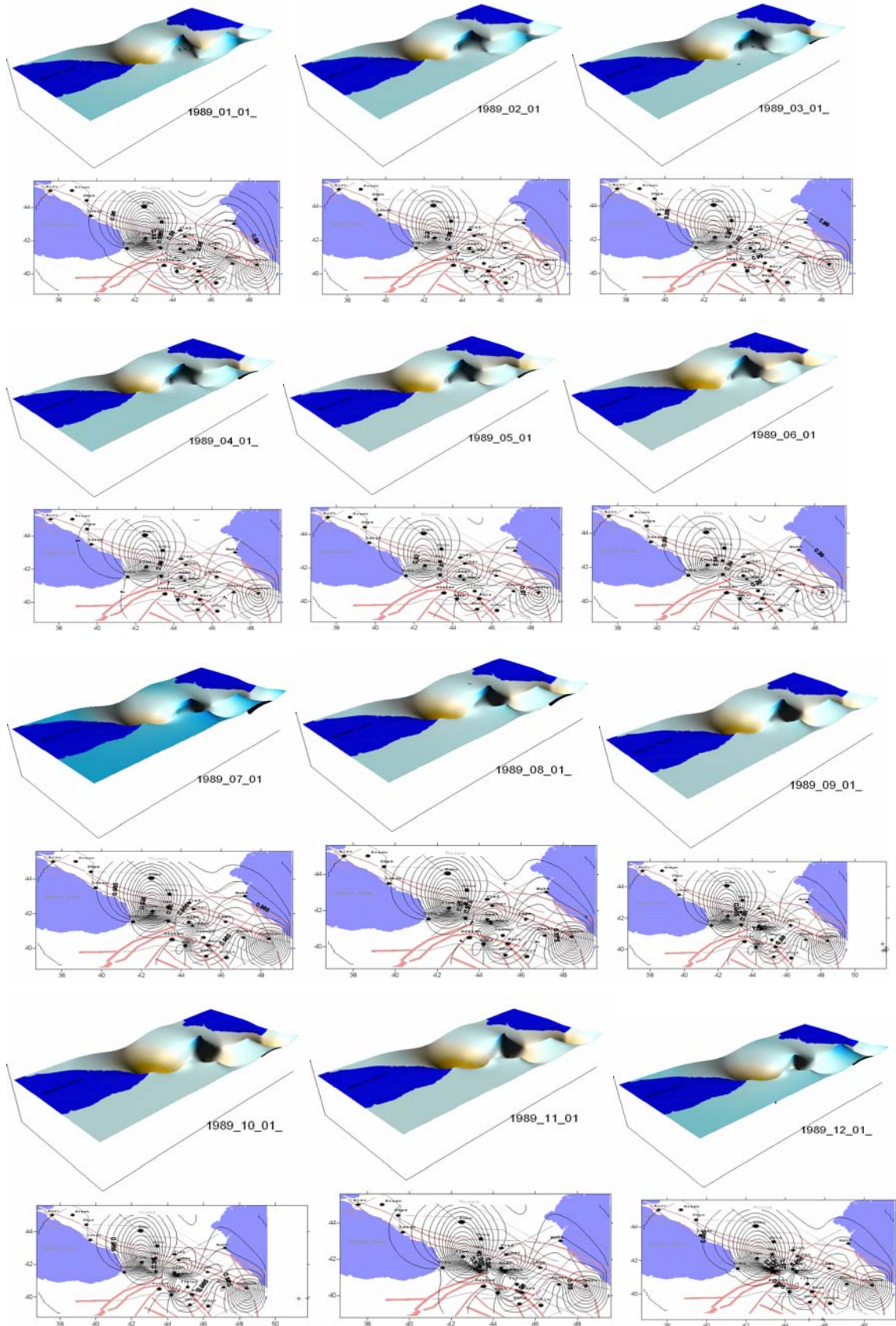


ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის რეგიონალური სურათის მისაღებად და ფართობზე ტექტონიკური დეფორმაციების ევოლუციის სურათის დასადგენად საჭირო იყო გაგვეთვალისწინებინა ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების სირთულე. ამის მისაღწევად ხდებოდა მიღებული სხაობრივი მნიშვნელობის გამრავლება პუნქტის ტენზომგრძობიარობაზე, რაც გამოთვლილი იყო ამ ჭაბურღილის წყლის დონის დაყვანილი (ატმოსფერული და ნალექიანობის გავლენის გამოკლებით) მნიშვნელობის რეაქციით მიმოქცევით ვარიაციებზე, სეისმურად წყნარ პერიოდში. ჰიდროგეოდეფორმაციული (ჰგვ) ველის ამ მნიშვნელობებით ხდებოდა მახსიათებელი სურათების აგება და პროცესის ევოლუციის კანონზომიერებების შესწავლა. მაგალითად მოგვყავს კავკასიაში 1988-2005 წლებში მომხდარი ძლიერი მიწისძვრების მომზადების პროცესში, ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის ევოლუციის სურათები. ქვედა ნახაზზე ასახულია კავკასიის ტექტონიკური რუკა და მასზე დაძაბულობის იზოხაზები. ზედა ნახაზზე დაძაბულობის სამგანზომილებიანი რუკა, სადაც ჩაწეული ნაწილი შეესაბამისება შეკუმშვის დეფორმაციას, ხოლო ამოწეული-გაჭიმვის დეფორმაციას. მიწისძვრების ეპიცენტრები გამოსახულია ჯვარის სახით (ნახ. №92).



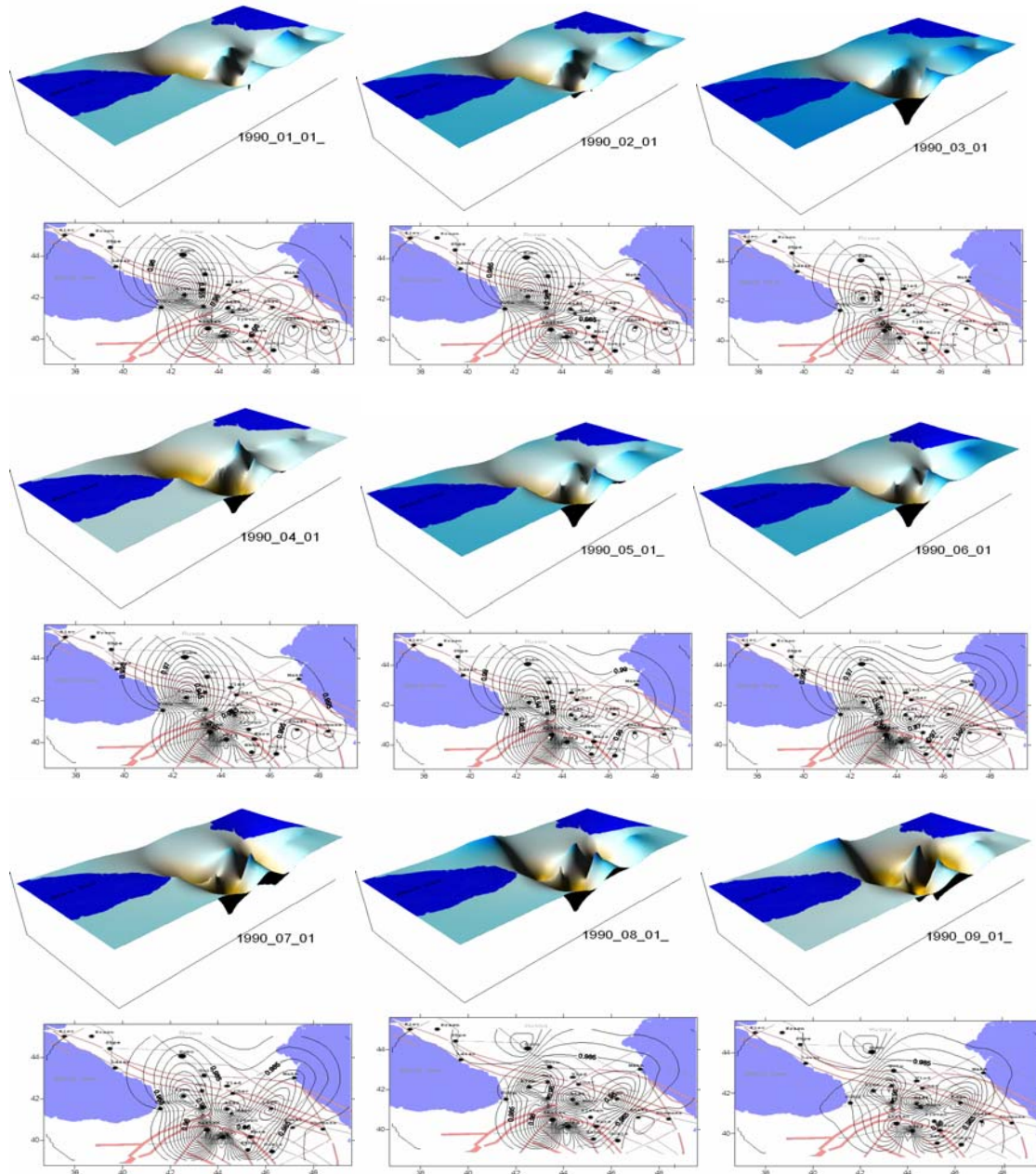


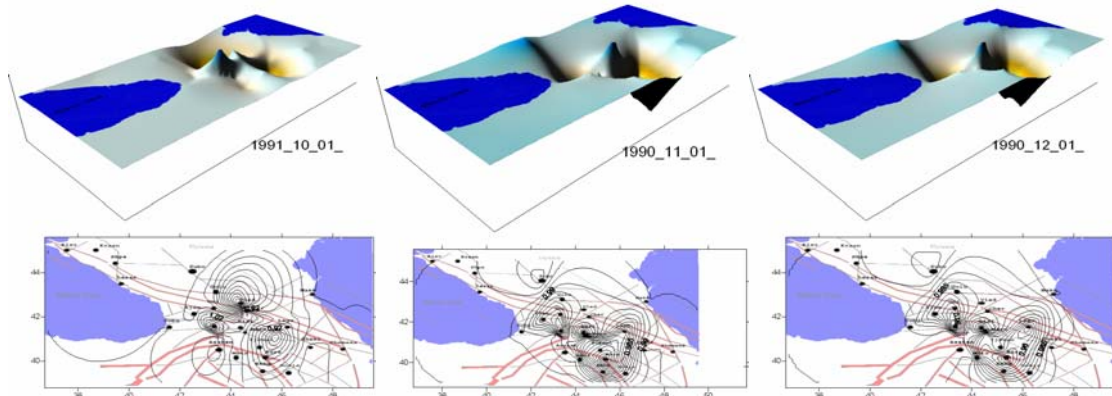
როგორც ჩანს ჰგდ ველის სურათებიდან 1988 წლის დასაწყისად შეიმჩნევა შუკუმშვის დეფორმაციის ჩამოყალიბება აჭარა-თრიალეთის დასავლეთ ნაწილში, ასევე საქართველოს სამხრეთ-სომხეთის ჩრდილო ნაწილში. ხოლო მათ სამხრეთით ფიქსირდება გაჭიმვის ზონა. სექტრების თვემდე თანდათანობით იზრდება დამაბულობის ინტენსივობა და სურათი უფრო კონტრასტული ხდება, რაც 09.1988 წელს მთავრდება მიწისძვრით ბათუმის რაიონში, რის შემდეგ ეს ტერიტორია ექცევა განტვირთვის პროცესში და ხდება წყლის დონეების აწევა ამ ზონაში. დასავლეთის შუკუმშვის დეფორმაცია, მის ჩრდილო ნაწილში აგრძელებს ზრდას და აღმოსავლეთით მდებარე შუკუმშვის დეფორმაციას ერთად ქმნის კონტრასტულ ველს გაჭიმვის დეფორმაციასთან ჩრდილო სასომცეტის ტერიტორიაზე. ამ ზრდადი პროცესის ბოლოში განხორციელდა სპიტაკის დამანგრეველი მიწისძვრა -7.12.1988.



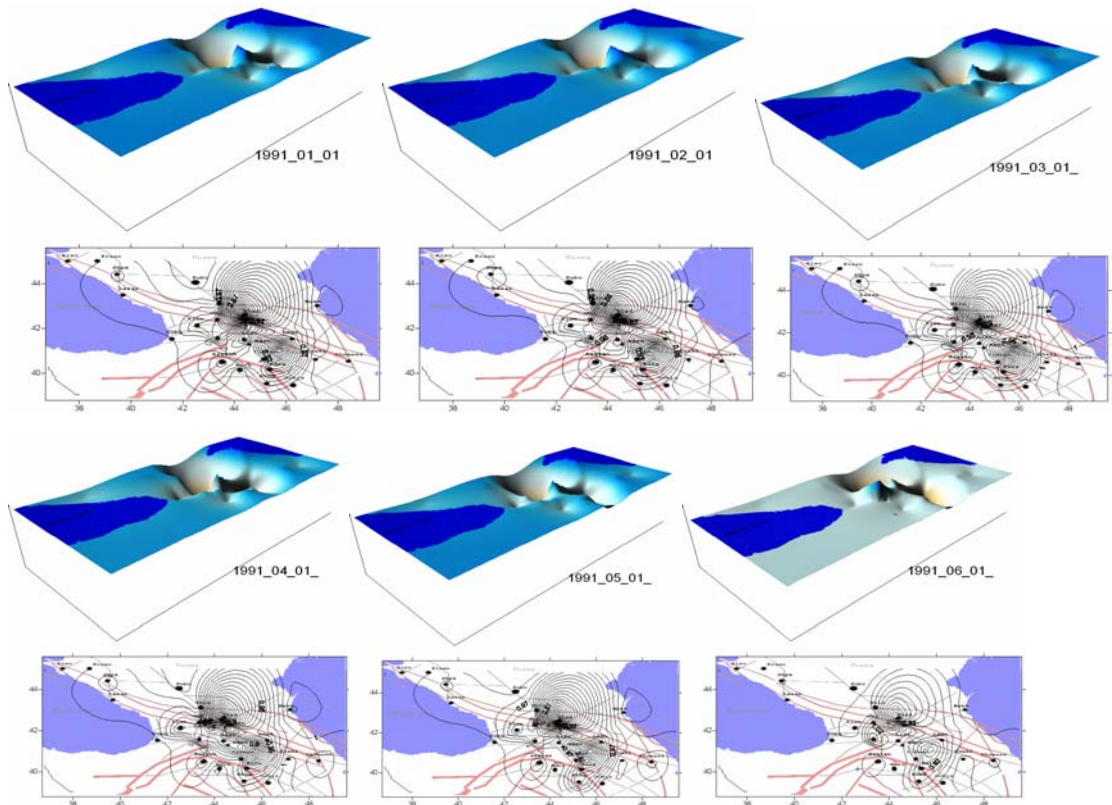
სპიტაკის მიწისძვრას მოყვა განტვირთვის დეფორმაციის შესაბამისი დონეების დაცემა მიწისძვრის ეპიცენტრალური ზონასა და მიმდინარე ტერიტორიაზე, რაც ჰგდ ველში აისახება მაღლა აწეული პიკებით აღმოსავლეთ კავკასიაში. თუმცა, 01.1988-

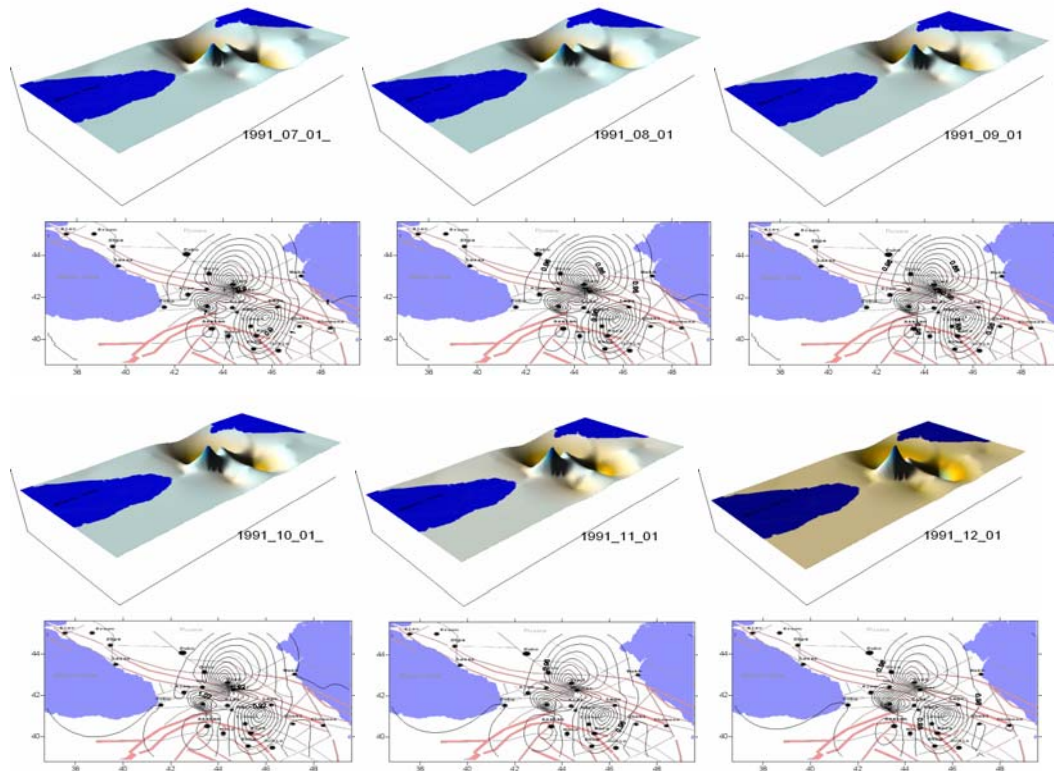
12.1989 პერიოდში აღინიშნა მცირე შეკუმშვის დეფორმაციების ჩამოყალიბება ჟავახეთისა და ჩრდილო სომხეთის ტერიტორიებზე, რაც განიტვირთებოდა საშუალო კლასის მიწისძვრებით. ამავე დროს დასავლეთ კავკასიის ტერიტორია რჩება შეკუმშულად და თანდათანობით იწყება ამ ზონის გაფართოება სამხრეთ-დასავლეთი მიმართულებით.



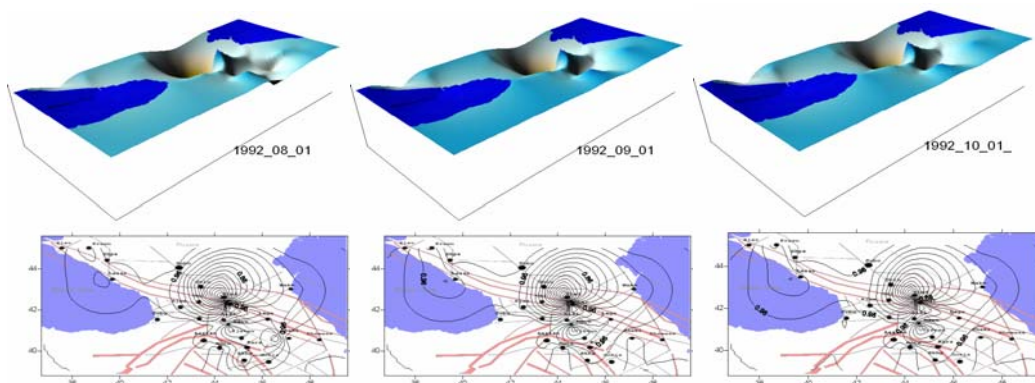


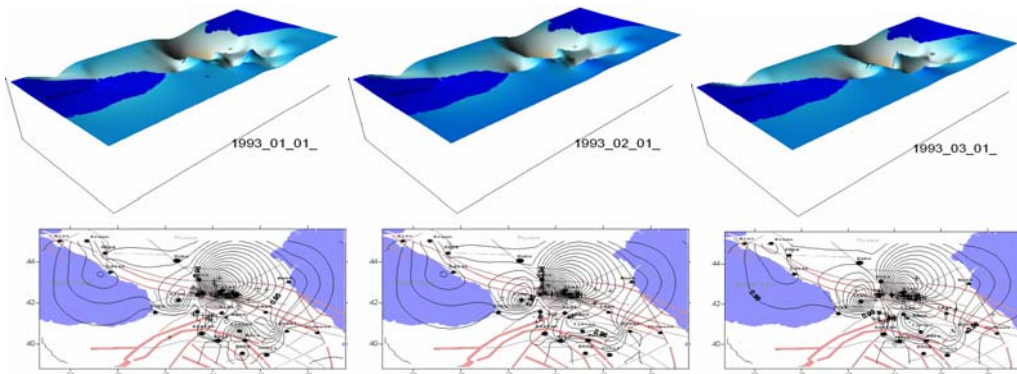
რასაც მოყვა ძლიერი შეკუმშვის დეფორმაციის ჩამოყალიბება სამხრეთ კავკასიაში. მისი განტვირთვა ნაწილობრივ მოხდა 06.1990 წ. ირანის მიწისძვრის შემდგომ და მთლიანი ჯავახეთის 07.1990 წ. შემდგომ. განტვირთვის პროცესსა მოიცვა ცენტრალური კავკასია 10.1990 წლისთვის. მაგრამ ამის შემდგომ 11.1990 წ. იწყება ახალი შეკუმშვის ზოლის ჩამოყალიბება აღმოსავლეთ კავკასიაში.





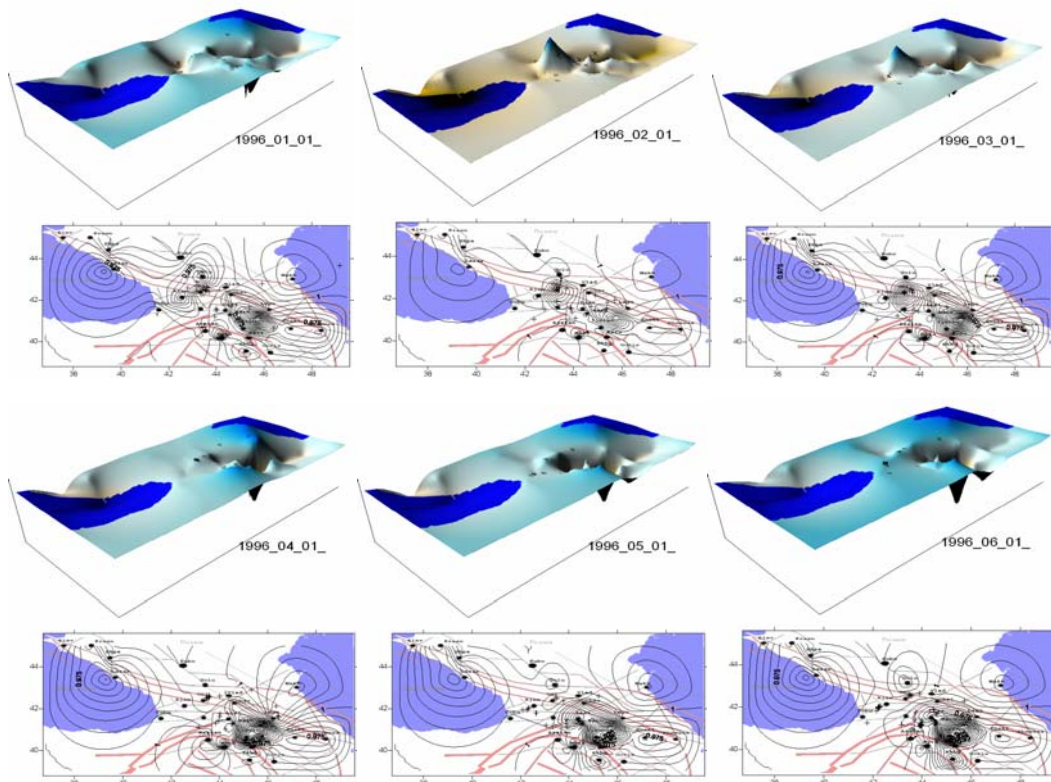
ამ ზოლის ნაწილობრივი განტვირთვა მოხდა რაჭის ძლიერი მიწისძვრის (04.1991) შემდგომ. განტვირთვის ზნის გაფართოება აღმოსავლეთის გაგბრძელდა ჯავის მიწისძვრის (06.1991) შემდგომ. თუმცა ძირითადათ აღმოსავლეთი კავკასია რჩება შეკუმშულად. აპტერშოკების მეშვეობით განტვირთვის დეფორმაციის ფარგლებს და მისი ინტენსივობის გაზრდასთან ერთად უფრო მკვეთრი ხდება კონტრასტი სხვა და სხვა ნიშნის დეფორმაციებს შორის. 1992 წლისათვის დეფორმაციული კონტრასტული ველი განთავსებული იყო ცენტრალურ კავკასიაში და მას 24.10.1992 მოყვა ბარისახოს მიწისძვრა (M-6,3).

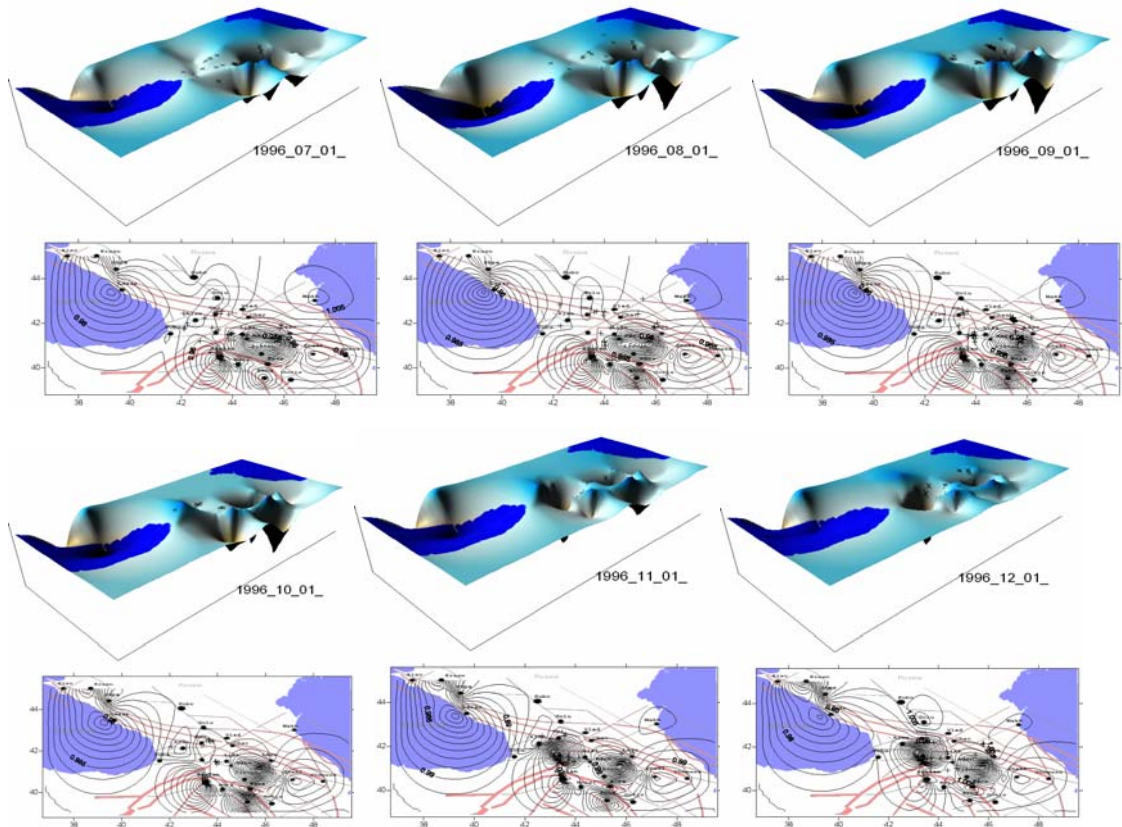




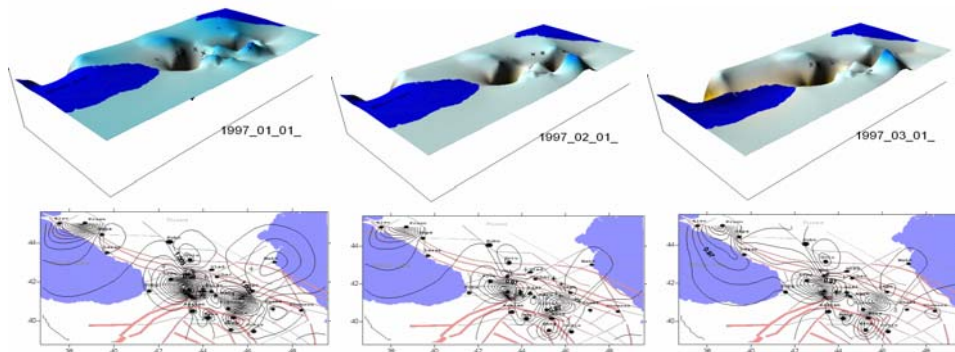
ჩრდილო კავკასიაში განტვირთვა მოხდა ნაწილობრივ, ხოლო სამხრეთ კავკასიაში შეიქმნა მცირე ამპლიტუდის და დეფორმაციის ველის რთული მოზაიკური, რომელიც როგორც წესი ახასიათებს სუსტი ადგილობრივი მიწისძვრების მომზადების პროცესებს. ასე მაგალითად, დასავლეთ საქართველოში 01.1993-03.1993 ჩამოყალიბდა მცირე შეკუმშვის დეფორმაცია, რომელსაც მოყვა ბათუმის 24.03.1993 წ. მიწისძვრა.

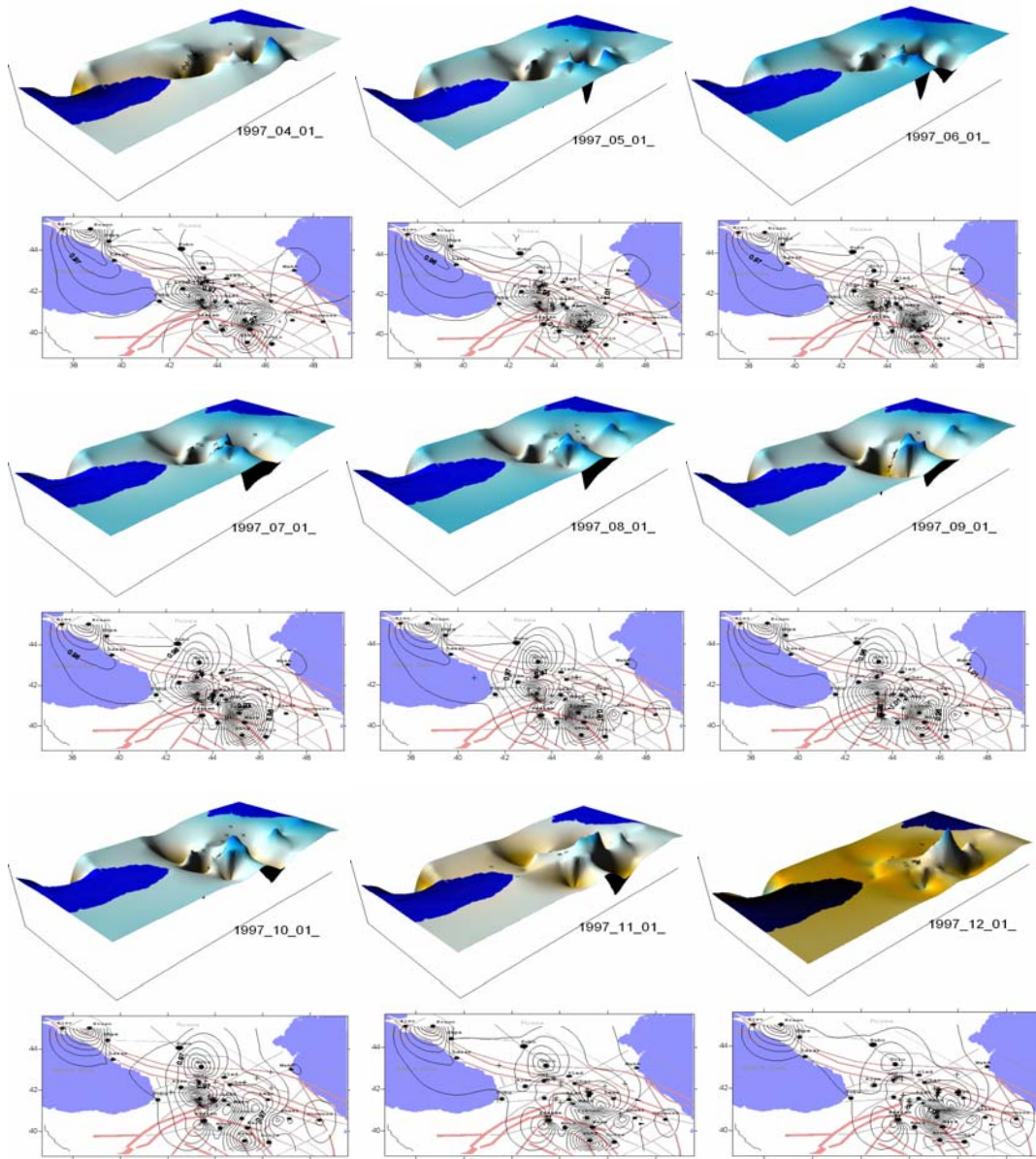
ასევე, საშუალო და სუსტი მიწისძვრების სერია ფიქსირდება საქართველოს ტერიტორიაზე 1996-1997 წლებში. მათი მომზადების პროცესი ჰგდ ველში აისახა რთული მოზაიკური სურათით.





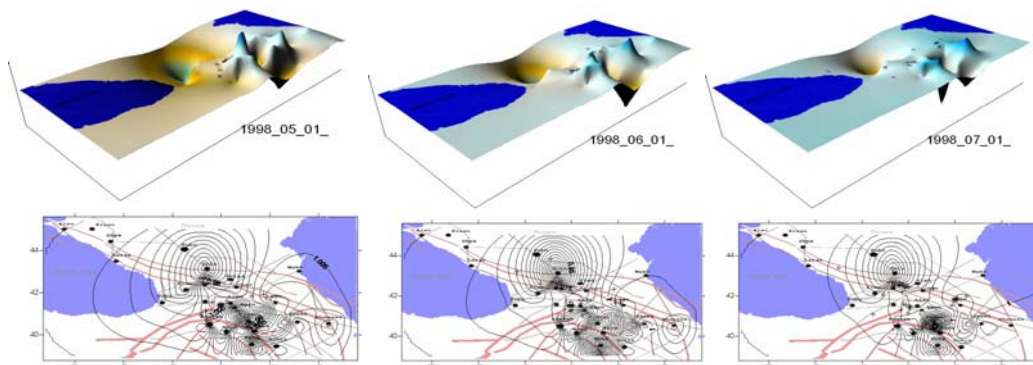
1996 პირველ ნახევარში მოხდა მიწისძვრათა სერია აჭარაში (02.1996) რომელსაც თან ახლდა გაჭიმვის დეფორმაციის მახასიათებელი წყლის დონეების ვარდნა. მას მოყვა შეკუმშვის დეფორმაციის მიგრაცია დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით და თრიალეთი (05.1996) მიწისძვრა. შემდეგ დეფორმაცია ინაცვლებს აღმოსავლეთით და იქმნება სამი შეკუმშვის კერა, რომლებიც განიტვირთნენ ბოგდანოვკის (02.1997), გორის (06.1997) და ხაშმის (11.1997) მიწისძვრებით.

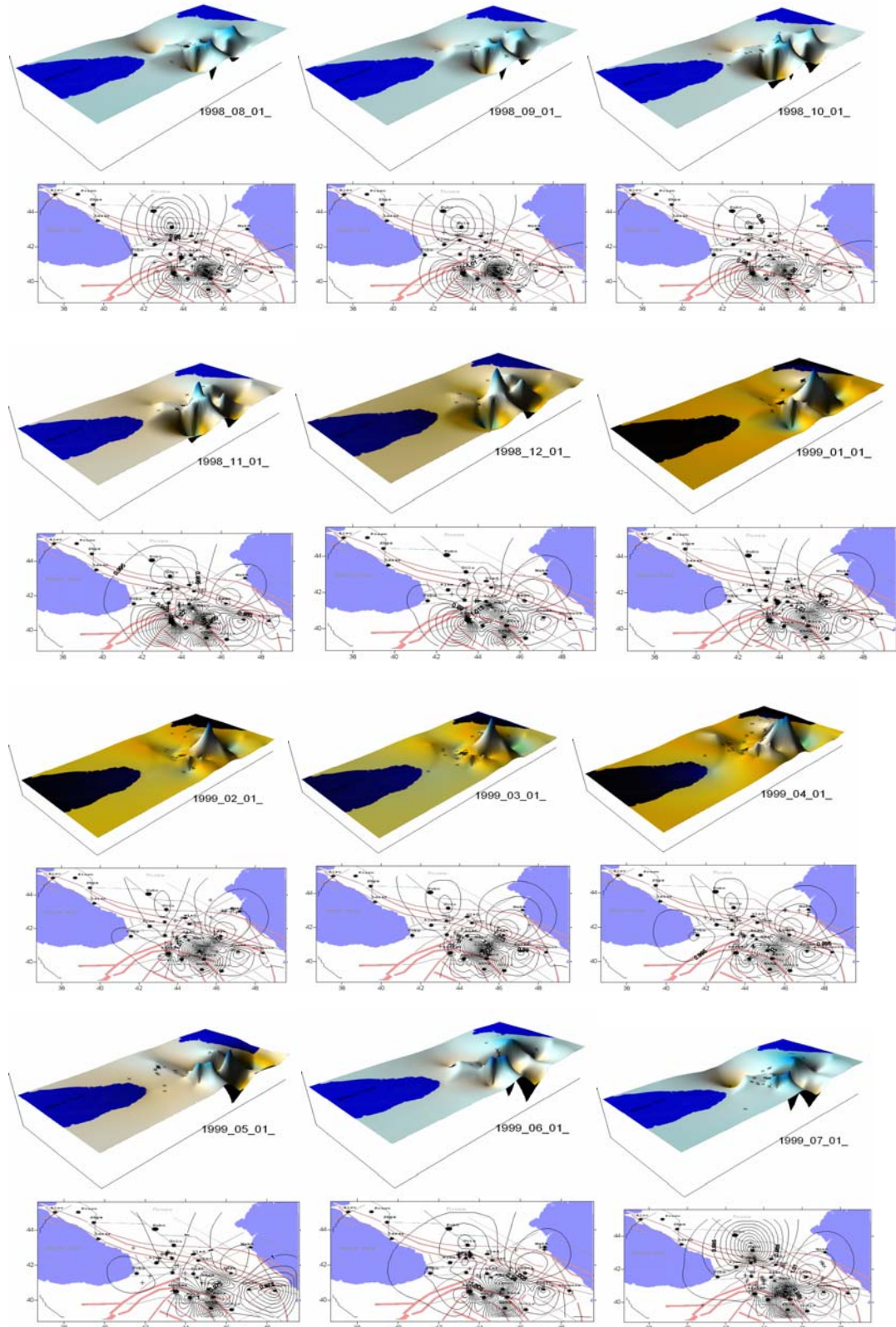




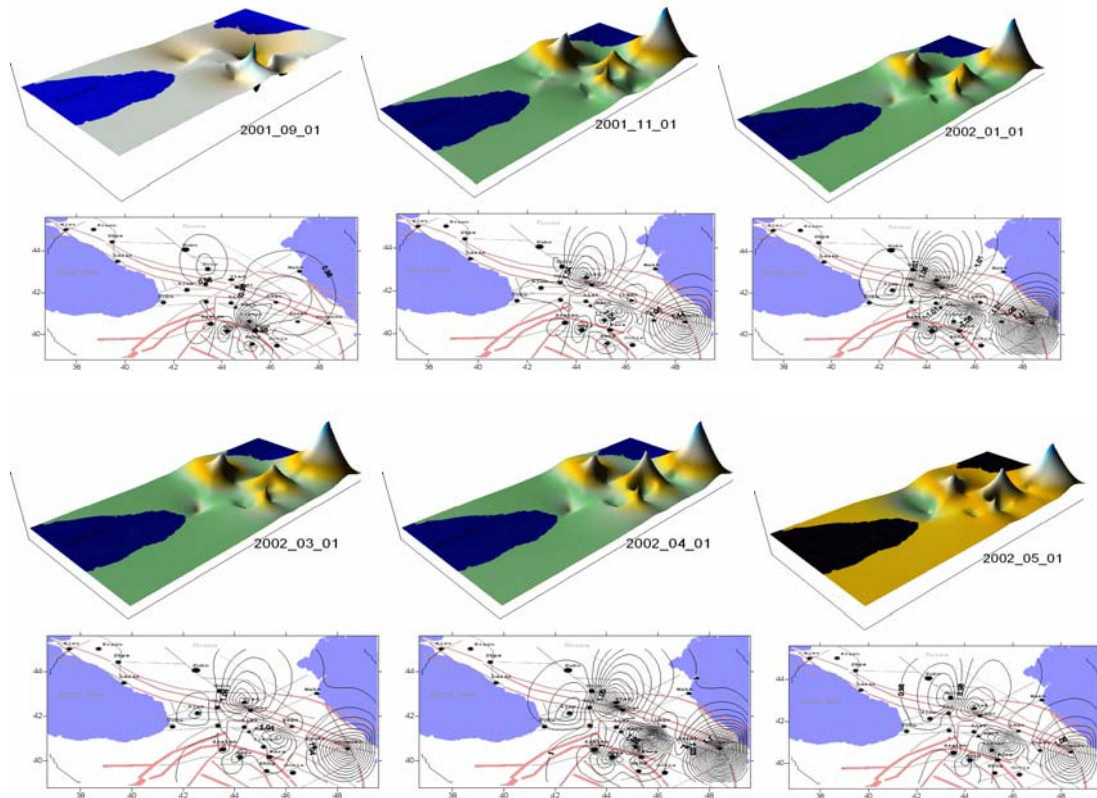
ამ მიწისძვრების შემდგომ დროებით ჩამოყალიბდა შედარებით წყნარი განტვირთული ველის მახასიათებელი სურათი (12.1997).

1998-1999 წლებში ჰგდ ველში ისევ ფიქსირდება "რთული" მოზაიკური სურათი და მას მოყვა ადგილობრივი სუსტი და საშუალო სიმძლავრის მიწისძვრათა სერია.





შემდგომი განვითარებული პროცესებიდან შეიძლება ავლნიშნოთ დარღვევები, რომლებიც განვითარდა თბილისის 2004 მიწისძვრისა და მისი ფორშტოკების პერიოდში. თუმცა განსხვავებით წინა მოვლენებისგან, მომავალი მიწისძვრის კერაში ჰგდ ველის გრადიენტულ ზოლში წამყვანი როლი უწირავს გაჭიმვის დეფორმაციებს.

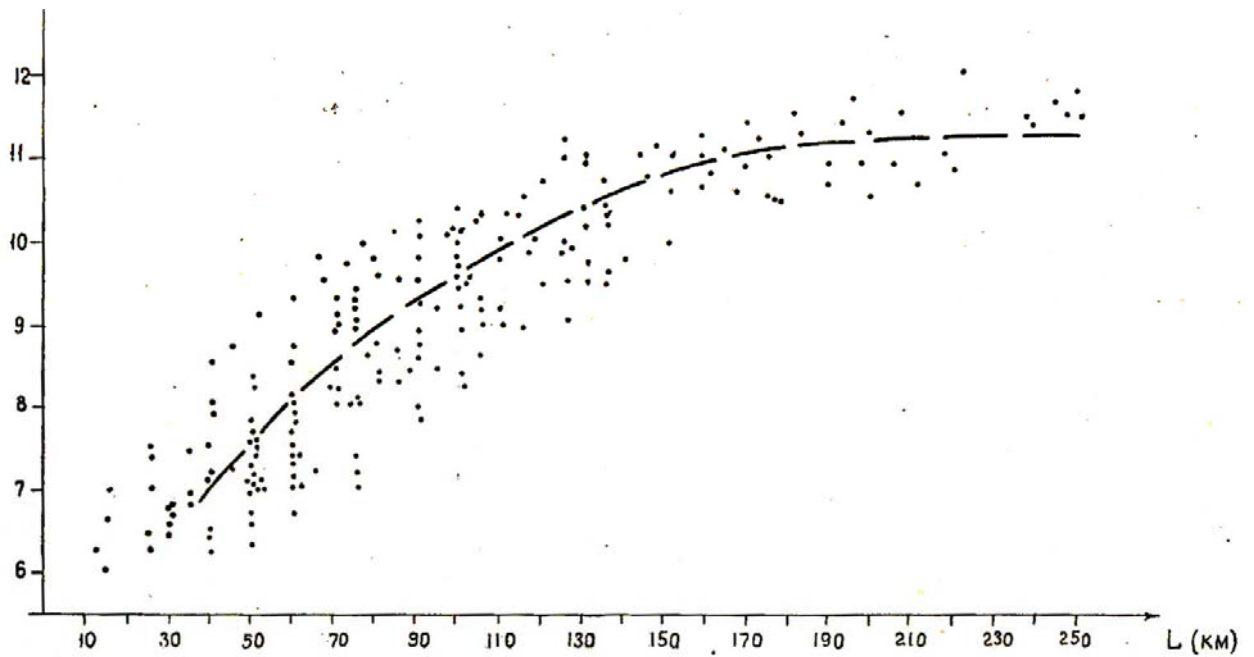


საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიწისძვრის მომზადების პერიოდში ძლიერი მიწისძვრის გამომწვევი კრიტიკული დეფორმაციების ჩამოყალიბება ხდება ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში, ხოლო მისი მომზადების დრო დამოკიდებულია მოსალოდნელი მიწისძვრის სიძლიერეზე. ასევე, ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველში, მიწისძვრის კერა ემთხვევა ყველაზე დიდი გრადიენტის ზონას. უშუალოდ მიწისძვრის წინ კი (რამდენიმე დღით ადრე სეისმომოვლენამდე) ირღვევა მახასიათებელი “ფონური” სურათი (141,134).

გარდა ამისა, მიწისძვრებით გამონთავისუფლებული ენერგიის ფართობზე გავრცელების დასაანგარიშებლად, შემუშავებული იქნა სპეციალური პროგრამა. ამ ორი ველის ერთობლივმა ანალიზმა დაგვანახა, რომ რეგიონის გეოდინამიკური რეჟიმი განაპირობებს მის სეისმურ რეჟიმსაც. ველების კომპლექსურმა ანალიზმა დაგვანახა, რომ მიწისძვრის შემდგომ, ენერგიის განტვირთვის ტერიტორია ემთხვევა გაჭიმვის დეფორმაციის ზონას ჰგდ ველში.

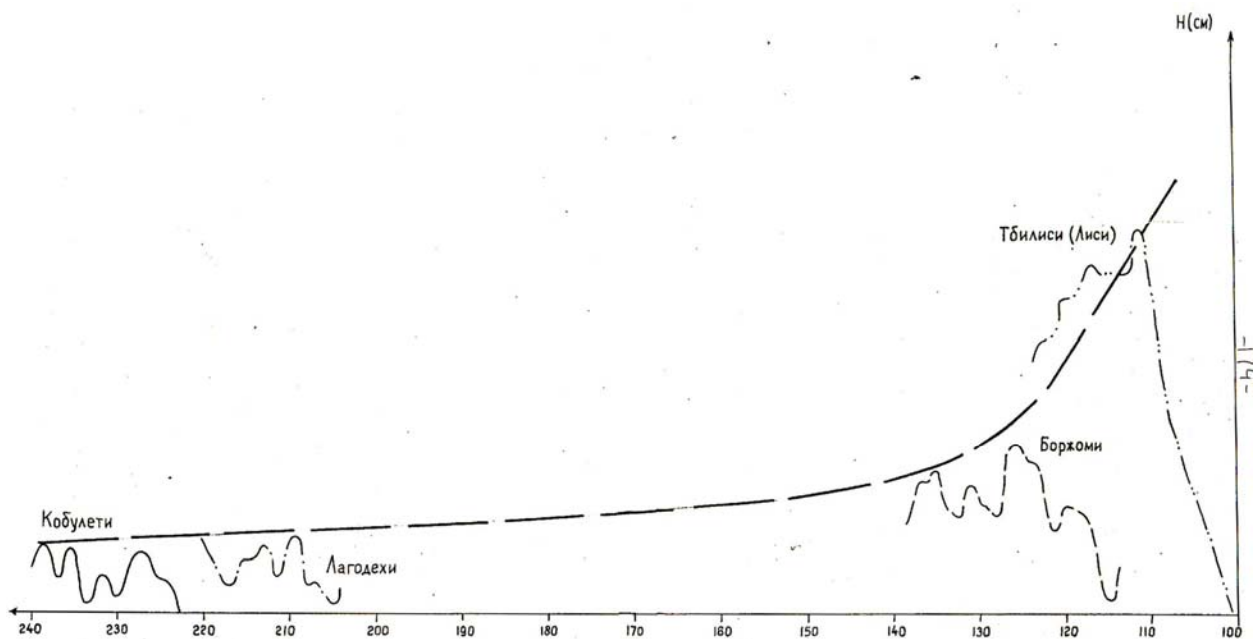
მიწისძვრის სიმძლავრის ზრდასთან ერთად იზრდება იმ ტერიტორიის ფართობი, რომელიც ჩართულია მის მომზადებაში. ეს სჩანს ანომალიების გამოვლენის არეალებსა და მიწისძვრის ენერგეტიკულ კლასს შორის გამოვლენილი

დამოკიდებულებით, რომელიც ასახავს მათ შორის თითქმის სწორხაზოვან დამოკიდებულებას.

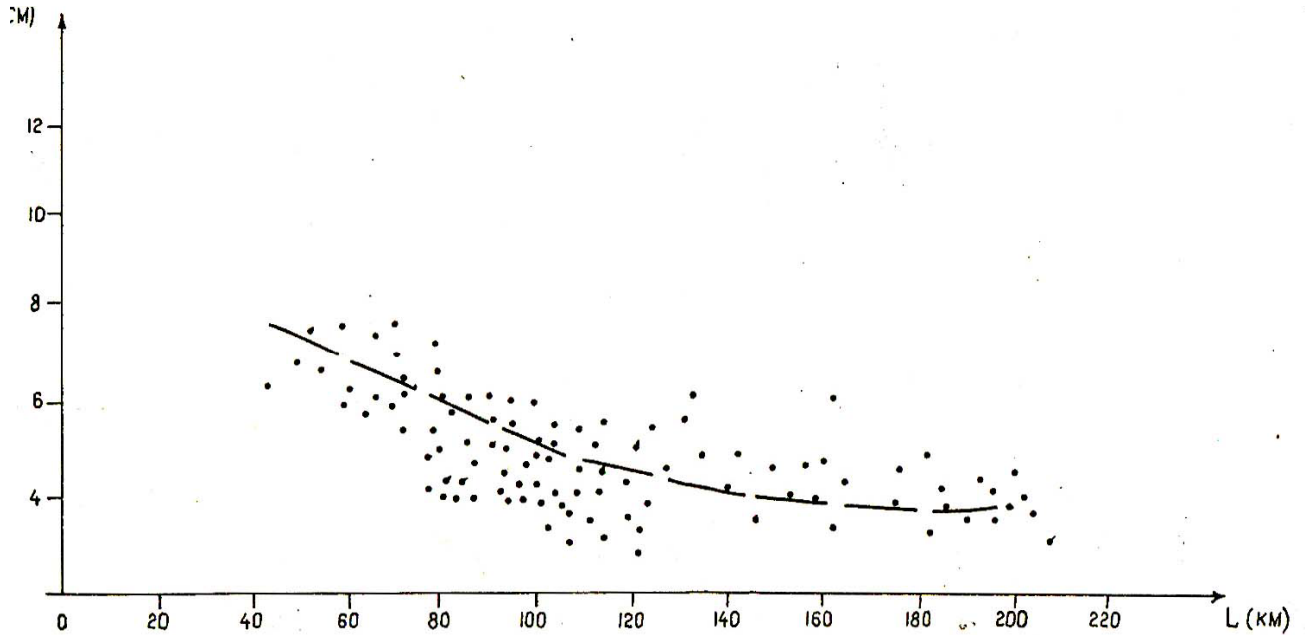


ნახ №93 დამოკიდებულების გრაფიკი ენერგეტიკულ კლასსა და ეპიცენტრალურ მანძილს შორის.

ამასვე ადასტურებს, ძლიერი მიწისძვრების პერიოდში, დარღვევათა ამპლიტუდებსა და ეპიცენტრალურ მანძილებს შორის აგებული დამოკიდებულების გრაფიკები.



ნახ №94 ანომალიათა ამპლიტუდების სიდიდის ცვლილება სპიტაკის მიწისძვრის ეპიცენტრალურ მანძილთან დამოკიდებულებაში



ნახ №95 ამპლიტუდათა სიდიდის (სმ) ცვლილება ეპიცენტრალური მანძილის მიხედვით

ცხრილ №22 მოცემულია მიწისძვრის მაგნიტუდასა და ანომალიების გამოვლენის მაქსიმალური მანძილს შორის დამოკიდებულობის გამარტივებული ფორმულის გამოყენებით (30,53) მიღებული შედეგები.

მაგნიტუდა	5	6	7
ანომალიების გამოვლენის რადიუსი (კმ)	140	380	1020

ცხრილის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს საქართველოს ტერიტორიისთვის შეირჩეს ძლიერი მიწისძვრების წინამორბედების დასაფიქსირებლად საჭირო დასაკვირვებელი ქსელის სიხშირე. მაგნიტუდით 5 და მეტი მაგნიტუდის მიწისძვრების დასაფიქსირებლად მინიმუმ სამ სადგურზე, ჭაბურღილებს შორის მანძილი უნდა შეადგენდეს მინიმუმ 50 კმ.

§7 ძირითადი შედეგები

1. შესწავილი იქნა მიწისქვეშა წყლების რეჟიმშემადგენელი ფაქტორები და მოხდა მათი დახასიათება;
2. პროგრამულად განხორციელდა შერჩეულ პარამეტრებიდან გეოდინამიკური მდგენელის გამოყოფა და შემუშავდა მისი ტესტირების მეთოდიკა;

3. შესწავლილი იქნა გეოდინამიკური დაძაბულობების განაწილების სივრცულ-დროითი ხასიათი, მათ შორის ძლიერი მიწისძვრების მომზადების პროცესში.

დასკვნები

განხილული იქნა ჰიდრო-გეოფიზიკური კვლევის თანამედროვე საველე და კამერალური მეთოდების გამოყენება მიწისქვეშა წყლების დინამიკის პლობლემების გადაჭრისას. გეოლოგიური, გეოფიზიკური და ჰიდროგეოლოგიური კვლევების კომპლექსით შესწავლილი იქნა სამი სხვა და სხვა ობიექტის აგებულება და ჩატარდა გარემოში მიწისქვეშა ნაკადის სივრცული განაწილების შესწავლა. დასაცავი პრობლემის გვარობიდან გამომდინარე, ჩატარდა სივრცულ-დროითი მოდელირება :

1. ფოლადურის ხეობაში მიწისქვეშა წყლების მძიმე ლითონებით დაბინძურებისა; დადგინდა დაბინძურების წყაროები, პოლუტანტების მიგრაციის გზები და მათი ინტენსივობა ეკო-გარემოში; მოდელირებით შეფასდა სიტუაციის დროში ცვლილების შესაძლებლობები; ნეიტრონული მონიტორინგით დადგინდა დაბინძურების ინტენსივობის დროში ცვლილების მიზეზები და ხასიათი; შემუშავდა რეკომენდაციები დაბინძურების შემცირებისთვის;
2. სითბური ველის განაწილებისა თბილისის ჰიდროთერმულ აუზში; საველე კვლევებით შესწავლილი იქნა წყალშემცავი ჰორიზონტის ჰიდროდინამიკური პარამეტრები; განისაზღვრა მოდელის სასაზღვრო პირობები და შემუშავდა სამგანზომილებიანი ციფრული მოდელი; დადგინდა ცალკეულ უბნებს შორის ურთიერთ კავშირი; განისაზღვრა თერმული აუზის საპროგნოზო მარაგები და დაიწყო მისი მონიტორინგი;
3. ჰიდროგეოდეფორმაციული პროცესების ევოლუციისა სივრცესა და დროში; შესწავლილი იქნა მიწისქვეშა ჰორიზონტზე მომქმედი ენდოგენური და ეგზოგენური ფაქტორები და განისაზღვრა მათი გავლენა; პროგრამულად დამუშავდა მულტი-პარამეტრული სიგნალიდან გეოდინამიკური მდგენელის გამოყოფა და მისი კალიბრება; შესწავლილი იქნა გეოდეფორმაციული პროცესების განვითარების კანონზომიერებები და ანომალიათა წარმოქმნის მექანიზმები;

სამეცნიერო ნაშრომების სია

1. ზვიადაძე უ., ლომინაძე ი., ცომაია ზ., კალანდაძე დ.- კაზრეთის რეგიონის ჰიდროგრაფიულ ქსელში მძიმე ტოკსიკური ლითონების განაწილების საკითხისათვის. მეცნიერება და ტექნიკა, №1-3, 2000
2. კალანდაძე დ. მადნეულის სპილენძ-კოლჩედანიანი საბადოს კარიერული წესით დამუშავების ზეგავლენა ბოლნისის მადნიანი რაიონის ჰიდროეკოგეოგურ მდგომარეობაზე. გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაცია.
3. მელიქაძე გ. და სხვები “ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის შექმნა და მასზე დაკვირვებები 1991-93 წ.წ.” “საქგეოლოგიის” ფონდები
4. მელიქაძე გ. და სხვა “თერმალური და სუბთერმალური წყლების დეტალური ძიების სამუშაოები რიონის და ოქუმის წყალთაშუა სამეურნეო და კომუნალური-საყოფაცხოვრებო ობიექტ მომარაგებისთვის” 1995 წ. “საქგეოლოგიის” ფონდები
5. მელიქაძე გ. და სხვა “კავკასიის საუღელტეხილო გზის ათვისების და მშენებლობის ზონაში ჰ/გ და ს/გ მიზნებისთვის მუდმივ მოქმედი ლიტომონიტორინგის სისტემის ორგანიზაცია” 1995 წ. “საქგეოლოგიის” ფონდები
6. საყვარელიძე ე. გეოთერმია თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლოა, თბილისი 1993.
7. ცერცვაძე ნ., ბუაჩიძე გ., ვარდიგორელი ო., ვაშაკიძე ბ., ინაშვილი თ., კოტრიკაძე ნ., ცერცვაძე ლ., საქართველოს თერმული წყლები. თბილისი, 1998.
8. ცერცვაძე ლ. ჩუტკერაშვილი დ.გ. მიკროორგანიზმთა ცხოველმოქმედების პროდუქტების როლი ლითონების ბიოქიმიური გამოტუტვისას. ჟ. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, 2001. №4-6
9. ცერცვაძე ლ. კაკულია ზ. გ. თიხური ქანების ბიოქიმიური გამოფიტვის პროცესის ექსპერიმენტული გამოკვლევების ზოგიერთი შედეგები. ჰიდროგეოლოგიის და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტ. კრებული 2001. №12
10. Адамия Ш.А., Габуния Г.А. и др. Характерные черты тектоники Кавказа. - Сборник "Геодинамика Кавказа". - Наука, 1989. - с. 3-15.
11. Адамчук Ю.В., Федоровский Ю.П., Фирстов П.П. и др. Метод непрерывного измерения эманации для прогноза землетрясений и извержений вулканов с

использованием пластмассовых и комбинированных сцинтилляционных детекторов. - Вулканология и сейсмология, N 2, 1986. - с. 71-84.

12. Баранов А.Е., Бобрович А.Г., Жданов С.Е., Попов Е.А. Результаты гидрогеологических наблюдений за режимом подземных вод в пределах Боржомского месторождения минеральных вод в целях прогноза землетрясений. - Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Методика и организация наблюдений за режимом подземных вод для прогноза землетрясений." - М.: ВСЕГИНГЕО, 1983.
13. Барсуков В.Л., Серебренников В.С. и др. Гидрохимические методы прогноза землетрясений. - Доклады АН СССР, т. 251, N 4, 1980.
14. Бачурин А.В., Власенков В.В., Нестеров В.П., Федоровский Ю.П. и др. Полевые бета-радиометры РКБ4-1ем и РКБ4-2ем для контроля загрязненности окружающей среды. - Вопросы атомной науки и техники. Серия "Ядерное приборостроение". - М.: СНИИП, вып.3 (48), 1981. - с. 3-7.
15. Бороздич Э.В., Яницкий И.Н., Еремеев Л.Н. Предварительные результаты исследований вариаций поля гелия в сейсмоактивных зонах. - "Геохимия", N 3, 1973.
16. Бороздич Э.В., Галицкий А.М., Яницкий И.Н. Перспективы развития гелиевометрических исследований. - В сб.: Прогноз землетрясений. - Душанбе: Дониш, N 10, 1988.
17. Буачидзе Г., Буачидзе И., Годерджишвили Н., Мхеидзе Б., Шаоршадзе М. Геотермические условия и термальные воды Грузиию "Сабчота сакартвело" Тбилиси, 1980.
18. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. - Доклад АН СССР, 262, N 2, 1982.
19. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. О глобальном гидрогеодеформационном поле. - Советская геология, N 5, 1983.
20. Вартанян Г.С., Башмаков В.И. Изменение гидрогеодеформационного поля при проявлении интенсивных геодинамических процессов. - Советская геология, N 8, 1989.
21. Волейшо В.О. Влияние некоторых внешних природных сил на подземные воды. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара. Методика и организация наблюдений за режимом подземных вод для прогноза землетрясений М.: ВСЕГИНГЕО, 1983.
22. Гамбурцев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений. - Бюллетень Совета по сейсмологии, N 1, 1955
23. Гамкрелидзе И.П. Геодинамическая эволюция и механизм формирования структуры Средиземноморского складчатого пояса. - Сборник "Геодинамика Кавказа", Наука, 1989, - с. 28-36.

24. Геологическое строение и металлогения Юго-Восточной Грузии. Труды геол.ин-та, новая серия, вып.1. Изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1965.
25. Геология Грузии т. X
26. Гриневский А.С., Барабанов В.Л. Методика обработки гидрогеодинамических данных в целях прогноза землетрясений. - Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Методика и организация наблюдений за режимом подземных вод для прогноза землетрясений. - М. : ВСЕГИНГЕО, 1983.
27. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. – Сейсмическая разведка. Изд.»Недра», М., 1980.
28. Девис Д. Предсказание землетрясений в Китае . - "Натура", 1975.
29. Дзадзамия Т.Д., Фронтасьева М. В.,Церцвадзе Л.. и др. Разработка методики бактериального выщелачивания металлов из бедных руд ,пород и промышленных отходов с использованием нейтронного активационного анализа. Изд. Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна. 2001.
30. Добровольский И.П., Зубков С.И., Мячкин В.И. Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений. - В сб.: Моделирование предвестников землетрясений. - М.: Наука, 1979.
31. Ермаков Т.С. и др. Вариации гидрогеохимических и гидрогеодинамических параметров на Алма-Атинском прогностическом полигоне. - Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Методика и организация наблюдений за режимом подземных вод для прогноза землетрясений". - М. : ВСЕГИНГЕО, 1983.
32. Звиададзе У. И.. микрокомпоненты подземных вод Грузии в качестве геохимических показателей нефтегазоносности гидрогеологических структур и условий формирования минеральных вод. Док. дисс. библи. ГТУ, 1992
33. Зубков С.М. Радоновые предвестники землетрясений АН СССР. - Вулканология и сейсмология, N 6, 1981.
34. Каталог гидрогеодинамических предвестников землетрясений. - ИФЗ АН СССР. М., 1983.
35. Лазарашвили Е. Отчет о детальной разведке Тбилисского эксплуатируемого месторождения с переоценкой эксплуатационных запасов термоминеральных вод за 1981-90 г.г.. Тбилиси, 1990 г.
36. Меликадзе Г.И. и др. Отчет "О работах по прогнозу землетрясений в сейсмогенной зоне Джавахетского нагорья и Тбилисского района" за 1979-83 гг., ТГФ ПО "Грузгеология".

37. Меликадзе Г.И. и др. Отчет "О работах по прогнозу землетрясений в сейсмогенной зоне каскада ИнгуриГЭС и прилегающих районов на 1981-86 гг.", ТГФ ПО "Грузгеология".
38. Меликадзе Г.И. и др. Отчет "О работах по прогнозу землетрясений в сейсмогенной зоне Джавахетского нагорья и Тбилисского района" за 1983-85 гг., ТГФ ПО "Грузгеология".
39. Меликадзе Г. и др. «Отчет о результатах сейсмических работ по профилю Батуми-Эльбрус-Минводы-Гализга за 1984-1988 г.г.» ТГФ ПО "Грузгеология".
40. Меликадзе Г.И. и др. Отчет "О работах по прогнозу землетрясений в сейсмогенных зонах Джавахетского нагорья и каскада ИнгуриГЭС" за 1986-88 гг., ТГФ ПО "Грузгеология".
41. Меликадзе Г. и др. «Отчет о результатах гидрогеолого-геофизических наблюдений на территории Грузии с целью прогноза землетрясений на 1988-90 г.г.» ТГФ ПО "Грузгеология".
42. Меликадзе Г. и др. «Результаты гелиевометрических исследований для изучения последствий Спитакского землетрясения в Армении» 1989 г. ТГФ ПО "Грузгеология".
43. Меликадзе Г. Аномалии в режиме в подземных вод и природных газов в связи с сейсмичностью недр территорий Грузии. Дисертация на соискание ученой степени канд.. геол-наук, Тбилиси, 1990 г.
44. Меликадзе Г. и др. "Отчет предварительной разведки Цромского месторождения с подчетом эксплуатационных запасов теплоэнергетических вод среднего эоцена, по состоянию на 01,12,90 г." 1991г. ТГФ ПО "Грузгеология".
45. Методические указания по организации и проведению гидрогеологических наблюдений на специализированной региональной сети в целях прогноза сильных землетрясений. - М.: МинГео.
46. Методические рекомендации по организации и проведению наблюдений за режимом подземных вод для прогноза землетрясений. -- М. : ВСЕГИНГЕО, 1980.
47. Милькис М.Р., Воронин И.В. Методические принципы постановки гидрогеологических исследований для прогноза сильных землетрясений. - Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Методика организации за режимом подземных вод для прогноза землетрясений". - М.: ВСЕГИНГЕО, 1983.
48. Монахов Ф.И., Хантаев А.М., Сапрыгин С.М. Краткосрочный гидрогеодинамический предвестник землетрясений и его связь с упругой деформацией земной коры. - Южно-Сахалинск, 1979.

49. Монахов Ф.И. Некоторые аспекты проблемы прогноза землетрясений АН СССР. - Южно-Сахалинск, 1980.
50. Сардаров С.С. О поисках газовых предвестников землетрясений. - В сб.: Сейсмичность и гидрогазогеохимия территории Дагестана. - Махачкала: ФАН, 1978, - с.95-116, 130-138.
51. Сейсмическое районирование территории. - М.: Наука, 1980.
52. Селяков В.И., Попов Е.А. Влияние напряженного состояния горных пород на выход газов при геодинамических процессах. - Тезисы Всесоюзного совещания "Природные газы". - М., 1981.
53. Соболев Г. Физика очага и прогноз землетрясений, Москва, 1992 г.
54. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Методика и организация наблюдения за режимом подземных вод для прогноза землетрясений". - М. : ВСЕГИНГЕО, 1983.
55. Тезисы докладов Всесоюзного совещания "Гидрогеохимические исследования на прогностических полигонах". - Алма-Ата; Наука, 1983.
56. Унифицированные методы анализа воды М., 1973.
57. Фомин Г. С. вода Международные стандарты М., 1995.
58. Церетели Д. Г и др. Производственные полутанты и диффузный зоб. Georgian medical news. 9 (90) сентябрь 2002 г.
59. Цулукидзе И. П. и др. Информационный отчет о результатах геолого-разведочных работ проведенных по проекту детальной разведке Тбилисского эксплуатационного месторождения термоминеральных вод за 1981-86 г.г., Тбилиси, 1986 г.
60. Чичинадзе К. И. Возможные механизмы агрессивного поведения у мужчин. Georgian medical news. 9 (90) сентябрь 2002 г.
61. Adamchuk U.V., Buachidze G.I., Melikadze G.I. "Radon correlation coefficient gravitation, displaying the seismic situation", 10 years after the Spitak earthquake Conference; materials, Yerevan 1998
62. Akaike, H. et al. (1985). TIMSAC-84. Part 1. Computer Science Monographs, No.22, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo
63. Becher, D. (1789), Neue Abhandlungen vom Carlsbade, (F.C.W. Vogel) Leipzig.
64. Bella F., Biagi P., Melikadze G. et al. - No preseismic evidence from hydrogeochemical parameters on the occasion of the April 29, 1991, Georgian earthquake, Caucasus. Tectonophysics, 213 (1992) 353-358 Elsevier Science Publishers B. v., Amsterdam.

65. Bella, Biagi P., Melikadze G. et al. - Anomalies in geophysical and geochemical parameters revealed on the occasion of the Paravani (M=5.6) and Spitak (M=6.9) earthquakes (Caucasus). *Tectonophysics* 202 (1992) 23-41. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
66. Bendat, J. and Piersol, A. (1986). *Random Data: Analysis and measurement Procedures*. J. Wiley, New York.
67. Biagi, G. Melikadze et al. –Abnormal behavior of some parameters revealed in the Georgia before the Armenia earthquake of december 7, 1988:a Preliminary Report. *IL NUOVO CIMENTO*, Vol. 13 G., N.3., Maggio-Giugno 1990.
68. Biot, M. (1941). General theory of three dimensional consolidation. *Appl.Physics*, 12,155-164.
69. Black J.H., 1985. The interpretation of slug tests in fissured rocks. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 18161-171.
70. Blanchard, P. and Byerly P. (1935). A study of well gage as a seismograph. *Bull. Seismol.Soc. Amer.*, 25, 313-321.
71. Bodvarsson G. (1970). Confined fluids as strain meters. *J. Jeophys. Res.*, 75, 2711-2718.
72. Brace W.F. The physical basis for earthquake prediction. *Technol. Rev.*, 1975, 77, N 5, p. 26-29.
73. Bredehoeft (1967). Response of well-aquifer system to Earth tides. *J.Geophys. Res.*72, 3075-3087.
74. Buachidze G., Melikadze G. 1990 Reactions of hydrodynamical parameters on preparation of earthquakes. *Tbilisi, Bulletin AS of Georgia*, 138, N2.
75. Buachidze G., Melikadze G., Todadze M.-1982. GEOCHEMICAL OBSERVATIONS DURIWG THE SOLAR ECLIPSE IN GEORGIA ON 31 JULY, 1981” *Bulletin of the Academy of Sciences of the Georgia*, 106, N1.
76. Buachidze G., Zviadadze U. Tsertsvadze L.Chutkerashvili D. Decrease of risk of pollution by toxic metals of underground waters and soils on the territory of mining-industrial towns. *Proc.of the International IAEG con. "Engineering Geological Problems of Urban Areas"*
77. Buntebarth G., Chelidze T., Melikadze G.-Hydrodynamic and microtemperature monitoring in seismic areas. *Georgian Engineering News*, # 3, 12-132, 2004.
78. Buntebarth G, Chelidze T, Melikadze G. - The hydrothermal system of Tbilisi, Georgia. *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, "Management and Sustainable Development of Urban Groundwater Systems"*, 08. 2004, Baku, Azerbaijan, (in print).
79. Buntebarth G., Chelidze T., Melikadze G - Case studies - Hydrodynamic and microtemperature monitoring in seismic areas: Tbilisi hydrothermal field, Georgia, Caucasus. *Book –Time-Dependent microtemperature and hydraulic signals associated with tectonic/seismic*

- activity. Printed by Institute of Geophysics; European Center “Geodynamical hazards of high dams” of open partial agreement on major disasters, council of Europe; Editors: G. Buntebarth, T. Chelidze, Tbilisi, 2005.
80. Buntebarth G., Melikadze G. - Temperatur-und Wasserspiegelvariationen bei stationaren Bohrlochmessungen. Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e. V. Hannover 25-26.Oktober 2001.
 81. Chelidze T. (1984) On the anomalously high strain-sensitivity of electrical conductivity of heterogeneous media. Zhurnal Exp. Teor. Physics (Moscow). 87, 635-637 (in Russian).
 82. Chelidze T. (1987), Percolation theory in mechanics of geomaterials. Moscow “Nauka” (in Russian).
 83. Chelidze T., Spetzler, H. and Sobolev, G. (1996). Absorption of strain waves in porous media at seismic frequencies. PAGEOPH, 147, 25-54.
 84. Chelidze T. (1998), Heterogeneity in transport properties response to the tectonic impact: rock stress-sensitivity factor. In “Microtemperature signals of the Earth’s crust”, Ed. G. Buntebarth, pp. 115-124.
 85. Chelidze T. and Gueguen Y. (1998), Pressure-induced percolation transitions in composites. J.Phys.D: Appl.Phys. 31, 2877-2885.
 86. Chelidze T., Melikadze G., Zevvos F., Bendukidze G., Saanishvili A. The study of heavy metal pollution at Madneuli complex ore deposit area. I Intern. Conference on ecology and environmental Management in Caucasus/ Tbilisi, 2001, p.p. 69-72.
 87. Chelidze T., Melikadze G., Machaidze Z.-Study of heavy metal pollution at Madneuli ore deposit; geological, hydrogeological, geochemical and geophysical aspects, Journal of the Georgian Geophysical Society Issue (A), Physics of Solid Earth, v.7. 2002
 88. Christensen R. (1979), Mechanics of composite materials. Wyley&Sons.
 89. Correia A., Carneiro J., Buntebarth G., Chelidze T, Melikadze G. -Computer simulations of groundwater flow in Tbilisi thermal water field. Book –Time-Dependent microtemperature and hydraulic signals associated with tectonic/seismic activity. Printed by Institute of Geophysics; European Center “Geodynamical hazards of high dams” of open partial agreement on major disasters, council of Europe; Editors: G. Buntebarth, T. Chelidze, Tbilisi, 2005.
 90. Darcy, H.P.G. (1858), Recherches expérimentales relatives au mouvement de l’eaux dans les tuyaux, Sav. étr. Mém. 15, 262 p., Paris.
 91. Daubrée, A. (1887), Les eaux souterraines à l’époque actuelle, leur régime, leur température, leur composition, au point de vue du rôle qui leur revient dans l’économie de l’écorce terrestre, 2 vols., (Dunod) Paris.

92. Didebulidze G., Melikadze G. - On the some seismic-aironomik precursors of the eartquake in the Caucasus region. Workshop on the Micro-satellite. Orleans, France, 15-16 July, 1999 P.
93. Domenico P. and Schwartz F. (1990), Physical and Chemical Hydrogeology. Wiley, New York.
94. Drury, M.J, Jessop, A.M. and Lerois, T.J. (1984), The detection of groundwater flow by precise temperature measurements in boreholes. Geothermics, 13, 163-174.
95. Dunn, K.J. (1986), Acoustic Attenuation in Fluid-saturated Porous Cylinders. J. Acoust.Soc. Am. 79, 1709-1721.
96. Gavrilenko P., Melikadze G., Chelidze T., Gibert, D. and Kumsiashvili G. (2000), Permanent water level drop associated with Spitak Earthquake: Observations at Lisi Borehole (Republic of Georgia) and modeling. Geophys.J.Int. 143, 83-98.
97. Glover et al. (1996) Modeling the stress-strain behavior of saturated rocks undergoing triaxial deformation using complex electrical conductivity measurements. Surveys in Geophysics, 17, 307-330.
98. Hamza V. (1997) Neotectonic history from precision temperature logs. . In "Short-term thermal and hydrological signatures related to tectonic activities" Ed. M. Van Ruymbeke, Luxemburg, pp. 147-172.
99. Hamza, V. (1998) Models of short-lived thermal pulses generated by tectonic fluid flows in the upper crust. In "Microtemperature signals of the Earth's crust", Ed. G. Buntebarth, p. 147-173.
100. Hanai T. (1972) Electrical properties of emulsions. In: Emulsion Science.
101. Hsieh P. and Bredehoeft J. (1981). A reservoir analysis of the Denver earthquakes. J. Geophys. Res., 86, 903-920.
102. Hsieh P., Bredehoeft J. and Farr J. (1987) Determination of aquifer transmissivity from Earth tide analysis. Water Resources Res. 23, 1824-1832.
103. Hubbert, M.K. (1940), The theory of groundwater motion, Journal of Geology 48, 785-944.
104. Igarashi G and Wakita H (1991). Tidal responcees and earthquake-related changes in the water levelof deep wells. J. Geophys. Res. 96, 4269-4278.
105. Ishankuliev, G.A., Belikov, V.M., and Kissin, I.G., 1994, Main factors defining tidal strain sensitivity of system aquifer-observation wells in the Kopetdagh seismoactive region, Marees Terrestres, Bulletin D'Informations, 120, 8953-8960.
106. Jakob C.E. (1939) Fluctuations in artesian pressure produced by passing railroad trains as shown in a water level on Long Island, New York. Trans. Amer. Geophys. Union, 20, 666-674.

107. Jakob, C.E. (1940), On the flow of water in an elastic artesian aquifer, *Trans. American Geophysical Union* 22, 574-586.
108. G. Jashi, V. Chichinadze, T. Chelidze, G. Melikadze, Z. Amilakhvari, D. Kitovani, G. Dzotsenidze, A. Revazishvili- Study of hydrogeological structures of Madneuli by geophysical methods, *Journal of the Institute of Geophysics*, v. LVIII. 2004
109. Johnson H.P, Dziak R, Fisher C, Fox G and M. Pruis. (2001) Earthquakes' Impact on Hydrothermal Systems May Be Far-reaching. *EOS*, 82, pp.233 and 236
110. Keilhack, K. (1912), *Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde*, (Bornträger) Berlin.
111. Kerr, R. (1997). Geophysicists ponder Ancient Chills and Elusive Quakes. *Science*, 276, 1793-1794.
112. King Chi-Yu. Radon emanation on San Andreas Fault. - *Nature*, 1978, vol. 271, No 5643. p. 516-519.
113. King C-G., Azuma S., Igarashi G., Ohmo M., Saito H. and Wakita H.(1999) Earthquake-related water- level changes at 16 closely clustered wells in Tono, Central Japan. *Jour.Geoph.Res.* 104B, 13073-13082.
114. Kipp, K.L., 1987. HST3D: a computer code to simulate heat and solute transport in three-dimensional groundwater flow systems. Denver, United States Geological Survey, p. 597.
115. Kipp, K.L., 1997. Guide to the Revised Heat and Solute Transport Simulator: HST3D - Version 2., Denver, United States Geological Survey, p. 149.
116. Kissin, I.G., Belikov, V.M., and Ishankuliev, G.A., 1996, Short-term ground water levelvariations in a seismic region as an indicator of the geodynamic regime, *Tectonophysics*, 265, 313-326.
117. Kissin, I.G., Belikov, V.M., Ishankuliev, G.A., Wang Chengmin, Zhang Wei, Dong Shouyu, Jia Huazhou, and Wan
118. Kitagawa, Y., Koizumi, N. and Tsukuda, T. (1996). Comparison of postseismic groundwater temperature changes with earthquake-induced volumetric strain release: Yudani hot water spring, Japan. *Geoph. Res. Lett.* 23, 3147-3150.
119. Kitagava, G. and Matsumoto, N. (1996). Detection of coseismic changes of underground water level. *J. AM.Stat.Assoc.*91, 521-528.
120. Klönne, F.W. (1880), *Die periodischen Schwankungen des Wasserspiegels in den innundierten Kohlenschächten von Dux in der Periode vom 8.April bis 15.September 1879*, *Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften* 81, 1.Abt., 101-116.
121. Knudsen, J.G. & Katz, D.L., 1958, *Fluid Dynamics and Heat Transfer*, McGraw- Hill.

122. Kohl T., Pfister L., Rybach L. (1998). Detecting convection cells by repeated high resolution digital temperature logging. In "Microtemperature signals of the Earth's crust", Ed. G. Buntebarth, p. 47.
123. Koizumi, N. (1993), Frequency dependence of the ground water discharge at an artesian well as recognized from tidal fluctuation records. *J. Geophys. Res.* 98, 825-835.
124. Koizumi N., Kitagawa Y., Matsumoto N. et al. (2004). Preseismic ground water level changes induced by crustal deformations related to earthquake swarms off the east cost of Izu Peninsula, Japan. *Geophys.Res.Lett.*, 31, L10606
125. Kruseman, G.P. and de Ridder, N.A., 1994. Analysis and evaluation of pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 377 pp.
126. Kumpel H. (1991) Poroelasticity: parameters reviewed. *Geophys. J. Int.* 105, 783-799.
127. Kumpel H. (1992) About potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust. *Tectonophysics.* 211, 317-336.
128. Linde A, Gladwin M, Johnston M, Gwyther R and Bilham R. (1996) A slow earthquake searquakeence on the San Andreas fault. *Nature*, 383, 65-68.
129. Lucke, O. and S. Rose (1938), Wie pflanzen sich die Luftdruckschwankungen im Erdboden fort?, *Meteorologische Zeitschrift* 55, 292-296.
130. Majorowicz, J., Skinner, R. (1997) Potential causes of differences between ground and surface air temperature warming across different ecozones in Alberta, Canada. *Global and Planetary Change*, 15, 79-91.
131. Matcharashvili T., Chelidze T., Melikadze G - Impact of Nonperiodic components in dynamics of water level variations in boreholes. *Bulletin of the Academi of sciences of the Georgian*, 163 № 2, 2001.
132. Matcharashvili T., Chelidze T, Melikadze G -Detecting differences in dynamics of water level variation during Spitak and Racha earthquakes by complexity measure *Eos. Trans. AGU* 82947), fall Meet. Suppl. Abstract, 78, 2001.
133. Matcharashvili T., Chelidze T., Melikadze G., Ghlonti E. - Earthquake related disturbance in stationarity of water level variation. *Bulletin of the Academi of sciences of the Georgian*, 165 № 1, 2002
134. Matcharashvili T., Chelidze T., Melikadze G. - Nonlinear analysis of dynamics of water level level variation in Georgia during increased regional seismic activity. Book –Time-Dependent microtemperature and hydraulic signals associated with tectonic/seismic activity. Printed by Institute of Geophysics; European Center "Geodynamical hazards of high dams" of

- open partial agreement on major disasters, council of Europe; Editors: G. Buntebarth, T. Chelidze, Tbilisi, 2005.
135. Matsumoto, N.(1992). Regression analysis for anomalous changes of ground water level due to earthquakes. *Geophys.Res.Lett.* 19, 1193-1196.
 136. Matsumoto, N., Kitagava, G. and Roeloffs, E. (2003a). Hydrological response to earthquakes in the Haibara well, Central Japan - I. Ground water level changes revealed using state space decomposition of atmospheric pressure, rainfall and tidal responses. *Geophys. J. Int.*155, 885-898.
 - 136^b. Matsumoto, N. and Roeloffs, E. (2003b). Hydrological response to earthquakes in the Haibara well, Central Japan- II. Possible mechanism inferred from time-varying hydraulic properties.155, 899-913.
 137. Meinzer, O.E. (1923), *The occurrence of ground water in the United States*, U. S. Geological Survey, Water-Supply paper 489, 321pp.
 138. Meinzer, O. (1939). *Groundwater in United States*: US Geol. Survey, Water Supply Papers, 628C, pp. 94-144.
 139. Melikadze G., Popov E. - 1989. A technique of Hydro-geological supervision with the purposes of the forecast earthquake on territory of Georgia. A series geology «Gruziinti» N7 F. Bella
 140. Melikadze G., Adamchuk Y, Todadze M – 1989 Search informational harbingers of earthquakes on the territory Georgia. A series Geology «Gruziinti» N10, P.
 141. Melikadze G., Kumsiashvili G."Monitoring of the hydro geo deformation filed on the territory of Georgia", Conference materials, Moscow, 13-15 May, 1998
 142. Melikadze G., Kumsiashvili G."Evolution of the hydro geo deformation filed on the territory of Georgia during the strong earthquake preparation period", 10 years after the Spitak earthquake Conference; materials, Yerevan , 27-28 October, 1998
 143. Melikadze G., Ghlonti E. - Some features of hydrogeodeformation field in Caucasus during strong earthquakes preparation period. *Journal of georgian geophysical society*, issue A. *Physic of earth*, v. I. 5 2000.
 144. Melikadze G., Ghlonti E - Methods of multi-factor analysis of seismohydrodynamic data. *Journal of georgian geophysical society*, issue A. *Physic of earth*, v. I. 5 2000.
 145. Melikadze G., Chelidze T., Leveinen J. - Modeling of heavy metal contamination within irrigative area. *Groundwater and Ecosystems*, 243-253, 2005, NATO Science Series, Series IV Earth and Environmental Sciences- Vol. 70. Edited by A.Baba, Ken W. F. Howard and Orhan Gunduz.

146. Middlemis, H, 2000. Groundwater flow modelling guideline., Perth, Aquaterra Consulting Pty, lda., p. 133.
147. Middleton M. (1998). Modeling of temperature disturbances due to groundwater flow associated with seismic activity. In “Microtemperature signals of the Earth’s crust”, Ed. G. Buntebarth, pp. 93-103.
148. Muir-Wood, R. King, G-C. (1993) Hydrological signatures of earthquake strain, J. Geophys. Res. 98, 22035-22068.
149. Muskat, M. and H.G. Botset (1931), Gas flow through porous materials, Physics 1, 27-47.
150. Nakaidze K, Virsaladze D., O. Gogiberidze, D.Tsereteli, G. Dvali. Impact of heavy metals on the thyroid gland. The first national conference/National program on environment and Health. Collection works. 2001: 281-283
151. Nikolaev, A. (1987). Problems of nonlinear seismics. In: Problems of nonlinear seismics, Eds. Nikolaev, A and Galkin, I. Moscow, Nauka, pp.5-20 (in Russian).
152. Nowak, A.F.P. (1874), Über das Verhältnis der Grundwasserschwanungen zu den Schwankungen des Luftdruckes und zu den atmosphärischen Niederschlägen, 28pp., (Calve) Prag.
153. Okada Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space> Bull. Seism. Soc. Am. 82, 1018-1040.
154. Okada, Y. (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 1018-1040.
155. Papadopoulos, I.S., Bredehoeft, J.D., and Cooper, H.H., 1973. On the analysis of slug test data. Water Resources Research 9, 1087-1089.
156. Parker and Stringfeld (1950). Effects of earthquakes, rains, tides, winds and atmospheric pressure changes on the water in the geologic formations of Southern Florida. Econ.Geol.45, 441-460.
157. Petrosian H. Testing and prediction of earthquakes. Yerevan 2004
158. Quilty. E and Roeloffs, E. (1997). water level changes in response to the December 20, 1994 M4.7 earthquake near Parkfield, California. Bull. Seism. Soc. Am., 87, 310-317.
159. Rezalt of project INCO-COPERNICUS (1998-2001), ERBIC-15CT98-0132- Protection of Thermal Ground Water Resources in Seismic Areas
160. Rezalt of project INCO-COPERNICUS (2000-2001) ICA2-CT-2000-10016- Toxic Pollution Detection in Ground Water: From Real Time Early Warning to Overall Assessment
161. Rezalt of project INTAS (2002-2004) INTAS – 01-2301 Strategy development for long term pollution control in regions of extreme environmental risk (ENVRISK)

162. Rodjstaczer, S (1988). Intermediate period response of water levels in wells to crustal strain: sensitivity and noise level. *J. Geophys. Res.*, 93, 13619-13634.
163. Rodjstaczer, S and Agnew, 1989
164. Rodjstaczer, S., Wolf, S., and Michel, R. (1995) Permeability enhancement in the shallow crust as a cause of earthquake-induced hydrological changes. *Nature*, 373,237-239.
165. Roeloffs E. (1988). Hydrologic precursors to earthquakes: a review. *Pure and Appl. Geophys.* 126, 177-206.
166. Roeloffs E. (1998). Persistent water level changes in the well near parkfield, California, due to local and distant earthquakes. *J. Geophys.Res.*, 103, 8669-889.
167. Roosbeek, F. (1996). RATG95: a harmonic development of the tide generating potential using an analytical method. *Geophys. J. Int.*, 197-204.
168. Schulze-Makuch (1997) Method developed for extrapolating scale behavior. *EOS*, 78, pp. 3-4,
169. Silver P and Wakita H (1996) Earthquake precursors. *Science*, 275, 77.
170. Standard methods. For the examination of Water and Wastewater. 1989. Washington
171. Tamura, Y., Sato Y, Ooe, M and Ishiguro, M. 1991. A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion. *Geophys.J. Int.*, 104, 507-516.
172. Thornthwhite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geograph. Rev.* 38, 55-94.
173. Tsereteli D., Tsverava M., Urushadze R Lobzanidze., T., Tsiklauri R., Maglakelidze M., Tsereteli N Industrial pollutants and chronic bronchitis. The first national conference/National program on environment and Health. *Collection works.* 2001: 249-252.
174. Tsereteli D., Gelovani D Epidemiology of chronic bronchitis in Bolnisi region. *Tbilisi State Medical University. Collection works.* 2003.
175. Van der Kamp, (1972) Tidal fluctuations in a confined aquifer extending under the sea. *Ottawa, Env. Canada Reprint*, 242, p.101-106.
176. Van Ruymbeke M. and Somerhausen A. (1997). The environmental data acquisition system (EDAS) developed at the royal Observatory of Belgium. In "Short-term thermal and hydrological signatures related to tectonic activities", Ed. M. Van Ruymbeke, Luxemburg, pp. 163-174.
177. Van Ruymbeke M. and Somerhausen A. (1998). Experiments in Laboratory and Field with precise thermometry. In "Microtemperature signals of the Earth's crust", Ed. G. Buntebarth, pp. 23-35.
178. Vartanian, G., Bredehoeft, J. and Roeloffs, E. (1992). Hydrogeological methods of study of tectonic strains. *Sovetskaya Geologia*, No.9, 3-12,

179. Virsaladze D., Sekhniashvili Z., Tsereteli D., Nakaidze K., Marinashvili N -Industrial pollutants and diffuse goiter. Georgian Medical News, Tbilisi, #9, 2002
180. Wakita H. (1997). Thermal and hydrological signatures related to seismic events in Japan. In In"Short-term thermal and hydrological signatures related to tectonic activities", Ed. M. Van Ruymbeke, Luxemburg, pp. 49-64.
181. Wallace, R.E. (1974). Goals, strategy and tasks of the earthquake hazard reduction program. US Geological Survey circular 701.
182. Wesson, R.L. (1981). Interpretation of changes in water level accompanying fault creep and implications for earthquake prediction. J. Geophys.Res., 86, 9259-9267.
183. Weyde, F. (1911), Die Abhängigkeit des Grundwasserstandes von dem Luftdrucke, Das Wetter 28, 81-84 and 108-113.
184. Willmott, C. (1977). Watbug: a Fortran IV algorithm for calculating the climatic water budget. Publ. Climatol. 30, 2-4.
185. Zohdy A. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. Geophysics, vol.54, p.p.245-253.