

**Ионосферные эффекты полного  
солнечного затмения 22 июля 2009  
г. по данным плотной сети GPS в  
Японии (GEONET)**

**Афраймович Э.Л., Воейков С.В., Едемский И.К.**

**ИСЗФ СО РАН, Иркутск, 664033, а/я 291**

**e-mail: [serg3108@iszf.irk.ru](mailto:serg3108@iszf.irk.ru)**

# Введение

Экспериментальные наблюдения за ионосферой, проводимые во время солнечных затмений (СЗ), являются источником информации о характере поведения различных ионосферных параметров.

Условно можно выделить два типа ионосферных эффектов СЗ – регулярные эффекты и волновые возмущения. Регулярный отклик выражается в увеличении действующих высот отражения, снижении концентрации в максимуме  $F$ -слоя, уменьшении полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере, что характерно для перехода к ночной ионосфере.

Несмотря на то, что регулярным эффектам СЗ посвящено множество работ, в их изучении нет полной ясности – от события к событию наблюдается большой разброс значений основных параметров, описывающих регулярный ионосферный отклик на СЗ.

## Введение

С волновыми возмущениями, сопровождающими СЗ, ситуация еще сложнее. В работе [Chimonas G., Hines C.O., JGR. V. 75, P. 875-876, 1970] была выдвинута гипотеза о том, что солнечное затмение может генерировать атмосферные гравитационные волны (АГВ) с так называемым «косым» фронтом, которые проявляются на ионосферных высотах как перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ). С тех пор было получено большое число противоречивых экспериментальных фактов по этому вопросу.

Можно констатировать, что до сих пор достоверных фактов наблюдения «косых волн» при прохождении СЗ не обнаружено.

## Введение

**В настоящей работе представлены результаты первичного анализа регулярного ионосферного эффекта полного СЗ, наблюдавшегося 22 июля 2009 г., по данным GPS.**

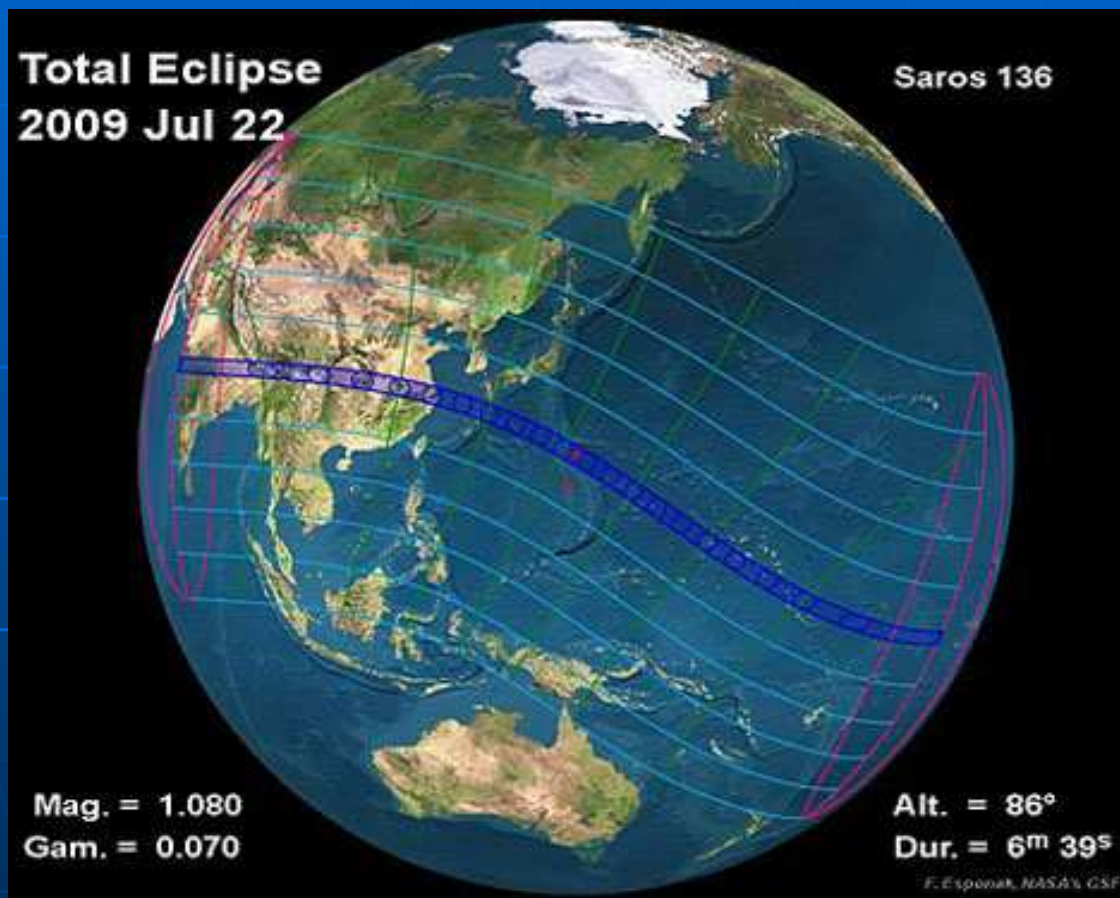
**Уникальность этого события заключается как минимум в том, что впервые полное солнечное затмение проходило в непосредственной близости от самой плотной на сегодняшний день сети приемников GPS – GEONET.**

# Обработка данных

Измерения фазы в системе GPS проводятся с высокой степенью точности. Это позволяет изучать вариации ПЭС в широком динамическом диапазоне, достигающем  $10^{-4}$  от полного суточного изменения ПЭС. Для измерения ПЭС использовалась общепринятая единица *TECU*, равная  $10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>.

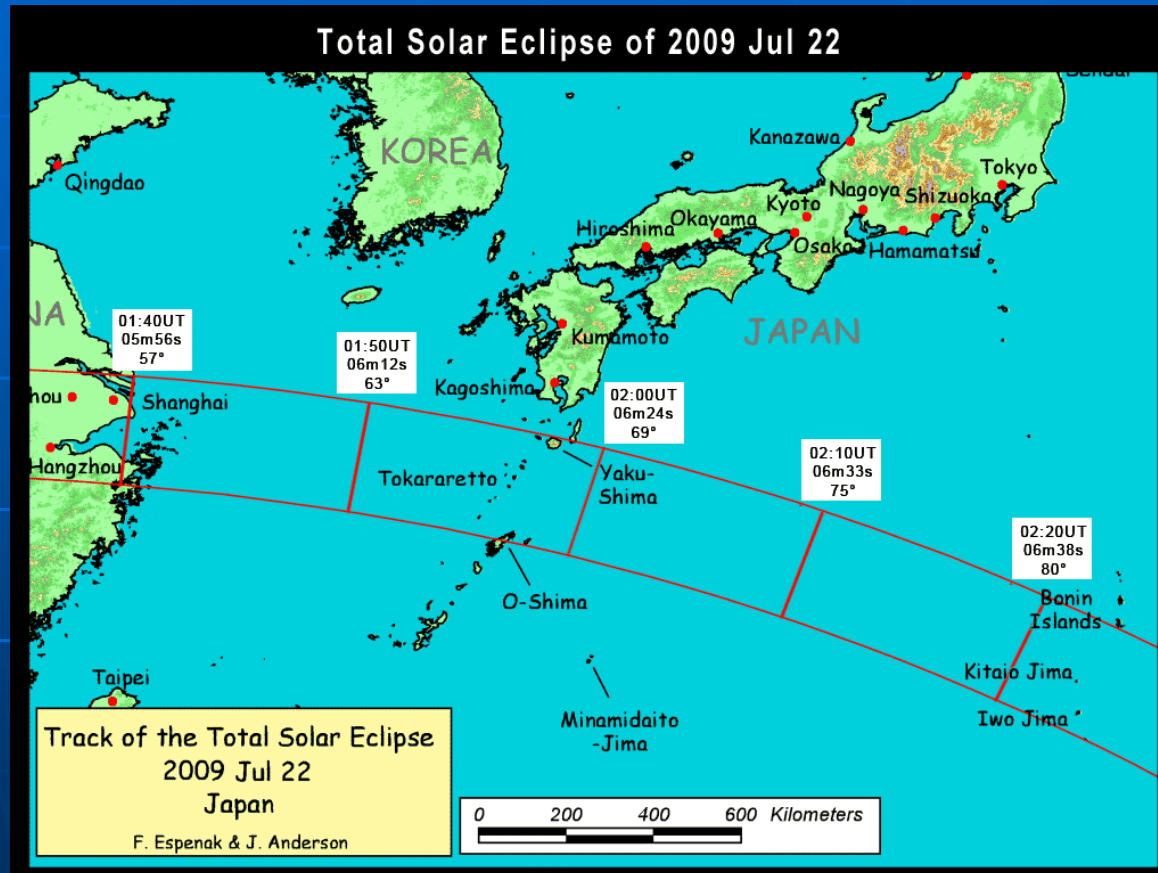
Для нормировки амплитуды отклика исходные значения "наклонного" ПЭС  $I(t)$  преобразовывались в эквивалентное "вертикальное" значение. С целью исключения регулярных вариаций ионосферы, а также трендов, обусловленных движением спутника, была использована процедура удаления тренда с предварительным сглаживанием исходного ряда с временным окном в диапазоне от 30 до 60 мин.

# Параметры затмения



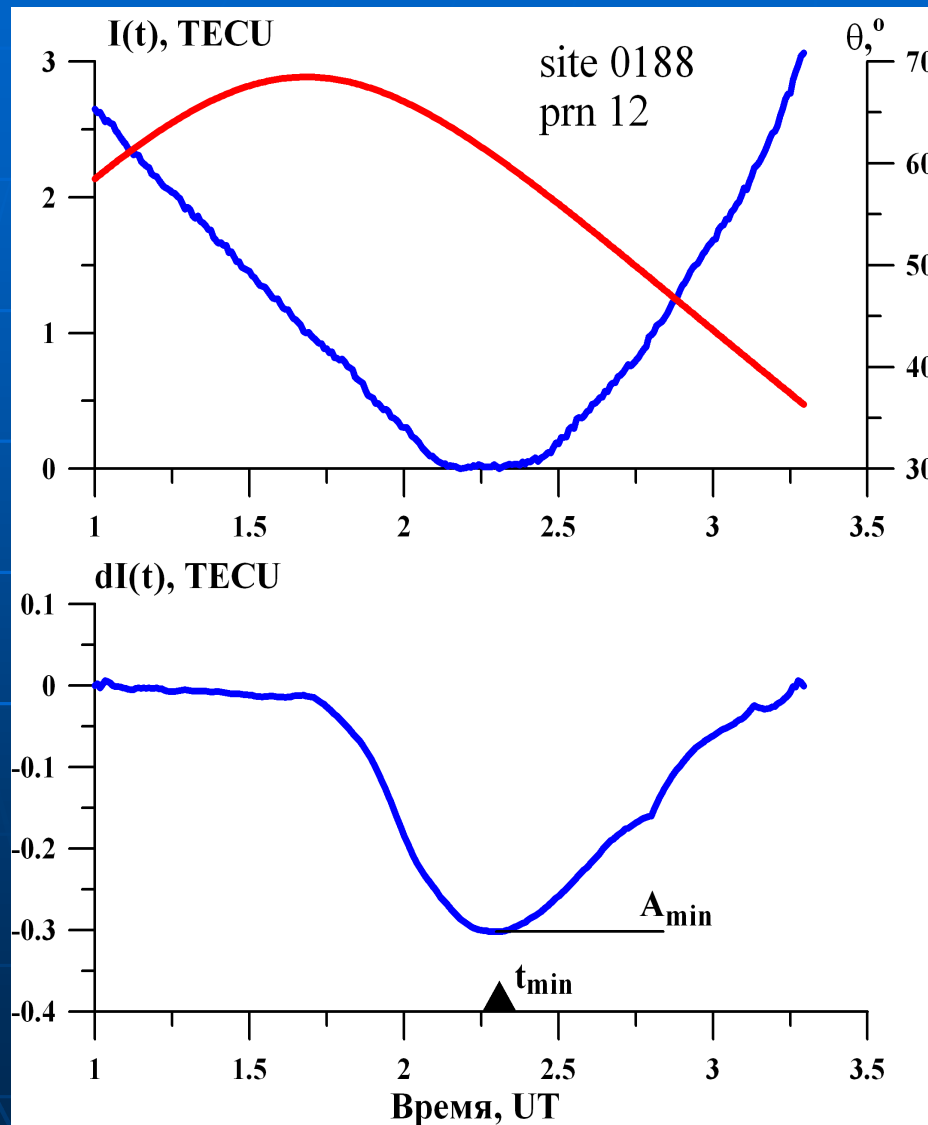
**Солнечное затмение  
22 июля 2009 г.  
считается очень  
продолжительным –  
максимальная фаза  
затмения на  
достаточно большом  
участке траектории  
СЗ длилась более  
6 минут.**

# Параметры затмения



**В районе Японии  
лунная тень  
двигалась со  
скоростью  
~670 м/с, что  
сравнимо со  
скоростью звука  
на высотах  
F-слоя ионосферы**

# Пример обработки ряда ПЭС



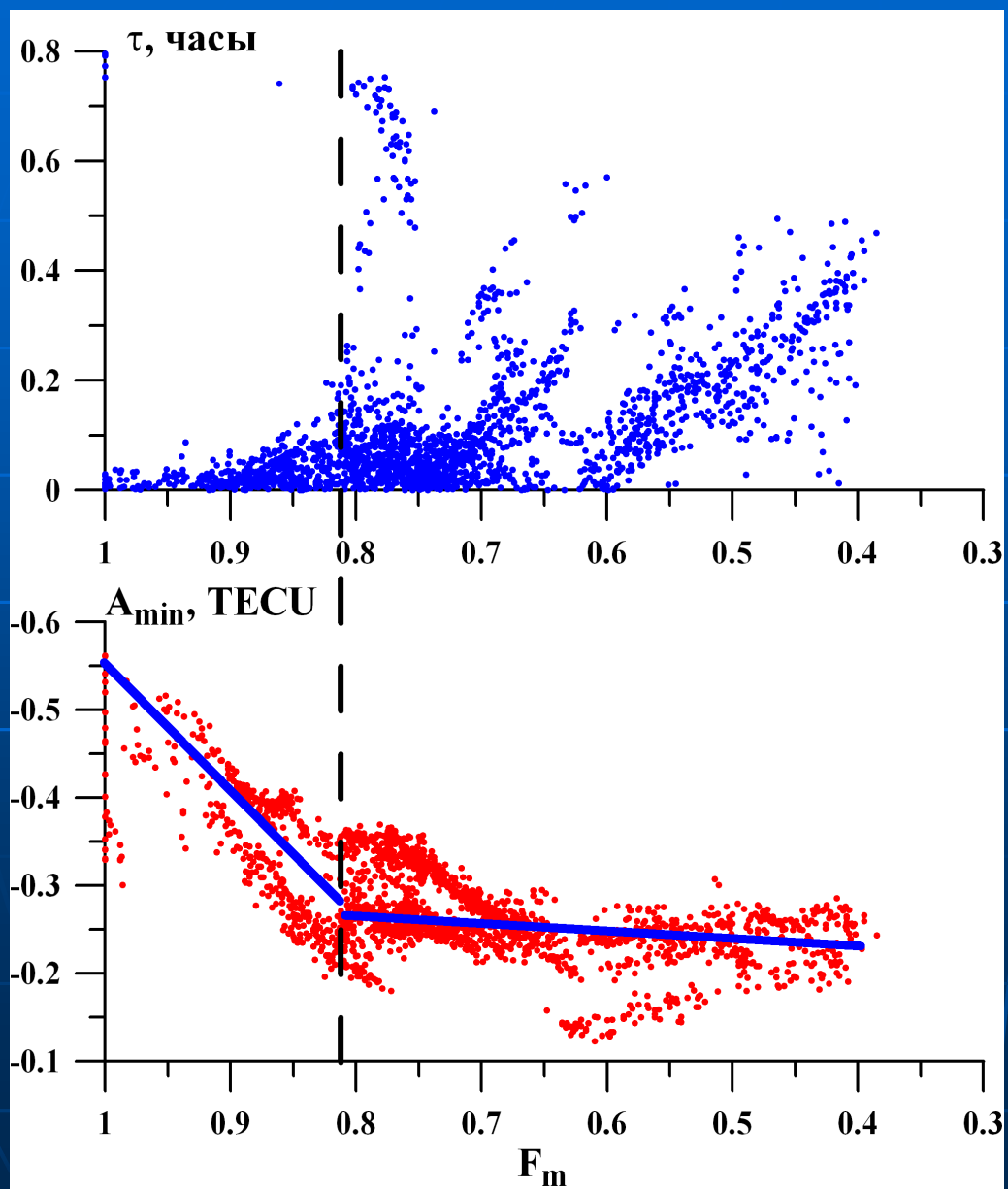
Синим цветом отображены вариации ПЭС (вверху – до фильтрации –  $I(t)$ , внизу – после –  $dI(t)$ ). Красным – показан соответствующий ряд угла места на ИСЗ  $\theta(t)$ .

Для каждого ряда  $dI(t)$ :  
- определялись время регистрации минимума ПЭС  $t_{min}$  и его величина  $A_{min}$ .

- рассчитывались величина максимальной фазы  $F_m$  и время её наступления  $T_m$  для положения ионосферной точки, в которой достигался минимум вариаций ПЭС  $A_{min}$ .



# Результаты

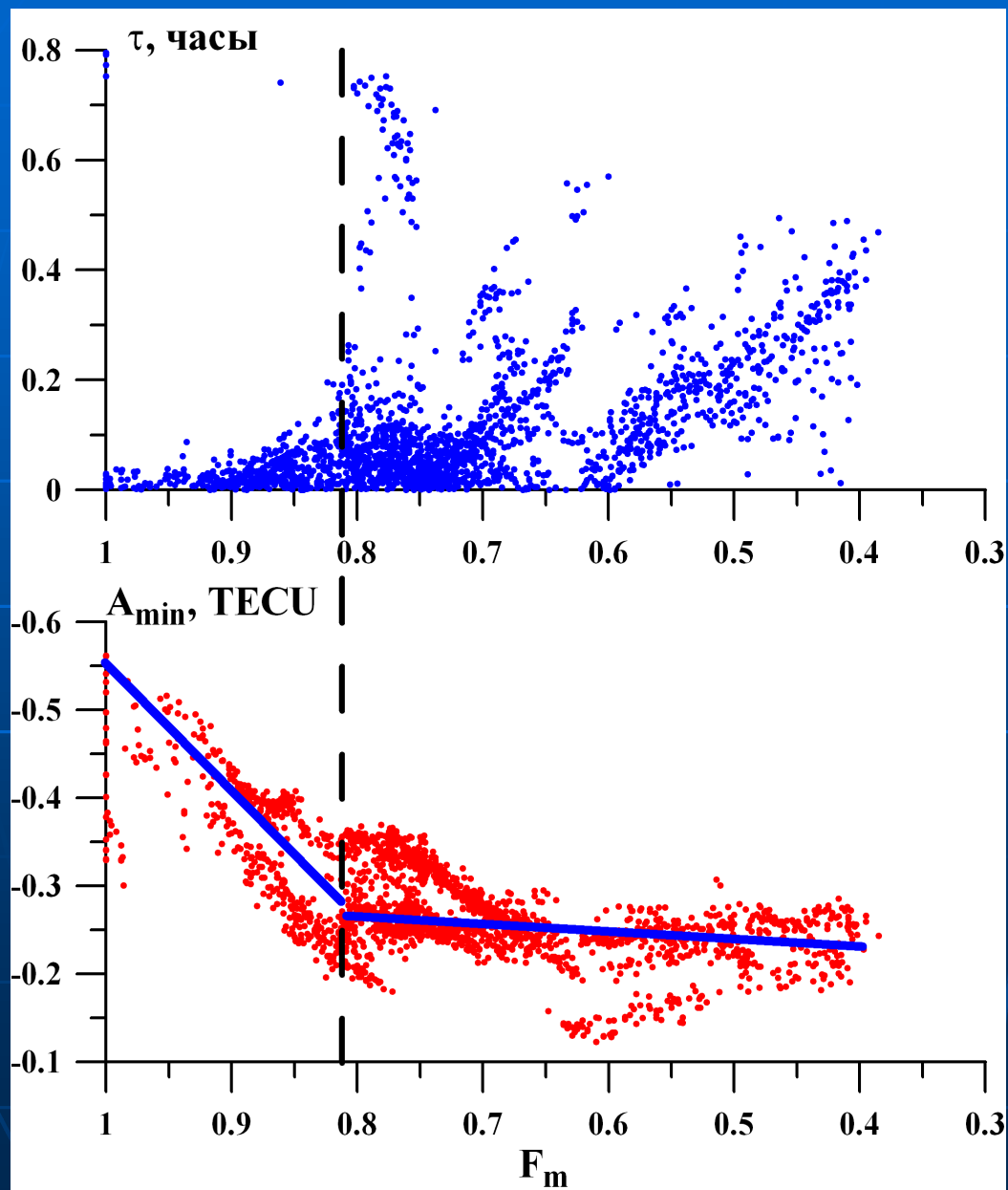


Даны зависимости:

- задержки  $\tau$   
минимума вариаций  
ПЭС по отношению к  
моменту времени  $T_m$  от  
максимальной  
наблюдаемой фазы  
затмения  $F_m$ ;

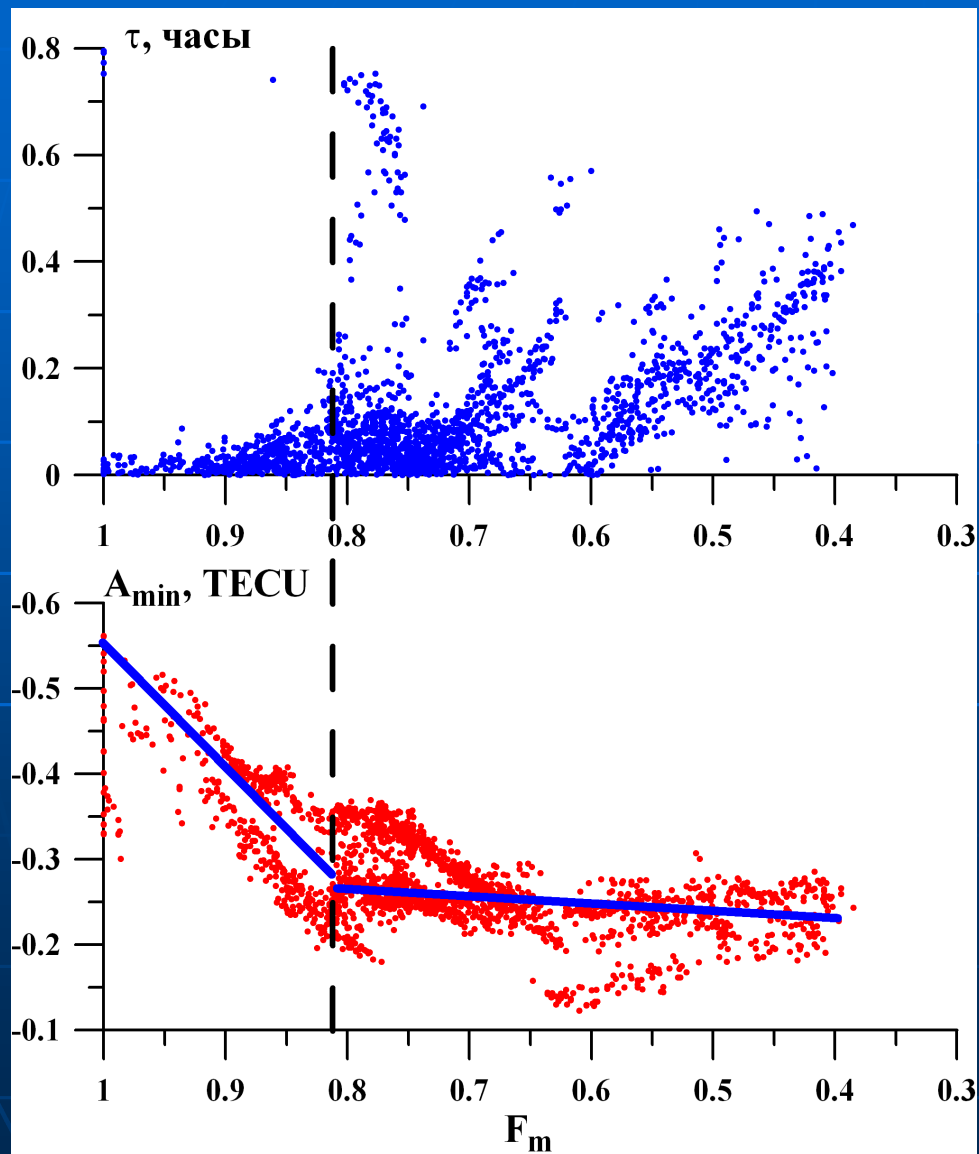
- амплитуды  
минимума вариаций  
ПЭС  $A_{\min}$  от  $F_m$ .

# Результаты



При величине максимальной фазы  $F_m$  от 1 до примерно 0,82 (слева от пунктирной линии) минимум вариаций ПЭС наступает почти одновременно с моментом максимальной фазы  $T_m$ , а амплитуда минимума  $A_{min}$  почти линейно уменьшается примерно от -0,55 до -0,25 TECU.

# Результаты



При величине максимальной фазы  $F_m$  от 0,82 и меньше (справа от пунктирной линии) зависимость появления минимума вариаций ПЭС от момента максимальной фазы  $T_m$  сильно «размывается», хотя можно проследить тенденцию к увеличению задержки  $\tau$  от фазы  $F_m$ .

При этом амплитуда минимума  $A_{min}$  почти не зависит от величины  $F_m$  и составляет примерно - 0,25 TECU.

# Выводы

В данном случае об уверенном детектировании регулярного отклика на СЗ можно говорить только на достаточно близком расстоянии от траектории полной лунной тени (при максимальной фазе больше  $\sim 0,82$ ). В этой «ближней зоне» отклик ПЭС регистрируется почти синфазно с максимальной фазой затмения, а амплитуда отклика почти линейно уменьшается примерно от  $-0,55$  до  $-0,25$  TECU.

В «дальней зоне» (максимальная фаза меньше  $\sim 0,82$ ) амплитуда отклика падает до  $-0,25$  TECU, что близко к амплитуде фоновых вариаций ПЭС для данного диапазона периодов [Afraimovich et al., 2001]. Вероятно, это и приводит к «размыванию» зависимости  $\tau(F_m)$  и «выполаживанию»  $A_{\min}(F_m)$ .

Тем не менее, наблюдающийся «намёк» на увеличение задержки  $\tau$  с увеличением расстояния от траектории полного затмения указывает на необходимость дальнейшего исследования в этом направлении.

# Благодарности

Наша группа выражает благодарность **Dr. D. Feng and Prof. S.G. Jin** за предоставленные данные и **Живетьеву И.В.** за подготовку данных.

Мы благодарны сети **GEONET** за **GPS-данные**, использованные в этой работе.



Работа поддержана междисциплинарным проектом СО РАН №56 и грантами РФФИ 07-05-00127 и 09-02-00082.

**Спасибо за внимание!**



**группа GpsMonitor,  
ИСЗФ СО РАН  
serg3108@iszf.irk.ru**

# Результаты

**Окружностью  
показана примерная  
граница 60-ти  
процентного  
затмения для 2:01  
UT.**

**Ионосферные точки  
раскрашены  
согласно значениям  
вариаций ПЭС,  
зарегистрированным  
на них.**

