

УДК 550.34

## АНАЛІЗ МАГНІТУДНОЇ ЧУТЛИВОСТІ СЕЙСМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ, ВСТАНОВЛЕНОГО НА УАС АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ ДЛЯ СЕЙСМІЧНИХ ПОДІЙ З РАЙОНУ САНДВІЧЕВИХ ОСТРОВІВ

В.М. Ващенко, д. ф.-м. н.<sup>1</sup>,  
Ю.О. Гордієнко<sup>2</sup>, В.М. Шапка<sup>2</sup>, В.М. Каплашенко<sup>2</sup>, О.І. Лящук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний Антарктичний науковий центр

<sup>2</sup>Головний центр спеціального контролю НКАУ, м. Макарів-1, [ua\\_gordienko@mail.ru](mailto:gordienko@mail.ru)

У статті розглядаються результати аналізу магнітудної чутливості сейсмічного комплексу, встановленого на українській антарктичній станції Академік Вернадський. Введено поняття магнітудного порогу як оцінки можливості виявлення сейсмічних подій з певного регіону. Представлені результати аналізу магнітудної чутливості для району Сандвічевих островів.

### Анализ магнитудной чувствительности сейсмического комплекса станции академик Вернадский для сейсмических событий из района Сандвичевых островов

В статье рассматриваются результаты анализа магнитудной чувствительности сейсмического комплекса, установленного на УАС Академик Вернадский. Введено понятие магнитудного порога как оценки возможности выявления сейсмических событий из определенного региона. Представлены результаты анализа магнитудной чувствительности для района Сандвичевых островов.

### The analysis of sensitivity magnitude of a seismic complex established on Vernadsky station for seismic events from Sandwich islands area

The results of the analysis of sensitivity magnitude of a seismic complex established at Vernadsky station are considered. The concept of a threshold magnitude, as a rating of an opportunity of revealing of seismic events from concrete region is entered. The results of the analysis of sensitivity magnitude for Sandwich Islands area are given.

## 1. Вступ

Сейсмічні спостереження на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» (УАС) проводяться за допомогою сейсмічного комплексу, до складу якого входять технічні засоби Головного центру спеціального контролю НКАУ (сейсмоприймач ДСВ та підсилювач К-207-С) і Українського національного наукового антарктичного центру (цифрова трикомпонентна сейсмічна станція (ТКСС) GURALP CMG-40T).

Метою сейсмічних спостережень є контроль за регіональною та глобальною сейсмічністю шляхом реєстрації сейсмічних сигналів від землетрусів і подальшого визначення їх параметрів.

Одним з головних чинників, що впливають на якість виконання завдань сейсмічного моніторингу, є фонові обставини в районі спостережень. Основним підходом до дослідження сейсмічного фону в районі розміщення станції є щоденні виміри параметрів сейсмічного фону – амплітуди і періоду – при проведенні режимних сейсмічних спостережень у певні проміжки часу та у встановленому частотному діапазоні [1].

На рис. 1 представлено варіації параметрів сейсмічного фону протягом квітня–грудня 2005 року за результатами досліджень за вищевказаною методикою.

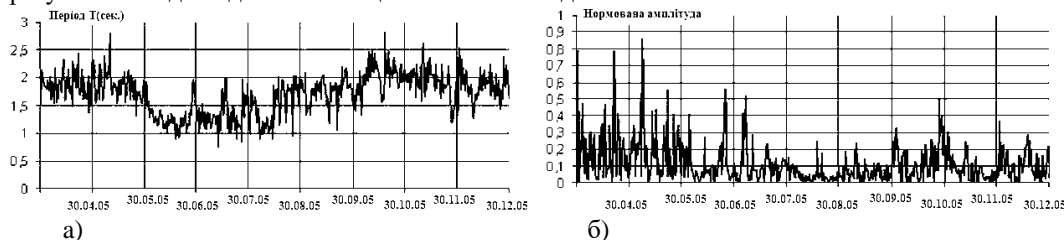


Рис.1. Значення періодів (а) та амплітуд (б) сейсмічного фону за період квітень–грудень 2005 року.

Однак, як показує досвід спостережень сейсмічного фону, даний підхід не враховує високої динаміки змін метеорологічних обставин у регіоні, що значною мірою впливає на рівень та частоту варіацій сейсмічного фону в районі станції.

Детальний аналіз сейсмограм показує, що основу сейсмічного фону складають штормові мікросейсми з періодами від 2–3 до 6–10 секунд, спричинені циклонічною діяльністю в регіоні. Дані мікросейсми є основними завадами для сейсмічних спостережень на станції [1, 2].

Висока динаміка змін метеобставин та пов'язаний з цим значний перепад рівня сейсмічного фону вказує на актуальність розробки нових підходів до оцінки можливості реєстрації сейсмічних подій з певного регіону.

Метою даної роботи є аналіз магнітудної чутливості встановленого на УАС сейсмічного комплексу залежно від фонові обстановка у районі спостереження.

## 2. Магнітудна чутливість пункту сейсмічних спостережень. Магнітудний поріг

Магнітуда землетрусу ( $M$ ,  $m_p$ ) є енергетичною характеристикою сейсмічного явища і визначається за максимальними амплітудами поздовжніх  $P$  та поверхневих  $L_g$ ,  $L_R$  хвиль за формулою [2,3]:

$$M(m_p) = \lg \frac{A_{\max}}{T_{\max}} + f(h, \Delta^\circ) + K \quad (1)$$

де  $A_{\max}$  – зміщення, яке відповідає максимальній амплітуді хвилі (у мікрометрах);

$T_{\max}$  – період, що відповідає максимальній амплітуді хвилі (у секундах);

$f(h, \Delta^\circ)$  – коефіцієнт каліброваної кривої, який залежить від епіцентральної відстані та від глибини осередку землетрусу;

$K$  – приведений коефіцієнт, який враховує взаємне розміщення джерела та станції.

Можливість реєстрації сигналів від сейсмічних джерел з певного сейсмоактивного регіону відповідного енергетичного класу є одним з основних показників ефективності пункту спостереження [2–4]. Для кількісної характеристики такої можливості використовується поняття магнітудної чутливості пункту спостереження [5].

Магнітудна чутливість у пункті спостереження визначає мінімальну магнітуду землетрусу з певного регіону Земної кулі, за якою в даному пункті спостереження зі встановленою вірогідністю буде зареєстровано та виділено сейсмічний сигнал. Магнітудна чутливість пункту спостереження вважається статичною величиною, розраховується для мінімально можливого рівня фону та не враховує можливу динаміку його змін.

Оцінка магнітудної чутливості визначається як:

$$M(Q, m_p) = \min M(m_p), \text{ для якого } P(Q, m_p) > 0,9 \quad (2)$$

де  $P(Q, m_p)$  – вірогідність виявлення землетрусу з району  $Q$ , магнітудою  $m_p$ .

Вірогідність виявлення землетрусу з певного району відповідної магнітуди визначається як відношення кількості землетрусів певної магнітуди, зареєстрованих пунктом спостереження, до загальної кількості землетрусів цієї ж магнітуди з даного району за один і той же період часу:

$$P(Q, m_p) = \frac{N_{\text{вияв}}(m_p)}{N(m_p)} \quad (3)$$

де  $N_{\text{вияв}}(m_p)$  – кількість виявлених ПС сигналів магнітудою  $m_p$  з району  $Q$ ;

$N(m_p)$  – кількість землетрусів магнітудою  $m_p$  які сталися в районі  $Q$ .

Класичний підхід до оцінки магнітудної чутливості може бути застосовано для оцінки ефективності пунктів спостереження з невисокою динамічністю змін рівня сейсмічного фону. Як правило, це «тихі» станції, які знаходяться в глибині континентів.

В умовах проведення сейсмічних спостережень на УАС даний підхід до оцінки магнітудної чутливості не може бути використаний у повній мірі, оскільки висока динаміка зміну фонові обстановка призводить до змін нижнього рівня магнітудної чутливості.

На рис.2 наведено приклади ділянок сейсмічного запису від землетрусів із району Сандвічевих островів. Як видно з рисунків, незважаючи на те, що магнітуди землетрусів близькі за значенням, умови виявлення сейсмічного сигналу неоднакові через різну фонові обстановка.

У зв'язку з цим для врахування динаміки змін сейсмічного фону пропонується ввести поняття магнітудного порогу.

Магнітудний поріг ( $M_{\Pi}$ ) пункту спостереження для певного регіону відповідає мінімальній магнітуді сейсмічної події з даного регіону, при якій вірогідність реєстрації сейсмічного сигналу від даної події, з урахуванням параметрів сейсмічного фону в даний момент часу, буде вищою від встановленої. При цьому магнітудний поріг розраховується в будь-який момент часу з метою визначення вірогідності реєстрації сейсмічних сигналів при поточних умовах фонові обстановка.

Поєднуючи характеристики сейсмічного фону в пункті спостереження та особливості району, для якого проводиться оцінка магнітудного порогу (відстань і характерні глибини осередків сейсмічних подій), магнітудний поріг може бути визначений як:

$$M(m_p)_{\text{пор}} = \lg \frac{\gamma A_{\text{фон}}}{T_{\text{с.ф.}}} + f(h, \Delta^\circ) + K \quad (4)$$

де  $A_{\text{фон}}$  – зміщення, яке відповідає амплітуді сейсмічного фону (у мікрометрах);

$\gamma$  – вибирається за умови достовірності викриття сейсмічного сигналу та обумовлений відношенням сигнал/перешкода для заданого рівня достовірності;

$T_{\text{с.ф.}}$  – період, що відповідає максимальній амплітуді (у секундах);

$f(h, \Delta^\circ)$  – коефіцієнт каліброваної кривої, що залежить від епіцентральної відстані та від глибини осередку сейсмічної події;

$K$  – наведений коефіцієнт, що враховує взаємне розміщення джерела та станції.

Магнітудний поріг виявлення сигналів від сейсмічних явищ залежить від рівня сейсмічного фону в районі розміщення сейсмічної станції та особливостей траси розповсюдження сейсмічного сигналу від джерела до станції. Оскільки магнітудний поріг розраховується для певного району Земної кулі, вираз (4) можна представити як:

$$M(m_p)_{\text{пор}} = \lg \frac{\gamma A_{\text{фон}}}{T_{\text{с.ф.}}} + \text{Const}(Q) \quad (5)$$

де  $\text{Const}(Q)$  – наведений коефіцієнт, що залежить від епіцентральної відстані та характерних глибин землетрусів для даного регіону.

Формула (5) являє собою функцію, що може розглядатися як безперервне оцінювання нижнього рівня магнітудної чутливості – магнітудного порогу виявлення для гіпотетичного сейсмічного явища з даного району із заданим рівнем довіри.

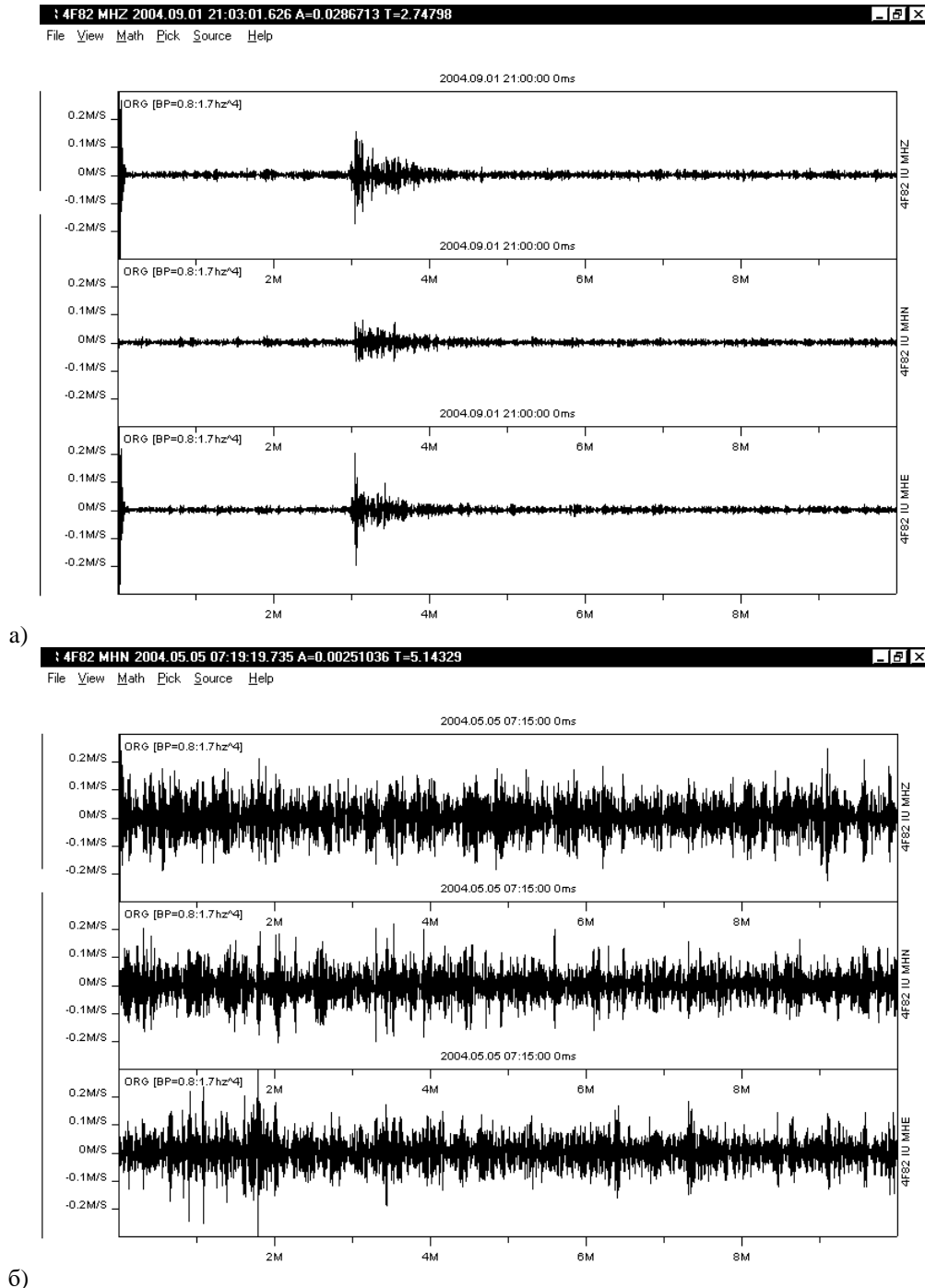


Рис. 2. Ділянки сигналів, які відповідають розрахованому часу надходження сейсмічної хвилі від землетрусів з району Сандвічевих островів: а) – 13.05.2004 р.,  $M=5,1$ ; б) – 01.09.2004 р.,  $M=5,0$ . Масштаб вертикальної осі однаковий.

Для сейсмічних явищ, які мають магнітуду нижче порогу, виявлення події мало ймовірно. Однак у випадку перевищення порогу подію буде виявлено із заданим рівнем довіри.

Запропонований метод урахування особливості сейсмічного фону в пункті спостереження забезпечує безперервну за часом оцінку магнітудного порогу сейсмічних явищ, які можуть виникнути в районі спостереження на заданому рівні довіри.

Таким чином, маючи безперервні дані сейсмічного моніторингу, з'являється можливість проводити оцінку порогу викриття сейсмічних подій у районі спостереження за магнітудним критерієм.

### 3. Оцінка магнітудного порогу сейсмічного комплексу УАС для сейсмічних подій із району Сандвічевих островів

Під час 10-ї УАЕ було проведено дослідження магнітудного порогу апаратури сейсмічного методу для регіону Сандвічевих островів. Даний район є найближчим до УАС сейсмоактивним районом. У період квітень–грудень 2005 року в даному районі згідно з даними NEIC сталося 14 землетрусів з магнітудою  $M \geq 4.5$ . З них сейсмічним комплексом УАС зареєстровано 10 землетрусів.

На рис. 3 представлено ділянки сигналів із зареєстрованими сигналами від землетрусів з району Сандвічевих островів та ділянки сигналів, де відповідно до розрахункового часу приходу сейсмічної хвилі має знаходитися сигнал.

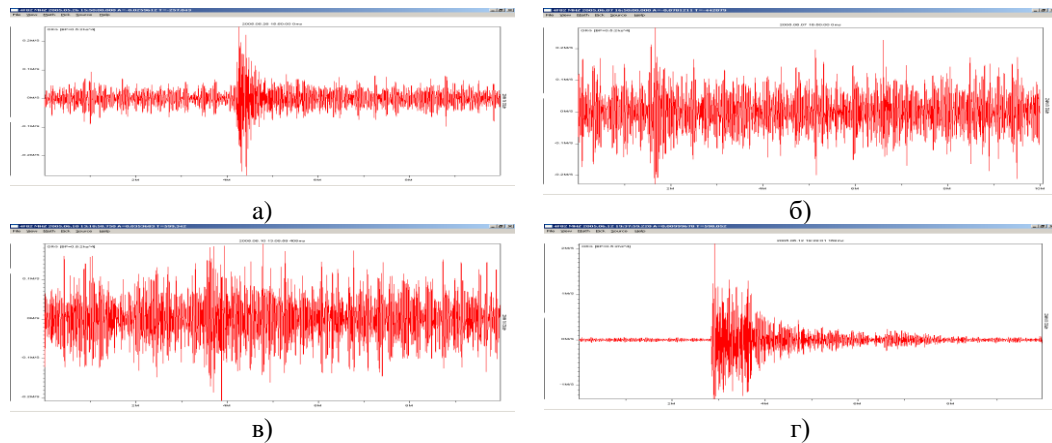


Рис. 3. Ділянки сигналів із зареєстрованими сигналами від землетрусів з району Сандвічевих островів та ділянки сигналів, що відповідають розрахунковому часові приходу сейсмічної хвилі: а – 26.05.2005 р.; б – 07.06.2005 р.; в – 10.06.2005 р.; г – 12.06.2005 р.

Нижче наведено оцінку можливості ТКСС, встановленої на УАС, щодо виявлення сейсмічних сигналів від землетрусів з району Сандвічевих островів різної магнітуди в залежності від фоновій обстановки протягом липня–серпня 2005 року.

На рис.4 представлено варіацію магнітудного порогу сейсмічного комплексу УАС для району Сандвічеві острови протягом липня–серпня 2005 року (ламана лінія).

Величина та розташування вертикальних ліній вказують на магнітуду й час землетрусу із вказаного району. Серія горизонтальних прямих ліній вказує на значення рівня магнітудної чутливості для землетрусів з  $M = 4.9, 5.0$  та  $5.5$  ( $H > 80$  км).

Можливість виявлення землетрусу ТКСС оцінювалась шляхом порівняння магнітуди події з магнітудним порогом на час очікування приходу сейсмічної хвилі:

$$F(m_p) = \begin{cases} 1, m_p > M_{пор} \\ 0, m_p < M_{пор} \end{cases} \quad (6)$$

де  $F(m_p)$  – показник виявлення сейсмічних сигналів магнітудою  $m_p$ .

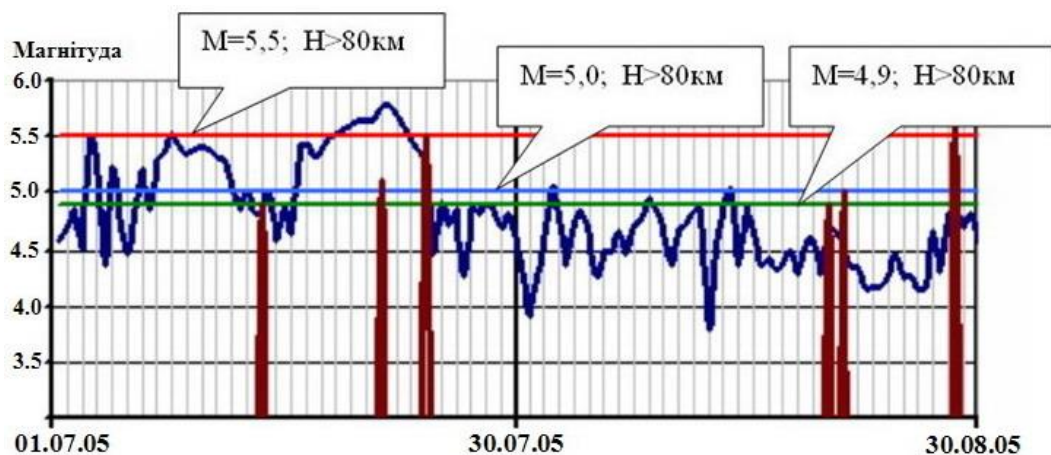


Рис. 4. Варіації магнітудного порогу для району Сандвічевих островів протягом липня–серпня 2005 року та магнітуди землетрусів, що відбулися за цей час.

Магнітудний поріг розраховувався за формулою (5). При цьому Const(Q) для району Сандвічевих островів складає 6,14.

На рис. 5 представлено результати оцінки можливості виявлення сейсмічних сигналів від землетрусів з M відповідно 4,9, 5,0 та 5,5 (H>80 км), в залежності від фонові обставинки в районі розташування УАС.

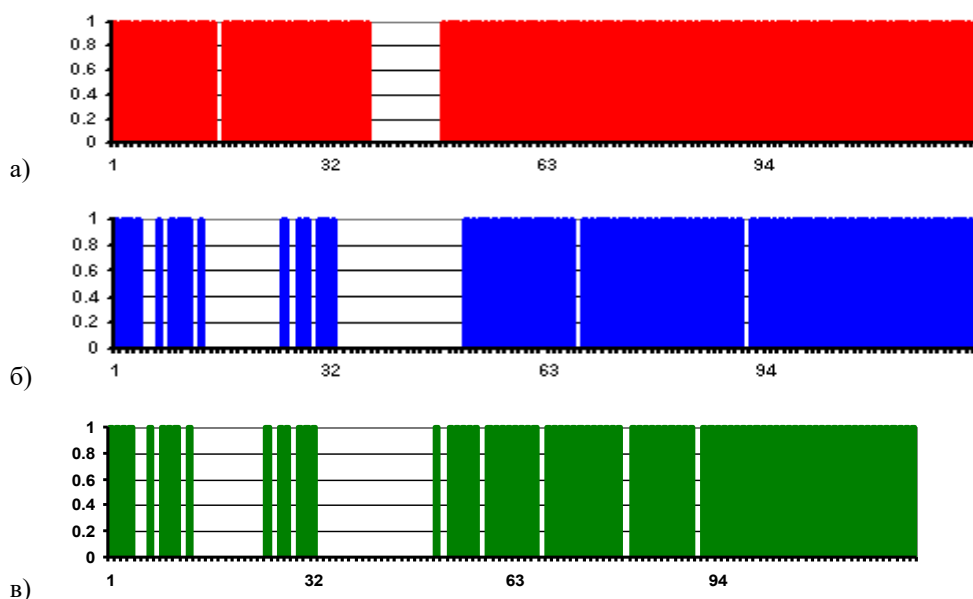


Рис. 5. Оцінка можливості сейсмічного комплексу щодо викриття сейсмічних сигналів від землетрусів з району Сандвічевих островів різної магнітуді в залежності від фонові обставинки протягом липня–серпня 2005 року: а) – для  $M \geq 5,5$ ; б) – для  $M \geq 5,0$ ; в) – для  $M \geq 4,9$ .

Як видно з наведених графіків, протягом більшої частини липня для виявлення сейсмічних сигналів складалась несприятлива фонові обставинка, що в свою чергу не дало змоги виділити сигнали від землетрусів з району Сандвічевих островів – 14.07.2005 р. з магнітудою 4,9 та 22.07.2005 р. з магнітудою 5,1.

## Висновки

Висока динаміка зміни рівня сейсмічного фону в районі розташування УАС показує, що використання традиційних підходів до аналізу магнітудної чутливості апаратури недостатнє, внаслідок чого необхідне введення додаткових інформаційних критеріїв. Як один із таких критеріїв пропонується використовувати магнітудний поріг  $M_p$ , який оцінює мінімальну магнітуду землетрусу з певного регіону Земної кулі в будь-який момент часу залежно від рівня сейсмічного фону в районі розташування пункту спостереження.

Даний підхід було апробовано на реальних сейсмічних сигналах від землетрусів з регіону Південних Сандвічевих островів, зареєстрованих сейсмічним комплексом антарктичної станції Академік Вернадський протягом липня–серпня 2005 року.

Запропонований підхід до оцінки магнітудної чутливості може бути застосований також і для оцінки вирішення завдань виявлення сейсмічних подій з інших регіонів та для інших пунктів спостереження.

## Література

- Саваренский Е.Ф., Кирнос Д.П. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М.: ГИТЛ. 1955. 543 с.  
Раутман Т.Г. Об энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км.// Тр. ИФЗ АН СССР. 1969. №32 (199). С. 88–93.  
Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний. – Москва. «Крас. Окт.», 2005. – 420 с.  
Коган С.Я. Сейсмическая энергия и методы ее определения. М.: Наука. 1975. 152 с.  
Халтурин В.И. Соотношения между магнитудными определениями, ожидаемые и наблюдаемые.// Сб. Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. 1974. Т.1. - С. 145–153.