

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РЕГИОНА ВРАНЧА

В работе представлены методика направленного мониторинга акустического фона в инфразвуковом диапазоне с помощью площадной системы группирования микробарографов, а также методика направленного мониторинга радиотехническим комплексом радиотрасс сигналов СДВ диапазона. Приведены первые результаты удаленных наблюдений сейсмоактивного региона Вранча с применением рассмотренных методик, выделены аномальные эффекты в наблюдаемых полях перед землетрясениями.

**Ключевые слова:** регион Вранча, землетрясения, направленный мониторинг, инфразвук, радиотрасса, СДВ, предвестник.

В современных представлениях о природных явлениях во главе угла стоит понимание того, что все планетарные процессы взаимосвязаны. Это касается и землетрясений, откликом на подготовку которых являются возмущения во всех геофизических полях. Механические изменения в земной коре в следствии конвекции земной мантии приводят к изменениям параметров сейсмического, акустического, электромагнитного полей, влияют на скорость выхода газов. Вопросам переноса энергии в канале литосфера-атмосфера-ионосфера посвящены множество публикаций в отечественной и мировой научной периодике [Липеровский В.И., 2006].

Комплексный мониторинг геофизических полей проводится и в Главном центре специального контроля (ГЦСК). Средства мониторинга включают сейсмические, акустические, электромагнитные и радионуклидные методы, метеорологические измерения. В работе делается акцент на инфразвуковые и электромагнитные измерения, как менее представленные научной общественности в Украине.

Измерения инфразвука в ГЦСК осуществляется трехэлементной системой группирования на базе микробарографов К-304. Расстояние между элементами составляет несколько сотен метров, что дает возможность регистрировать акустические волны с длиной  $\lambda \leq 1$  км. Для уменьшения влияния ветровых помех и понижения уровня шума, на входе каждого микробарографа установлен усредняющий объем с помехозащитным устройством в виде веерообразно расставленных пластиковых труб, длиной 6 метров каждая, один конец которой соединен с усредняющим объемом (емкость 20 л), а другой открыт для атмосферы через узкое отверстие (2-3 мм) [Ляцук А.И., 2006].

Формирование атмосферных волноводов на разных высотах, которые определяются градиентами температуры и скорости ветра, позволяют распространяться инфразвуковому сигналу на расстояния сотен и тысяч километров от источника. Детектирование полезного сигнала производится с помощью F-статистического обнаружителя. Значение статистического показателя Фишера есть масштабированная мера

сигнальной последовательности. В случае обычного фона показатель будет низким, при наличии когерентного сигнала показатель возрастает в десятки раз.

Численный расчет значений показателя статистики Фишера к произвольному числу каналов и «окна» с произвольным числом отсчетов возможно осуществить по соотношению, предложенному в [John V. Olson, 2004].

$$F = \frac{T(C-1)}{C(T-1)} \frac{\sum_{i=1}^T \left[ \sum_{c=1}^C x_{ct} \right]^2}{\sum_{i=1}^T \sum_{c=1}^C x_{ct}^2 - \frac{1}{C} \sum_{i=1}^T \left[ \sum_{c=1}^C x_{ct} \right]^2}, \quad (1)$$

где  $T$  - количество отсчетов во временном окне,  $C$  - количество станций в группе,  $X_{ct}$  - значения отсчетов волновых форм в «окне»,  $F$  - значение функции для окна  $T$ .

Использование такого подхода позволяет работать с малым числом элементов группы (минимум три), уменьшает количество ложных тревог, легко программируется для ЭВМ и может использоваться в полностью автоматическом режиме.

Определение параметров сигнала предлагается проводить согласно [Машков О.А., 2005]. Так мгновенное значение фазы сигнала каждого канала системы группирования рассчитывается из выражения:

$$\varphi = \arccctg \left( \frac{A_{n+1}}{A_n} - ctg(\omega t_\delta) \right), \quad (2)$$

где  $A_n$  - значение дискреты,  $\omega$  - частота сигнала,  $T_\delta$  - период дискретизации сигнала.

Для оценки азимута используем формулу:

$$A = -\tan^{-1} \left[ \frac{y1 - y2 - P(y1 - y3)}{x1 - x2 - P(x1 - x3)} \right], \quad (3)$$

где:  $y1, y2, y3, x1, x2, x3$  - координаты приемных элементов группы,  $P$  - определяется как:

$$P = \frac{\Delta\varphi12}{\Delta\varphi13}, \quad (4)$$

где  $\Delta\varphi12$  и  $\Delta\varphi13$  разница мгновенных фаз между 1 и 2, а также между 1 и 3 каналами.

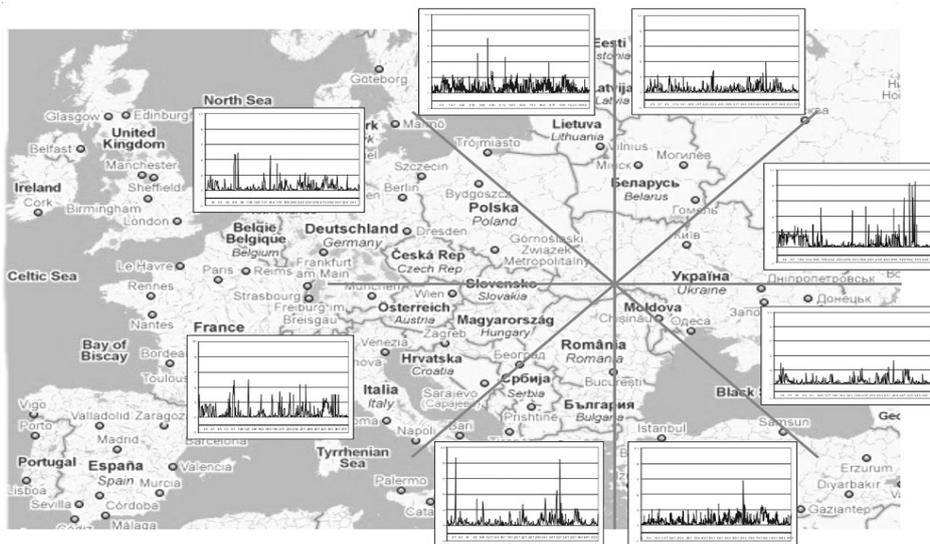
Оценка фазовой скорости прохождения фронта волны через элементы инфразвуковой группы для каждого момента времени имеет следующий вид:

$$V_p = \frac{2\pi\pi}{\Delta\varphi 12} [(y1 - y2)\cos(A) - (x1 - x2)\sin(A)] \quad (5)$$

В результате непрерывной оценки параметров инфразвукового фона становится возможным избирательный мониторинг сигналов с определенного региона.

На Рис. 1 изображены графики распределения количества и амплитуды обнаруженных сигналов в зависимости от сектора, в котором велось наблюдение. Размер каждого сектора составлял 45 градусов. Наибольшее количество сигналов отвечает направлениям на черноморский (115°÷180°) и скандинавский (315°÷360°) регионы

(большие акватории). В то же время в направлении региона Вранча (180°÷225°) выделяются два максимума, после которых состоялись глубокие землетрясения с магнитудой  $M=4,5$  и  $3,8$ . Этот факт может быть использован в качестве предвестника землетрясений и требует дальнейшей проверки. Селекция событий, которая стала возможной с использованием системы группирования, может быть использована для дальнейшей правильной интерпретации причин изменения сейсмического фона (наличие изменений в сейсмическом и акустическом каналах из определенного направления достаточно точно указывает на природу источника).



**Рис.1.** Распределение по секторам количества и амплитуды зарегистрированных в марте 2010 года инфразвуковых сигналов в пункте наблюдения «Каменец-Подольский».



**Рис.2.** Схема размещения СДВ радиостанций и распространения радиотрасс от излучателей до пункта наблюдения «Каменец-Подольский»

В ГЦСК для радиопросвечивания волновода земля - ионосфера в диапазоне СДВ в качестве источников радиосигналов используется мировая сеть радионавигационной системы "Омега". Для регистрации выбирались радиостанции, в которых луч эталонного радиоизлучения пересекает сейсмоактивную зону и пункт наблюдения. Желательно, чтобы пересекалась лишь одна сейсмоактивная зона, в случае, когда такому правилу следовать невозможно, выбирается еще несколько радиостанций, но и в этом случае луч должен пересекать как сейсмоактивную зону, так и пункт наблюдения. В качестве невозмущенного эталона выбирается станция, которая расположена в асейсмическом регионе, и распространение ее радиоизлучения не пересекает сейсмоактивных областей. В качестве примера, для пункта наблюдения "Каменец-Подольский" сигнальным является эталонные радиосигналы СДВ-радиостанций Греции и Италии, трассы распространения сигналов от которых проходят через сейсмоактивный регион Вранча и СДВ-радиостанции России (г.Брянск), трасса распространения которой к пункту наблюдения проходит вдоль асейсмического региона (Рис.2). Исключаются амплитуды и фазы СДВ-сигналов от грозových разрядов из-за короткого действия последних. Вариации трассы распространения сигналов радиостанций оцениваются за изменениями не только амплитуды, но и фазы сигналов, которые принимаются. Измерение фазы позволяет значительно повысить чувствительность к геофизическим явлениям, однако для этого необходимо иметь точную привязку к абсолютному времени.

В течение месячного интервала наблюдений (январь 2010 года) зафиксирован один случай аномального поведения амплитуды несущей, который можно связать с землетрясением региона Вранча. В настоящее время пункт наблюдения оборудуется техническими средствами для постоянных непрерывных наблюдений и набора статистики с целью определения связи возникновения землетрясений и подобных обнаруженной аномалий.

В дальнейшем желательно проводить измерения рассмотренными методами одновременно, что даст возможность отследить перенос энергии сгенерированными при подготовке землетрясения инфразвуковыми волнами до высот ионосферы, где может происходить искажение амплитуды несущей радиосигнала.

#### Литература

- Липеровский В.А. Физические модели связи в системе Литосфера–Атмосфера–Ионосфера. // Лекции БШФФ, - 2006.- С. 58–65.
- Лящук А.И., Карягин Е.В. Использование систем группирования акустического метода для обнаружения техногенных звуковых источников. // Мат. XV наук.-техн.конф. - Житомир. - 2006. - С.85.
- Машков О.А., Кирилюк В.А., Карягин Е.В., Качалин І.Г. Оцінка динамічно змінних характеристик джерела інфразвукових коливань техногенного походження малоапертурною акустичною групою // ІПМЕ, 36. ст. «Моделювання та інформаційні технології». Київ. – 2005. - С.25-41.
- John V. Olson Infrasound Signal Detection using the Fisher F-Statistic // Inframatics – 2004 - №6 – p.1-7.

### ЗАСТОСУВАННЯ ІНФРАЗВУКОВИХ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛЕТРУСІВ РЕГІОНУ ВРАНЧА

О.І. Лящук

У роботі представлені методика спрямованого моніторингу акустичного фону в інфразвуковому діапазоні за допомогою площинної системи групування мікробарографів, а також методика спрямованого моніторингу радіотехнічним комплексом радіотрас сигналів НДХ діапазону. Приведені перші результати віддалених спостережень сейсмоактивного регіону Вранча із застосуванням розглянутих методик, виділені аномальні ефекти в спостережуваних полях перед землетрусами.

**Ключові слова:** регіон Вранча; землетруси; спрямований моніторинг; інфразвук; радіо траса; НДХ; провісник.

### APPLICATION OF INFRASONIC AND ELECTROMAGNETIC METHODS FOR MONITORING OF EARTHQUAKES OF VRANCHEA REGION

A. Liashchuk

In the article presented methods of the directed monitoring of acoustic background in an infrasound range by means of the area system of grouping of microbarographs, and also methods of the directed monitoring by the radiotechnical complex of radioroutes of VLF signals. The first results over of remote supervisions of seismoactivity Vrancea region are brought with the use of the considered methods, anomalous effects are distinguished in the looked after fields before earthquakes.

**Key words:** Vrancea region; earthquakes; directed monitoring; infrasound; radioroutes; VLF; precursor.