

УДК 550:34; 550.394.2

МОЖЛИВІСТЬ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО ЗАГРОЗУ ЦУНАМІ ВНАСЛІДОК ЗЕМЛЕТРУСІВ У МОРІ СКОША ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ

О.І. Ляшук

*Головний центр спеціального контролю ДКА України,
с/мт Городок, alex_liashchuk@mail.ru*

У статті обговорюється можливість застосування наявних на УАС Академік Вернадський приладів і використання геофізичних методів моніторингу, зокрема сейсмічного та інфразвукового, для сигналізації про загрозу цунамі внаслідок потужного землетрусу в районі моря Скоша. Запропоновано методику раннього попередження персоналу станції про цю небезпеку.

Возможность предупреждения об угрозе цунами вследствие землетрясений в море Скоша с помощью геофизических методов

А.И. Ляшук

Резюме. В статье обсуждается возможность применения имеющихся на УАС Академик Вернадский приборов и использования геофизических методов мониторинга, в частности сейсмического и инфразвукового, для сигнализации об угрозе цунами вследствие мощных землетрясений в районе моря Скоша. Предложена методика раннего предупреждения персонала станции об этой опасности.

The possibility of a tsunami warning from earthquakes Scotia Sea geophysical methods

O.I. Liashchuk

Abstract. Discussed the possibility of using geophysical methods for monitoring, in particular seismic and infrasound, for an early signal of a tsunami of powerful earthquakes in the area of the Scotia Sea. Proposed to the method of early warning for station personnel.

Keywords: Earthquake, Tsunami, Seismic, Infrasound, Propagation

1. Вступ

Згідно з Державною цільовою науково-технічною програмою проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки Головним центром спеціального контролю спільно з Національним антарктичним науковим центром проводяться роботи з комплексного дослідження геофізичних полів для моніторингу небезпечних геофізичних явищ у регіоні Антарктичного півострова. Особлива увага приділяється проблемі землетрусів як найбільш руйнівних і високоенергетичних явищ.

Ряд потужних землетрусів регіону моря Скоша викликали хвилі цунамі, що неодноразово реєструвалося мареографами на Українській антарктичній станції (УАС) Академік Вернадський. Хвилі цунамі реєструвалися й після інших сильних землетрусів у світі (Суматра, 2004; Японія, 2011; Чилі, 2010 і 2014). Амплітуда хвиль цунамі від зареєстрованих землетрусів не перевищувала значень 50 см. Разом з тим слід зазначити, що хвилі навіть такої амплітуди здатні спричинити негативні наслідки на значному віддаленні від епіцентру події. Так, після землетрусу біля узбережжя Японії в березні 2011 року виникло цунамі, хвилі якого дійшли до узбережжя Антарктиди. Й хоча амплітуда цих хвиль не перевищувала 30 см, цього виявилось досить, аби спричинити удар у шельфовий льодовик, внаслідок чого відколовся

айсберг Sulzberger, який за площею перевищує розміри Манхеттена. Відомі факти (1958 рік, Алеутські острови), коли землетрус і наступне за ним цунамі викликали в затоці Літуя зсув у море однойменного льодовика, після чого в майже замкнутому просторі затоки утворилася хвиля висотою в кілька сотень метрів. На офіційному сайті BAS повідомляється про те, що руйнування Хатини Ворді в 40-х роках минулого сторіччя могла спричинити хвиля цунамі. У такій послідовності: удар хвилі цунамі, внаслідок цього – зсув у воду великої маси криги біля станції і руйнування історичної пам'ятки...

Таким чином, завдання оперативно встановити факт сейсмічної події, визначити як наступні етапи генерацію дії цунамі та подальше попередження про його можливі для персоналу станції наслідки, є актуальним. Особливої актуальності воно може набути для людей, що виконують польові дослідження за межами станції. У статті обговорюється можливість застосування наявних на УАС геофізичних методів моніторингу для завчасної сигналізації про появу цунамі внаслідок потужних землетрусів у районі моря Скоша.

2. Сучасний стан моніторингу

У світі існує ряд міжнародних систем попередження про цунамі (Тихоокеанський центр попередження про цунамі, Система попередження про цунамі в Індійському океані) та регіональних систем (у Росії, Японії, Система попередження про цунамі в Карибському регіоні). Кожна система базується на інформації від мережі датчиків, що реєструють цунамі (мареографи припливних станцій на узбережжі), та на комунікаційній мережі, що попереджає про небезпеку. Для виявлення хвиль цунамі у відкритому океані використовуються придонні датчики гідростатичного тиску. Систему попередження, що базується на датчиках із супутниковим зв'язком, встановлених на приповерхневих буюх, розроблено в США (DART – Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis).

Основою існуючих систем попередження є той факт, що швидкість хвилі цунамі у відкритому океані набагато менша за швидкість сейсмічних хвиль від землетрусу, якими цунамі генерується. Адже саме землетруси у 90% випадків є причиною цунамі.

Хоча регіон Антарктичного півострова і не входить до району дії систем попередження, тим не менш проведене групою новозеландських вчених із Кентерберійського університету (University of Canterbury) моделювання [1] вказує на те, що хвилі цунамі навкруг Антарктичного півострова є й можуть бути досить високими. На півострові знаходиться значна кількість наукових станцій (рис. 1), багато з яких оснащені відповідними приладами – інформація з них і стала підґрунтям для таких висновків.

3. Характеристика регіону та вихідні дані для досліджень

На район розміщення УАС Академік Вернадський найбільший вплив спричиняє сейсмічно небезпечна зона Південно-Антільської дуги, що оперізує море Скоша і протоку Дрейка і включає острови Південного Георгія, Південні Сандвічеві, Південні Шетлендські та Південні Оркнейські. Середня віддаленість центрів землетрусів від станції складає 1000–2000 км. Протягом року у вказаному регіоні відбувається близько 50 землетрусів із магнітудою 5 та більше. За час інструментальних спостережень найближчі до станції землетруси зареєстровано на віддалі 200 км ($M=5.4$), що в районі УАС відповідає розрахунковій інтенсивності у 3-4 бали за шкалою MSK (персоналом станції поштовхи можуть відчуватися). Землетруси із вказаного регіону можуть викликати цунамі, які досягатимуть УАС.

У зв'язку з великою довжиною хвилі, що перевищує 100 км на кілометрових глибинах, цунамі, майже не слабшаючи, можуть проходити тисячі кілометрів. Підтвердженням цього є реєстрація на Вернадському цунамі від узбережжя Чилі, Японії, Індонезії. Швидкість поширення цунамі в океані становить $700\div 800$ км/год., а вже біля узбережжя знижується до $30\div 40$ км/год.

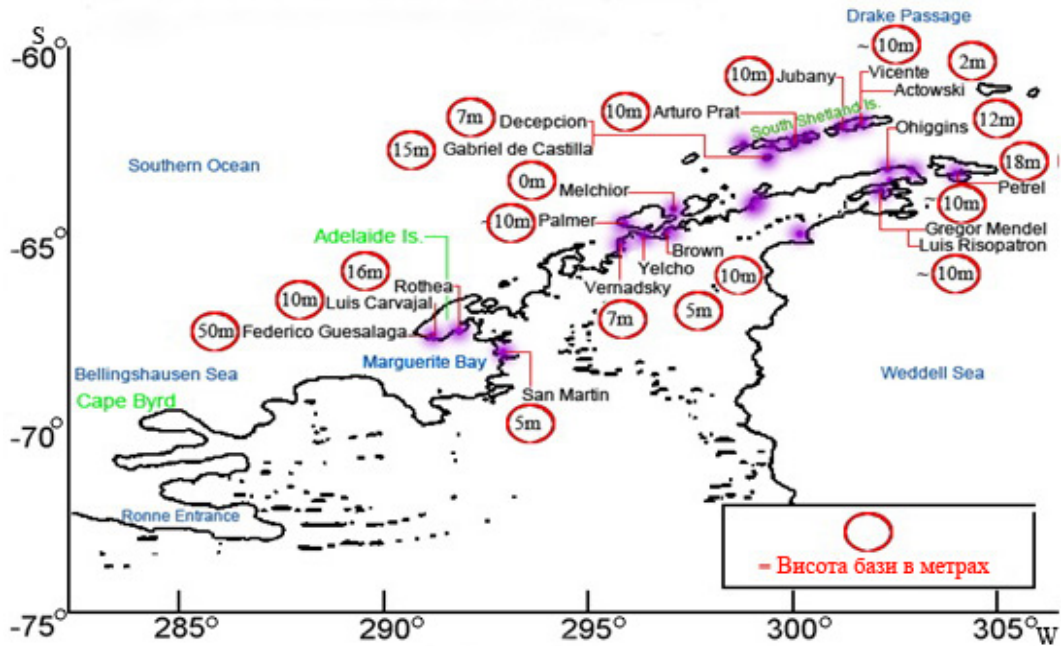


Рис. 1. Розміщення антарктичних наукових станцій у районі Антарктичного півострова. Заштриховані ділянки вказують на наявність приливних станцій [1].

На рис. 2 наведено модель розповсюдження хвилі цунамі від останнього Чилійського землетрусу 2014 року, на рис. 3 – хвильова форма зареєстрованої на УАС хвилі цунамі (Рис. 2, 4, 5, 6 див. на кольор. вклейці 2).

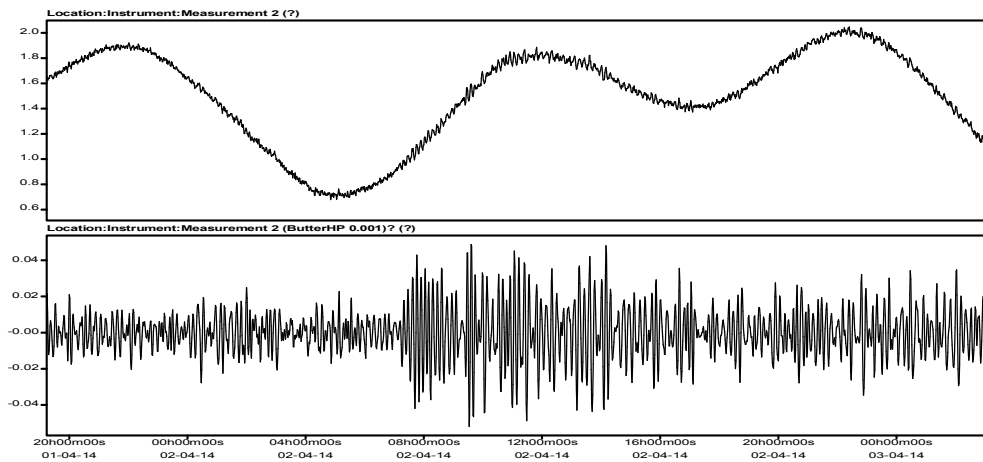


Рис. 3. «Сирі» дані мареографа на УАС Академік Вернадський (вгорі) та відфільтрована високочастотна частина (внизу). Амплітуда хвилі цунамі, що дійшла до станції, співпадає зі змодельованим значенням.

Виникнення значних цунамі пов'язане з землетрусами, центри яких розташовані порівняно близько до поверхні – на глибині не більше 40–60 км.

На основі багаторічних спостережень [2] отримано наступну статистику:

- землетруси з магнітудою $M > 7.5$ викликають цунамі майже завжди;
- при $M=7 \div 7.2$ – цунамі виникають у 67% випадків;
- при $M=6.7 \div 6.9$ – цунамі виникають у 17% випадків;
- при $M=5.8 \div 6.2$ – лише в 14% випадків.

Для визначення швидкості v розповсюдження хвиль цунамі зазвичай користуються відомою формулою Лагранжа:

$$v = \sqrt{2gH^{-1}} \quad \text{м/с}, \quad (1)$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с;
 H – глибина океану, м.

Ця формула передбачає, що дно горизонтальне, і дає величини v , що добре узгоджуються з даними спостережень у Тихому океані.

Таким чином, час поширення хвиль цунамі від епіцентра до берега можна визначити за формулою:

$$t = \frac{R}{v}, \quad \text{с} \quad (2)$$

де R – відстань від епіцентра виникнення цунамі до узбережжя;
 v – швидкість розповсюдження хвиль цунамі, м/с.

Пауза між моментами початку реєстрації землетрусу сейсмічною станцією УАС Академік Вернадський і прибуттям хвиль цунамі до узбережжя о-ва Галіндез може становити від кількох годин (море Скоша) до майже доби (Алеутські о-ви).

4. Методика проведення експерименту

Оскільки геофізичні поля між собою взаємопов'язані, можна чекати реакції на такі високоенергетичні явища, як землетруси, у всіх геосферах. Цунамі виникають лише після тих землетрусів, що пов'язані зі швидким утворенням на дні океану скидів, обвалів, зсувів. Це зміщення діє за принципом поршня і штовхає воду, викликаючи утворення цунамі. Окрім цього, такий «поршень» штовхає не лише воду, а й атмосферне повітря, що призводить до генерації інфразвукових хвиль [5].

Характерною особливістю інфразвуку є велика довжина хвилі і мала частота коливань. При цьому інфразвукові хвилі можуть вільно огинати перешкоди, розповсюджуючись у повітряному середовищі на великі відстані з незначною втратою енергії, оскільки поглинання інфразвуку в атмосфері мале. Разом з тим швидкість розповсюдження інфразвуку складає близько 1100 км/год., перевищуючи швидкість розповсюдження цунамі. Цей факт може бути використаний для попередження про цунамі в регіоні (рис. 4).

Пропонується використовувати наступну методику. Спочатку сейсмічним методом виявляється землетрус, який може спричинити цунамі. Для цього на трикомпонентному цифровому записі сейсмічної станції виокремлюються сейсмічні хвилі Р та S, і за різницею їх прибуття за допомогою годографів визначається відстань до джерела сигналу. За різницею амплітуд на вертикальних каналах сейсмографа визначається азимут на джерело сигналу та встановлюються координати його гіпоцентра.

Після отримання вихідних даних розраховується магнітуда джерела сейсмічного сигналу [3, 4]:

$$m_b = \lg(A/T) + Q(D, h), \quad (3)$$

де A – амплітуда коливань ґрунту (в мікрометрах), T – період хвилі (в секундах), Q – станційна поправка, яка залежить від відстані до епіцентру D і глибини осередку землетрусу h .

Знаючи відстань від епіцентру землетрусу до пункту спостереження, можна оцінити з певним допуском час приходу інфразвукової хвилі на УАС:

$$t1=L/16.5, c; \quad t2=L/20.4, c \quad (4)$$

Якщо у визначеному інтервалі часу інфразвукова хвиля присутня – можна стверджувати, що утворилася хвиля цунамі, яка із затримкою, достатньою для прийняття засобів безпеки, може дійти до УАС.

На Вернадському є вимірювальна сейсмічна, інфразвукова та океанологічна апаратура, і за результатами зафіксованих ними даних можна здійснити перевірку запропонованого припущення.

5. Попередні результати

Було проаналізовано архіви геофізичних даних УАС та відкритих спеціалізованих інтернет-ресурсів. Відібрано інформацію за останні 10 років про всі сильні землетруси Індійського та Тихого океанів, які викликали цунамі. Із 37 випадків генерації цунамі потужними землетрусами з магнітудою понад 7 відгуки на мареографі УАС реєструвалися у 23 випадках. Інфразвуковий відгук за даними світових інфразвукових станцій реєструвався лише для двох потужних землетрусів – в Індонезії (о. Суматра, 2004 рік, $M_w=9.0$) та Японії (2011 рік, $M_w=9.1$). Зафіксувати сигнали від інших явищ за допомогою однокомпонентної акустичної станції виявилось неможливим, оскільки місцева турбулентність перевищувала за амплітудою корисний сигнал.

Було нагромаджено інформацію про землетруси в морі Скоша, магнітуда та епіцентри яких могли спричинити цунамі. Відібрано 6 таких землетрусів, із врахуванням показників (4) оцінено інтервали можливого приходу інфразвукових хвиль. Відгук на мареографі УАС зареєстрований від трьох із відібраних явищ. За останнє десятиріччя в регіоні сталося два землетруси, найсильніших за всю історію інструментальних спостережень, – з магнітудами 7.3 (04.08.2003) та 7.7 (17.11.2013), що викликали хвилю цунамі. Інфразвуковий відгук зареєстровано для обох явищ (рис. 6, 7).

Для землетрусу 2003 року інфразвуковий фон був більш сприятливим, тому зареєстрований акустичний сигнал чітко виділяється на спектрограмі (рис. 5). У першій нижній частині спектра присутня потужна вітрова перешкода, яка поступово зникає, і далі видно, що за відсутності перешкод інфразвуковий сигнал від землетрусу приходить. Час розповсюдження інфразвуку склав 67 хвилин. Амплітуда хвилі на мареографі становила 10 см.

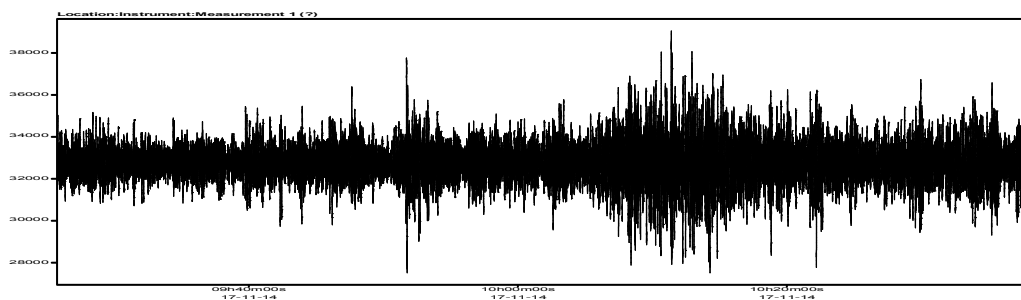


Рис. 7. Інфразвуковий фон на УАС із наявним корисним сигналом від землетрусу в морі Скоша 17.11.2013 р.

6. Висновки

Отже, землетруси регіону моря Скоша, що спричинили цунамі, генерували інфразвукову хвилю. Вказані хвилі та цунамі були зареєстровані на УАС Академік Вернадський. Таким чином, висунуте припущення отримало підтвердження, що свідчить про перспективність використання методики для раннього оповіщення про цунамі. Окрім того, методика може бути перенесена для використання в інші цунамінебезпечні регіони.

Недоліком способу в дійсний час є відсутність направленої моніторингу, що можливо усунути, розмістивши на Вернадському кілька додаткових інфразвукових станцій. Подібні системи встановлені та успішно працюють на німецькій і японській антарктичних станціях, ведуться роботи по встановленню інфразвукової системи групування на сусідній з УАС антарктичній станції Палмер. Подальші дослідження для розробки розглянутого способу необхідно проводити із залученням вимірювальних даних вказаних станцій.

Автор висловлює щире подяку Національному антарктичному науковому центру за можливість проведення досліджень та зимівникам УАС – за надання допомоги і підтримку.

Література

1. **COMNAP** Preliminary Research Report: Understanding Risk to National Antarctic Program Operations and Personnel in Coastal Antarctica from Tsunami Events. SCAR Papers to ATCM XXXV and CEP XV 2012, Hobart, Tasmania.
2. **Мешков Н.** Причины и последствия стихийных бедствий и катастроф. Основы безопасности жизни. 1998 г. № 2, стр. 14–23.
3. **Рихтер Г.Ф.** Элементарная сейсмология. М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 671 с.
4. **Hiroo Kanamori.** The Energy Release in Great Earthquakes // J. of Geophysical Research. – July 10, 1977. – В. 20. – Т. 82. – С. 2981–2987
5. **Пономарев Е.А., Ерущенков А.И.** Инфразвуковые волны в атмосфере Земли // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 1977. – Т. 20. – N 12. – С. 1773–1789.