

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ КУЛТУКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 27 АВГУСТА 2008 Г.

Жеребцов Г.А.<sup>1</sup>, Первалова Н.П.<sup>1</sup>, Астафьева Э.И.<sup>1</sup>, Воейков С.В.<sup>1</sup>,  
Ясюкевич Ю.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск  
Саньков В.А.<sup>2</sup>, Лухнев А.В.<sup>2</sup>, Ашурков С.В.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Башкуев Ю.Б.<sup>3</sup>, Дембелов М.Г.<sup>3</sup>, Буянова Д.Г.<sup>3</sup>, Нагуслаева И.Б.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Отдел физических проблем БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ

*Аннотация.* В ИСЗФ СО РАН, ИЗК СО РАН и ОФП БНЦ СО РАН проведены координированные исследования геодинамических и ионосферных возмущений, сопровождавших землетрясение (27.08.2008,  $M_w=6.3$ ) вблизи поселка Култук у южной оконечности озера Байкал. С целью выявления деформационных эффектов в земной коре, обусловленных этим землетрясением, выполнены расчеты характеристик поля скоростей горизонтальных движений и деформаций в Южном Прибайкалье по данным измерений методом GPS-геодезии. Измерения, проведенные непосредственно после землетрясения, не выявили изменений в полях скоростей смещений и деформаций. Отмечено присутствие релаксационных деформаций вблизи эпицентра Култукского землетрясения, проявившихся в течение года после события. После землетрясения выявлены отклонения на базовых линиях Улан-Удэ – Иркутск и Улан-Удэ – Листвянка. По данным зондирования сигналами спутниковой системы GPS исследовано поведение ионосферы во время главного толчка Култукского землетрясения и его афтершоков.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУЛТУКСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 27 АВГУСТА 2008 Г

27 августа 2008 года в 01:35 UT (10:35 местного времени) на юге озера Байкал произошло землетрясение, которое стало сильнейшим сейсмическим событием, происшедшим в пределах Байкальской впадины за инструментальный период наблюдений за сейсмичностью (около 50 лет). Магнитуда землетрясения  $M_w=6.3$  (<http://earthquake.usgs.gov>), энергетический класс  $K=15.9$  ([www.seis-bykl.ru](http://www.seis-bykl.ru)), очаг располагался на глубине около 16 км (<http://earthquake.usgs.gov>). Землетрясение ощущалось на большой территории Сибири от Красноярска на западе до Читы на востоке и от Северобайкальска на севере до Улан-Батора в Монголии на юге. Максимальные эффекты сотрясений в пределах эпицентральной зоны достигали 8 баллов (по шкале MSK-64) в п. Култук, расположенном на побережье Байкала в 28 км от эпицентра. В связи с этим землетрясение получило название Култукское. Здесь отмечалось массовое падение дымовых труб, падение слабо закрепленных наружных

кирпичных стен и внутренних перегородок в домах, появление трещин в стенах зданий, откалывание кусков штукатурки с потолков и стен, отрыв и падение люстр и т.д. В окрестностях поселка в почве и дорожных покрытиях появились трещины, на крутых склонах возникли камнепады, оползни и осыпи. По данным Байкальского филиала геофизической службы (БФ ГС СО РАН) интенсивность сотрясений в некоторых населенных пунктах, расположенных в радиусе 80 км от эпицентра составляла ([www.seis-bykl.ru](http://www.seis-bykl.ru)): г. Слюдянка (25 км) – 7.5 баллов, г. Байкальск (12 км) – 7 баллов, п. Маритуй (23 км) – 6.5 баллов, с. Быстрая (42 км) – 6.5 баллов, п. Торы (73 км) – 6.5 баллов, г. Иркутск (75 км) – 6 баллов, г. Шелехов (65 км) – 5-6 баллов, п. Листвянка (65 км) – 6 баллов. Как правило, с удалением от эпицентра, интенсивность сотрясений падает. Однако, в населенных пунктах Слюдянка, Байкальск, Маритуй, отстоящих на меньшие расстояния от эпицентра, чем п. Култук, сила землетрясения была несколько меньше, чем в Култуке. На спадание балльности существенное значение оказали структурно-геологические и инженерно-геологические условия территории, подверженной сейсмическим сотрясениям. Кроме того, важным фактором проявления эффектов землетрясения является направление вспарывания разрыва. Эпицентр землетрясения находился в районе п. Утулик, а по свидетельствам очевидцев, записанным непосредственно после события, гул от главного события продвигался с юго-востока на северо-запад. Таким образом, можно заключить, что именно в этом направлении от п. Утулик к п. Култук происходило вспарывание разрыва.

В целом, Култукское землетрясение произошло в пределах подводного сегмента зоны Главного Саянского разлома (рис. 1). В очаге превалировало сбросовое смещение с существенной сдвиговой составляющей (<http://earthquake.usgs.gov>). Левосторонний сдвиг по близширотной плоскости соответствует установленным по геоморфологическим и структурно-геологическим данным сдвиговым смещениям по юго-восточному сегменту Главного Саянского разлома и восточному сегменту Обручевского разлома. Таким образом, данное сейсмическое событие, являясь, подобно последовательности землетрясений 1999 г. в восточной части Култукской депрессии, следствием активизации одного из внутривпадинных разломов, указывает на продвижение активного разрывообразования к Култукско-Быстринской межвпадинной перемычке со сменой типа разрыва в очаге со сбросового на сдвиго-сбросовый [1].

В ИСЗФ СО РАН, ИЗК СО РАН и ОФП БНЦ СО РАН проведены координированные исследования геодинамических и ионосферных возмущений, сопровождавших Култукское землетрясение. Полученные результаты представлены в настоящей работе.

РАСЧЕТЫ ПОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРЕДЕЛАХ БАЙКАЛЬСКОГО  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

С целью выявления деформационных эффектов в земной коре, связанных с косейсмическими и постсейсмическими эффектами Култукского землетрясения, проведены расчеты полей скоростей горизонтальных движений и деформаций в пределах Южного Прибайкалья по данным измерений методом GPS-геодезии на

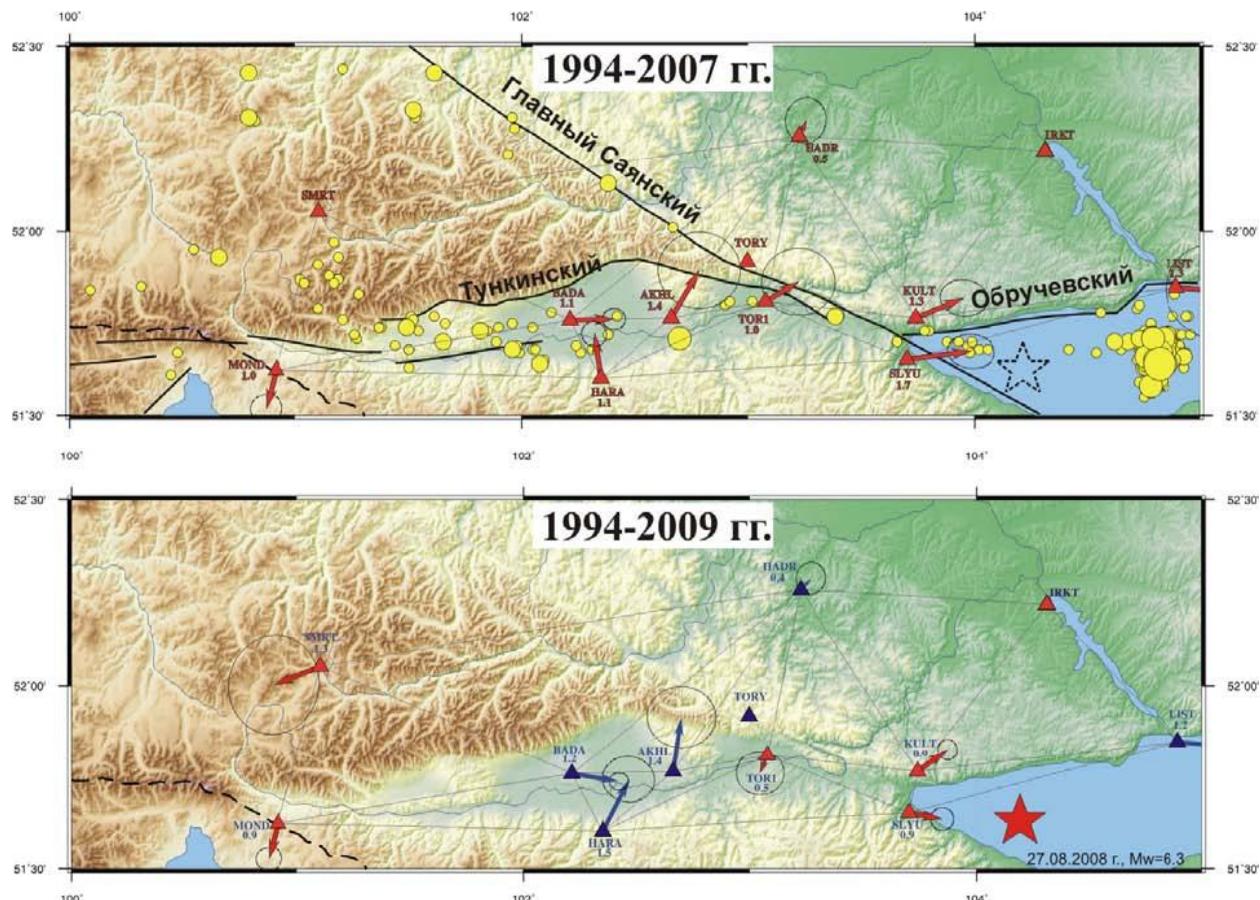


Рис. 1. Поле скоростей горизонтальных смещений пунктов Байкальского геодинамического полигона по данным измерений за периоды 1994-2007 гг. (вверху) и 1994-2009 гг. (внизу). Векторы скоростей смещений показаны с эллипсами 95 % доверительного интервала. Красными стрелками показаны векторы для пунктов, измерения на которых производились в последний год расчетного интервала. Эпицентры землетрясений с  $K > 9$  показаны желтыми кружочками. Звездочкой обозначен эпицентр Култукского землетрясения 2008 г. Черные линии – трассы активных разломов.

Байкальском геодинамическом полигоне. Положение измерительных пунктов полигона показано треугольниками на рис. 1, 2. Полигон включает в себя зоны Обручевского, Главного Саянского и Тункинского разломов, характеризующиеся повышенной сейсмической активностью. За последние 10 тыс. лет в зонах этих разломов неоднократно происходили катастрофические землетрясения с магнитудами 7.5 – 8.0, при этом амплитуда горизонтального смещения по разлому достигала 4.5 м [2, 3].

## Зондирование земных покровов радарными с синтезированной апертурой

На рис. 2 показано поле скоростей деформаций по данным измерений на эпоху 1994-2007 гг. Из него следует, что ось горизонтального сокращения земной коры в районе южной оконечности озера Байкал направлена на СВ, а ось удлинения – на СЗ, то есть так же, как ось сжатия (P) и ось растяжения (T) в механизме очага Култуковского землетрясения. Таким образом, механизм очага землетрясения полностью соответствует системе напряжений, существовавшей до землетрясения. Повторные измерения в 2008 г. были проведены непосредственно после землетрясения. Их результаты не выявили изменений в полях скоростей смещений и деформаций.

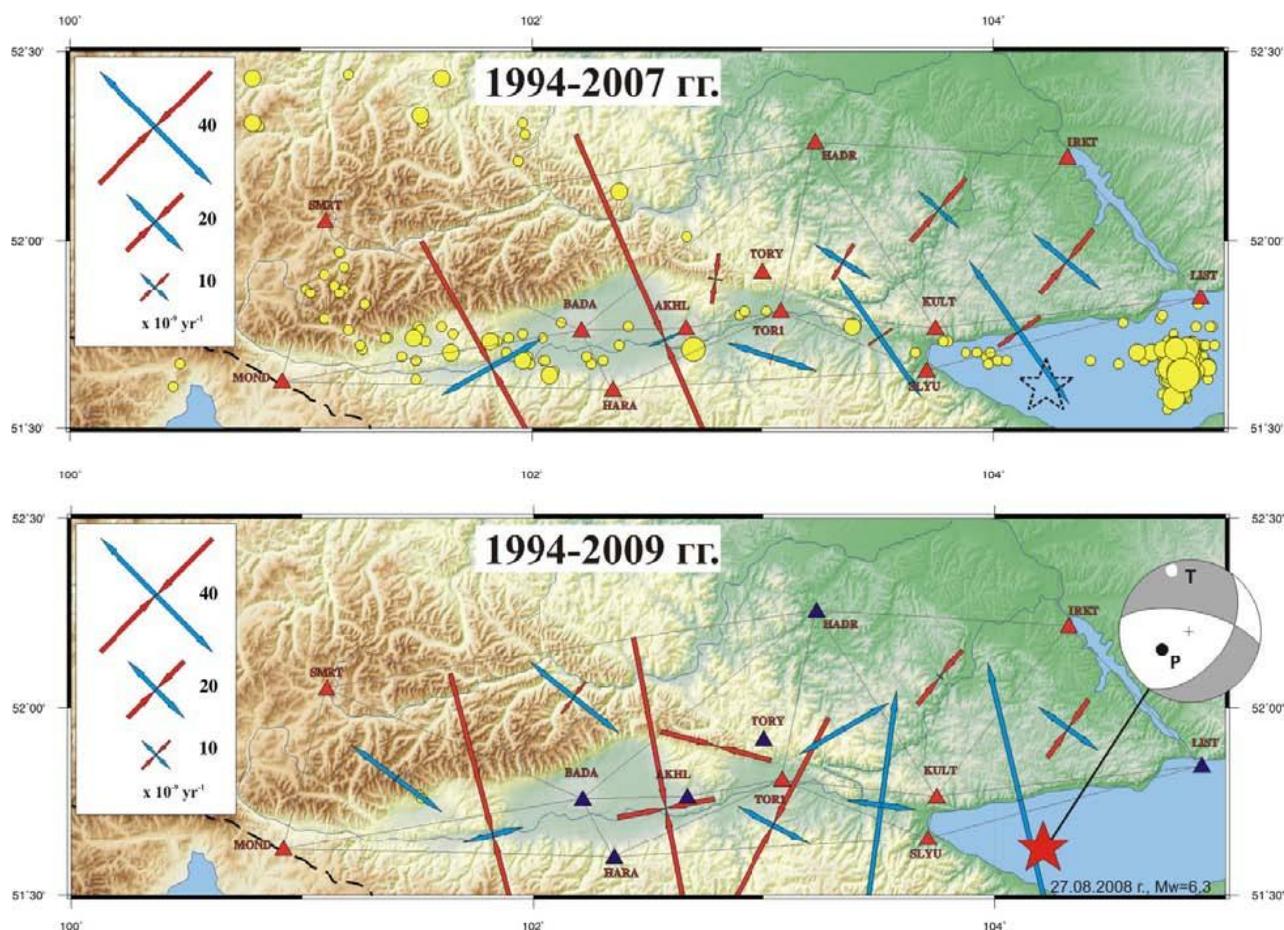


Рис. 2. Поле скоростей горизонтальных деформации геодезической сети Байкальского геодинамического полигона по данным измерений за периоды 1994-2007 гг. (вверху) и 1994-2009 гг. (внизу). Звездочкой обозначен эпицентр Култуковского землетрясения 2008 г. Механизм его очага показан на верхней полусфере (<http://earthquake.usgs.gov>). Серым цветом окрашены квадранты растяжения (белая точка – выход оси растяжения, T), белым – квадранты сжатия (черная точка – выход оси сжатия, P).

Некоторые изменения в картине смещений и деформаций выявлены через год после сейсмического события. На рис. 1 (внизу) показано поле скоростей смещений пунктов по данным измерений за период с 1999 по 2009 гг. Существенными являются

изменения в направлении и скорости смещения пунктов TOR1 и KULT. Соответственно этому видны изменения в скоростях деформаций в треугольнике TOR1, KULT, SLYU, которые проявляются в увеличении доли деформации удлинения и развороте направления осей деформаций (рис. 2, внизу).

Таким образом, можно заключить, что основные косейсмические деформации при Култукском землетрясении локализовались внутри Южно-Байкальской впадины, и отметить присутствие релаксационных деформаций вблизи его эпицентра, проявившихся в течение года после события. Дальнейшие измерения позволят выяснить характерное время релаксации от возмущения, связанного с проявлением быстрых смещений на локальном участке разлома, что является важной характеристикой, которую необходимо учитывать при выделении тектонической составляющей в поле деформаций. Это связано с тем, что на коротких временах в составе сигнала, который фиксируется геодезическими методами, содержится большая доля упругой составляющей. Особенно это характерно для внутренних частей крупных зон современных деформаций, подобных Байкальской рифтовой системе. При их реализации в результате сильного землетрясения поле смещений резко искажается в локальной области. В зависимости от силы сейсмического события искажения могут сохраняться в течение разного времени. Оценки показали, что изменения поля деформаций после катастрофических землетрясений прошлого века в Монголии продвигались в земной коре со скоростью около 30 км/год [4]. Таким образом, для интерпретации измерений современных деформаций в Байкальской рифтовой системе необходимо учитывать искажения, вносимые локальными возмущениями поля деформаций от сильных сейсмических событий.

### АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ НА БАЗОВЫХ ЛИНИЯХ В РАЙОНЕ КУЛТУКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Совместные высокоточные радиогеодезические GPS-измерения, проведенные ИЗК СО РАН и ОФП БНЦ СО РАН во время Култукского землетрясения, выявили кратковременные изменения на базовых линиях Улан-Удэ – Иркутск (ULAZ-IRKT) и Улан-Удэ – Листвянка (ULAZ-LIST), а также в положении реперной точки ULAZ (рис. 3а). На рис. 4 показаны обработанные с помощью программы GAMIT-GLOBK результаты позиционирования на линиях ULAZ-IRKT и ULAZ-LIST за 28 августа 2008

г. Период осреднения в данном случае составлял 1 час. После землетрясения на базовых линиях наблюдались отклонения, которые достигали 125 мм (линия ULAZ-IRKT) и 150 мм (линия ULAZ-LIST). Линии вернулись к исходному уровню к середине суток 28 августа. На рис. 5 приведены изменения положения реперной точки ULAZ относительно точки IRKT с 19 мая (день 140) по 22 сентября (день 266) 2008 г. Период осреднения в этом случае составлял 1 сутки. Стрелками отмечены моменты Култукского (K=15.9) и Баргузинского (K=14.2) землетрясений. Баргузинское землетрясение (магнитуда Mw=5.3,

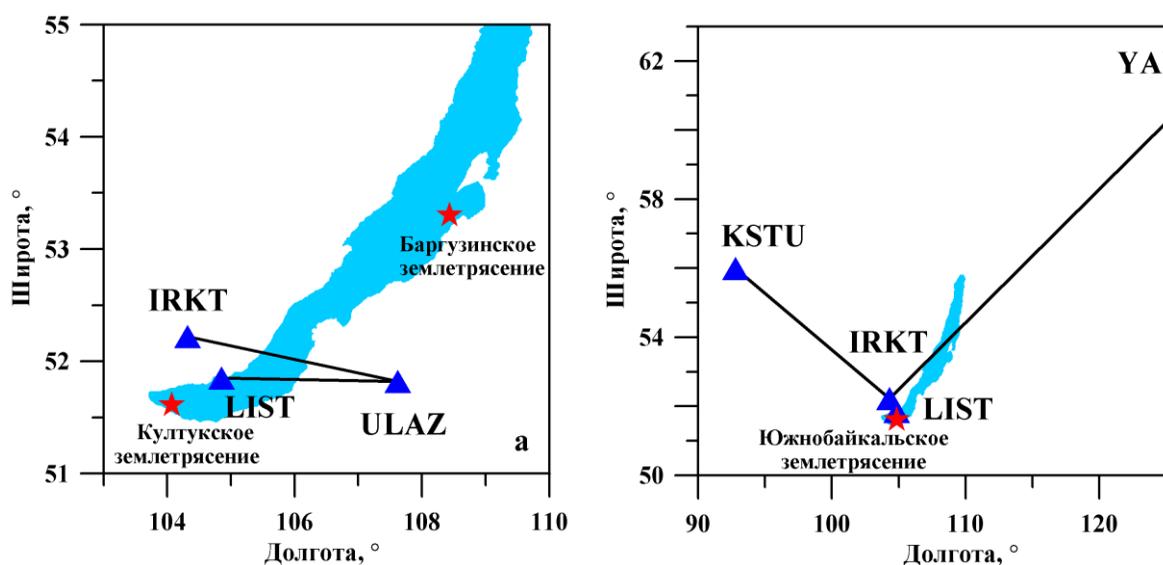
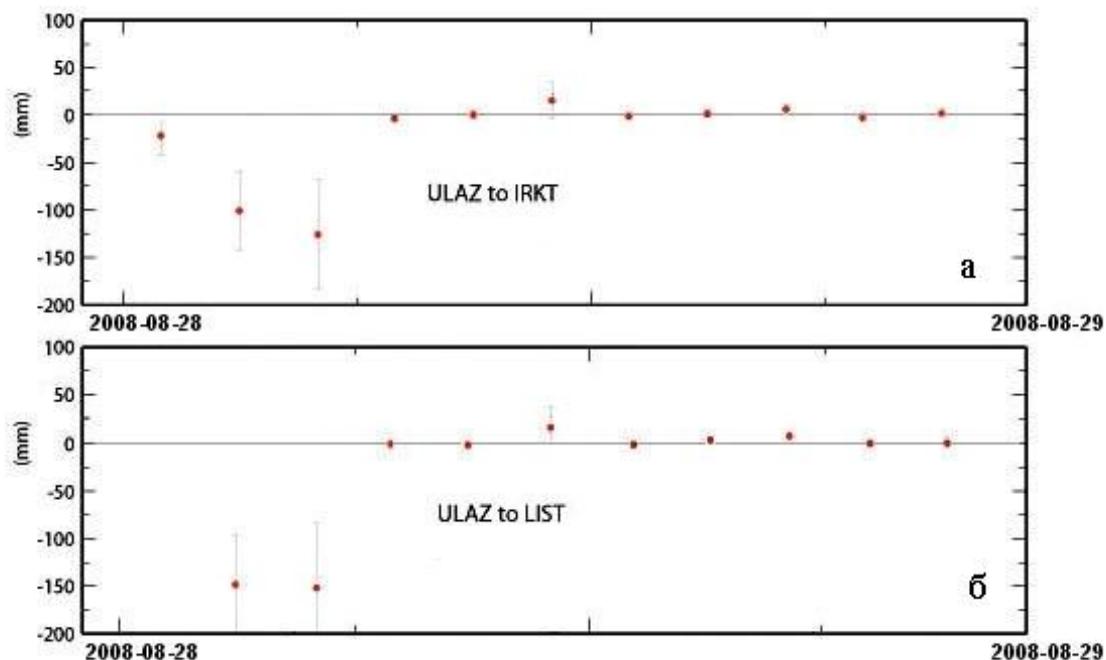


Рис. 3. Геометрия измерений на базовых линиях.

энергетический класс  $K=14.2$ ) произошло в 08:43 UT 20 мая 2008 г. в Баргузинском заливе озера Байкал (рис. 3а). Во время Баргузинского землетрясения положение реперной точки ULAZ испытывало периодические отклонения в направлении восток-запад и по высоте, которые достигали 30 мм, что существенно превышало среднеквадратическую погрешность измерений [5]. После Култукского землетрясения отклонения, превышающие среднеквадратическую погрешность измерений, наблюдались только в высотном положении ULAZ и составляли 25-28 мм.

Ранее, при Южнобайкальском землетрясении 25 февраля 1999 г. ( $M_w=6.0$ ), которое произошло под акваторией озера Байкал в 20 км юго-восточнее истока р. Ангары, и было частью крупного роевого события, наблюдались

постсейсмические эффекты на более длинных базах. Так, на базах IRKT-KSTU



(Иркутск-Красноярск) и IRKT-ЯКА (Иркутск-Якутск) (рис. 3б) смещения

Рис. 4. Изменения на базовых линиях ULAZ-IRKT (а) и ULAZ-LIST (б) после Култукского землетрясения.

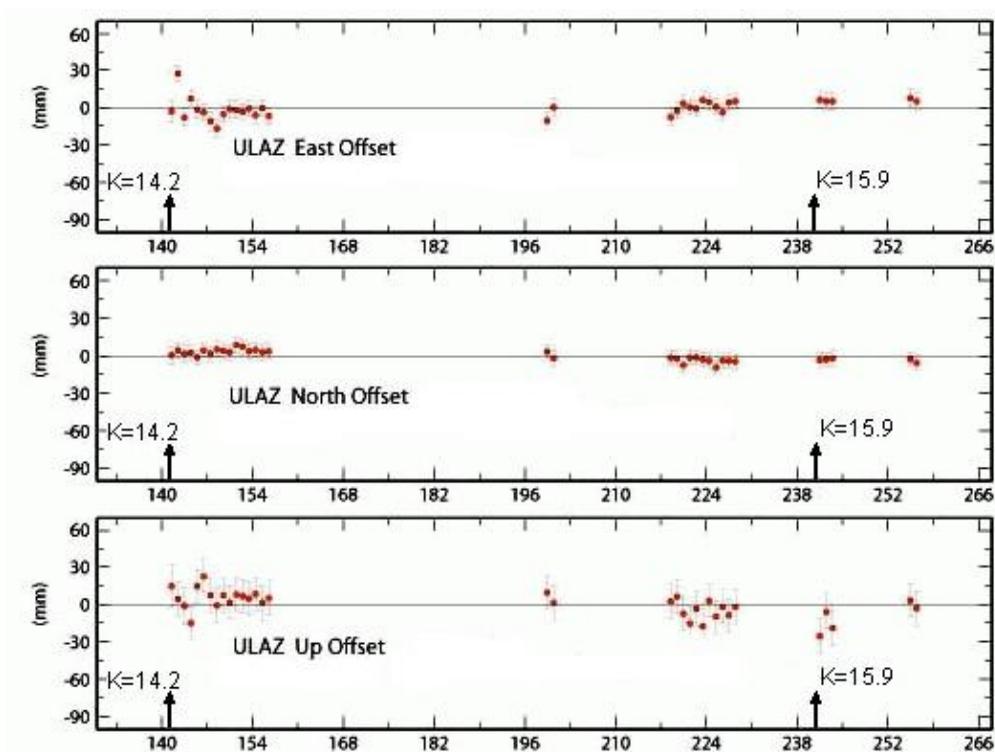


Рис. 5. Изменения относительного положения реперной точки ULAZ с 19 мая (день 140) по 22 сентября (день 266) 2008 г. Стрелками указаны моменты Баргузинского и Култукского землетрясений.

проявились через три дня после этого сильнейшего в Южнобайкальском ро события. Релаксация наступила через 4-5 дней. Вместе с тем, на короткой базе IRKT-LIST эти эффекты не проявились. По-видимому, в данном случае мы имеем дело с квазиупругой реакцией последствия больших блоков на прошедшее сейсмическое событие.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ КУЛТУКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Землетрясение представляет собой комплексный источник акустического и электромагнитного воздействия на ионосферу. Вертикальные смещения земной поверхности при землетрясениях часто сопровождаются возбуждением в атмосфере акустических волн, которые, распространяясь вверх, при определенных условиях могут достигать высот ионосферы и проявляться там в виде перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ). Эффекты сильных землетрясений в вариациях ионосферных параметров регистрировались неоднократно [6-15]. В большинстве случаев ионосферный отклик регистрировался вблизи эпицентра землетрясения через 10-15 мин после основного толчка и имел N-образную форму, которая соответствует классической форме ударной акустической волны (волны сжатия-разряжения). Периоды откликов лежали в пределах 190-600 с.

Исследования поведения ионосферной плазмы во время Култукского землетрясения проводились нами по данным вариаций полного электронного содержания (ПЭС). Вариации ПЭС рассчитывались на основе фазовых измерений двухчастотных приемников GPS, расположенных в Иркутске (станция IRKM) и в Улан-Удэ (станция ULAZ). На рис. 6 показаны траектории ионосферных точек (точек пересечения лучей "приемник-спутник GPS" со сферой на высоте  $h_{\max}$  максимума ионизации) спутников GPS, которые наблюдались на станциях IRKM (а) и ULAZ (б) 27 августа 2008 г. в период 00:00-08:00 UT. Траектории рассчитаны для  $h_{\max} = 300$  км. Время наблюдения спутников GPS приведено в Табл. 1. В момент землетрясения непосредственно над эпицентром наблюдались спутники с номерами 14, 22, 31. Их траектории выделены синим цветом на рис. 6. Спутники с номерами 16, 23, 29 (пунктирные линии) наблюдались над зоной Култукского землетрясения после основного толчка. Исследование вариаций ПЭС было проведено для всех спутников GPS, указанных в Табл. 1.

Исходные временные ряды вариаций ПЭС подвергались фильтрации в двух диапазонах периодов: 02-20 мин и 01-10 мин. В качестве примера на рис. 7, 8 приведены отфильтрованные вариации ПЭС, полученные для спутника №31 на станции IRKM (рис. 7) и ULAZ (рис. 8) в день Култукского землетрясения 27.08.2008, за день до (26.08.2008) и день после (28.08.2008) основного толчка. Как видно из представленных рисунков, колебания ПЭС после землетрясения не превышало уровня фоновых флуктуаций,

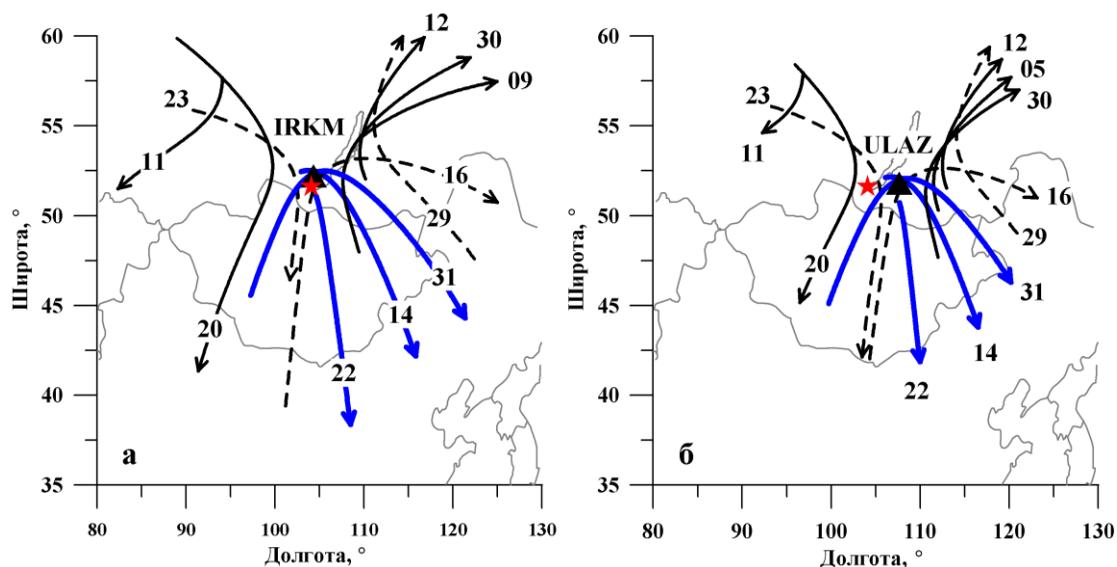


Рис. 6. Траектории ионосферных точек спутников GPS, наблюдавшихся на станциях IRKM (а) и ULAZ (б) 27 августа 2008 г. в период 00:00-08:00 UT. Положение станций отмечено треугольниками, цифры у траекторий обозначают номера ИСЗ GPS. Звездочкой показан эпицентр Култукского землетрясения.

Табл. 1. Время наблюдения спутников GPS на станциях IRKM и ULAZ 27 августа 2008 г.

Номер ИСЗ GPS	Время наблюдения на станции IRKM (UT)	Время наблюдения на станции ULAZ (UT)
05	-	00:00-02:53
09	00:00-01:05	-
11	00:00-01:49	00:00-01:06
12	00:00-02:22	00:00-02:20
14	00:00-03:52	00:00-03:46
16	01:56-08:00	02:07-07:51
20	00:50-05:14	01:05-04:53
22	00:00-02:13	00:00-02:00
23	02:38-07:05	02:39-07:30
29	01:56-05:15	02:10-05:10
30	00:00-03:53	00:00-03:51
31	00:00-06:15	00:00-06:06

т.е. землетрясение не вызвало заметных изменений в поведении ионосферной плазмы. В тоже время в обоих диапазонах периодов можно выделить увеличение

амплитуды колебания ПЭС с 00:00 до 01:30 UT. Увеличение наблюдались каждый день, при этом траектории ионосферных точек проходили над южной частью Монголии.

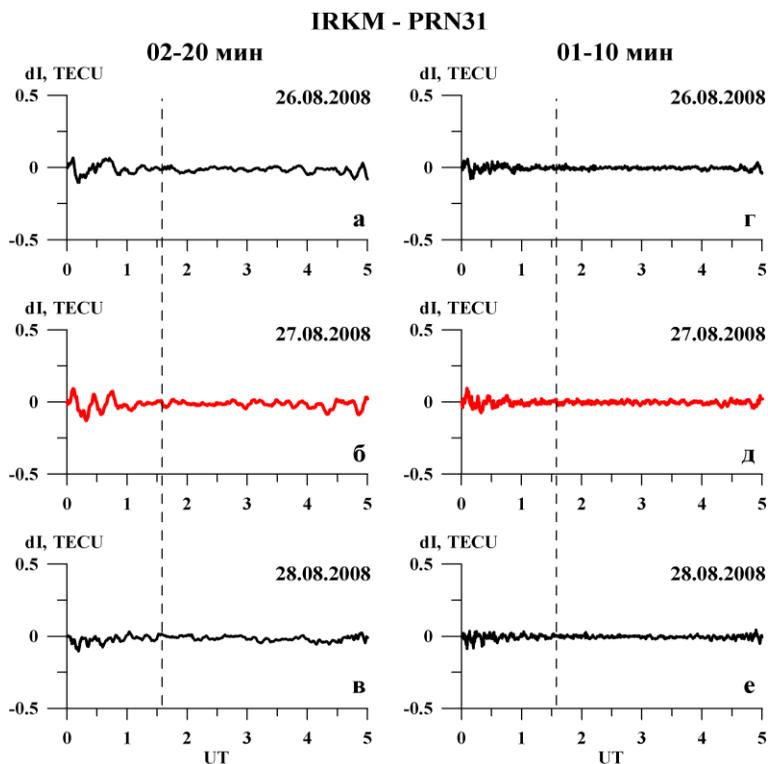


Рис. 7. Вариации ПЭС, отфильтрованные в диапазонах периодов 02-20 мин (слева) и 01-10 мин (справа), полученные для спутника GPS 31 на станции IRKM 26-28 августа 2008 г. в период 00:00-05:00 UT. Момент Култукского землетрясения 27.08.2008 отмечен пунктирной линией.

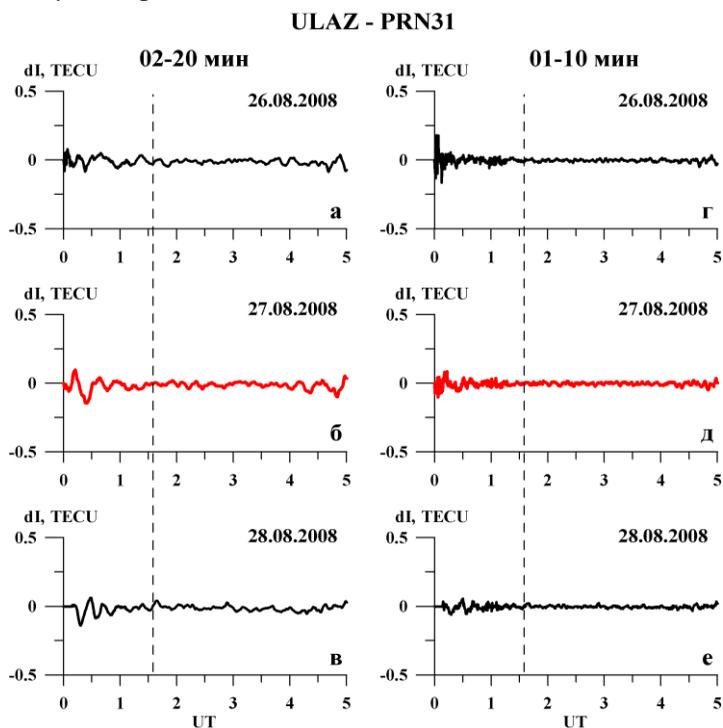


Рис. 8. То же, что на рис. 7, но для станции ULAZ.

## Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой

Аналогичные результаты были получены для всех рассматривавшихся ИСЗ GPS. Ни на одном из лучей "приемник-спутник" не удалось выделить отклик ионосферы ни на главный толчок Култукского землетрясения, ни на его афтершоки, которые наблюдались в 01:41 UT ( $M_w=4.9$ ), 02:07 UT ( $M_w=4.3$ ), 03:29 UT ( $M_w=4.1$ ). А на лучах, проходивших над южной Монголией регистрировалось заметное усиление интенсивности колебаний ПЭС: в диапазоне периодов 02-20 мин амплитуда колебаний достигала 0.3-0.4 TECU, в диапазоне 01-10 мин – 0.2 TECU.

Основной причиной отсутствия в ионосфере реакции на Култукское землетрясение является, по-нашему мнению, относительно низкая ( $M_w=6.3$ ) энергетика данного землетрясения. В Табл. 2 приведены характеристики землетрясений, имевших проявления в ионосфере. Работы, в которых сообщается о регистрации ионосферного отклика на данное землетрясение, указаны в последнем столбце Табл. 2. Землетрясения, оказавшие заметное влияние на ионосферную плазму, имели магнитуду не ниже 6.7. Магнитуда землетрясения является условной мерой энергии, выделившейся из очага землетрясения в виде сейсмических волн. Колебания почвы при землетрясениях с магнитудами, различающимися на единицу, отличаются по амплитудам сейсмических волн в 10 раз. Таким образом, амплитуда сейсмических волн во время Култукского землетрясения была в несколько раз ниже, чем для наиболее слабого землетрясения в Калифорнии 17.01.1994 ( $M_w=6.7$ ), отклик на которое был зафиксирован (Табл. 2). Обобщение опыта регистрации ионосферных откликов землетрясений в ИСЗФ СО РАН и результатов других исследователей позволяет заключить, что существует некоторое пороговое значение магнитуды, ниже которого заметной реакции ионосферы на землетрясение не наблюдается. Величина порогового значения лежит в пределах 6.5-6.7. На вероятность регистрации ионосферного отклика на землетрясение с магнитудой, близкой к пороговому значению, большое влияние оказывает геофизическая обстановка (состояние нейтральной атмосферы, уровень геомагнитной возмущенности и т.д.). Очевидно, при малых магнитудах сейсмической энергии недостаточно для возбуждения акустических волн в нейтральной атмосфере, способных проникнуть на высоты ионосферы и вызвать там возмущения, различимые на уровне фоновых флуктуаций.

Култукское землетрясение носило подводный характер. Одной из возможных причин отсутствия ионосферного отклика могла оказаться почти километровая толща воды над эпицентром. Однако, анализ Табл. 2 показывает, что реакция ионосферы на

## Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой

подводные землетрясения регистрировалась неоднократно, т.е. большой слой воды над эпицентром не может служить препятствием для генерации внутренних атмосферных волн.

Наконец, важную роль в формировании отклика ионосферы должен играть механизм очага землетрясения (фокальный механизм землетрясения), который является одним из важнейших параметров, характеризующих сейсмическое событие. Фокальный механизм отражает характер подвижек в очаге землетрясения, пространственную ориентацию осей главных напряжений и плоскостей разрывов. Различают три основных типа смещений в очаге: сброс (опускание участка земной поверхности), взброс (подъем участка земной поверхности), сдвиг (горизонтальное смещение участка земной поверхности). До сих пор аспекту влияния механизма очага землетрясения на формирование реакции ионосферы не уделялось особого

Табл. 2. Землетрясения, для которых наблюдался отклик в ионосфере. Данные о землетрясениях получены на сайте <http://earthquake.usgs.gov>.

Дата	Регион	Эпицентр	Время (UT)	Магнитуда Mw	Примечание	Публикации
17.01.1994	Калифорния	34.21°N; 241.46°E	12:30:55	6.7		[7]
04.10.1994	Япония	43.77°N; 147.32°E	13:22:55	8.3	подводное	[15]
17.08.1999	Турция	40.75°N; 29.86°E	00:01:39	7.6		[8]
12.11.1999	Турция	40.76°N; 31.16°E	16:57:20	7.2		[8]
16.10.1999	Калифорния	34.59°N; 243.73°E	09:46:44	7.2		[9]
04.06.2000	о. Суматра	4.72°S; 102.09°E	16:28:26	7.9	подводное	[8]
13.01.2001	Сальвадор	13.05°N; 271.34°E	17:33:32	7.7	подводное	[8]
25.09.2003	о. Хоккайдо	41.82°N; 143.91°E	19:50:06	8.3	подводное	[10, 13]
05.09.2004	Япония	33.07°N; 136.62°E	10:07:07	7.2	подводное	[13]
26.12.2004	о. Суматра	03.30°N; 95.98°E	00:58:53	9.0	подводное	[12]
15.11.2006	Курильские о-ва	46.59°N; 153.27°E	11:14:13	8.3	подводное	[14]
13.01.2007	Курильские о-ва	46.24°N; 154.52°E	04:23:21	8.1	подводное	[14]

12.05.2008	Китай	31.00°N; 103.32°E	06:28:01	7.9		[11]
------------	-------	----------------------	----------	-----	--	------

внимания. В [14], по-видимому, впервые проведен сравнительный анализ формы отклика ПЭС на землетрясения типа сброс и взброс. Показано, что в случае взброса отклик ПЭС представлял собой типичную волну сжатия-разряджения (N-волну). Для сбросов вариации ПЭС в некоторых случаях имели форму "обратной" N-волны (волны разряджения-сжатия), а в некоторых – представляли собой сложную структуру, сходную с результатом интерференции различных колебаний. Землетрясения со сдвиговым механизмом в работе [14] не рассматривались. Однако, можно ожидать, что к возбуждению распространяющихся вверх атмосферных волн (а, следовательно, и к появлению отклика в ионосфере) приводят только вертикальные смещения земной поверхности, т.е. сдвиговый тип фокального механизма может также являться причиной отсутствия реакции ионосферы на землетрясение. Как указывалось в п. 1, в очаге Култукского землетрясения преобладало сбросовое смещение со сдвиговой составляющей. Таким образом, причиной отсутствия отклика ионосферы на Култукское землетрясение может являться только его малая интенсивность.

## ВЫВОДЫ

В ИСЗФ СО РАН, ИЗК СО РАН и ОФП БНЦ СО РАН проведены координированные исследования поведения геодинимических и ионосферных параметров в районе Култукского землетрясения у южной оконечности озера Байкал. По данным измерений методом GPS-геодезии выполнены расчеты характеристик поля скоростей горизонтальных движений и деформаций в Южном Прибайкалье. Проведено сопоставление данных измерений до землетрясения, непосредственно после события и через год. Показано, что механизм очага землетрясения полностью соответствует системе напряжений, существовавшей до землетрясения. Измерения, проведенные непосредственно после землетрясения, не выявили изменений в полях скоростей смещений и деформаций. Отмечено присутствие релаксационных деформаций вблизи эпицентра Култукского землетрясения, проявившихся в течение года после события. Высокоточные радиогеодезические GPS-измерения во время землетрясения выявили изменения на базовых линиях Улан-Удэ – Иркутск и Улан-Удэ – Листвянка. После землетрясения отклонения на базовых линиях достигали 125 и

150 мм, соответственно, и пришли к исходному уровню к середине 28.08.2008. Исследование с помощью системы GPS поведения ионосферы не выявили заметных изменений в поведении ПЭС, обусловленных главным толчком и афтершоками Култукского землетрясения. Выполнен анализ возможных причин отсутствия ионосферного отклика. Показано, что наиболее вероятной причиной является относительно низкая интенсивность Култукского землетрясения. В результате проведенного обобщения опыта регистрации ионосферных откликов землетрясений установлено, что для землетрясений с магнитудой меньше 6.5 заметной реакции ионосферы не наблюдается. Несмотря на то, что Култукское землетрясение явилось сильнейшим сейсмическим событием в Байкальском регионе за последние 50 лет, его магнитуда  $M_w=6.3$ , и выделившейся сейсмической энергии было недостаточно, чтобы оказать заметное влияние на верхние слои атмосферы Земли.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 56 и РФФИ (проект №08-05-98113-р\_сибирь\_a).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Бызов Л.М. Южно-Байкальское землетрясение 27.08.2008 г. ( $M_w=6.2$ ) как ступень в подготовке будущего сильного сейсмического события в зоне Главного Саянского разлома // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. От океана к континенту. Иркутск: Изд. ИЗК СО РАН, 2008. Вып. 6. Т. 2. С. 86-88.
2. Чипизубов А.В., Смекалин О.П. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома // Геология и геофизика, 1999, т. 40, № 6. С. 936-937.
3. Саньков В.А., Чипизубов А.В., Лухнев А.В., Смекалин О.П., Мирошниченко А.И., Кале Э., Девершер Ж. Подход к оценке опасности сильного землетрясения в зоне Главного Саянского разлома по данным GPS-геодезии и палеосейсмологии // Геология и геофизика, 2004. №11. – С. 1369-1376.
4. Pollitz F., Vergnolle M., Calais E. Fault interaction and stress triggering of twentieth century earthquakes in Mongolia // J. Geophys. Res., 2003. Vol. 108, No. B10, 2503, doi:10.1029/2002JB002375.
5. Дембелов М.Г., Башкуев Ю.Б., Саньков В.А., Лухнев А.В. Измерения на Байкальской GPS сети для оценки геодинамики рифтовой системы // VIII Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов», Санкт-Петербург, 2009, с. 200-202.
6. Davies K., Baker D.M., Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964 // J. Geophys. Res. 1965. V. 70. P. 2251-2253.
7. Calais E., Minster J.B., GPS detection of ionospheric perturbations following the January 17, 1994, Northridge earthquake // Geophys. Res. Lett., 1995, 22 (9), 1045-1048.

8. Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V., Uralov A.M., The shock-acoustic waves generated by the earthquakes, *Ann. Geophys.*, 2001, 19(4), 395-409.
9. Afraimovich E.L., Astafieva E.I., Gokhberg M.B., Lapshin V.M., Permyakova V.E., Steblov G.M., Shalimov S.L. Variations of the total electron content in the ionosphere from GPS data recorded during the Hector Mine earthquake of October 16, 1999, California // *Russian Journal of Earth Sciences*. October 2004. V.6. N 5. P. 339-354.
10. Afraimovich E.L., Astafieva E.I., Kirushkin V.V. Localization of the source of ionospheric disturbance generated during an earthquake // *International Journal Of Geomagnetism and Aeronomy*, 2006, 6(2), doi:10.1029/2004GI000092.
11. Afraimovich E.L., Feng D., Kiryushkin V.V., Astafyeva E.I., Jin S.G., Sankov V.A. TEC response to the 2008 Wenchuan earthquake in comparison with other strong earthquakes // *International Journal of Remote Sensing*, 2009, v.30 (in press).
12. Astafyeva E.I. and Afraimovich E.L. Long-distance propagation of traveling ionospheric disturbances caused by the great Sumatra-Andaman earthquake on 26 December 2004 // *Earth, Planets and Space*, 2006, 58 (8), 1025-1031.
13. Heki K. and Ping J., Directivity and apparent velocity of the coseismic ionospheric disturbances observed with a dense GPS array // *Earth Planet Sci. Lett.*, 2005, 236, 845-855
14. Astafyeva E. and Heki K. Dependence of waveform of near-field coseismic ionospheric disturbances on focal mechanisms // *Earth, Planets, Space*, 2009, V. 61, P. 939-943.
15. Astafyeva E., Heki K., Afraimovich E., Kiryushkin V., Shalimov S., Two-mode long-distance propagation of coseismic ionosphere disturbances // *J. Geophys. Research - Space Physics*, 2009, V. 114, A10307, doi:10.1029/2008JA013853.