

**საქართველოს ტერიტორიაზე მიწისძვრის წინამორბედების გამოვლენა ჰიდროდინამიკური მონიტორინგის მეშვეობით
გიორგი მელიქაძე, გენადი კობზევი, თამარ ჯიმშელაძე**

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

აბსტრაქტი

რეალურ დროში, ტექტონიკური პროცესების მონიტორინგისა და სეისმური მდგენელის გამოყოფის მიზნით, შემუშავდა ჰიდროდინამიური დაკვირვების სპეციალური მეთოდი. მონაცემთა ანალიზის შედეგად გამოვლინდა a, b, c კოეფიციენტების ცვალებადობა, როგორც სეისმური მოვლენის დროს, ასევე მის წინა პერიოდში, რაც ადასტურებს, წყლის დონის, როგორც ტექტონიკური პროცესების ინდიკატორის ინფორმატიულობას. შემუშავდა მეთოდიკა, დაკვირვების მონაცემებიდან გეოდინამიკური მდგენელის გამოყოფის და მისი დროში და სივრცეში განაწილების კანონზომიერების დადგენის მიზნით. კვლევების თანახმად, მიწისძვრის ეპიცენტრი ემთხვევა მაქსიმალური გრადიენტის ზონას დეფორმაციის ველში. რაჭის მიწისძვრის მომზადების პერიოდში, წყლის დონის ანომალური რღვევები იქნა დაფიქსირებული მთელი საქართველოს მასშტაბით, რაც მიუთითებს დეფორმაციული პროცესების დიდი ფართობზე განვითარებას. ასევე განხილულია ძლიერი მიწისძვრების დროს, წყლის დონის ანომალური რღვევების ვიზუალიზაციისათვის შემუშავებული სიჩქარეების მეთოდი და მისი მნიშვნელობა.

შესავალი

როგორც ცნობილია, კავკასიის ტერიტორიაში ეკუთვნება მსოფლიოში სეისმურად აქტიურ რეგიონთა რიცხვს, ამიტომ გეოდინამიური პროცესების განვითარების შესწავლა და მიწისძვრის ინფორმატიული წინამორბედების გამოვლენა წარმოადგენს მეტადაქტუალურ და მნიშვნელოვან პრობლემას, რომლის გადაწყვეტასთანაც დაკავშირებულია საქართველოსა და მისი მეზობელ ქვეყნების ეკონომიკური განვითარება და ასევე მოსახლეობის უსაფრთხოება.

კორელაცია, მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკურ ანომალიებსა და სეისმური მოვლენებს შორის, რაც გამოწვეულია ტექტონიკური პროცესებით, დაფიქსირებულია დიდი ხნის წინ. 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 გვამძლევეს საშუალებას დავაკვირდეთ დაძაბულობის ცვლილებას. დეფორმაციული პროცესების, ძლიერი მიწისძვრებისა და მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკის ურთიერთკავშირის მექანიზმის გამოვლენა, საშუალებას გვამძლევეს ავხსნათ ჰიდროდინამიური ველის ამგვარი ცვლილება.

მონაცემთა ანალიზი

"ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის მონიტორინგის" მიზნით, რაც საშუალებას იძლევა რეალურ დროში დავაკვირდეთ ლითოსფეროში მიმდინარე დეფორმაციულ პროცესებს და შევისწავლოთ გარემოს გეოდინამიური განვითარების კანონზომიერებები, (1), გასული საუკუნის 80-იან

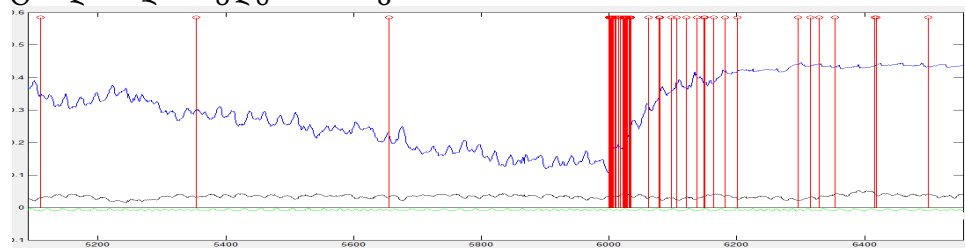
წლებში დაწყებულ იქნა სამუშაოები სპეციალიზირებული ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილების ქსელის შექმნის მიზნით. სარეჟიმო ჭაბურღილები შეირჩა ისე, რომ მათ დაეხასიათებინათ ყველა დიდი გეოლოგიური ბლოკი. დაკვირვების პერიოდში

ჭაბურღილები, როგორც მოცულობითი დეფორმორაფები, მგრძნობიარედ რეაგირებენ ყველა სახის დეფორმაციებზე, როგორც ეგზოგენურზე, ასევე ენდოგენურზე (2-5). დაკვირვების სიზუსტე აღწევდა 10^{-7} - 10^{-9} სიდიდეს. დაკვირვებათა დიდმა რაოდენობამ მოიყარა თავი მთელი კავკასიის მასშტაბით.

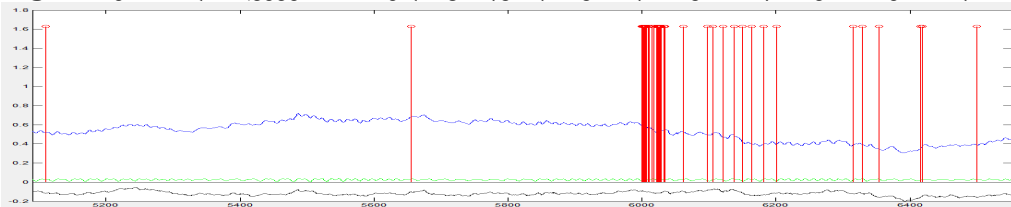
მონცემთა დამუშავების მიზნით, შემუშავდა ახალი დამუშავების მეთოდი, რომელიც დაიწერა Matlab-ის გარემოში. პროგრამა საშუალებას იძლევა მოხდეს თეორიული სიგნალის სინთეზირება და მისი შედარება წყლის დონის რეალურ მონაცემებთან. ასევე, პროგრამა საშუალებას იძლევა ცალკე გამოვთვალოთ თითოეული ეგზოგენური პარამეტრი და შევისწავლოთ მათი გავლენა წყალშემცველ ჰორიზონტზე.

მონაცემთა დამუშავების მეთოდიკის სადემონსტრაციოდ, განვიხილოთ პარამეტრების ცვლილება რაჭის მიწისძვრის მომზადების პროცესში, 12.08.2009 (M = 4) - 9.09.2009 (M = 4.6) პერიოდისათვის, სამ სადგურზე.

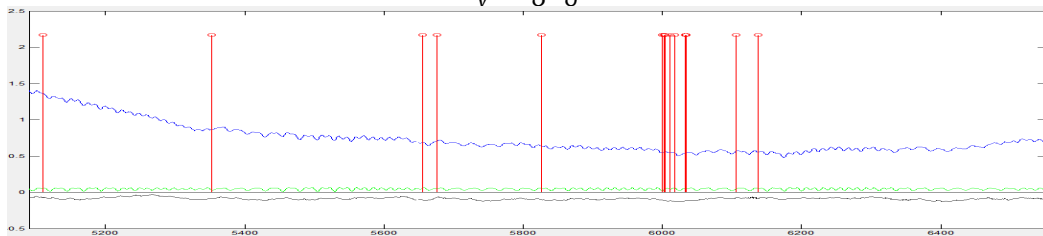
პირველი მათგანი - "ონი", მდებარეობს ეპიცენტრალურ არეში, მეორე - "აჯამეთი", მდებარეობს 100 კმ სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებით, და "ლაგოდეხი" მდებარეობს ეპიცენტრიდან აღმოსავლეთით 200 კმ-ში.



სურ. 1. წყლის დონის (ზედა ხაზი), ატმოსფერული წნევისა (შუა) და მიმოქცევის (ქვედა ხაზი) ვარიაციები „ონი“-ს სადგურზე. ვერტიკალური ხაზები აღნიშნავენ მიწისძვრებს. სურათზე ჩანს დარღვევები, რომელსაც ადგილი ჰქონდა რაჭის მიწისძვრის პერიოდში.



სურ. 2. წყლის დონის (ზედა ხაზი), ატმოსფერული წნევისა (შუა) და მიმოქცევის (ქვედა ხაზი) ვარიაციები „აჯამეთი“-ს სადგურზე. ვერტიკალური ხაზები აღნიშნავენ მიწისძვრებს.



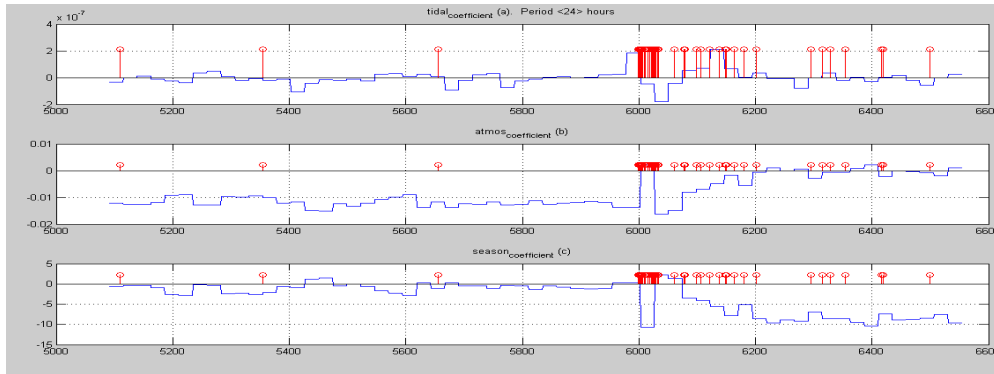
სურ. 3. წყლის დონის (ზედა ხაზი), ატმოსფერული წნევისა (შუა) და მიმოქცევის (ქვედა ხაზი) ვარიაციები „ლაგოდეხი“-ს სადგურზე. ვერტიკალური ხაზები აღნიშნავენ მიწისძვრებს.

მოცემულ გრაფიკებზე მოყვანილია სხვადასხვა პარამეტრების ცვლილებები სადგურებზე. წყლის დონის ვარიაცია, როგორც მულტისიგნალი მოიცავს, როგორც ეგზოგენური (მოქცევის

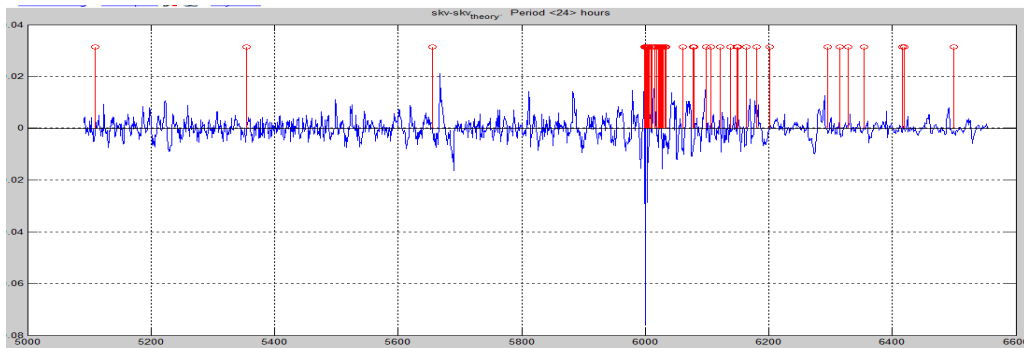
ვარიაციები, ატმოსფერული წნევის და ნალექების) ასევე ენდოგენური (მიწისძვრა) ფაქტორების გავლენას. სეისმურად წყნარ პერიოდში ცვლილება გამოწვეულია მხოლოდ

გარე ფაქტორების ზეგავლენით, ხოლო მიწისძვრის მომზადების პროცესში იცვლება ვარიაციების ბუნება. მოცემულ პერიოდში წყლის დონის ცვლილებაში დარღვევა დაიკვირვება, როგორც მიწისძვრამდე ასევე მიწისძვრის შემდგომ პერიოდში (სურ. 1-3).

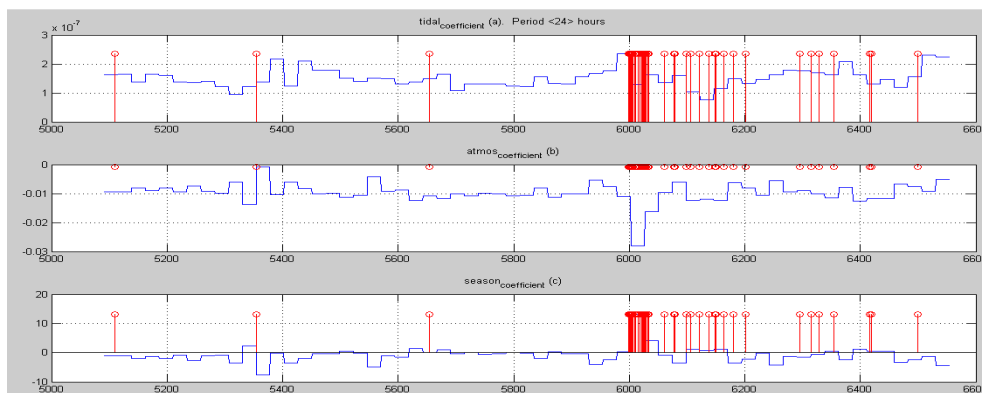
პარამეტრების ცვლილებასა და მიწისძვრებს შორის ურთიერთდამოკიდებულების გამოსავლენად, შემოღებული იქნა კორელაციის კოეფიციენტები: a - წყლის დონესა და მიმოქცევის შორის, b - წყლის დონესა და ატმოსფერული წნევის ცვლილებებს შორის და მუდმივა - c. დაიწერა სპეციალური პროგრამა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ a, b, c კოეფიციენტების „ვარიაციები“ და "ნარჩენი" სიგნალი მიწისძვრის მოხდენის პერიოდში.



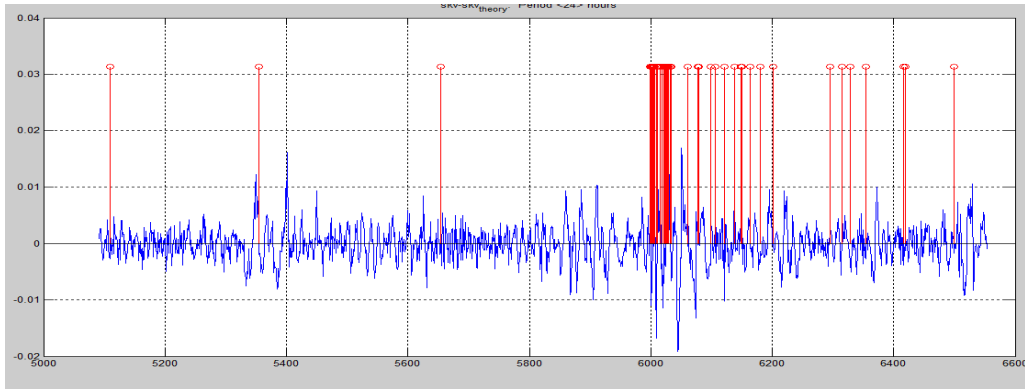
სურ. 4. a, b და c კოეფიციენტების ცვლილება „ონი“-ს სადგურზე.



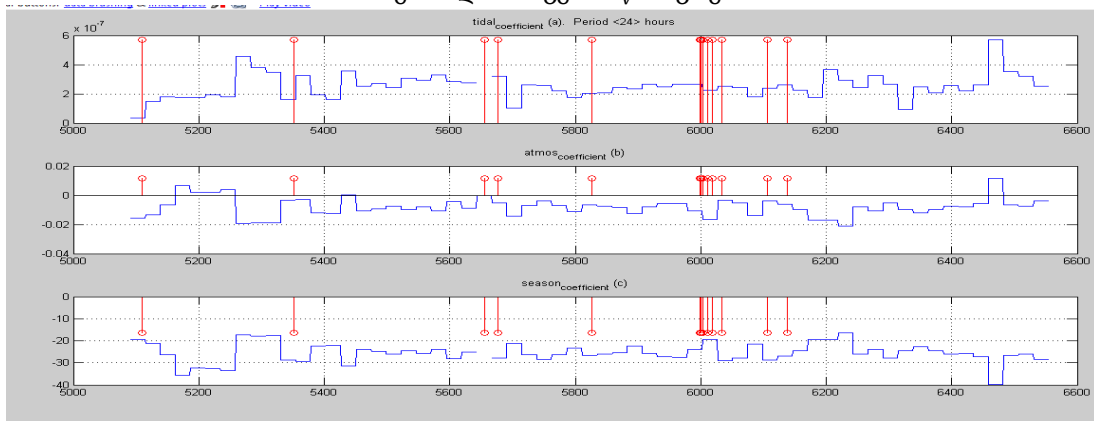
სურ. 5 . "ნარჩენი" სიგნალის ვარიაცია „ონი“-ს სადგურზე.



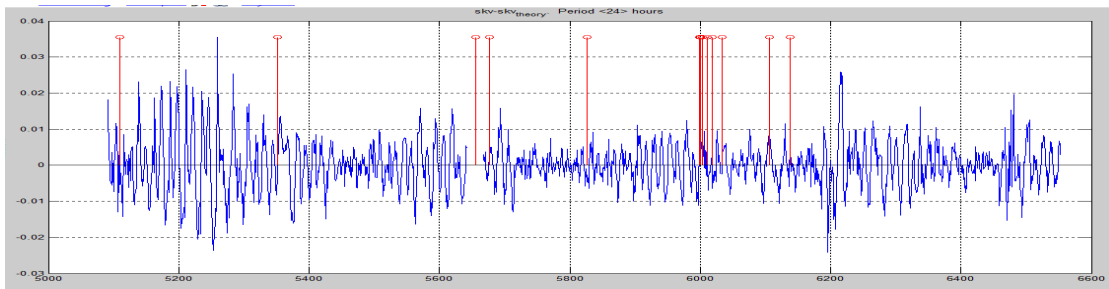
სურ. 6. a, b და c კოეფიციენტების ცვლილება „აჯამეთი“-ს სადგურზე.



სურ. 7. "ნარჩენი" სიგნალის ვარიაცია „აჯამეთი“-ს სადგურზე. ვერტიკალური წითელი ხაზები აღნიშნავენ მიწისძვრებს.



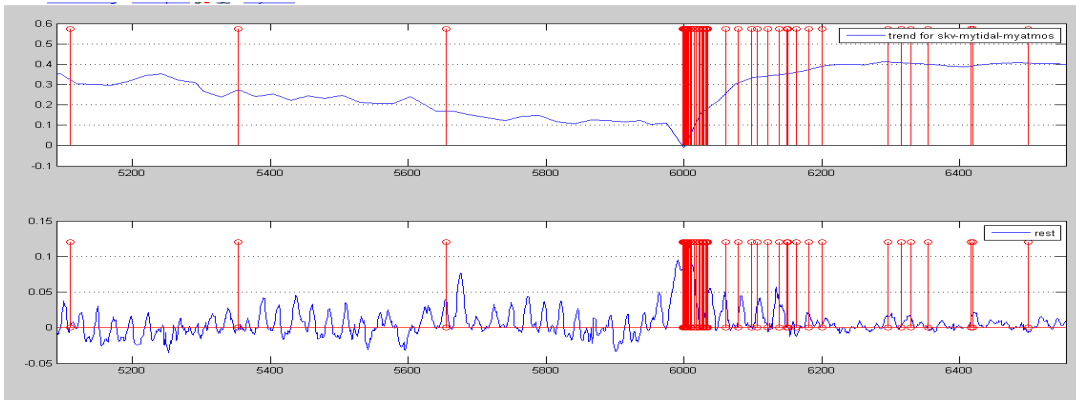
სურ. 8. a, b და c კოეფიციენტების ცვლელა „ლაგოდეხი“-ს სადგურზე.



სურ. 9. "ნარჩენი" სიგნალის ვარიაცია „ლაგოდეხი“-ს სადგურზე.

ჭაბურღილში წყლის დონის ცვლილებების „ფონური“ მნიშვნელობა იცვლება როგორც მოვლენამდე, ასევე მის შემდგომ. კოეფიციენტების ცვლილების ხასიათი, თვითოეული ჭაბურღილისათვის დამოკიდებულია ენერჯის იმ მნიშვნელობაზე, რომელმაც მიაღწია ჭაბურღილის არეს. მაგალითად „ლაგოდეხის“ ჭაბურღილი უფრო მეტად მგრძობიარეა ადგილობრივი მიწისძვრების მიმართ, ვიდრე რაჭის მიწისძვრაზე. ამავე დროს დიდი ცვლილების ამპლიტუდა რაჭის მიწისძვრამდე „აჯამეთი“-ს ჭაბურღილზე.

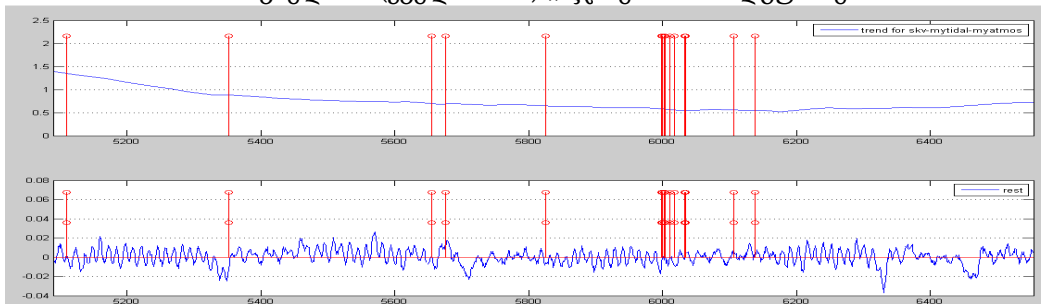
გარდა ამისა, პროგრამა საშუალებას იძლევა გამოვითვალოთ გეოდინამიური სიგნალის ცვლილება, რომელიც წარმოადგენს სხვაობას წყლის დონის რეალურ და თეორიულ მნიშვნელობებს შორის და ასევე წყლის დონის ცვლილებაში მაღალსიხშირული სიგნალის „ნარჩენი“ მნიშვნელობა (სურ. 10-12).



სურ. 10 . გეოდინამიური სიგნალის „ ტრენდი“-ს ვარიაცია (ზედა ხაზი) და ნარჩენი მნიშვნელობა(ქვედა ხაზი) „ონი“-ს სადგურზე.



სურ. 11 . გეოდინამიური სიგნალის „ ტრენდი“-ს ვარიაცია (ზედა ხაზი) და ნარჩენი მნიშვნელობა (ქვედა ხაზი) „აჯამეთი“-ს სადგურზე.

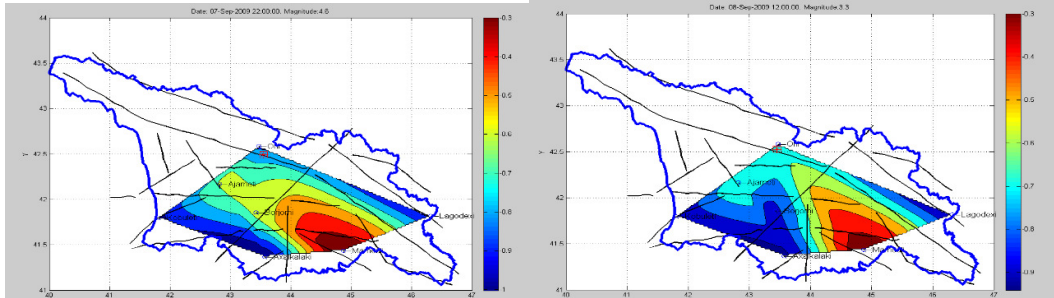


სურ. 12 . გეოდინამიური სიგნალის „ ტრენდი“-ს ვარიაცია (ზედა ხაზი) და ნარჩენი მნიშვნელობა (ქვედა ხაზი) „ლაგოდეხი“-ს სადგურზე.

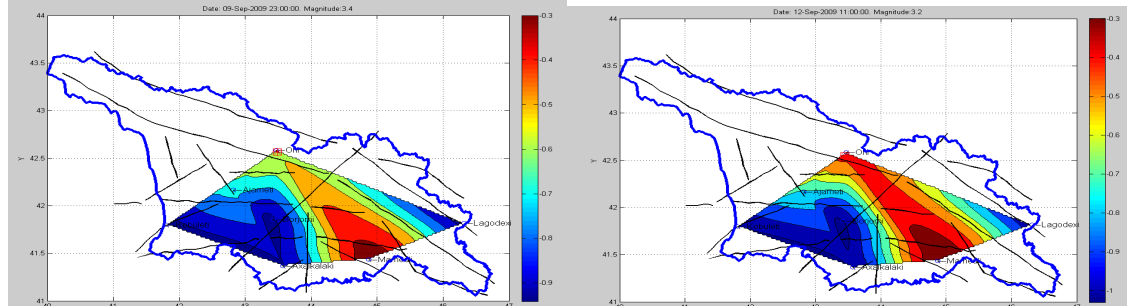
წყლის დონის მნიშვნელობის დაწვევა იყო დაფიქსირებული „ონი“-სა და „ლაგოდეხი“-ს სადგურებზე, ხოლო „აჯამეთი“-ს სადგურზე - ზრდა. წყლის დონის მნიშვნელობის დაცემის ეფექტი დამახასიათებელია დეკომპრესიის პროცესისათვის, ხოლო ზრდა-წყალშემცველი ჰორიზონტის კუმშვითაა გამოწვეული. მიწისძვრის შემდგომ პერიოდში წყლის დონის მნიშვნელობა აჯამეთის სადგურზე ეცემა, რაც გამოწვეულია დეკომპრესიის პროცესით. ონი-ს სადგურზე ნარჩუნდება კუმშვის პროცესი.

შემდეგ საფეხურს წარმოადგენს ყველა სადგურის გეოდინამიური კომპონენტის სტანდარტიზაცია (ნორმირება) -1 დან +1 ინტერვალში და გეოდინამიური სურათის შექმნა. სიგნალის დადებითი მნიშვნელობები შეესაბამება კუმშვის, ხოლო უარყოფითი - გაჭიმვის დეფორმაციას. სურ. 13-ზე ნათლად ჩანს გეოდეფორმაციული ველის ევოლუცია რაჭის (12.09.2009) მიწისძვრისა და მის შემდგომ პერიოდში. სურათზე ჩანს დეფორმაციის მიგრაცია

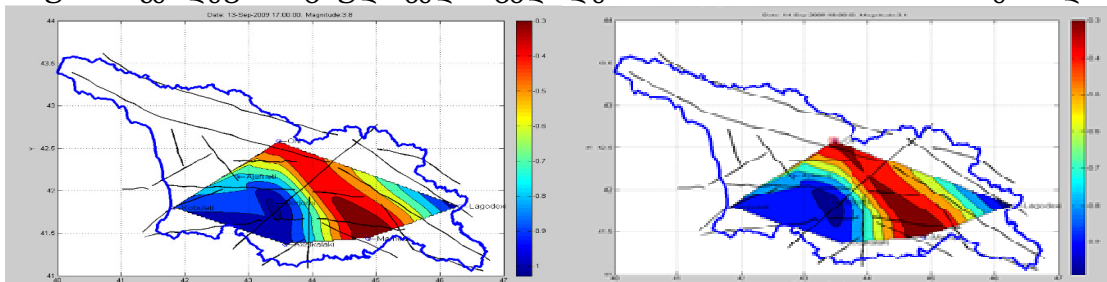
კუმშვისას აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ, ასევე მისი მნიშვნელობის ზრდა ეპიცენტრალურ არეში.



სურ. 13. გეოდეფორმაციული ველის ცვლილება 7.09.2009 22:00 - 8.09.2009 12:00 პერიოდში



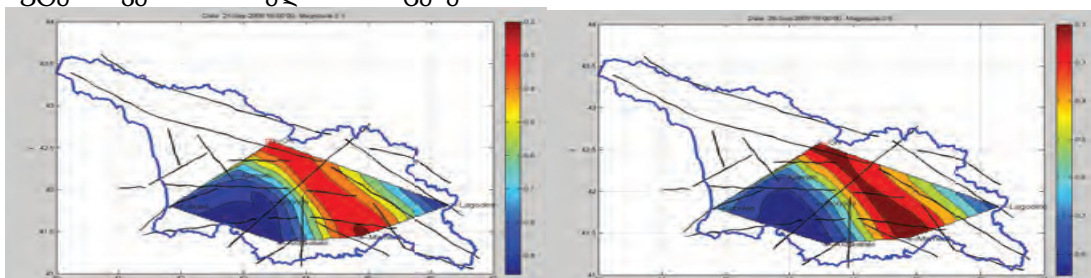
სურ. 14. გეოდეფორმაციული ველის ცვლილება 9.09.2009 23:00 - 12.09.2009 პერიოდში



სურ. 15. გეოდეფორმაციული ველის ცვლილება 13.09.2009 17:00 - 14.09.2009 18:00 პერიოდში

7-დან 14 სექტემბრამდე შეინიშნება დაძაბულობის ინტენსივობის შემცირება, რაც გამოწვეულია დაძაბულობის განტვირთვით.

28 სექტემბრამდე კვლავ შეინიშნება დაძაბულობის მატება რაც გამოწვეული იყო აფტერშოკების მოშედეგის პროცესებით.



სურ. 16. გეოდეფორმაციული ველის ცვლილება 21.09.2009 16:00 - 28.09.2009 18:00 პერიოდში

სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით მიწისძვრის ეპიცენტრი ყოველთვის ემთხვევა გრადიენტის ექსტრემუმის ზონას დეფორმაციის ველში. ანომალური დარღვევები აღინიშნებოდა საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე (კავკასიაში), რაც ადასტურებს იმას, რომ მიწისძვრის მომზადების პროცესს აქვს რეგიონალური ხასიათი. შესაბამისად,

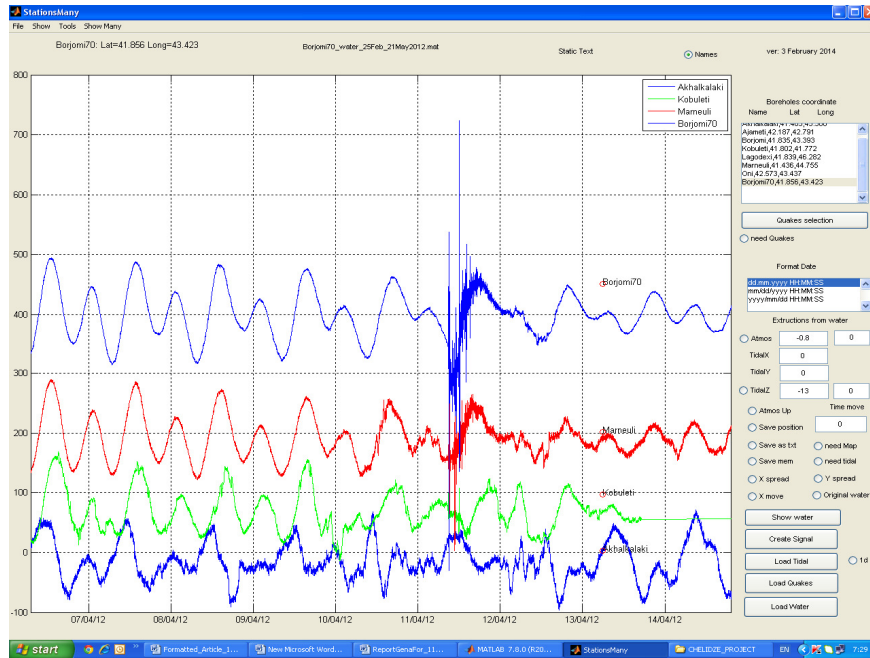
ჭაბურღილებში წყლის დონის ცვლილების დიაპაზონში აირეკლება დეფორმაციული პროცესების განვითარება .

წყლის დონის ანომალური დარღვევების შესწავლის კიდევ ერთ მეთოდს წარმოადგენს სიჩქარეების მეთოდი, რომელიც განიმარტება, როგორც

$$\text{Speed}(m+i)=(\text{water}(m+i)-\text{water}(i))/m, \quad i=1,2,3,\dots$$

სადაც m - წუთების ფიქსირებული რიცხვია, მაგალითად $m=180$ წუთს.

ქვემოთ მოყვანილია სიჩქარეების მეთოდით დამუშავებული წყლის დონის ცვლილების ნიმუშები, ძლიერი მიწისძვრის პერიოდში, სადაც სიჩქარეების ვიზუალური შედარების მიზნით მონაცემები გამრავლებულია გარკვეულ კოეფიციენტებზე.



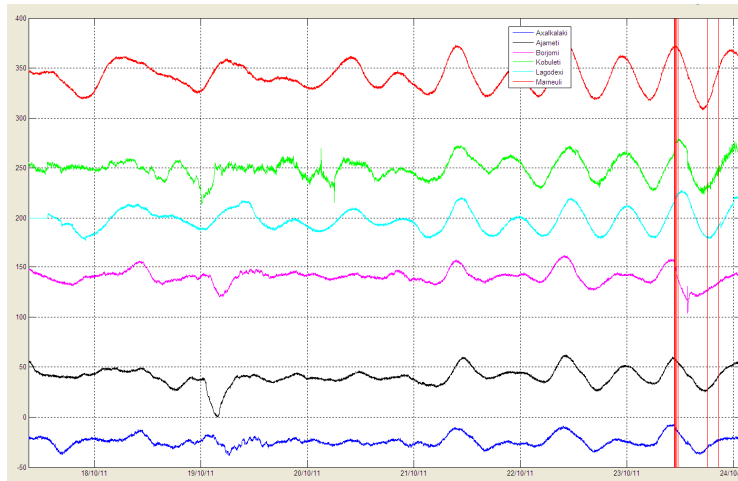
სურ.17. სიჩქარეები, $m=180$ წთ. ინდონეზიის (სუმატრა) 2012 წლის 11 აპრილის მიწისძვრა, $Mag=8.4$.

სურათებზე ნათლად ჩანს სიჩქარეების დარღვევა ინდონეზიის მიწისძვრის დროს. ცხრილში მოყვანილია წყლის დონის ცვლილების სიდიდე სანტიმეტრებში, რომელიც დაფიქსირდა ინდონეზიის(სუმატრა) მიწისძვრის დროს.

სადგურის დასახელება	წყლის დონის ნახტომი (სმ)
ქობულეთი	4
მარნეული	8
ბორჯომი70	70

ცხრილი №1

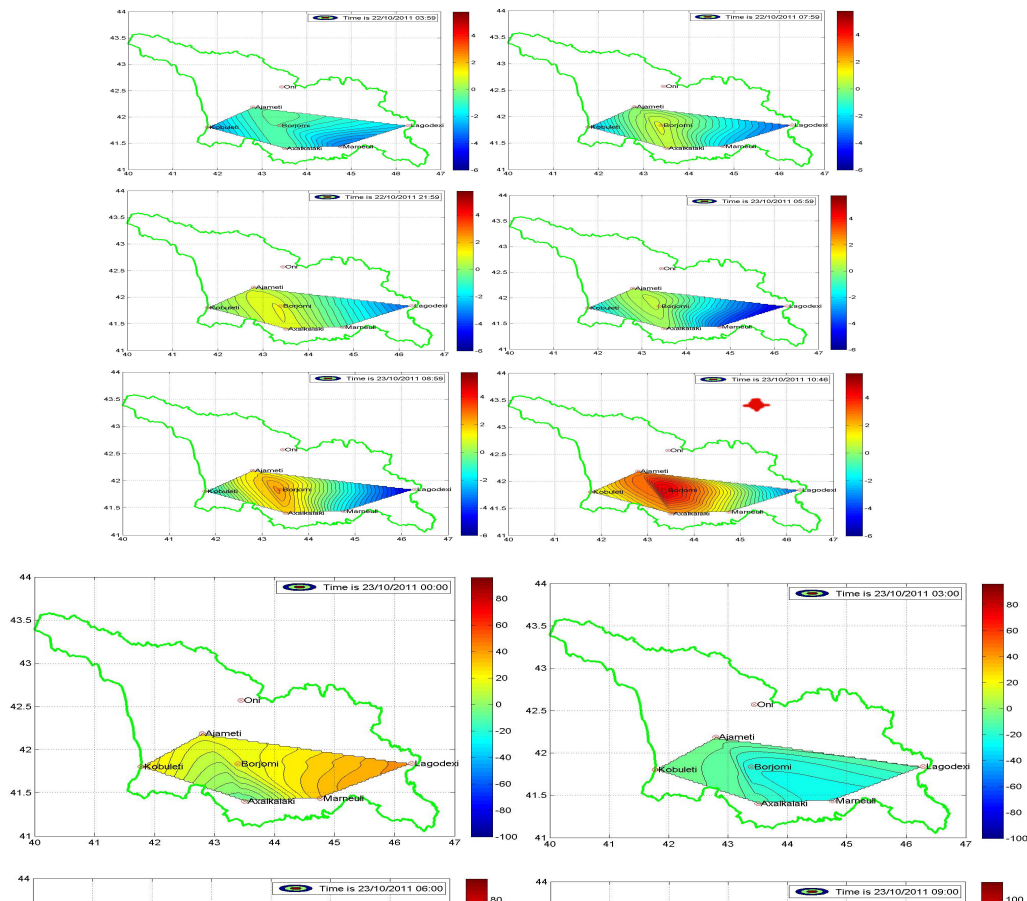
სურ. 18-ზე ასევე მოყვანილია დარღვევა, რომელიც დაფიქსირდა თურქეთის (ვანი) 2011 წლის 23 ოქტომბრის მიწისძვრის ($Mag=7.2$) წინ 2-3 დღით ადრე.



სურ.18. სიჩქარეები, $m=180$ წთ-ის ინტერვალით, ჭაბურღილებისათვის(ახალქალაქი, აჯამეთი, ბორჯომი, ქობულეთი, ლაგოდეხი, მარნეული) 18-24 ოქტომბრის პერიოდისათვის. წითელი ფერის ვერტიკალური ხაზებით აღნიშნულია მიწისძვრები.

მიწისძვრამდე 2 დღით ადრე, 18-დან 21 ოქტომბრის ჩათვლით დარღვევა ჩანს: ქობულეთის სადგურზე, რომელიც იმყოფება ეპიცენტრიდან 369კმ-ში, სადაც მოხდა წყლის დონის დაწევა 0,5სმ-ით; ბორჯომის სადგურზე, რომელიც იმყოფება 339კმ-ში, სადაც წყლის დონემ აიწია 3,5სმ-ით; ახალქალაქის სადგურზე 291კმ-ში, სადაც წყლის დონემ დაიწია 0,5 სმ-ით და მცირე ცვლილებაა დაფიქსირებული მარნეულის სადგურზე, რომელიც იმყოფება 317კმ-ში ეპიცენტრიდან.

სიჩქარეების მეთოდის ძირითადი მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ თითქმის სრულადაა შესძლებელი სეზონური მდგენელის მოხსნა, რომელიც ყოველთვის მონაწილეობს წყლის დონის ცვლილებაში. ველის ასაგებად, ყველა ჭაბურღილისათვის, მიწისძვრამდე რამოდენიმე დღით ადრე, გარკვეული პერიოდისათვის, წყლის დონის მნიშვნელობა დაგვყავს ნულამდე; შემდეგ, ვაგებთ ველს და ვაკვირდებით წყლის დონის ცვლილებას მიწისძვრამდე 2 დღის განმავლობაში.



და

დასკვნა

მიწისძვრის პროგნოზირების თვალსაზრისით დადგენილი იქნა წყლის დონის ინფორმატიულობა. მონაცემთა დამუშავების შედეგებმა აჩვენეს a, b, c კოეფიციენტების მახასიათებელი ვარიაციების დარღვევა, როგორც სეისმური მოვლენის დროს ასევე მის წინა პერიოდში. დაფიქსირებული ანომალიების პერიოდები ემთხვევა მიწისძვრის მომზადების პერიოდს. ანომალიის მახასიათებლები (ამპლიტუდა, a, b, c კოეფიციენტების პერიოდი) კორელირებს მიწისძვრის ძალასთან. ანომალური დარღვევები აღინიშნებოდა საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე (კავკასიაში), რაც ადასტურებს იმას, რომ მიწისძვრის მომზადების პროცესს აქვს რეგიონალური ხასიათი.

შემუშავდა მეთოდიკა, დაკვირვების მონაცემებიდან გეოდინამიკური მდგენელის გამოყოფის და მისი დროსა და სივრცეში განაწილების კანონზომიერების დადგენის მიზნით. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მიწისძვრის ეპიცენტრი ემთხვევა დამაბულობის ველში მაქსიმალური გრადიენტის ზონას.

ასევე, დამუშავდა ძლიერი მიწისძვრების დროს, წყლის დონის ანომალური ცვლილებების ვიზუალიზაციისათვის შემუშავებული სიჩქარეების მეთოდი და მისი მნიშვნელობა.

ლიტერატურა:

1. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. - Доклад АН СССР, 262, N 2, 1982.
2. Gavrilenko, P., G. Melikadze, T.Chelidze, D. Gibert & G. Kumsiashvili (2000) Permanent water level drop associated with Spitak Earthquake: Observations at Lisi Borehole (Republic of Georgia) and modelling. Geophys. J. Int., 143, 83-98.
3. Hsieh, P. A., I. D. Bredehoeft, S. A. Rojstaczer. Response of Well-Aquifer Systems to Earth Ties: Problems Revisited. Water resources Research vol. 24. No. 3. 1988, p.p. 468-472.
4. Rojstaczer, S. 1988. Intermediate period response of water wells to crustal strain: Sensitivity and noise level, J. Geophys. Res., 93, 13,387-12,402.

5. Melikadze G., Matcharashvili T., Chelidze T., Ghlonti E. Earthquake related disturbance in stationarity of water level variation. Bulletin of the Academy of sciences of the Georgian, 165 № 1, 2002

Абстракт

С целью мониторинга тектонических процессов в режиме реального времени и выделения сейсмического компонента, был разработан специальный метод Гидродинамических наблюдений.. Результаты анализа данных показали изменчивость коэффициентов a , b , s до и во время сейсмического события, которое подтверждает информативность уровня воды в качестве индикатора тектонической активности. Была разработано методика выделения геодинамической составляющей из данных наблюдений, с целью изучения закономерности ее распределения пространстве и времени на больших площадях в процессе подготовки сильных землетрясений. По данным исследований, эпицентр землетрясения совпадает с максимальным градиентом в поле деформации. Во время подготовки Рачинского землетрясения, аномальные нарушение уровня воды были отмечены на всей территории Грузии, что указывает на развитии деформационных процессов на большой территории. В статье также рассмотрена еще один способ изучения аномального поведения уровня воды – скорости. Достоинством понятия скоростей является отсутствие сезонной сотовляющей, которое присутствует в уровнях воды.