

**Опыт применения и
особенности поведения
кинематического предвестника
ТАУ в сейсмоопасных зонах
Камчатки и Кавказа**

Славина Л.Б., Кучай М.С.,

Лиходеев Д.В., Мячкин В.В.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Мониторинг параметра τ в Камчатской фокальной зоне осуществляется в двух модификациях:

- Расчет прогностических кривых $\chi(t)$ в режиме близком к реальному времени по данным сейсмических станций Камчатки
- Картирование прогностического параметра $\Sigma\Delta\tau/n$ по площади и слежение за изменением аномальных областей во времени
- Анализ поведения параметров и сопоставление с сейсмической активностью в регионе

Методические особенности использования параметра τ в качестве предвестника

- В основе методики лежит предположение о том, что под воздействием роста поля напряжений среда теряет устойчивость, и это отражается в увеличении разброса значений времен пробега Р- и S- волн и их отношения от слабых близких землетрясений.
- Методика обнаружения предвестника построена на изучении флуктуаций дисперсии параметра τ в пространстве и времени, выявлении экстремальных отклонений параметра относительно средней величины, характерной для данной станции и сейсмоактивной зоны в “спокойные” интервалы времени.
- Наблюдая вариации отклонения параметра от долговременного среднего, можно выявить интервал времени, где значения флуктуаций максимальны, а также оконтурить область их локализации в пространстве, в сейсмофокальной зоне.

Формулы расчёта прогностического параметра TAU (τ)

- $\tau = (T_{S-P}) / (T_P - T_0) + 1$

- $\Delta\tau = \tau_i - \tau_{\text{ср}}$ долговременное

Расчет краткосрочного предвестника

«TAU curve»

- $\chi = F(\sum\Delta\tau_{\text{min}}) + F(\sum\Delta\tau_{\text{max}})$

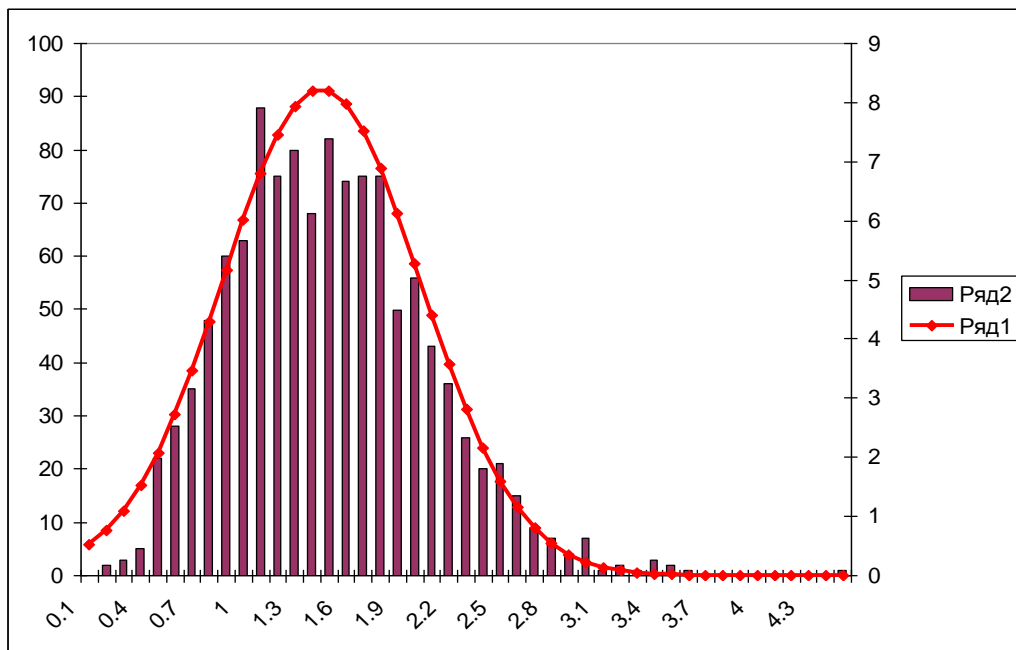
- $\Delta\tau_{\text{max}} = \tau_{\text{max}} - \tau_{\text{ср}}$, $\Delta\tau_{\text{min}} = \tau_{\text{min}} - \tau_{\text{ср}}$

где: $F(x) = 1000 \cdot \sigma^2 \cdot x^2$ при $x > \sigma$; $F(x) = 1000 \cdot x^4$ при $x < \sigma$

Долгосрочный предвестник - картирование параметра

$\Sigma\Delta\tau/n$ - в ячейках по площади

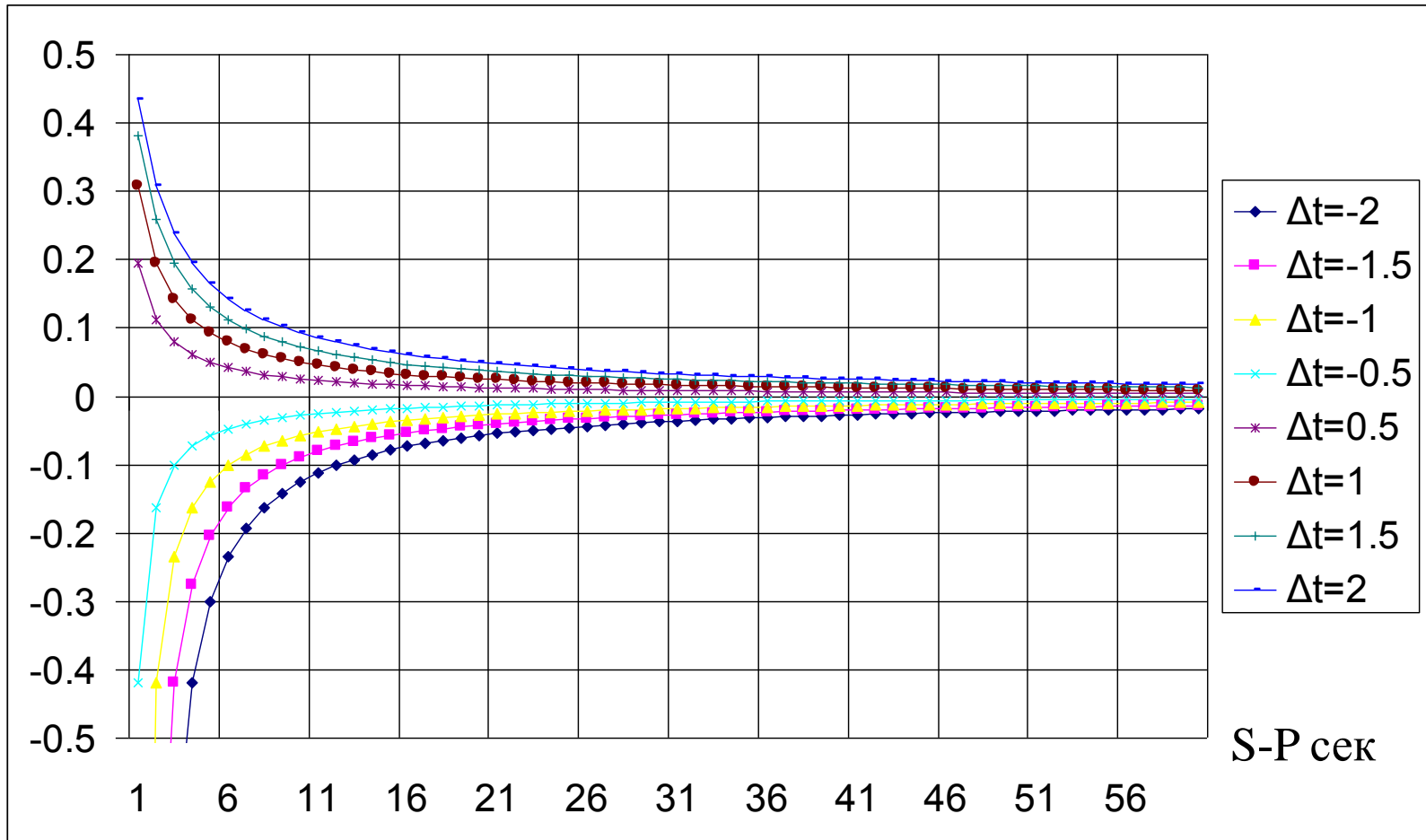
График распределения ошибок в То имевших место при определении параметров гипоцентров землетрясений 2012г по данным КФ ГС.
(сплошная кривая - нормальное распределение Гаусса)



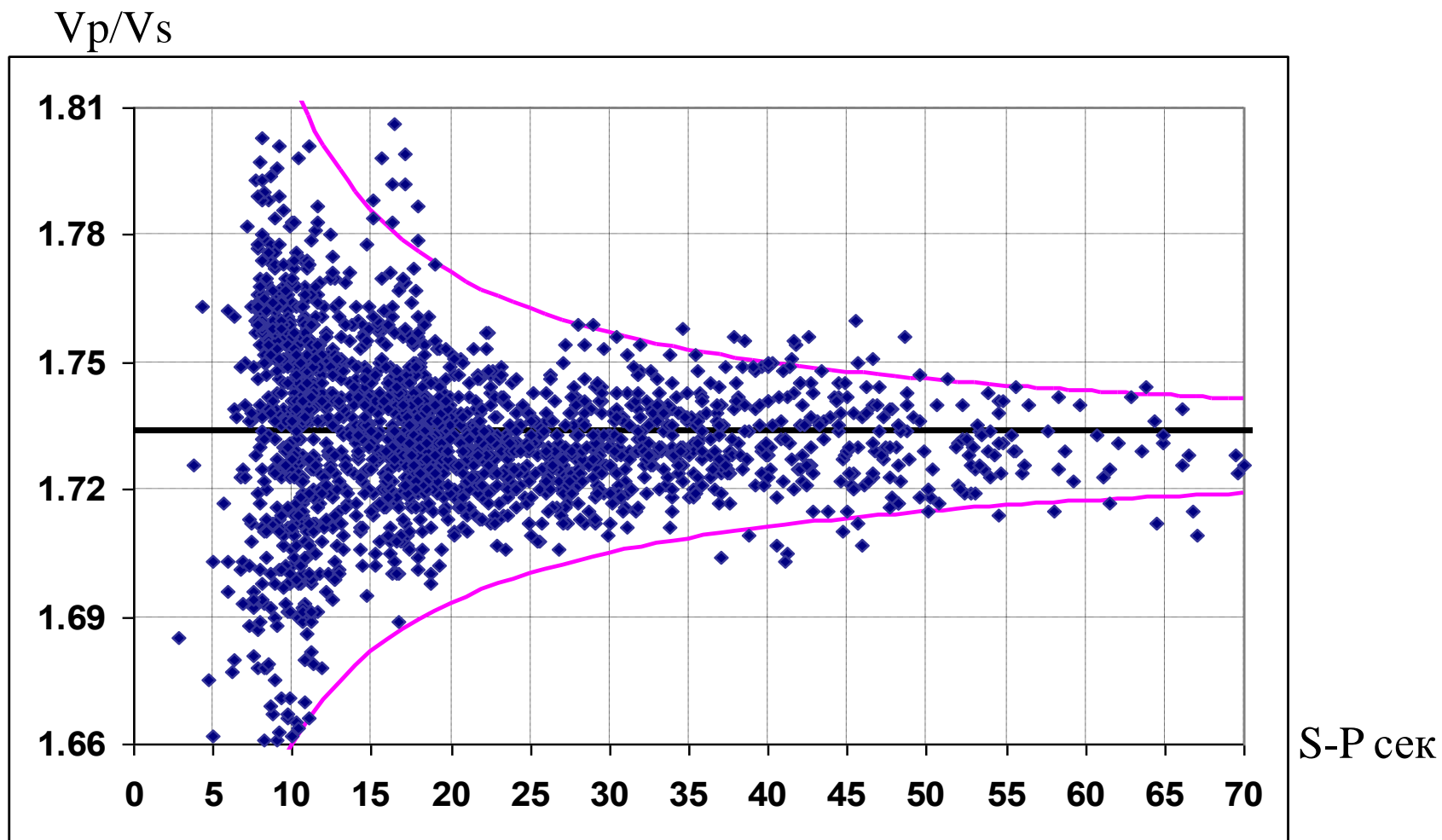
Среднее	1.45672584
Стандартная ошибка	0.01672103
Медиана	1.415175
Мода	1.46864
Стандартное отклонение	0.5763301
Дисперсия выборки	0.33215638
Эксцесс	0.66252275
Асимметричность	0.58349244
Интервал	4.372356
Минимум	0.112244
Максимум	4.4846
Сумма	1730.5903
Счет	1188
Уровень надежности(95,0%)	0.03280603

Теоретические отклонения вычисляемого V_p/V_s ,
при различных ошибках в определении T_0

$\Delta V_p/V_s$



Распределение V_p/V_s от S-P для станции
Русская 01.01.2009-31.08.2009 (точки),
линии – теоретические значение вычисляемого V_p/V_s ,
при ошибках в определении $T_0 = \pm 1.46$ сек.

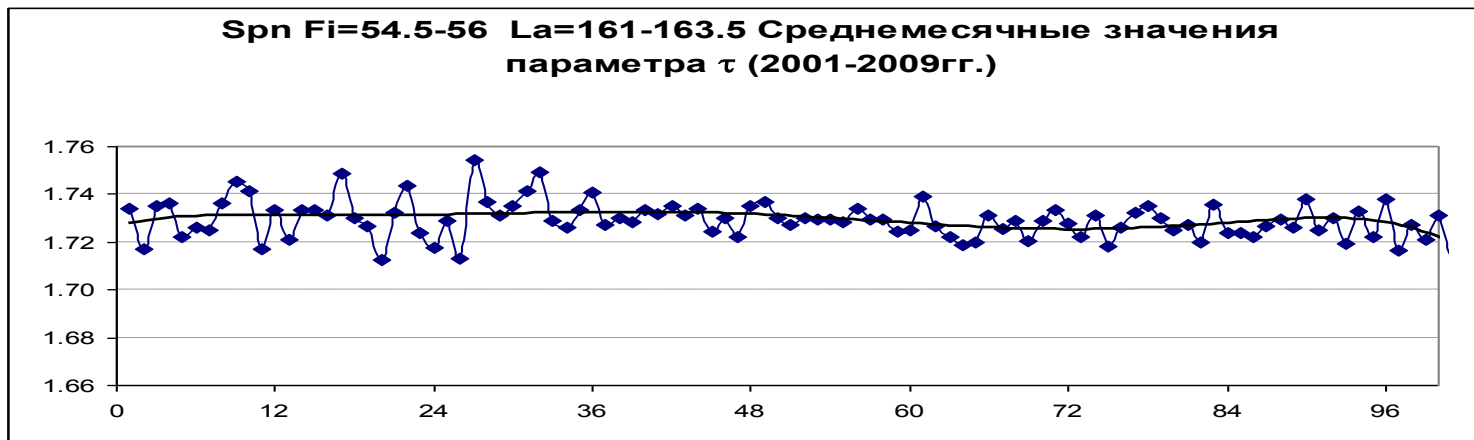


Средние за месяц значения параметра τ в 2001- 2009 гг. в различных зонах: в – Кроноцкий залив; г – Камчатский залив

В



Г



PET 2012 K>=8.5

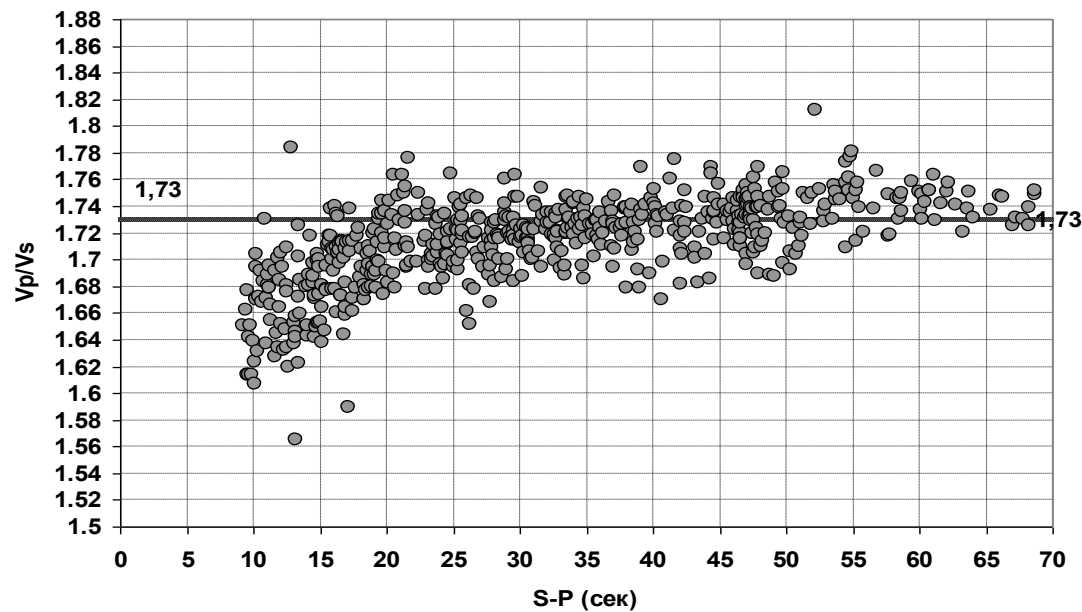
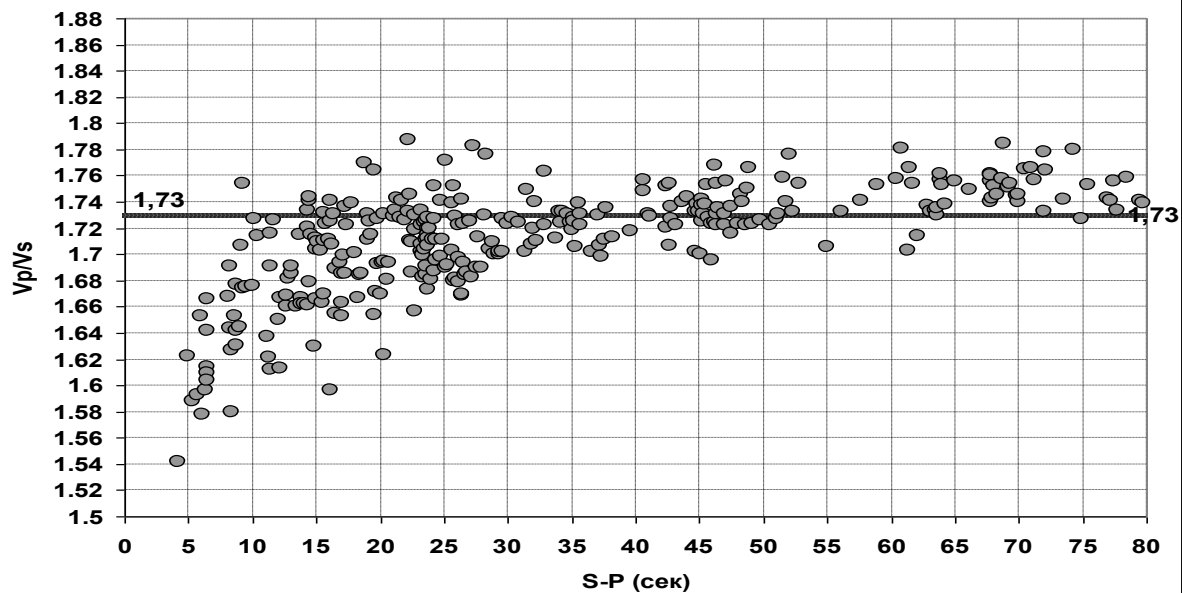


График распределения V_p/V_s
от S-P по станциям МКЗ и
РЕТ 2012 г.

МКЗ 2012 K>=8.5



Алгоритм определения T_0

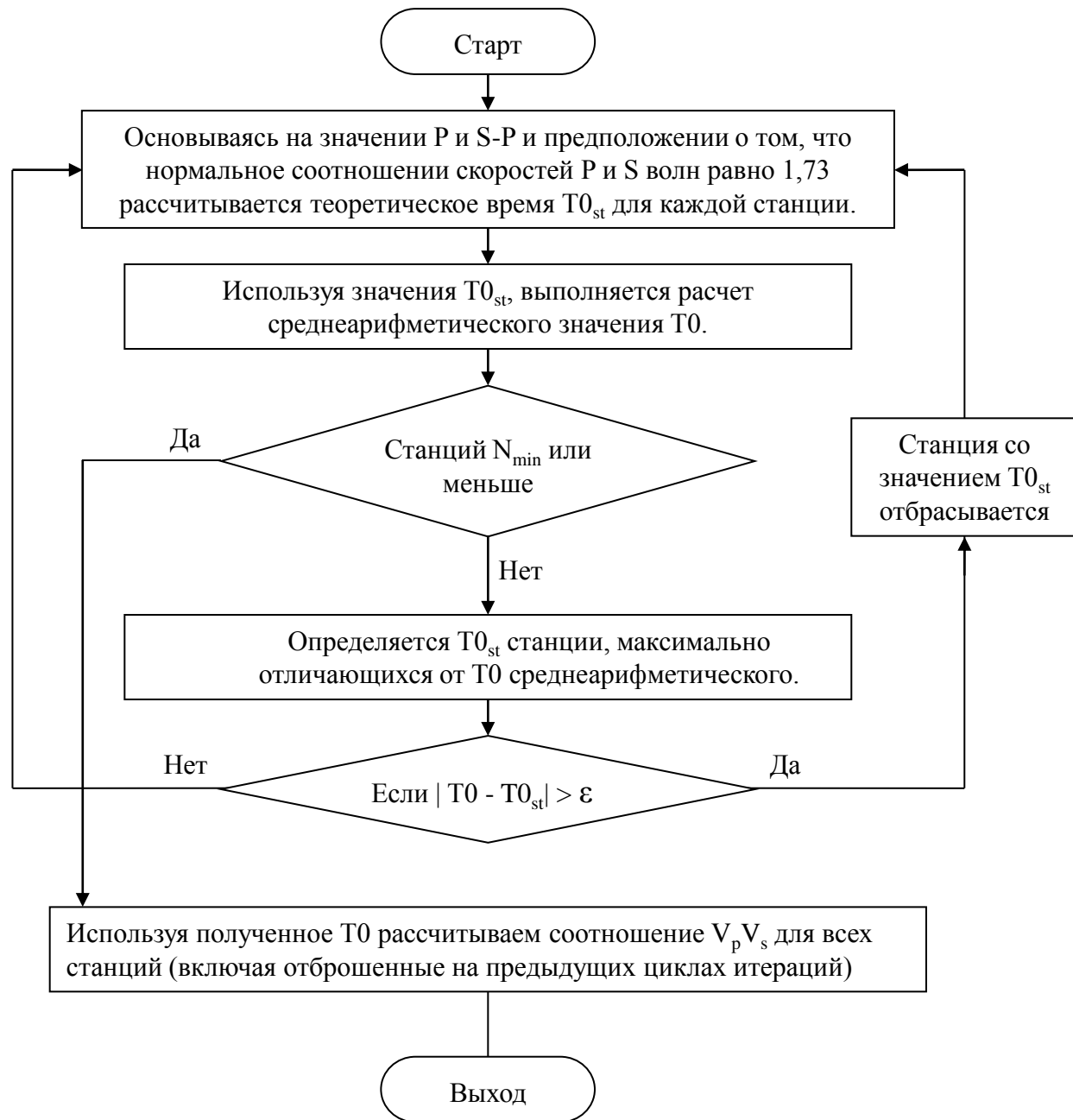
Алгоритм определяет время в очаге и соотношение скоростей P и S волн (V_pV_s), используя в качестве исходных данных время прихода P волны (P) и разницы между временами прихода S и P волн ($S-P$). Алгоритм основан на предположении что нормальное соотношение скоростей P и S составляет 1,73.

На первом этапе задается значение ε в секундах, определяющее максимально допустимое отклонение значения T_{0st} станции, от среднего арифметического T_0 всех станций, в настоящее время используется значение 0,5 секунд. Так же задается N_{min} – минимальное количество станций для расчета окончательного значения T_0 , в настоящее время используется значение - 2 станции.

Порядок расчета:

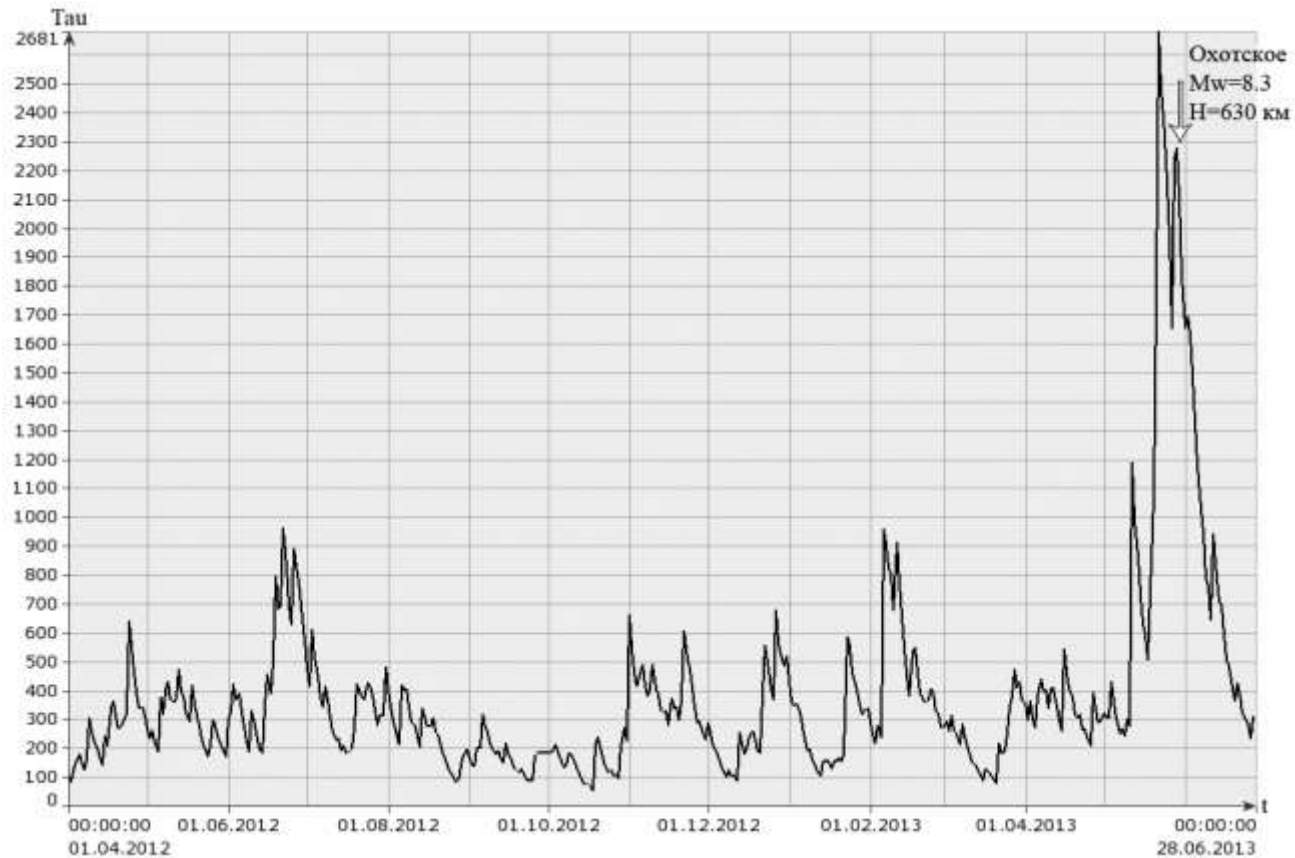
1. Основываясь на значении P и $S-P$ и предположении о том, что нормальное соотношение скоростей P и S волн равно 1,73 рассчитывается теоретическое время T_{0st} для каждой станции.
2. На основании T_{0st} для каждой станции выполняется расчет среднеарифметического значения T_0 .
3. Если станций N_{min} или меньше, то переходим к пункту 6.
4. Определяется T_{0st} станции максимально отличающееся от T_0 среднеарифметического.
5. Если $|T_0 - T_{0st}| > \varepsilon$, то станция со значением T_{0st} отбрасывается, переходим к пункту 1 с оставшимися станциями.
6. Используя полученное T_0 рассчитываем соотношение V_pV_s для всех станций (включая «отброшенные» на предыдущих циклах итераций).

Блок схема алгоритма определения T_0



Прогностическая кривая по параметру ТАУ станций Налычево-Дальнее (NLC-DAL)

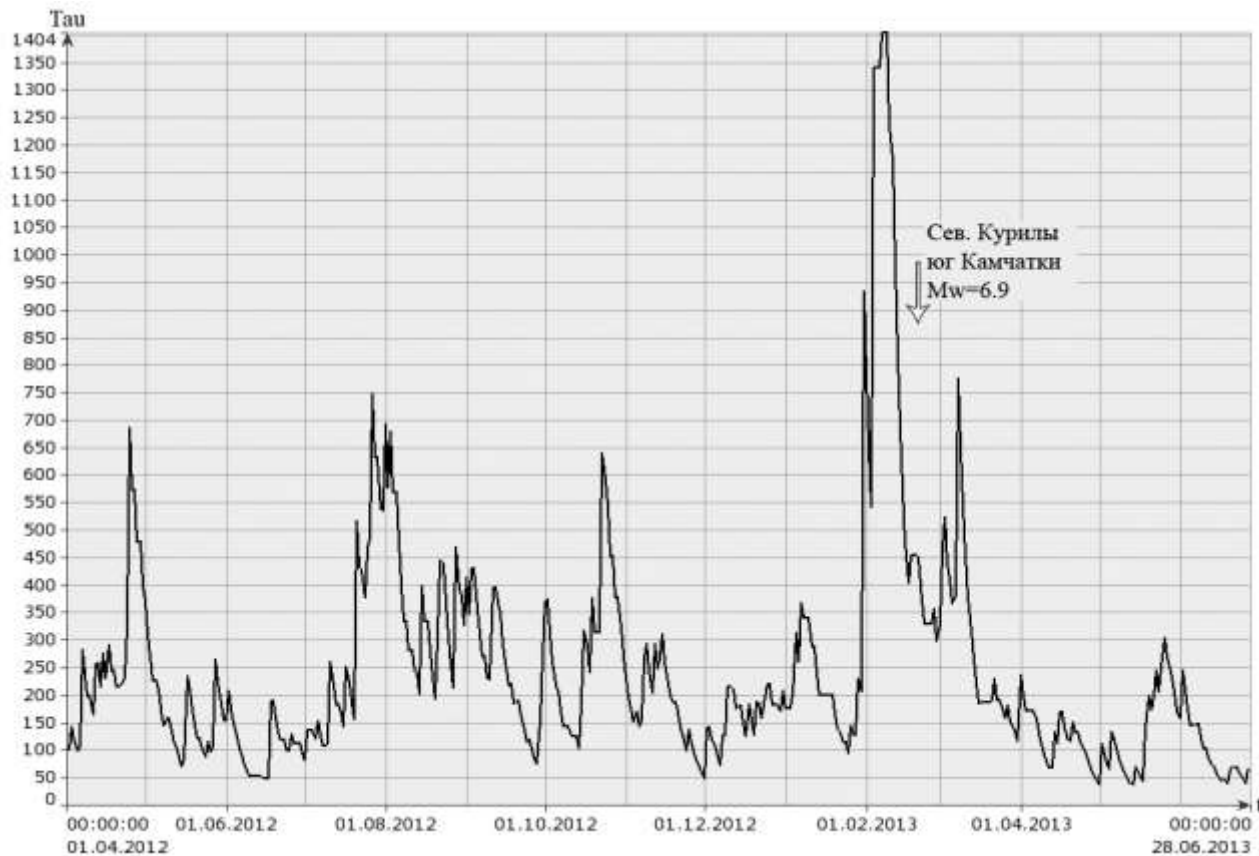
Наблюдается аномалия значительно превышающая уровень фона,
предварявшая сильное Охотское землетрясение 24.05.2013г.



Прогностическая кривая по параметру TAU станция Северо Курильск (SKR)

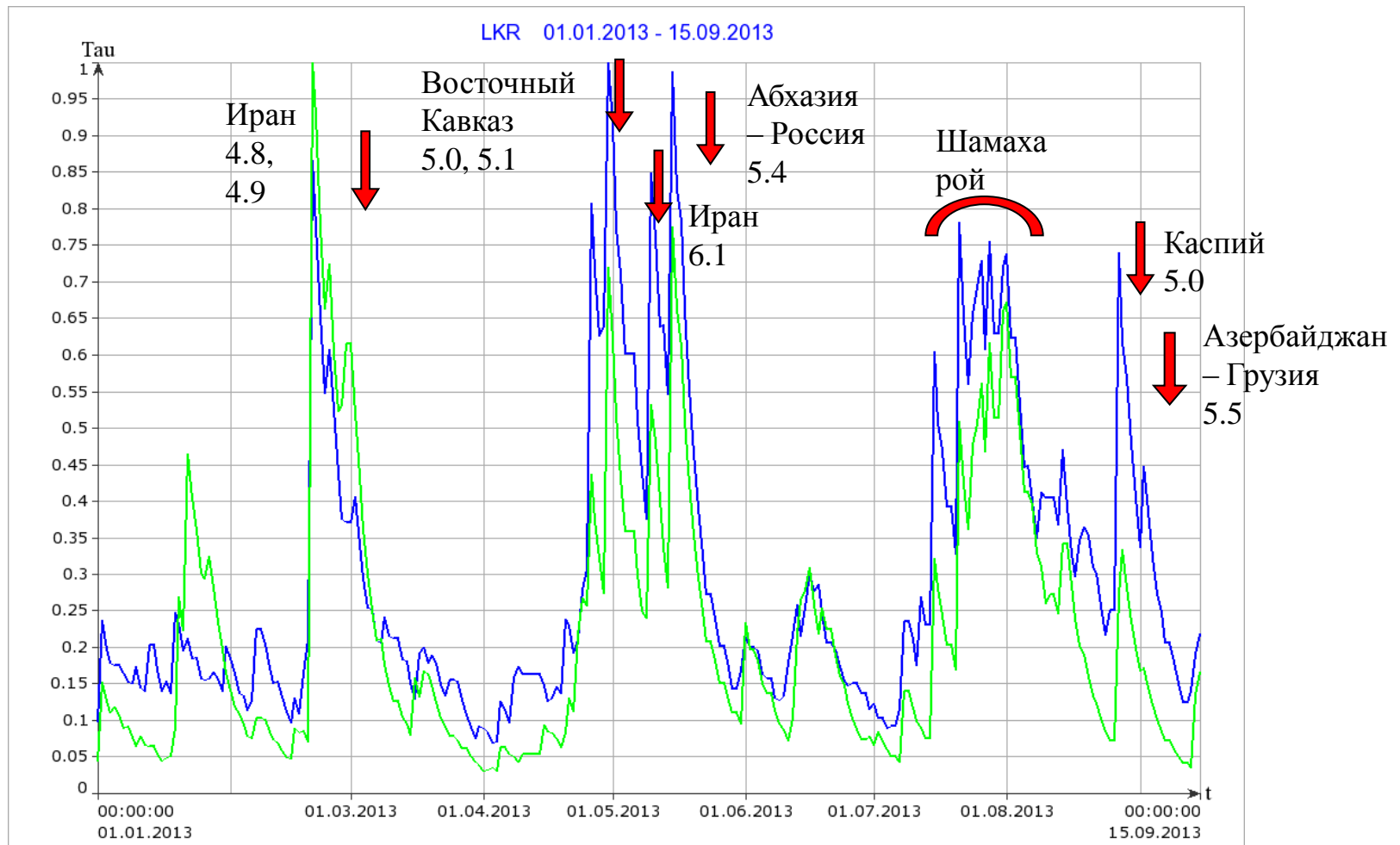
Наблюдается аномалия значительно превышающая уровень фона,
предварявшая сильное землетрясение 28.02.2013г.

$M_w = 6.9$



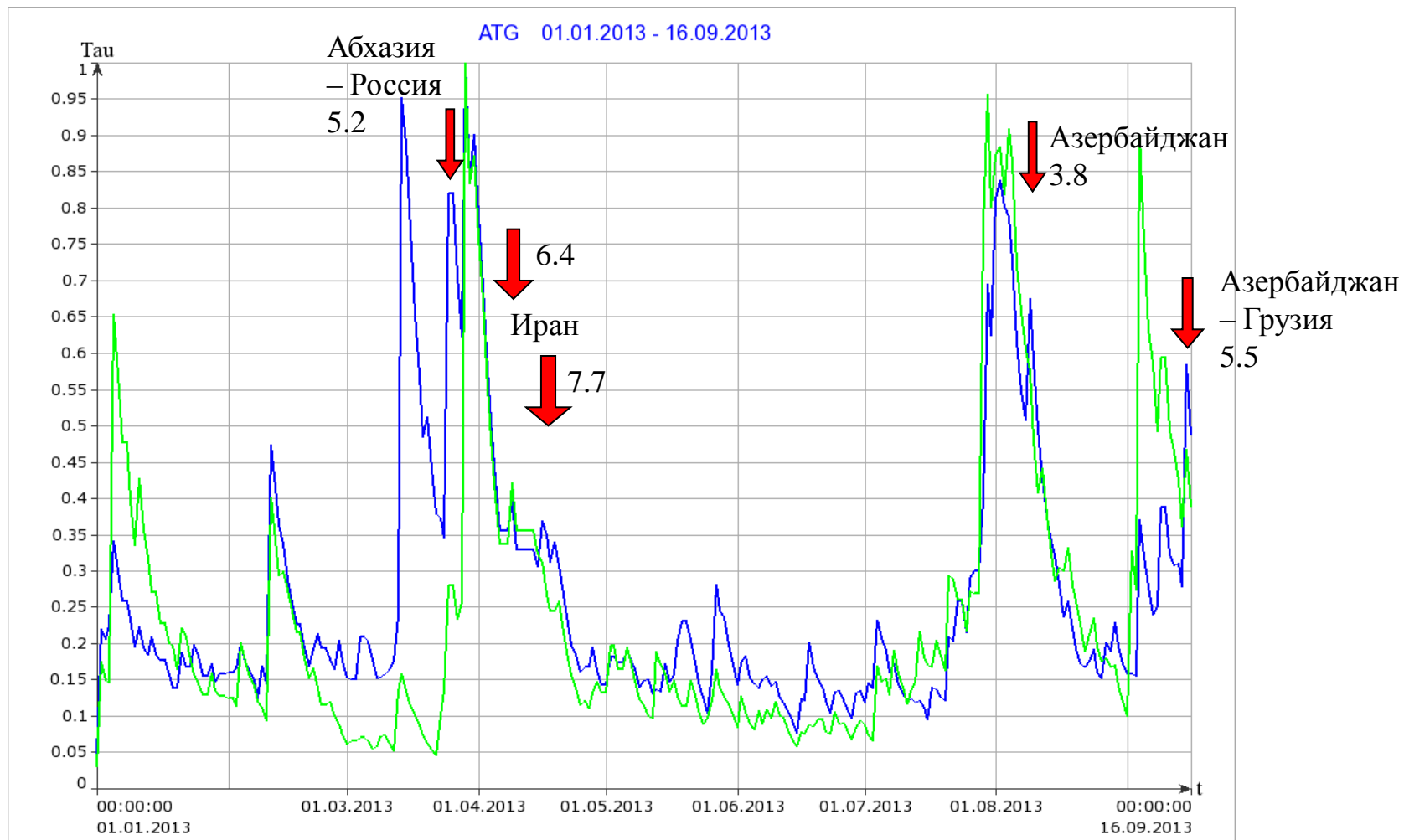
Прогностическая кривая параметра TAU по станции LKR (Азербайджан) за период 01.01.-15.09.2013г.

(синяя - То при определении параметров гипоцентров в РЦСС Азкрбайджана; зеленая – по методу «skript»
стрелками показаны моменты землетрясений, район и магнитуда.

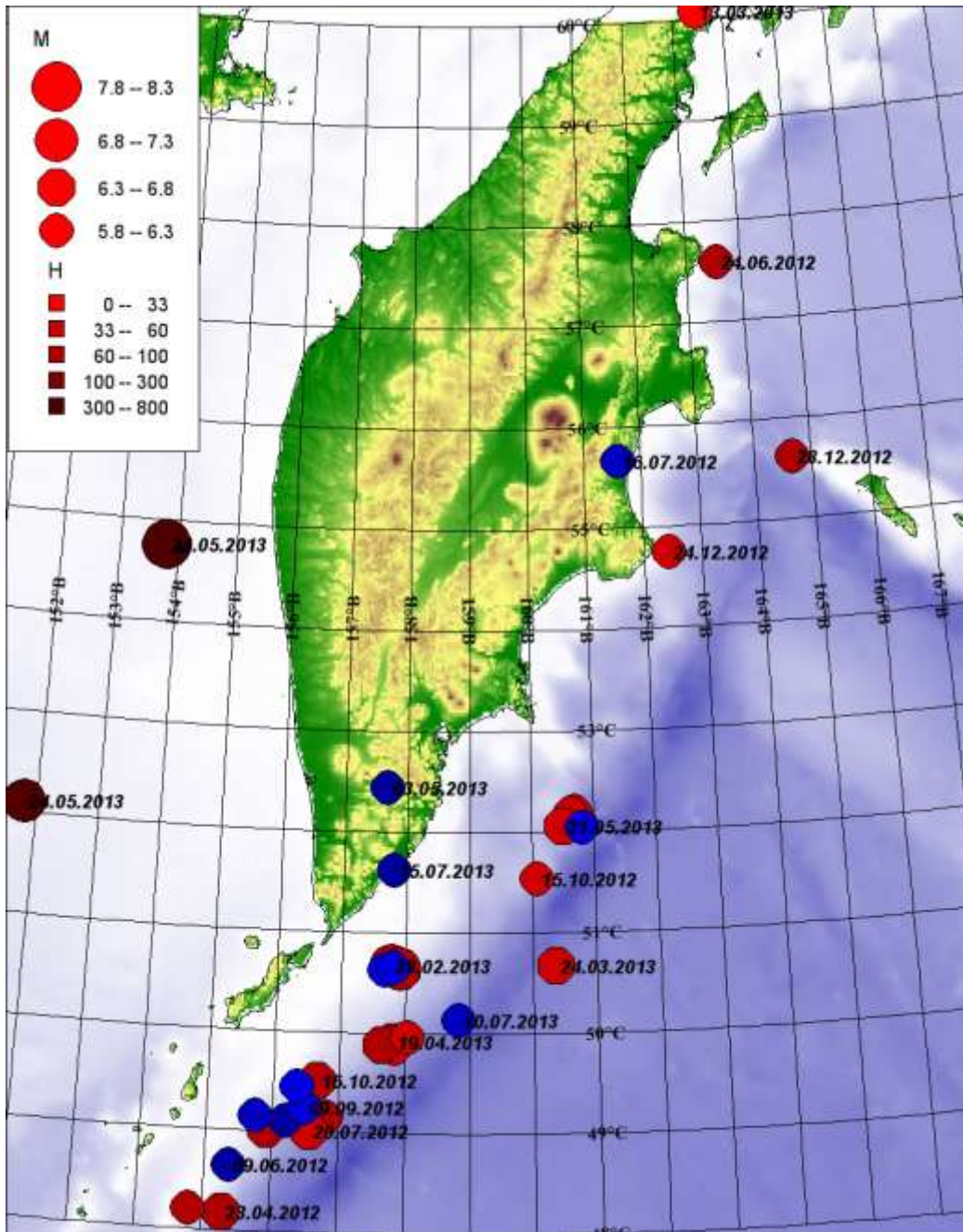


Прогностическая кривая параметра TAU по станции ATG (Азербайджан) за период 01.01.-15.09.2013г.

(синяя при T_0 по программе определения параметров гипоцентров в РЦСС Азкрбайджана; зеленая – по методу skript



Землетрясения с $M > 5.5$ произошедшие в период 2012- 20.09.2013г.



Красным цветом показаны
предварявшиеся аномалиями
ТАУ, синим – без аномалий

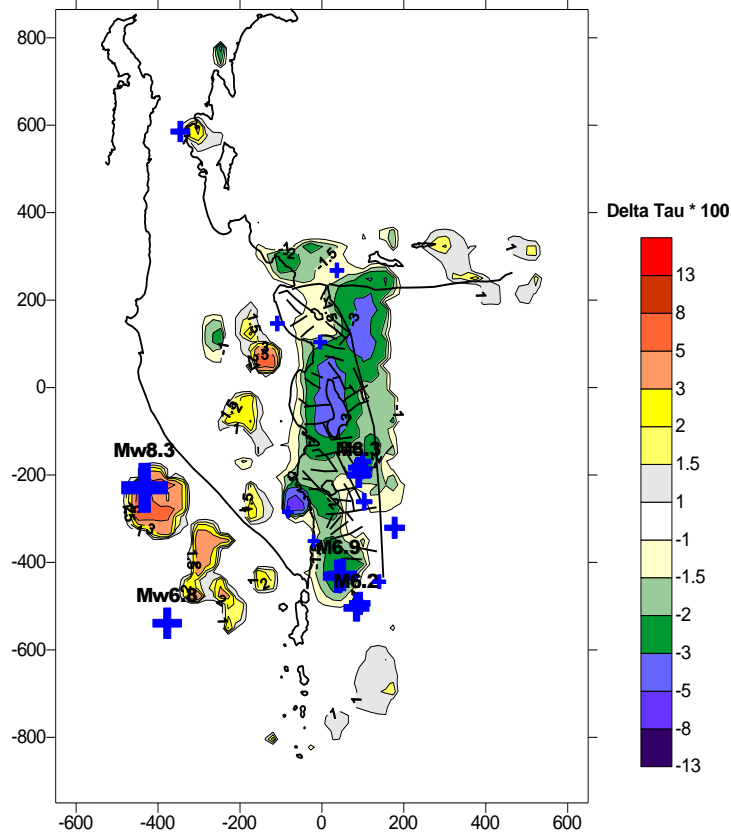
Использование параметра TAU в
модификации долгосрочного
предвестника
Картирование по площади и
слежение во времени

Картирование долгосрочного параметра delta TAU при использовании программы « all station» в фокальной зоне Камчатки :

Северные Курилы – Камчатский п-ов – о. Беринг

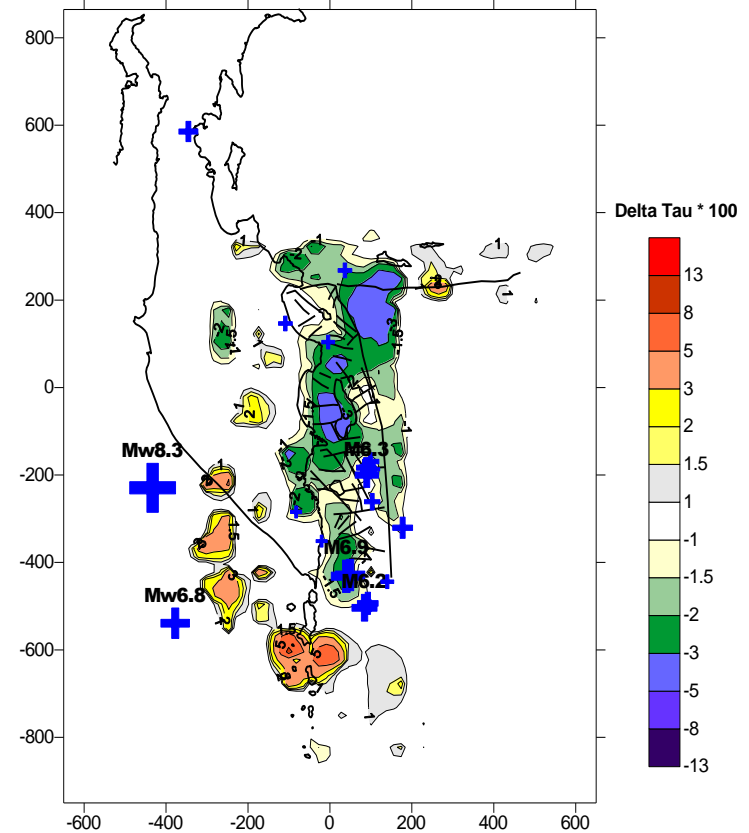
Можно видеть аномальные зоны низких и высоких значений delta TAU, их изменение во времени (крестами показаны сильные землетрясения).

2011-2013гг



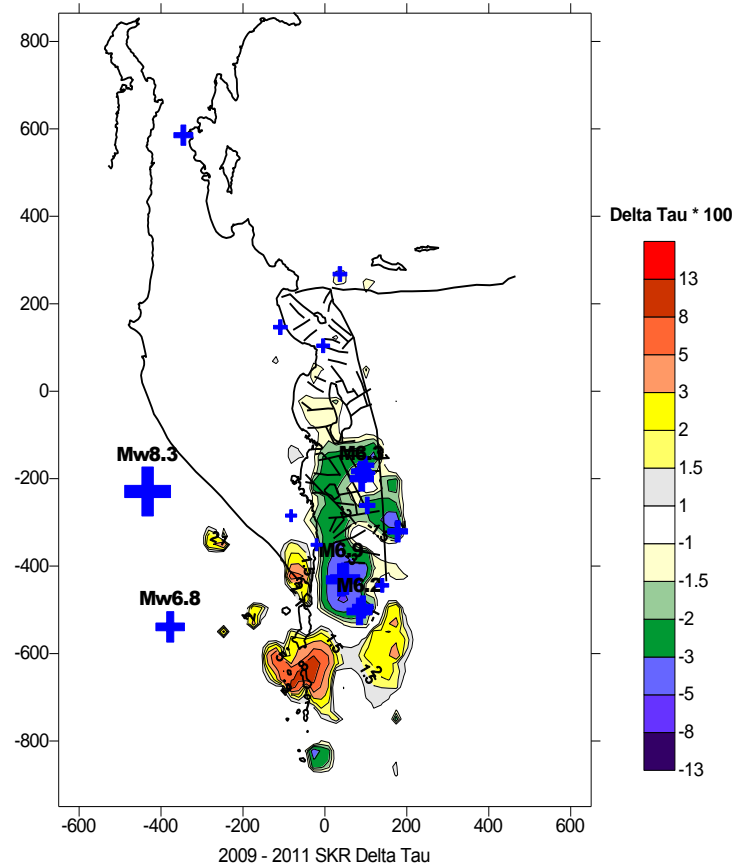
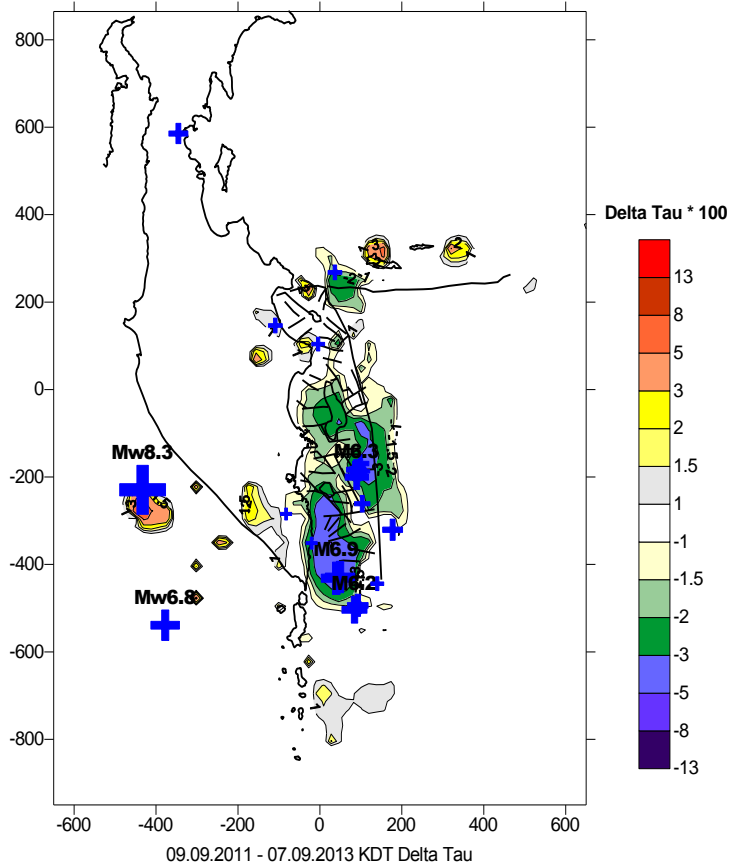
2011 - 07.09.2013 все станции Delta Tau

2009-2011гг

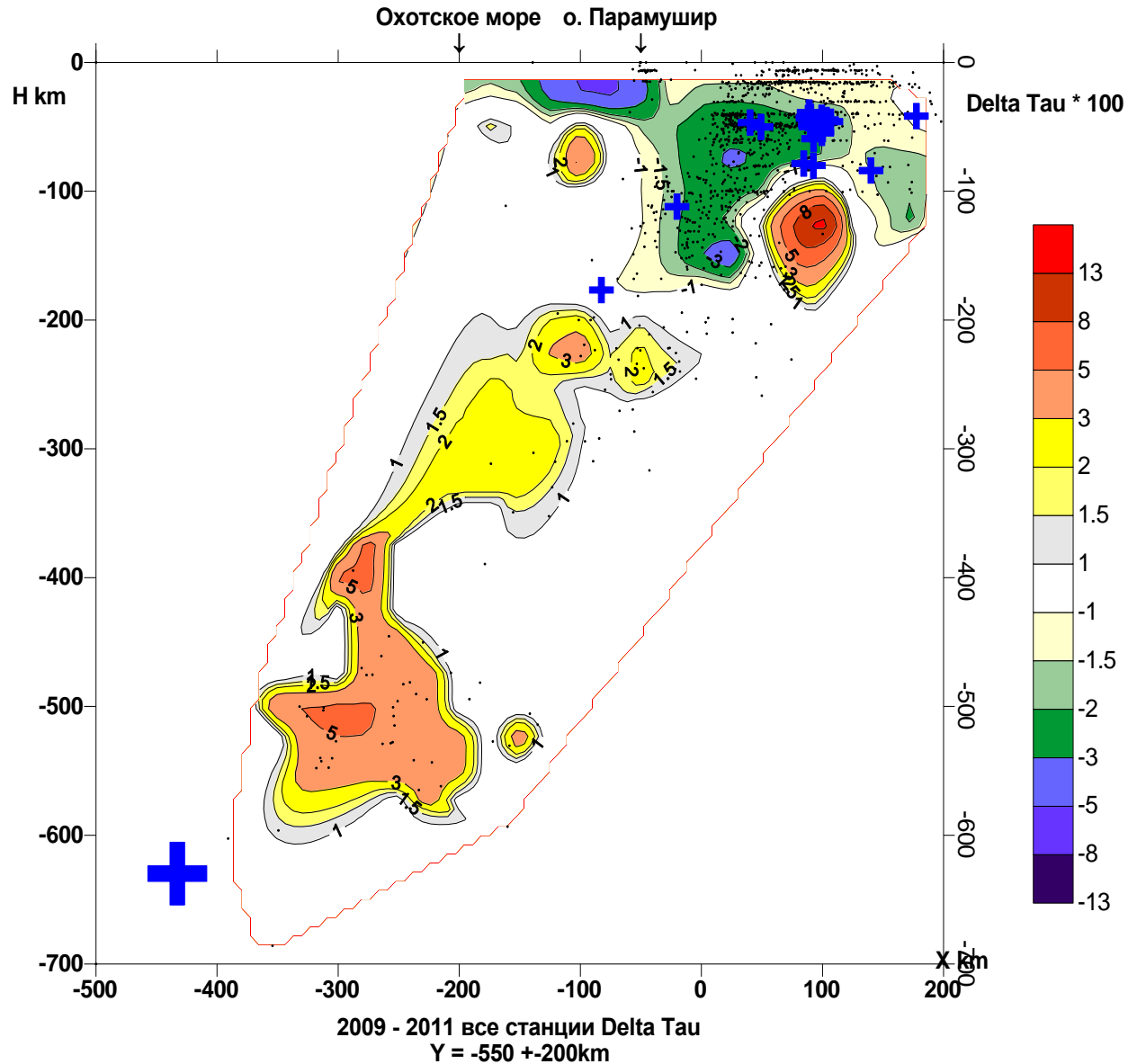


2009 - 2011 все станции Delta Tau

Картирование параметра delta TAU по площади для юг Камчатки по данным станций Ходутка (KDT) и Северо Курильск (SKR).
(крестами показаны эпицентры сильных землетрясений)
09.09.2011-07.09.2013гг. 2009-07.09.2013гг

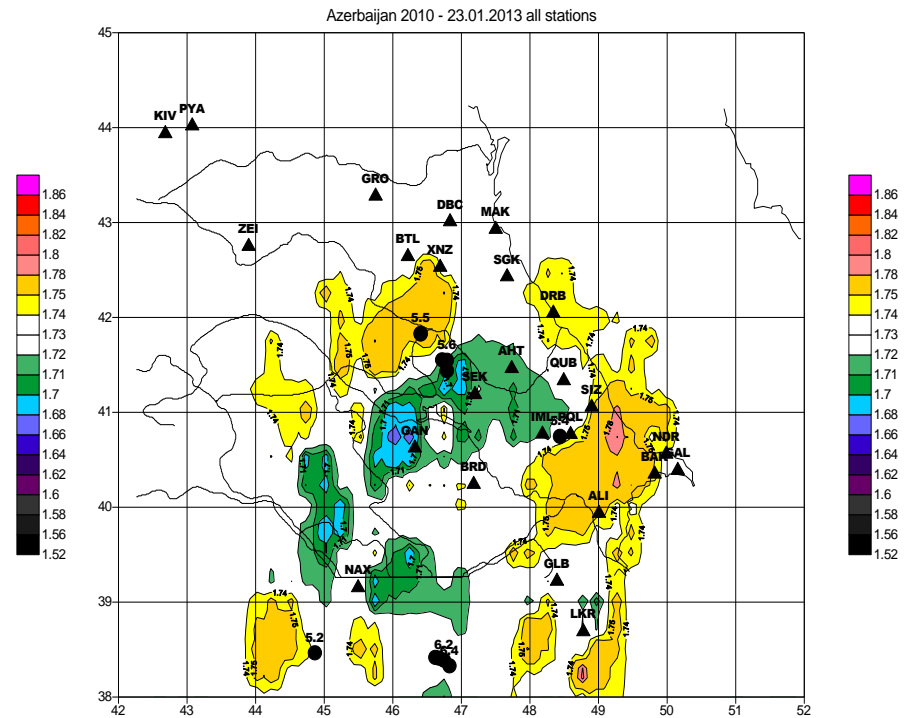
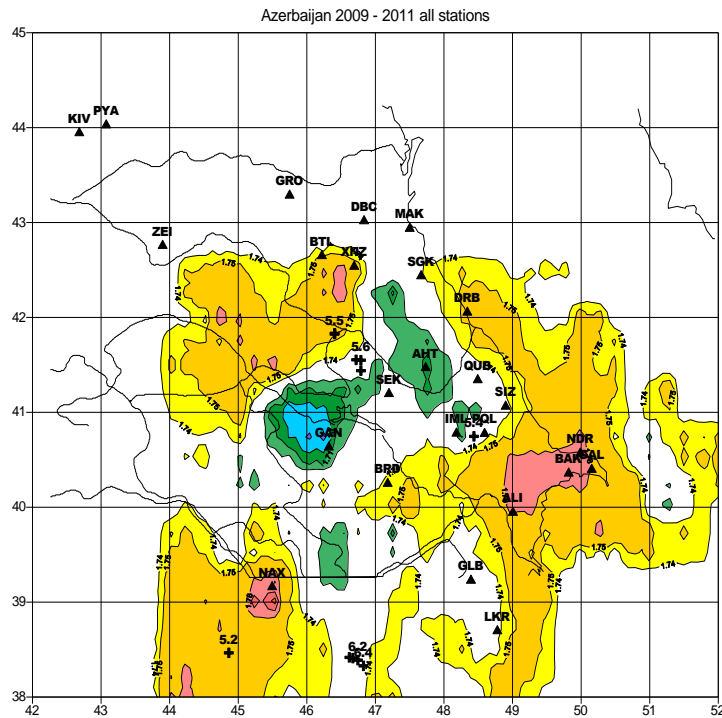


Разрез поля параметра delta TAU вкрест фокальной зоны в районе:
юг Камчатки – о. Парамушир – Охотское море
2009-2011 гг.



Картирование параметра ТАУ на Кавказе по данным Азербайджанской сети станций

Видны аномалии пониженных и повышенных значений параметра в
области подготовки Закавказско - Белоканских землетрясений в мае –
октябре 2012г, $M=5.5-5.6$ и на юге, в районе Иранских
землетрясений $M=6.2-6.4$ в 2012г
2009-2011гг 2010-2012гг



Результаты картирования параметра ТАУ в
областях активного вулканизма для
мониторинга сейсмичности при
подготовке извержений вулканов

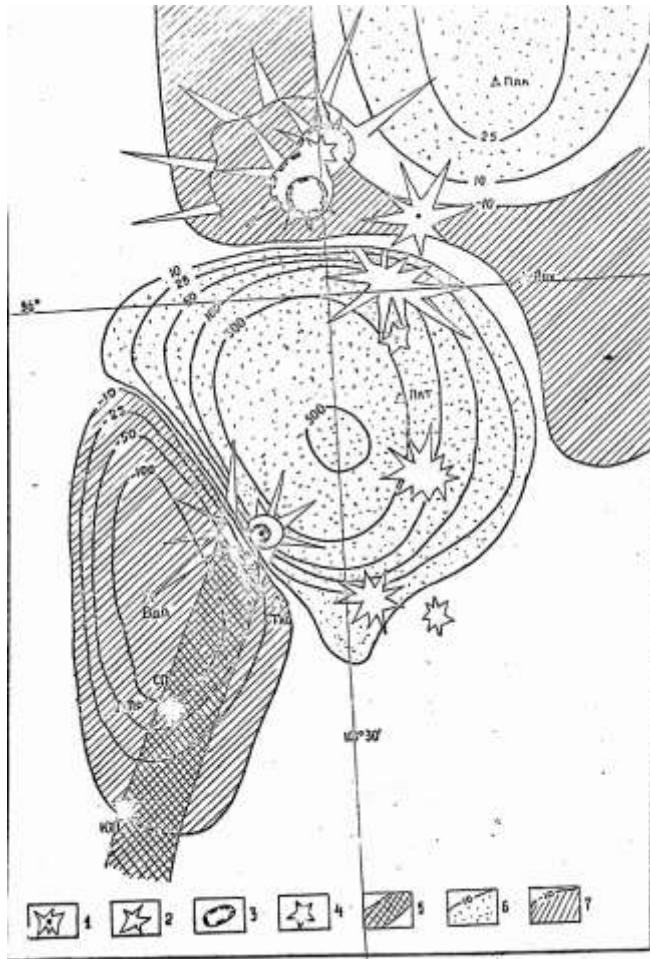
Мониторинг параметра TAU в период БТТИ в 1975г.

Можно видеть расположение аномалий повышенных и пониженных значений поля параметра.

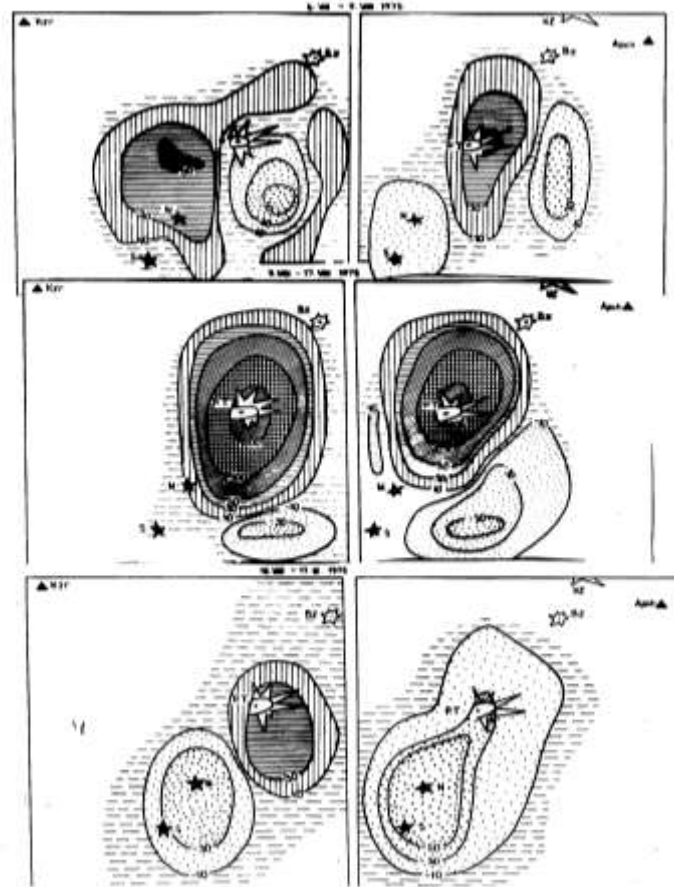
а) вулкан Плоский Толбачик, в момент **обрушения** кратера, приурочен к зоне градиентов смены знака аномалий delta TAU;

СП и ЮП, питающая трещина в зоне отрицательных значений.

б) ст Апахончич и Козыревск

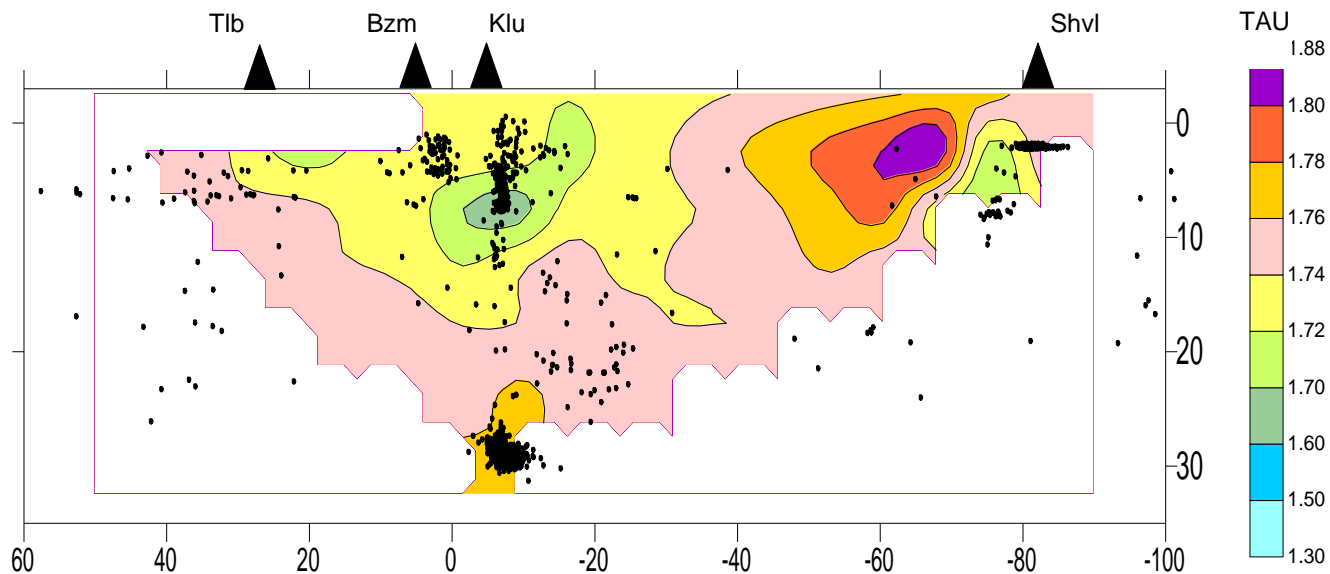


Monitoring of parameter tau during Large Tolbachik Fissure Eruption



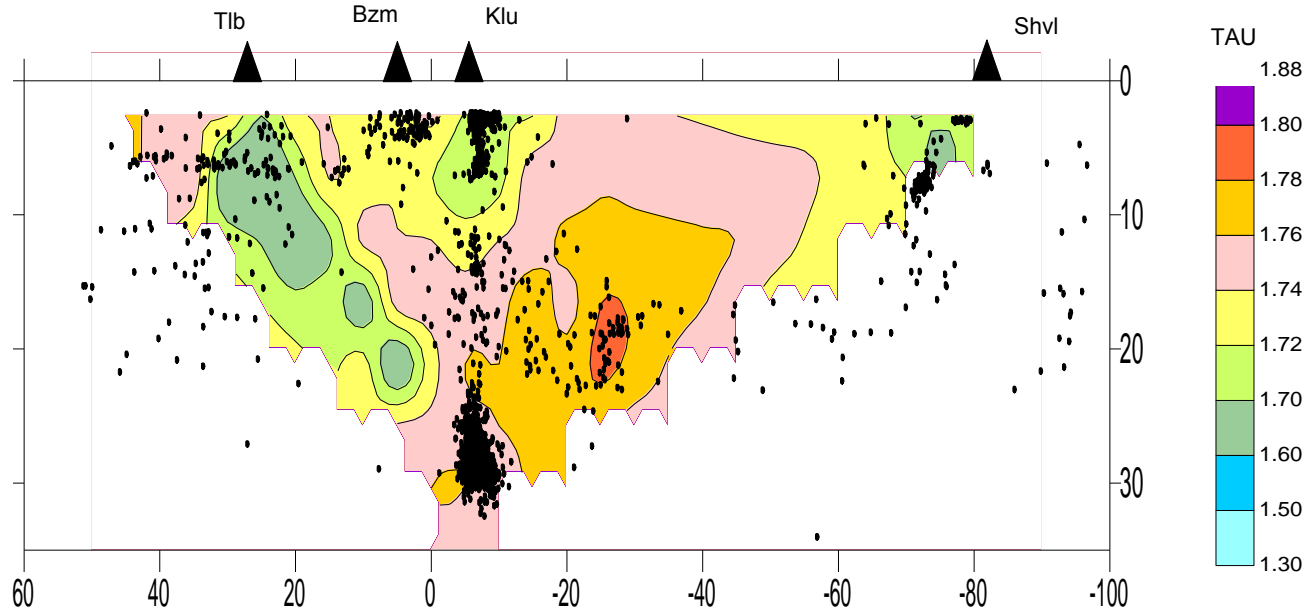
**Вертикальный разрез поля параметра TAU в плоскости XZ ,
вдоль Северной группы вулканов в период
01.12.2007-01.06.2008 гг.**

Наблюдаются низкие значения в области периферического очага
Ключевского вулкана на глубинах 3-8 км; градиентное поле
отрицательных и положительных аномалий под вулканом Шивелуч
предварявших активность вулкана Шивелуч наблюдавшуюся октябрь -
декабрь 2008г



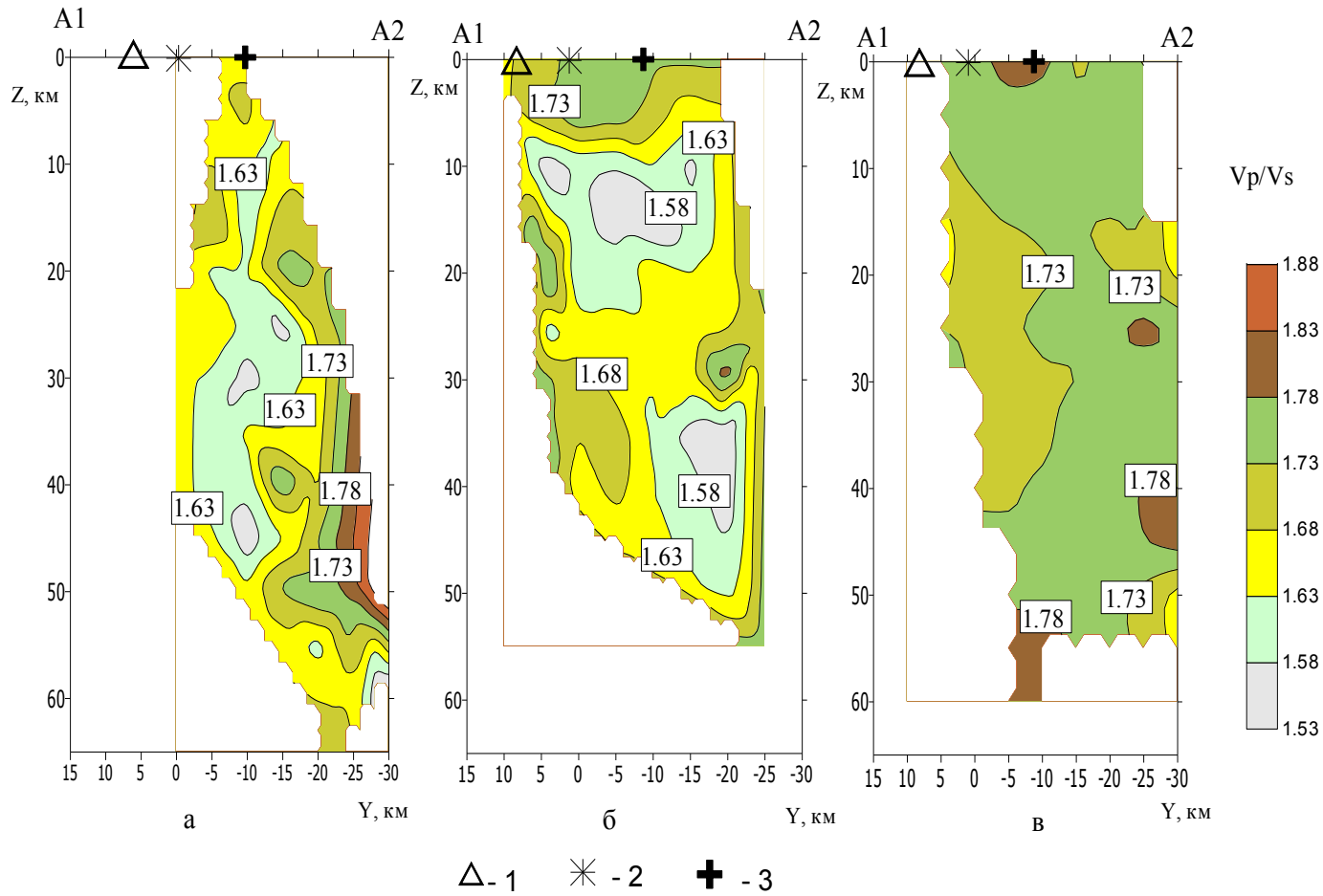
Вертикальный разрез поля параметра TAU в плоскости XZ , вдоль Северной группы вулканов в период 01.12.2008- 30.04.2010гг

В районе вулкана Плоский Толбачик можно видеть сейсмическую активизацию, давшую отрицательную аномалию параметра. Аномалия наклонно вытянута по глубине в направлении промежуточного очага Ключевского вулкана - области питания вулканов Северной группы



Вертикальные сечения поля отношения скоростей V_p/V_s

в Карымском вулканическом центре в 1996г., в период развития фреато магматического извержения и сильного землетрясения его предварявшего. Можно видеть изменения поля в период развития процесса во времени от а) 01.01.1996г (землетрясение $M7.0$); б) 02.01 - начало извержения, видно разделение поля, с образованием области пониженных значений под кальдерой АН на глубинах 5 - 10км; в) 03.01-20.02.1996 г. - затухание процесса.



а – 1 января 1996 г.; б – 2 января 1996 г.; в – 3 января – 20 февраля 1996 г. n1 сейсмостанция KRY; 2 кальдера вулкана Академии Наук АН; 3 эпицентр землетрясения 01.01.1996 г.(M 7.0)

График зависимости V_p/V_s от параметра трещиноватости
(Гарагаш И.А.)



ВЫВОДЫ

- **Кинематический метод прогноза сильных землетрясений основан на наблюдениях за изменениями времен пробега продольных Р- и поперечных S- волн и их отношений (параметра ТАU) от локальных землетрясений, зарегистрированных региональной сетью . Предвестник используется для выявления потенциально опасных областей (в долгосрочном варианте) и опасного временного интервала (в краткосрочном варианте)**
- **Анализ последовательного ряда карт позволяет выявить и оконтурить аномальные и градиентные области и проследить развитие их во времени.**
- **В краткосрочном варианте по кинематическому предвестнику можно выделить тревожный интервал времени. По сопоставлению аномалий на прогностических кривых на ряде сейсмических станций оценить возможный район возникновения землетрясения. Учитывая ретроспективные результаты прогнозирования можно указать вероятный в той или иной степени диапазон магнитуд.**
- **Накопленный опыт мониторинга в режиме близком к реальному времени и прогнозирования землетрясений и извержений вулканов на средне- и долгосрочном уровне на Камчатке и Кавказе вселяет оптимизм.**
- **Нет сомнений, что для надежности объявления тревоги требуется анализ данных по комплексу параметров.**

Спасибо за внимание