

## **Построение и анализ напряженного состояния среды во время подготовки Рачинского землетрясения 2009 года**

Тамар Джимшеладзе, Георгий Меликадзе, Геннадий Кобзев

Грузия, Тбилиси; Институт Геофизики М. Нодия ТГУ

### **Реферат**

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  $a$ ,  $b$ ,  $c$  до и во время сейсмического события, которое подтверждает информативность уровня воды в качестве индикатора тектонической активности. Была разработана 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 нарушения уровня воды были отмечены на всей территории Грузии, что указывает на развитии деформационных процессов на большой территории.

### **Введение**

Как известно, территория Кавказа принадлежит к числу сейсмоактивных регионов мира, поэтому слежение за развитием геодинамических процессов и выявления информативных предвестников землетрясений является актуальнейшей и значительной проблемой, с решением которой связано экономическое развитие Грузии и соседних стран, а также безопасность населения.

Корреляция между гидродинамическими аномалиями подземных вод и сейсмическими явлениями, вызванными тектоническими процессами, давно зафиксирована. Ясен физический смысл этого явления: породы литосферы содержат трещины и поры, которые реагируют на механические напряжения. Как известно, вода - несжимаемая среда и в случае открытости системы во время изменения напряжения вода вытесняется из напряженно-деформированной среды, а это даёт возможность наблюдать за изменением напряжённости. Выявление механизма взаимосвязи деформационных процессов, сильных землетрясений и гидродинамики подземных вод позволяет объяснить такую изменчивость гидродинамического поля.

### **Анализ данных**

Для мониторинга “гидрогеодеформационного поля Земли”, позволяющий фиксировать быстрые смены напряженного-деформированного состояния среды (1), обусловленный подготовкой землетрясения, 80 годах прошлого столетия, были начаты работы по созданию специализированной сети гидрогеологических скважин. Режимные скважины были выбраны с таким расчетом, чтобы они характеризовали все большие геологические блоки. Скважины, как объемные деформографы, чувствительно реагируют на деформации различного характера,

как экзогенные, так и эндогенные (2-5). Точность наблюдений достигала  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  величин. Был накоплен длинный ряд наблюдений по всему Кавказу.

Для обработки данных нами был разработан новый метод, в среде MATLAB-а, позволяющий синтезировать теоретический сигнал и сравнить его с реальными данными уровня воды. Программа дает возможность насчитывать каждый экзогенный параметр отдельно и изучать их влияния на водоносный горизонт.

Для того, чтобы продемонстрировать методику анализа данных, рассмотрим изменения параметров в процессе подготовки землетрясения в период с 12.08.2009 ( $M = 4$ ) по 9.09.2009 ( $M = 4.6$ ) ("Рача") для трёх станций. Первая из них - "Они", расположена в эпицентральной области, вторая - "Аджамети", находится в 100 км в юго-западном направлении и, наконец, "Лагодехи" находится в 200 км на восток от эпицентра.

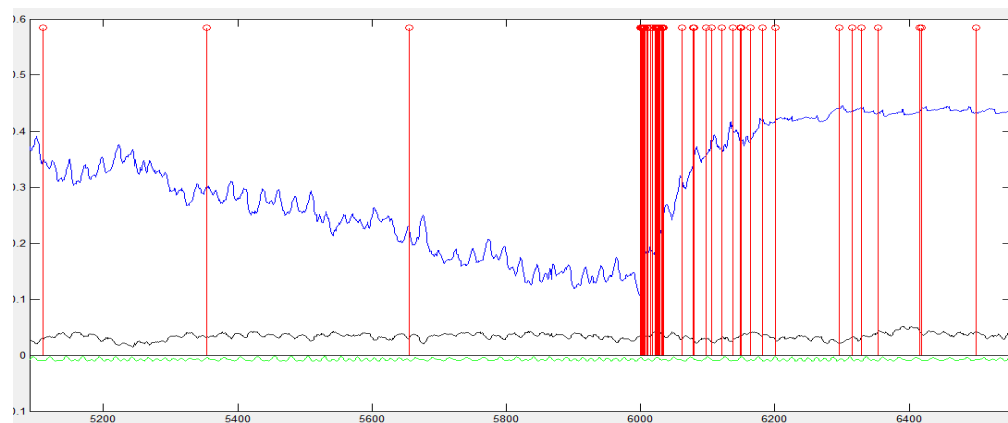


Рис. 1. Изменение уровня воды (верхняя линия), атмосферного давления (средняя линия) и приливных вариаций (нижняя линия) на станции "Они". Вертикальные линии отмечают землетрясения.

На рисунке видны нарушения, которые произошли на станции Они во время землетрясения в Раче.

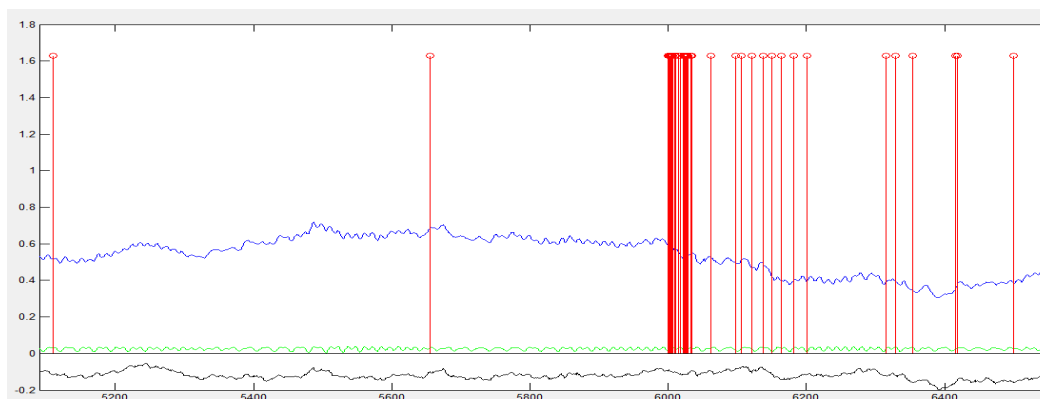


Рис. 2. Изменение уровня воды (верхняя линия), атмосферного давления (нижняя линия) и приливных вариаций (средняя линия) на станции "Аджамети". Вертикальные линии отмечают землетрясения.

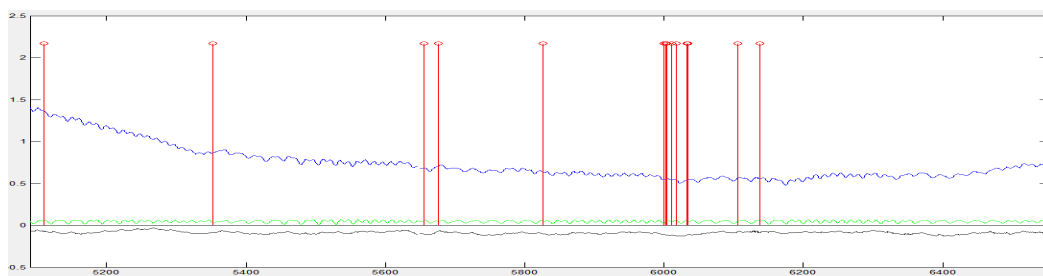


Рис.3 Изменение уровня воды (верхняя линия), атмосферного давления (нижняя линия) и приливных вариаций (средняя линия) на станции "Лагодехи". Вертикальные линии отмечают землетрясения.

На этих графиках показаны изменения различных параметров на станциях. Изменение уровня воды как мультисигнальное значение содержит влияния всех экзогенных (приливные вариации, атмосферное давление и осадки) и эндогенных (землетрясения) факторов. В сейсмически спокойный период изменение вызвано только внешними факторами, но в процессе подготовки землетрясений характер вариаций изменяется. В этот период наблюдается нарушения в изменении уровня воды до и после землетрясения (рис. 1-3).

Для того чтобы вычислить зависимость между изменениями параметров и землетрясениями, были ведены коэффициенты корреляции уровня воды с приливными вариациям -  $a$ , с атмосферным давлением изменениями  $b$ , и константа  $c$ . Для выявления статистической зависимости их изменения с энергией, достигающую области скважин от эпицентра зоны, была написана специальная программа, позволяющая выявлять "вариации" коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и сигнал "остатка" в период землетрясений на трёх станциях приведены на рис. 4-9.

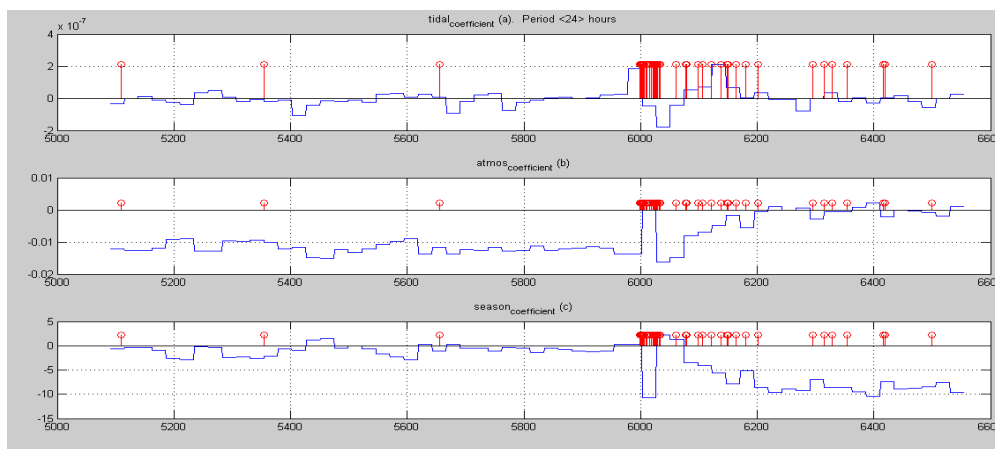


Рис. 4. Изменения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  на станции "Они"

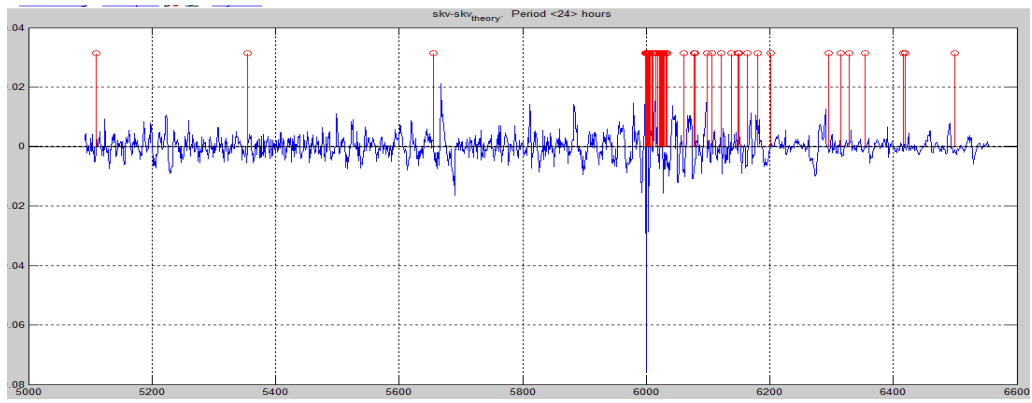


Рис. 5. Вариация сигнала "остаток" на станции "Они"

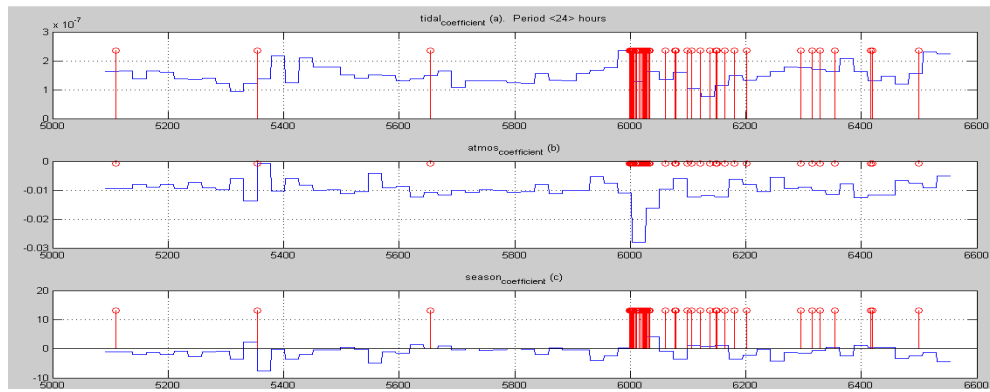


Рис. 6. Изменения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  на станции "Аджамети"

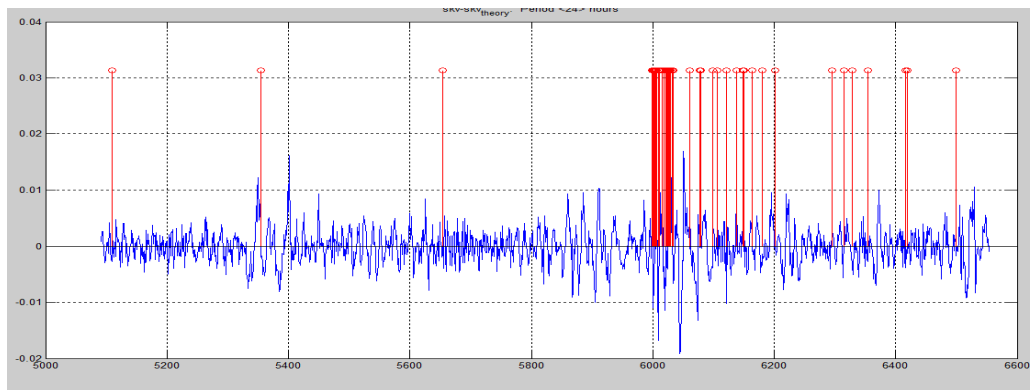


Рис. 7. Вариация "остатка" на станции "Аджамети". Вертикальные линии отмечают землетрясения

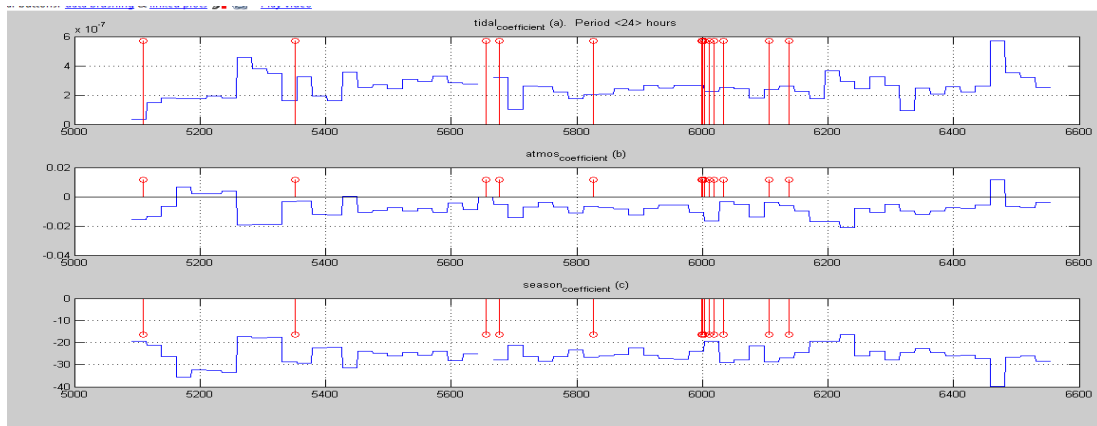


Рис. 8. Изменения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  на станции "Лагодехи".

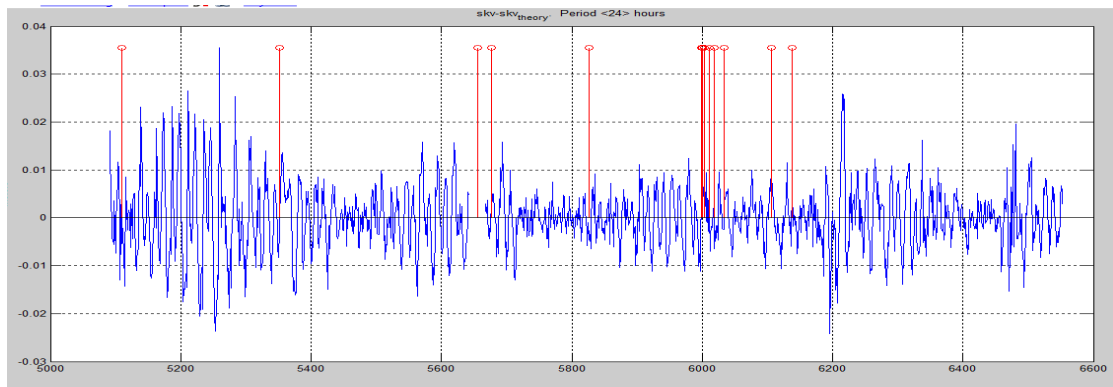


Рис. 9. Вариация "остатка" на станции "Лагодехи".

Значения "Фона" изменения уровня воды меняется до и после события. Характер изменения коэффициентов для каждой скважины зависит от энергетической величины, которая достигла в области скважинах. Например скважина "Лагодехи" является более чувствительной к местным землетрясениям, чем для землетрясения в "Рача". В то же время амплитуда изменения перед землетрясении в "Рача" сильнее на станции "Аджамети".

Кроме того, программа вычисляет изменение "геодинамического" сигнала – как разницу между наблюдаемыми и теоретическими значениям уровня воды а также "остаточное" значение высокочастотного сигнала в изменении уровня воды (рис. 10-12).

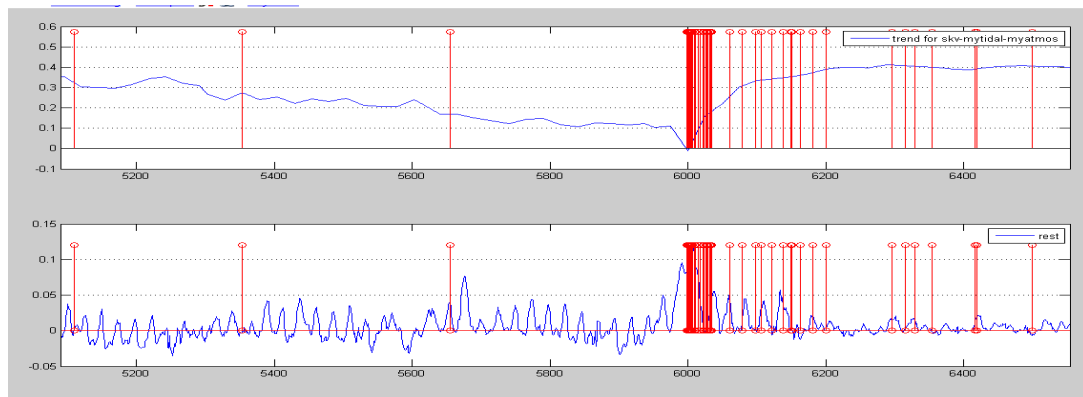


Рис. 10. Вариация "Тренда" геодинамического сигнала (верхняя линия) и "остаточное" значение (нижняя линия) на станции "Они".

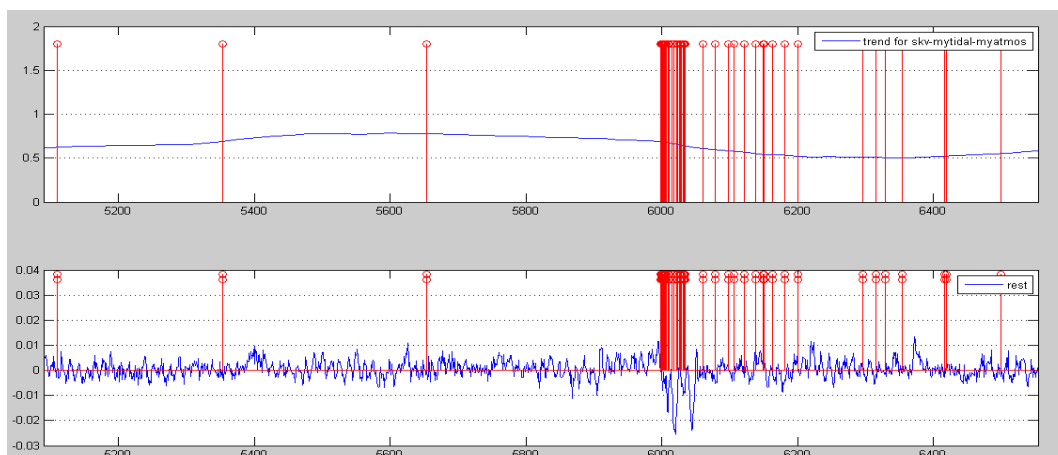


Рис. 11. Вариация "Тренда" геодинамического сигнала (верхняя линия) и "остаточное" значение (нижняя линия) на станции "Аджамети".

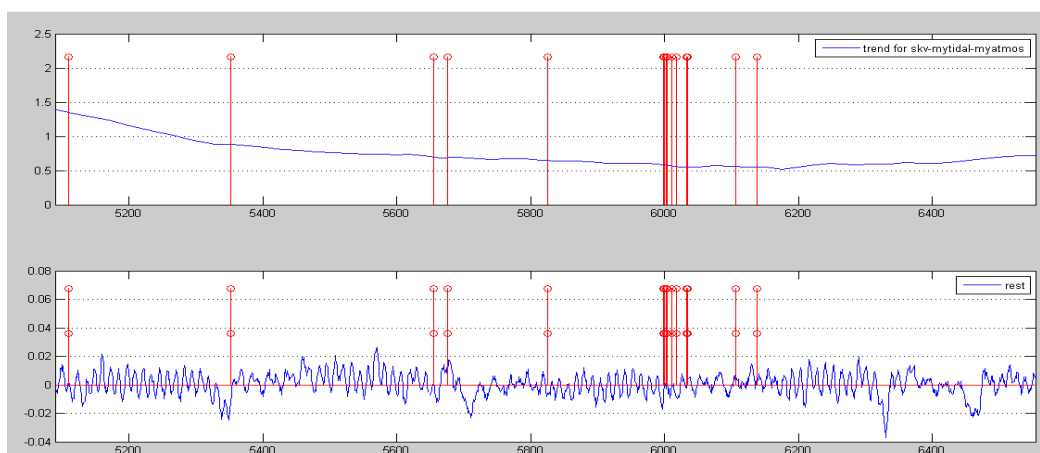


Рис. 12. Вариация "Тренда" геодинамического сигнала (верхняя линия) и "остаточное" значение (нижняя линия) на станции "Лагодехи".

Было зафиксировано падения уровня воды на скважинах "Они" и "Лагодехи" и подъем на скважине "Аджамети". Эффект падения характерен для процесса декомпрессии, а увеличение – для сжатия водоносного горизонта. После рассмотренного события уровень воды в скважине "Аджамети" подает, это характеризует процесс декомпрессии. На станция "Они" сохраняется процесс сжатия.

Для каждой скважины были рассчитаны соответствующие значения. Следующим шагом является стандартизация (нормировка) "геодинамического" компонента станции от -1 до +1 и создании геодинамического картины. Положительное значение сигнала (действительное значение уровня воды больше, чем теоретическое) соответствует деформации при сжатия, а отрицательное значение - к расширению.

Эволюцию геодеформационного поля во время и после землетрясения в "Они" (12.09.2009), мы можем увидеть на рис.13. Видна миграция деформации при сжатии с Востока на Запад, а также увеличение значения в эпицентре зоны.

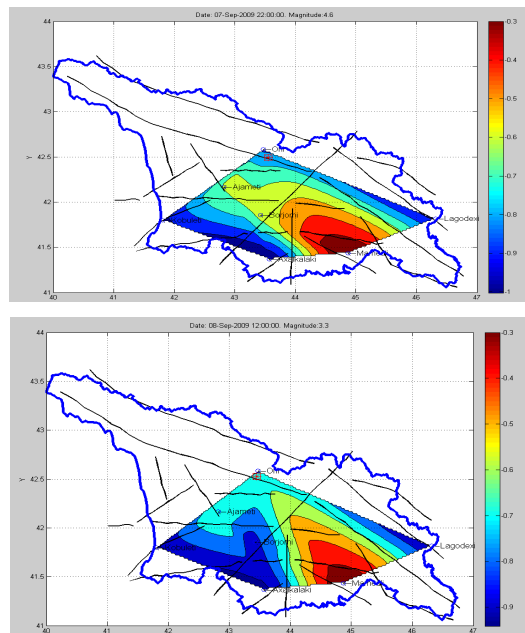


Рис. 13. Изменение геодформационного поля от 7.09.2009 22:00 до 8.09.2009 12:00

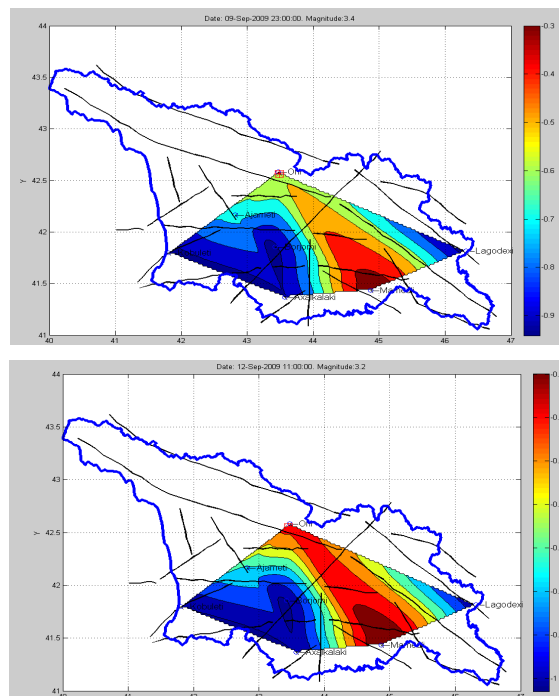


Рис. 14. Изменение геодформационного поля от 9.09.2009 23:00 до 12.09.2009

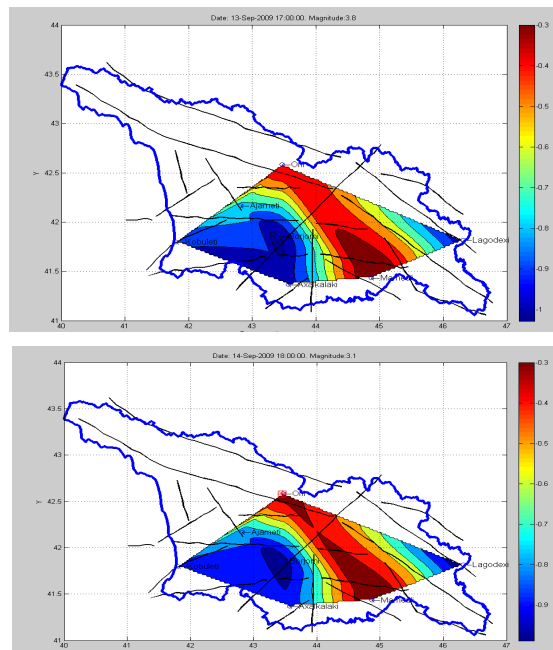


Рис. 15 Изменение геодеформационного поля от 13.09.2009 17:00 до 14.09.2009 18:00

За период с 7 по 14 сентября мы можем наблюдать снижение интенсивности напряжения, который соответствует процессу релаксации- разгрузке напряжения. До 28 сентября мы все еще наблюдаем увеличение напряжения деформации, которое было вызвано процессами подготовки афтершоков.

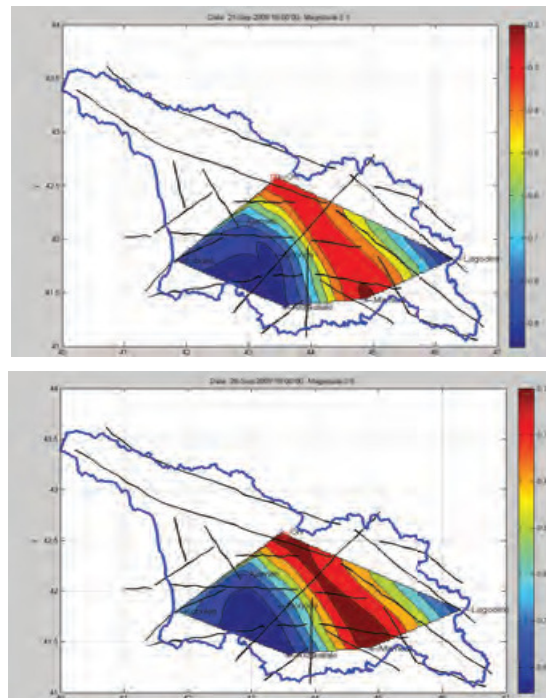


Рис. 16. Изменение геодеформационного поля от 21.09.2009 16:00 до 28.09.2009 18:00



Согласно статистическим данным, эпицентр землетрясения совпадает с экстремумом градиента зоны в поле деформации. Аномальное нарушение уровня воды были отмечены на всей территории Грузии (и Кавказа), что несомненно подтверждает региональный характер подготовки землетрясений. В соответствии в диапазоне изменения уровня воды в скважинах, отмечено развитие деформационных процессов. Это развитие происходит от периферии к центру с повышением интенсивности давления в течение нескольких месяцев.

### **З а к л ю ч е н и е**

Была установлена информативность параметра уровня воды с точки зрения прогнозирования землетрясений, результаты анализа данных показали ухудшение реакции коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  до и во время сейсмического события. Периоды зафиксированных аномалий совпадают с периодами подготовки сильных землетрясений. Характеристика аномалий (амплитуда, период коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) коррелируют с силой землетрясения. Аномальное нарушение уровня воды были отмечены на всей территории Грузии (и Кавказа), что несомненно подтверждает региональный характер процессов подготовки землетрясений. подготовку деформационных процессов на этой большой территории.

Было разработана методика выделения геодинамической составляющей из мульти сигнала и изучения закономерности его развития во времени и пространстве. Согласно статистическим данным, эпицентр землетрясения совпадает с максимальными значениями градиента в поле деформации.

### **Литература**

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., Ghloni E.** Earthquake related disturbance in stationarity of water level variation. Bulletin of the Academy of sciences of the Georgian, 165 &#8470; 1, 2002

**რაჭის 2009 წლის მიწისძვრის მომზადების პროცესში გარემოს დამაბული მდგომარეობის აღდგენა და ანალიზი**

თ. ჯიმშელაძე, გ. მელიქაძე, გ. კობზევი

რეზიუმე

ტექტონიკური პროცესების რეალურ დროში მონიტორინგისა და სეისმური კომპონენტის გამოყოფის მიზნით, შემუშავებული იქნა ჰიდროდინამიური

დაკვირვებების სპეციალური მეთოდი. მიწისძვრის მომზადებისა და რეალიზაციის

პროცესში  $a$ ,  $b$ ,  $c$  კოეფიციენტების ვარიაციებმა დაადასტურა წყლის დონის, როგორც ტექტონიკური პროცესების ინდიკატორის ინფორმატიულობა. შემუშავდა მეთოდიკა, დაკვირვების მონაცემებიდან გეოდინამიკური მდგენელის გამოყოფის და მისი დროში და სივრცეში განაწილების კანონზომიერების დადგენის მიზნით. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მიწისძვრის ეპიცენტრი ემთხვევა დაძაბულობის ველში მაქსიმალური გრადიენტის ზონას. რაჭის მიწისძვრის მომზადების პროცესში წყლის დონის ვარიაციების ანომალური დარღვევები ფიქსირდებოდა საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე, რაც მიუთითებს მიწისძვრის მომზადების პროცესი მოიცავს დიდ ტერიტორიას.

### **Construction and analysis of the stress state of environment during the preparation of the Racha earthquake 2009**

**T. Jimsheladze, G. Melikadze, G. Kobzev**

#### **Abstract**

In order to monitor tectonic processes in real time and to mark out a seismic component, the special method has been worked out. Results of data analysis have shown deterioration of reaction of coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$  before and during seismic event that demonstrates the informatively of water level as an indicator of tectonic activity. Developed a method for pick up geodynamical component from observed parameters and study the patterns of its distribution in time and space over large areas in the process of preparation of strong earthquakes. According to the statistics, epicenter of an earthquake coincides with the maximum of gradient in the deformation field. The anomalies of water level were fixed on the whole territory of Georgia (and Caucuses), that doubtlessly shows the deformation scope processes of preparation on this large territory.