

УДК 524.35

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ СИМПТОМОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

А.Г. Гулян, Г.А. Пирумян, Г.С. Аветисян

Институт радиофизики и электроники НАН РА

Рассмотрены структура и технические характеристики системы вертикального зондирования ионосферы на длине волны $\lambda = 4,2$ м. Изучены возможности улучшения чувствительности интерференционного радиотелескопа методом цифровой обработки данных наблюдений с целью исследования оценки симптомов сейсмической опасности. Представлены программа и методика наблюдений, а также практические реализации узкополосной частотной и степенной фильтрации интерференционной гармоника. Анализ результатов наблюдений подтвердил корреляцию между сейсмическими явлениями и поглощением ионосферой радиоизлучения природных космических источников в период подготовки к землетрясению магнитудой $M \geq 4$.

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

Введение. Оценка сейсмической опасности осуществляется путем непрерывной регистрации разных (электромагнитного, геомагнитного, ионосферного и т.д.) симптомов в зоне опасности. В ряде работ [1-4] предложены модели возбужденной ионосферы в связи с аномальным нарастанием литосферно-ионосферного взаимодействия. В отличие от наклонного зондирования, радиоастрономический способ вертикального зондирования ионосферы однозначно охватывает зону подготовки землетрясения, все слои ионосферы и благодаря чувствительному радиотелескопу 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 вблизи зенита. Ниже приведены структура и технические параметры радиотелескопа, а также дан анализ результатов наблюдений.

Радиотелескоп. Антенна радиотелескопа - полноповоротное плоское зеркало с линейными размерами $4\lambda \times 1,5\lambda$, состоящее из двенадцати равномерно распределенных синфазно возбужденных волновых диполей (рис.1),

столбики которых 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 радиоинтерферометрии при регистрации слабых точечных космических радиоисточников над уровнем галактического фона на территории полигона было установлено второе зеркало (один столб основного зеркала). Параметры антенны (табл.) определялись радиоастрономическим методом с помощью радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А.

Таблица

Параметр	$A_{эфф}$	$\varphi_3 \text{ дБ}$	$\Theta_3 \text{ дБ}$	f_0	Δf	$K_{вс}$	$F_{ш}$
Величина	50 м^2	40°	15°	72 МГц	400 кГц	70 дБ	≥ 2.5

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

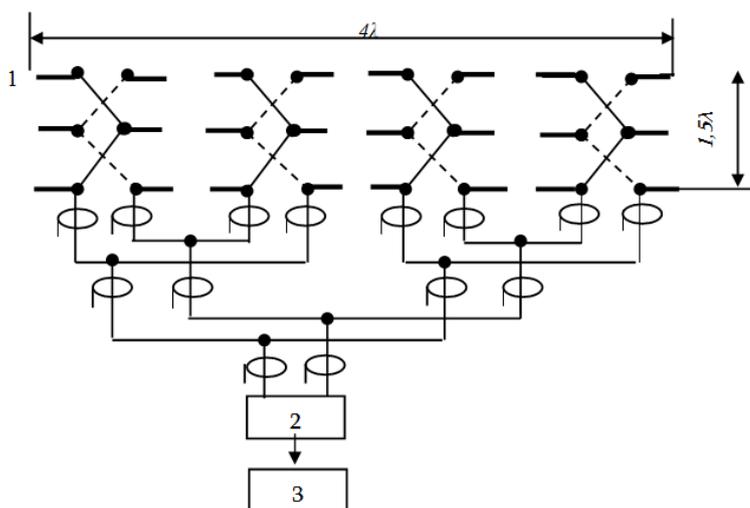


Рис. 1. Структурная схема антенны:
1 - антенна, 2 - симметрирующий узел, 3 - радиометр

Программа и методика наблюдения. Учитывая тот факт, что плотности потоков радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А известны с большой точностью, и они кульминируют вблизи зенита, где галактический фон интенсивнее, для наблюдений была выбрана прилегающая область небосвода. Наблюдения проводились ежедневно с девятичасовой продолжительностью,

достаточной для прохождения обоих источников через диаграмму направленности неподвижного радиотелескопа, в интервале $17^h 30^m \leq \alpha \leq 26^h 30^m$ прямого восхождения источника. Совместная регистрация радиоизлучения галактического фона и дискретных радиоисточников осуществлялась 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.

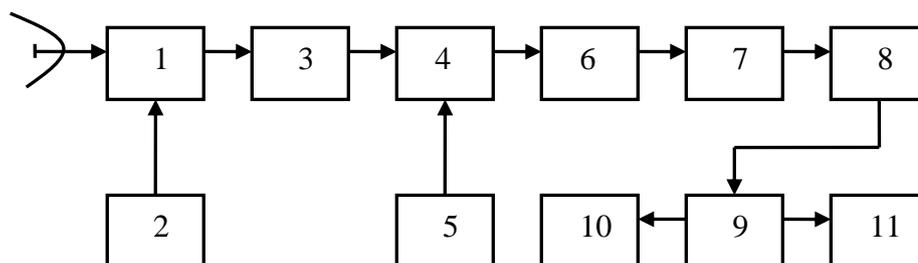


Рис. 2. Структурная схема радиометра:

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

Узкополосная частотная фильтрация интерференционной гармоник (ИГ). Метод практически реализовался на примере наблюдения космического радиоисточника Телец-А на длине волны $\lambda=4,2$ м с помощью радиоинтерферометра ИРФЭ с базой $D=15 \lambda$ и эффективной поверхностью антенн 50 м^2 и 10 м^2 . Полный аналоговый сигнал (радиоисточника, галактического фона и шумов), зарегистрированный на выходе радиометра (рис. 3а) оцифровывался 10-разрядным аналого-цифровым преобразователем с временным разрешением $0,01 \text{ с}$ и вводился в компьютер в виде последовательной записи данных в отдельный иницилируемый 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 гармоник. Процесс цифровой частотной фильтрации происходит по следующей примерной схеме. Из зарегистрированного после детектора аналогового сигнала (рис. 3а) 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 радиостанции Телец-А после цифровой фильтрации четко выделяется на уровне несравненно более сильного фонового излучения Галактики, шумов и помех (рис. 3б). Даже далекие от центра боковые лепестки ИГ, которые вообще не заметны до фильтрации, тоже хорошо выделяются.

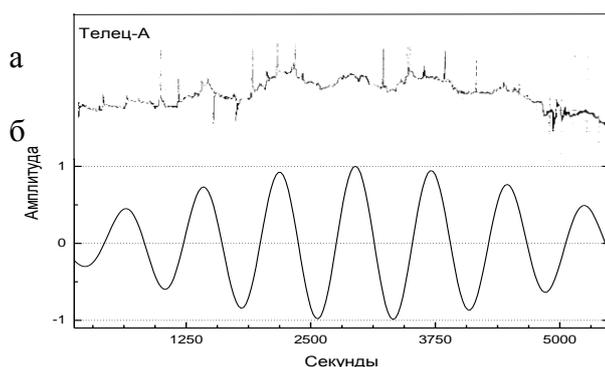


Рис. 3. ИГ радиостанции Телец-А до (а) и после (б) цифрового узкополосного частотного фильтра

Это свидетельствует о том, что радиостанции, 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 радиостанции, 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 $\exp - \left\{ \frac{P_m - P_i(t)}{P_m} \right\}$ (в качестве основания 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 максималь-

ным значением.

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. 4б), который, как известно, находится в области сильного фонового галактического излучения (рис. 4а)

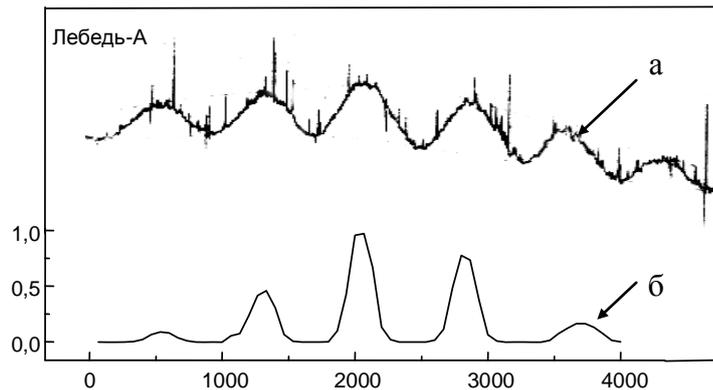


Рис. 4. ИГ радиостанции Лебедь-А до (а) и после (б) степенного цифрового фильтра

Результаты исследования. Графические изображения обработанных результатов наблюдений приведены на рис. 5-7. На рис. 5 стрелкой изображена аномалия временного ряда наблюдений дискретного радиостанции Лебедь-А перед Гандзакским землетрясением (Азербайджан, 25.03.2015г., $M \approx 3,5$). На рис. 6, 7 приведены нормальный и аномальный временные ряды радиостанций Кассиопея-А и Лебедь-А до Степанаванского землетрясения (Армения, 24.03.2015, $M \approx 3,7$).

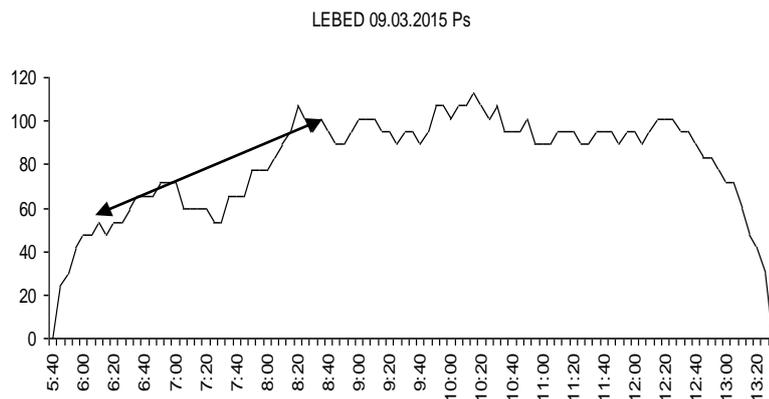


Рис. 5. Временной ряд наблюдения радиостанции Лебедь-А (09.03.2015г., Шуши, НКР)

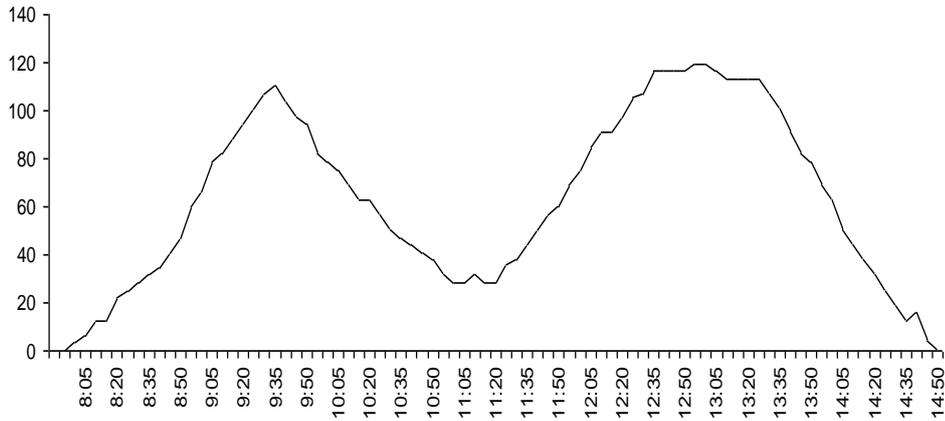


Рис. 6. Временной ряд наблюдения радиоисточников Лебедь-А и Кассиопея-А без аномалии (16.03.2015г., Сараванд)

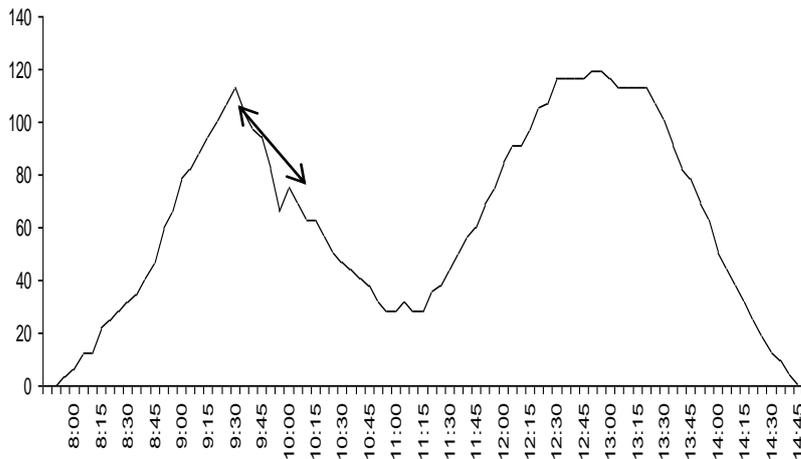


Рис.7. Временной ряд наблюдения радиоисточников Лебедь-А и Кассиопея-А с аномалией (17.03.2015г., Сараванд)

Выводы. Результаты ежедневных, длительных наблюдений, малая часть которых представлена на рис. 5-7, подтверждают факт измеримой корреляции между фазой подготовки землетрясения и поглощением радиоизлучения в возбужденной ионосфере, что можно объяснить ухудшением радиопрозрачности ионосферы, обусловленным электромагнитным излучением деформированного грунта в зоне землетрясения. Полученные обнадеживающие результаты обосновывают необходимость проведения дальнейших

исследований сейсмоионосферных связей и применения радиоастрономического метода вертикального зондирования.

Литература

1. **Balasanian S.** Dynamic Geo- electricity. –Novosibirsk: NAUKA, Siberian department, 1990.- 232 p.
2. **Barsukov O.** Analysis Method for Seismoelectromagnetic Processes.– M.: Nauka, 1991.- 56 p.
3. **Kamke E.** Referense Book for Ordinary Differential Equations.- M.: Nauka, 1965.- 454 p.
4. Remote sensing system of ionosphere for assessment of seismic risks / **R. Martirosyan, A. Goulyan, et al** // Izv. NAN RA, Ser. TH.- 2006.- LIX, N3.- P. 609-614.

Поступила в редакцию 09.10.2015

Принята к опубликованию 25.11.2015.

ՍԵՅՍՄԻԿԱԿԱՆ ՆԱԽԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՌԱԴԻՈԱՍՏՐՈՄԻԱԿԻ ՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Ա.Գ. Դուլյան, Հ.Ա. Փիրումյան, Գ.Ս. Ավետիսյան

Դիտարկված են իոնոլորտի ուղղահայաց զոնդավորման $\lambda = 4,2$ մ ալիքի երկարության տիրույթի համակարգի կառուցվածքը և տեխնիկական բնութագրերը, ինչպես նաև սեյսմիկական նախանշանների գնահատման նպատակով դիտումների տվյալների թվանշային եղանակով մշակմամբ ինտերֆերենցիոն ռադիոդիտակի զգայնության մեծացման հնարավորությունները: Ներկայացված են դիտումների ծրագիրը, մեթոդը, ինչպես նաև ինտերֆերենցիոն հարմոնիկի նեղշերտ հաճախային և աստիճանային զտումների իրականացումները: Դիտումների արդյունքների վերլուծությունը հաստատել է փոխկապակցություն $M \leq 4$ մագնիտուդով երկրաշարժերի նախապատրաստման փուլում սեյսմիկական երևույթների և իոնոլորտի կողմից կոսմիկական աղբյուրների ռադիոհաճախային կլանման միջև:

Առանցքային բաներ. իոնոլորտ, ռադիոդիտակ, ինտերֆերենցիոն հարմոնիկ, թվանշային վերլուծություն:

A RADIO ASTRONOMY SYSTEM FOR ESTIMATING SEISMIC HAZARDS

A.G. Ghulyan, H.A. Pirumyan, G.S. Avetisyan

The structure and system specifications of vertical sounding of the ionosphere at a wavelength of $\lambda = 4,2$ m, and the opportunities to improve the sensitivity of the interference of the radio telescope with digital data observations to study the seismic hazard assessment symptoms are considered. The analysis of the observation results has confirmed the correlation between the seismic phenomena and the absorption of radio waves by the ionosphere natural cosmic sources while preparing to face earthquakes of a magnitude of $M \leq 4$.

Keywords: ionosphere, radio telescope, the interference harmonica, digital analysis.