

## СИСТЕМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Радик Мартиросян<sup>1</sup>, Альберт Гулян<sup>2</sup>, Гамлет Пирумян<sup>2</sup>,  
Маргар Адибекян<sup>3</sup>, Геворк Аветисян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>президент Национальной Академии Наук Армении - Армения

<sup>2</sup>Институт Радиофизики и Электроники НАН Армении – Армения

<sup>3</sup>Западная служба сейсмической защиты “ГНО МЧС Республика Армения - Армения  
e-mail: adibekyan@yahoo.com

**Ключевые слова:** ионосфера, радиотелескоп, интерференционная гармоника, цифровой анализ

**Абстракт:** Рассмотрены структура и технические характеристики системы вертикального зондирования ионосферы на длине волны  $\lambda = 4,2$  м, и возможности улучшения чувствительности интерференционного радиотелескопа методом цифровой обработки данных наблюдений с целью исследования оценки симптомов сейсмической опасности, и характера изменения плотности потока радиоисточника Кассиопея-А. Анализы результатов наблюдений подтвердили корреляцию между сейсмическими явлениями и поглощением ионосферой радиоизлучения природных космических источников в период подготовки землетрясения магнитудой  $M \geq 4$ , а так же слабо выраженную периодичность в изменении плотности потока радиоисточника Кассиопея-А.

## SYSTEM FOR VERTICAL IONOSPHERE SOUNDING SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

Radik Martirosyan<sup>1</sup>, Albert Gulyan<sup>2</sup>, Gamlet Pirumyan<sup>2</sup>,  
Margar Adibekyan<sup>3</sup>, Gevork Avetisyan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>President Armenian National Academy of Sciences

<sup>2</sup>Institute of Radiophysics and Electronics Armenian NA of Sci - Republic of Armenia

<sup>3</sup>“Western Survey for Seismic Protection” State non Commercial Organization – Republic of Armenia,  
Ministry of Emergency Situations  
e-mail: adibekyan@yahoo.com

**Keywords:** ionosphere, radio telescope, the interference harmonica, digital Analysis

**Abstract:** Vertical ionosphere sounding seismic hazard assessment. The structure and system specifications of the vertical sounding of the ionosphere at a wavelength of  $\lambda = 4,2$  m, and opportunities to improve the sensitivity of the interference of the radio telescope with digital data observations to study the seismic hazard assessment symptoms and the nature of change of flux density of the radio source Cassiopeia A. Analyzes of observational results have confirmed the correlation between seismic phenomena and absorption of radio waves by the ionosphere natural cosmic sources in preparation for earthquakes with magnitude  $M \geq 4$ , as well as weak expressed periodicity in density changes the flow of the radio source Cassiopeia-A.

### Введение

Оценка сейсмической опасности осуществляется путем непрерывной регистрации разных (электромагнитного, геомагнитного, ионосферного и т.д.) симптомов в зоне опасности. В ряде работ [1-5] предложены модели возбужденной ионосферы в связи с аномальным нарастанием литосферно-ионосферным взаимодействием. В отличие от наклонного зондирования, радиоастрономический способ вертикального зондирования ионосферы однозначно охватывает зону подготовки землетрясения, все слои ионосферы, и благодаря чувствительного радиотелескопа обладает высокой информативностью. С этой целью в

Институте радиофизики и электроники НАН Армении был разработан, изготовлен и в научном полигоне установлен интерференционный радиотелескоп в диапазоне волны  $\lambda = 4,2$  м, на котором проводятся продолжительные наблюдения Галактического фона и некоторых точечных космических радиоисточников (Кассиопея-А, Лебедь-А), кульминирующих в близ зенита. Ниже приведены структура и технические параметры радиотелескопа, а также анализ результатов наблюдений.

### Радиотелескоп

Антенна радиотелескопа - полноповоротное плоское зеркало с линейными размерами  $4\lambda \times 1,5\lambda$ , состоявшегося из двенадцати равномерно распределенных синфазно возбужденных волновых диполей (рис.1.), столбики которого соединяются кабелями с электрическими длинами  $\lambda/2$ , а волновые сопротивления отдельных диполей ( $R \approx 900 \text{ Ом}$ ) рассчитаны из условия согласования. Выход антенны, через симметрирующий узел подается к радиометру. Для осуществления радио интерферометрии при регистрации слабых точечных космических радиоисточников над уровнем Галактического фона, на территории полигона было установлено второе зеркало (один столб основного зеркало). Параметры антенны (Табл. 1) определились радиоастрономическим методом, с помощью радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А.

Таблица 1.

Параметр	$A_{\text{Эфф}}$	$\Phi_{\text{ЗдБ}}$	$\Theta_{\text{ЗдБ}}$	$f_0$	$\Delta f$	$K_{\text{Ус.}}$	$F_{\text{ш}}$
Величина	$50 \text{ м}^2$	$40^\circ$	$15^\circ$	72 МГц	400 КГц	70 дБ	$\geq 2.5$

Радиометр, структурная схема которого приведена в рис. 2, супергетеродинная система прямого преобразования, со входным малошумящим усилителем, в которой, с целью отстранения от помех предусмотрена девиация рабочей частоты в пределах 1 МГц.

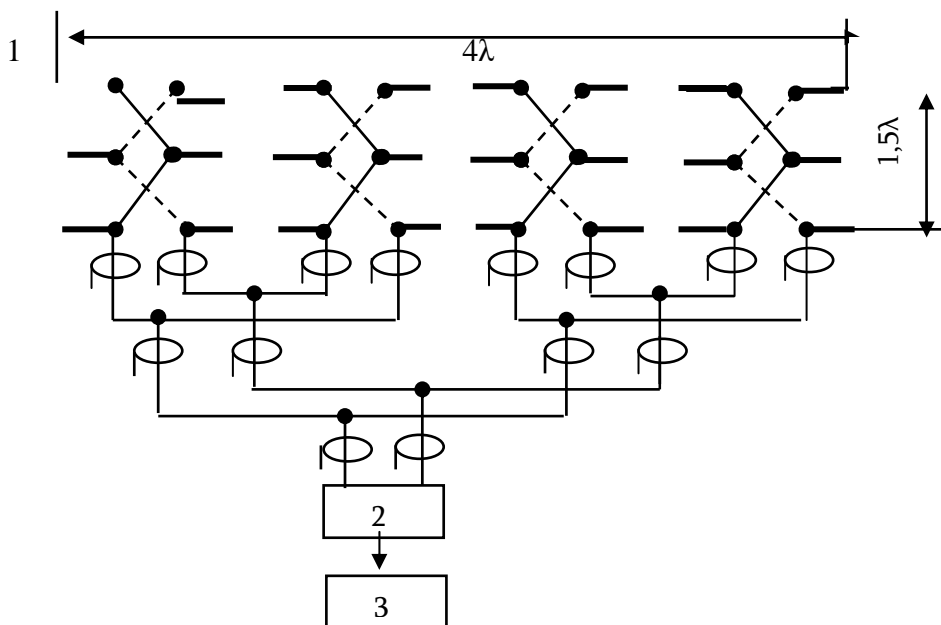


Рис.1. Структурная схема антенны:

1 - антенна, 2 - симметрирующий узел, 3 - радиометр

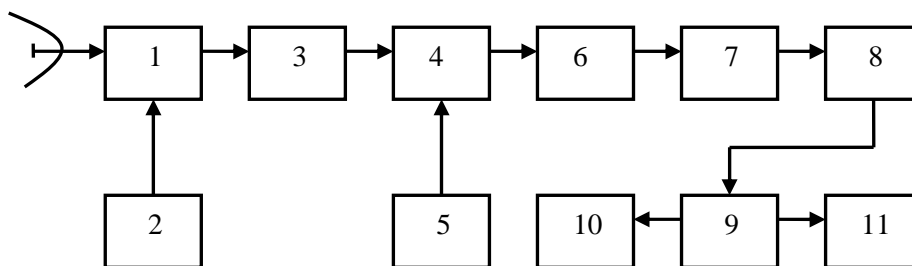


Рис. 2. Структурная схема радиометра:

1 - антенный переключатель, 2 - генератор шума, 3 - малошумящий усилитель, 4 - смеситель, 5 - гетеродин, 6 - усилитель промежуточной частоты, 7 - детектор, 8 - усилитель постоянного тока, 9 - накопитель, 10 - компьютер, 11 - самописец.

### Программа и методика наблюдений

Учитывая тот факт, что плотности потоков радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А известны с большой точностью и они кульминируют в близ зенита, где Галактический фон интенсивнее, для наблюдений была выбрана прилегающая область небосвода. Наблюдения проводились ежедневно, девятичасовой продолжительностью, достаточной для прохождения обеих источников через диаграмму направленности неподвижного радиотелескопа, в интервале  $17^{\text{h}} 30^{\text{m}} \leq \alpha \leq 26^{\text{h}} 30^{\text{m}}$  прямого восхождения источника. Совместная регистрация радиоизлучения Галактического фона и дискретных радиоисточников осуществляется и в аналоговом виде – на ленте самописца и в виде цифрового ряда - в памяти компьютера. С целью улучшения чувствительности системы осуществлялись методы цифрового анализа данных наблюдения.

### Узкополосная частотная фильтрация интерференционной гармоника (ИГ)

Метод практически реализовался на примере наблюдения космического радиоисточника Телец-А на длине волны  $\lambda = 4,2$  м с помощью радиоинтерферометра ИРФЭ с базой  $D = 15$  λ и эффективной поверхностью антенн  $50 \text{ м}^2$  и  $10 \text{ м}^2$ . Полный аналоговый сигнал (радиоисточника, Галактического фона и шумов) зарегистрированного на выходе радиометра (рис.3.а) оцифровывался 10-разрядным аналого-цифровым преобразователем с временным разрешением 0,01 с и вводился в компьютер в виде последовательной записи данных в отдельный иницируемый текстовый файл. По второму параллельному каналу записывались метки времени. Такая регистрация позволяла с большой степенью точности учитывать фазовый сдвиг при последующей обработке результатов измерений. Дальнейшая обработка данных производилась с помощью программы „Origin-6”, которая имеет встроенные функции Фурье анализа, расширенные математические возможности для построения узкополосных цифровых фильтров, настраиваемых на частоту гармоника. Процесс цифровой частотной фильтрации происходит по следующей примерной схеме. Из зарегистрированного после детектора аналогового сигнала (рис. 3.а) с помощью полинома N-й степени выделяется фоновое излучение, которое затем вычитывается. Далее для ИГ источника строится частотный спектр мощности и определяются параметры полосового фильтра F и ΔF.

Результаты цифровой фильтрации дали возможность выявить слабый полезный сигнал на фоне шумов и радиопомех. Почти незаметная интерференционная гармоника радиоисточника Телец-А после цифровой фильтрации четко выделяется на уровне несравненно более сильного фонового излучения Галактики, шумов и помех (рис. 3.б.). Даже далекие от центра боковые лепестки ИГ, которые вообще не заметны до фильтрации, тоже хорошо выделяются.

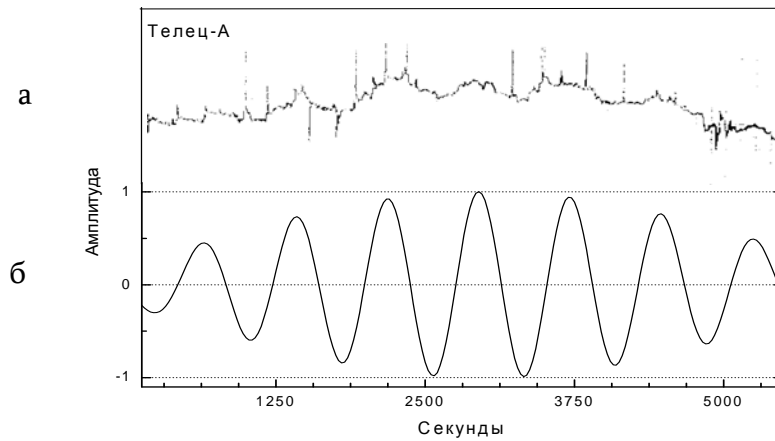


Рис. 3. ИГ радиисточника Телец-А до (а) и после (б) цифрового узкополосного частотного фильтра

Это свидетельствует о том, что радиисточники, имеющие на порядок меньшую интенсивность, чем Телец-А, можно наблюдать с помощью радиоинтерферометров, имеющих малые эффективные площади антенн.

### Степенная фильтрация

Степенной цифровой фильтр усиливает переменную составляющую зарегистрированного после детектора сигнала космического радиисточника, в данном случае-его пространственную гармонику. При этом чем больше ее амплитуда, тем больше она усиливается, соответственно улучшается избирательность системы.

Представим интерферированную запись космического излучения (сигнал дискретного источника, галактического фона и шумов) в виде цифровой последовательности во времени и введем ее в память ЭВМ. Умножим каждый член  $P(t)$  последовательности  $P_i(t)$ , соответственно,

на степенной множитель, например,  $\exp - \left\{ \frac{P_m - P_i(t)}{P_m} \right\}$  (как основание можно взять любое целое число), и запишем ее в виде новой последовательности во времени:

$P(t) = P_i(t) \exp - \left\{ \frac{P_m - P_i(t)}{P_m} \right\}$ , где  $P_m$  - член последовательности  $P_i(t)$  с максимальным значением.

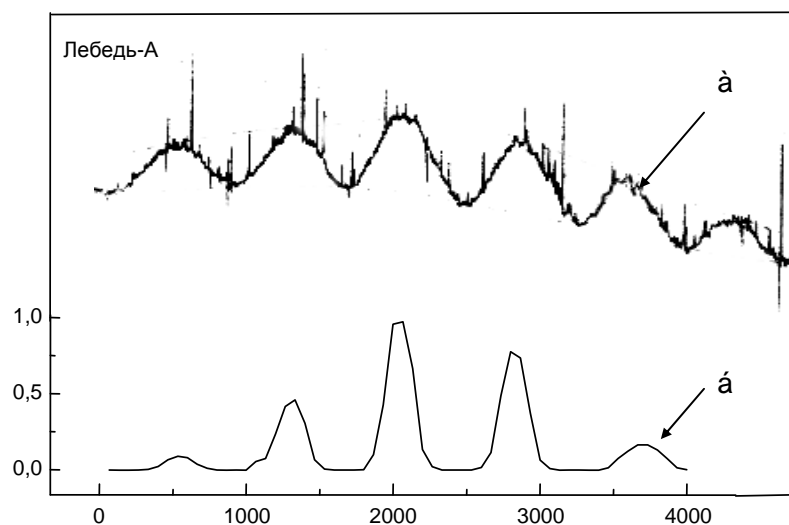


Рис. 4. ИГ радиисточника Лебедь-А до (а) и после (б) степенного цифрового фильтра

Очевидно, что в результате такого преобразования получится отфильтрованное значение переменной составляющей последовательности. Это хорошо видно на примере фильтрации интерференционной записи сигнала радиостанции Лебедь-А (рис. 4.б), который, как известно находится в области сильного фонового галактического излучения (рис. 4.а)

### Результаты исследования

Графические изображения обработанных результатов наблюдений приведены в Рис. 5-10. В рис. 5 и 6 изображены постепенные уменьшения значений мощностей дискретных радиостанций поглощенных в слоях ионосферы и временной ряд наблюдений (метод приближений Соболева) перед землетрясением Амадана (Иран, 22.06.2002,  $M \approx 6,5$ ).

В рис. 7 и 8 приведены временные ряды радиостанций Кассиопея-А и Лебедь-А до Бингельского (Турция, 01.05.2003,  $M \approx 6,4$ ) и Эрзурумского (Турция, 28.03.2004,  $M \approx 5,4$ ) землетрясений.

Виды аномальных кривых при прохождении радиостанций Кассиопея-А и Лебедь-А через диаграмму направленности радиотелескопа за три дня до Бингельского и Эрзурумского (Турция, 28.03.2004,  $M \approx 5,4$ ) землетрясений показаны в рис. 9 и 10.

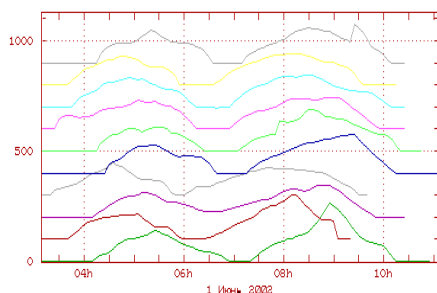


Рис. 5

Июнь 27  
Июнь 25  
Июнь 22  
Июнь 18  
Июнь 16  
Июнь 11  
Июнь 8  
Июнь 6  
Июнь 2  
Июнь 1

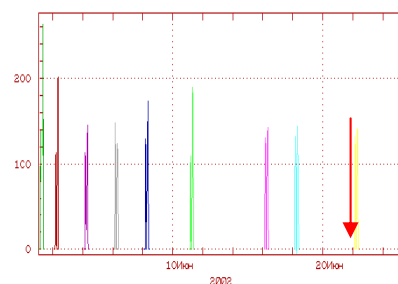


Рис. 6

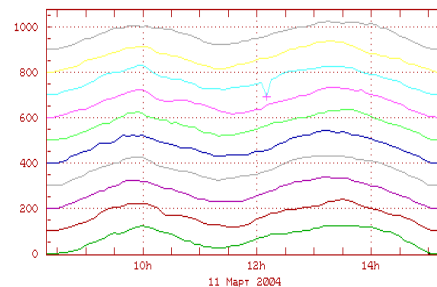


Рис. 7

Март 29  
Март 27  
Март 25  
Март 22  
Март 20  
Март 18  
Март 16  
Март 15  
Март 13  
Март 11

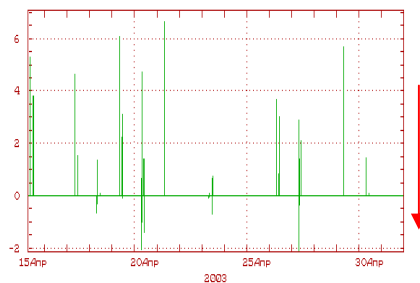


Рис. 8

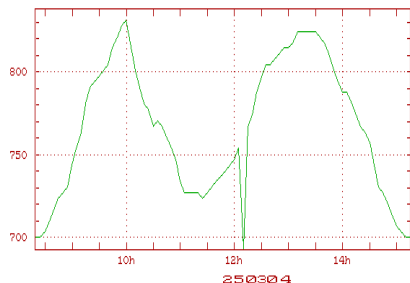


Рис. 9

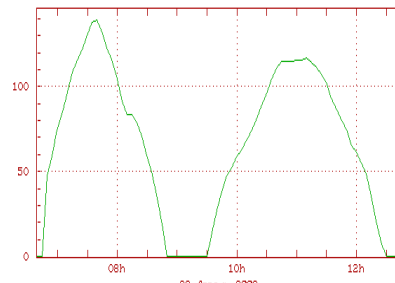


Рис. 10

## **Выводы**

Полученные результаты каждодневных, длительных наблюдений, представленных в рис. 5 - 10 подтверждают факт измеримой корреляции между фазой подготовки землетрясения с магнитудой  $M \geq 4$  и поглощением радиоизлучения в возбужденной ионосфере, который можно объяснить ухудшением радиопрозрачности ионосферы, обусловленным электромагнитным излучением деформированного грунта в зоне землетрясения.

Полученные обнадеживающие результаты обосновывают необходимость дальнейших исследований сейсмо-ионосферных связей и применение радиоастрономического метода вертикального зондирования.

По мнению авторов, для увеличения информативности (направление и скорость распространение сейсмических волн и т.д.) перспективнее объединение наблюдательных пунктов в интерференционную систему, а наблюдение проводить одновременно на разных радиочастотах.

## **Литература:**

1. B a l a s a n i a n, S. Dynamic Geo- electricity. Novosibirsk, "NAUKA", Siberian Department, 1990, pp. 232.
2. L e v i c h, V. The Theoretical Physics, vol. 1, 1969, 797 p.
3. B a r s u k o v, O. Analysis Method for Seismoelectromagnetic Processes, M., Nauka, 1991, 56 p.
4. K a m k e, E. Reference Book for Ordinary Differential Equations, M., Nauka, 1965, 454 p.
5. M a r t i r o s y a n, R., A. G o u l y a n, V.. S a n a m y a n, H. P i r o u m y a n, M. A d i b e k y a n, A. M i r s o y a n. Remote sensing system of ionosphere for assessment of seismic risks //Izv.NAN, RA Gyumri, Ser. TH. 2006. T.LIX, N 3.