

## КЛАССИФИКАЦИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ

**И. Учитель**

Публичное акционерное общество “Одессагаз”

**Б. Капочкин**

“Трансконтинентальное сейсмопрогностическое бюро”

**Ключевые слова:** асейсмичные геодеформации, цунами, океаническая кора, гидротехнические сооружения, разгерметизации трубопроводов.

### Постановка проблемы

Современный технический уровень геодинимического мониторинга суши, включающий региональные перманентные геодезические GPS-сети, глобальную и региональные сейсмометрические сети, спутниковые гравиметрические, альтиметрические и интерферометрические системы, позволили накопить достаточный объем данных об асейсмичных реверсивных высокоамплитудных гедеформациях временного масштаба минуты – недели [1]. Данные измерений этого типа гедеформаций для районов акваторий не существуют. В то же время, разрушительные свойства этих гедеформаций, как нового типа тектонических движений [2], могут проявляться как на суше, так и в районах акваторий. Важно отметить, что океаническая кора отличается по геологическому строению от материковой коры, она в несколько раз тоньше. В связи с этим есть основания предполагать, что существуют отличия в геодинимике океанов и континентов. Наиболее актуальным является определение опасности этого типа движений для морских участков трубопроводов и гидротехнических сооружений на океанском дне.

### Связь с важными научными и практическими заданиями

Глобальный характер высокоамплитудных асейсмических гедеформаций, их свойство пространственной локализации в условиях короткой продолжительности гедеформационного процесса существенно ограничивают применение существующих методов геодинимического мониторинга. Такие гедеформации могут сопровождаться трещинами, провалами, колебательными движениями грунта (амплитуда до 30 см), в том числе на территориях, считающихся асейсмичными. Для районов акваторий информация об амплитудно-частотных характеристиках указанного типа асейсмических гедеформаций пока отсутствует.

### Анализ последних достижений и публикаций

Известны циклические асейсмические гедеформации глобального масштаба с периодами, кратными и дольными 14 суткам [2, 3]. Это периоды 28 суток, 14 суток, 7 суток, 3,5 суток. Используя данные EUREF Permanent GNSS Network мониторинга (суточное осреднение данных), мы рассмотрели такие гедеформации [3]. По данным размещенных на суше широко-

полосных сейсмографов выполнен анализ амплитудно-частотных характеристик высокочастотных асейсмических гедеформаций [3].

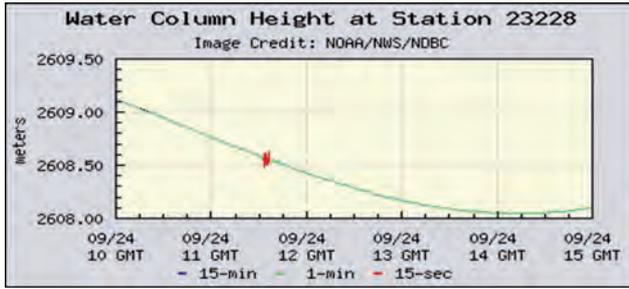
### Постановка задачи

Континентальная кора отличается от океанической по толщине, составу, насыщенности водой, газами и по другим параметрам. Характер деформируемости океанической коры, динамика и кинематика этого процесса до сих пор не изучены. Целью этого исследования было изучить перспективы использования существующих морских систем мониторинга для изучения гедеформаций океанского дна. В качестве объекта исследований выбрана современная система раннего выявления цунами, укомплектованная донными датчиками, размещенными на океанической коре. Всего в океане установлено более 50 донных систем, выполняющих измерения вертикальных смещений океанического дна с дискретностью 15 с. Это позволяет измерять гедеформации с периодом более 1 минуты. Точность измерения вертикальных смещений не хуже 5 мм. Данные измерений этой системы включают измерения деформаций океанического дна.

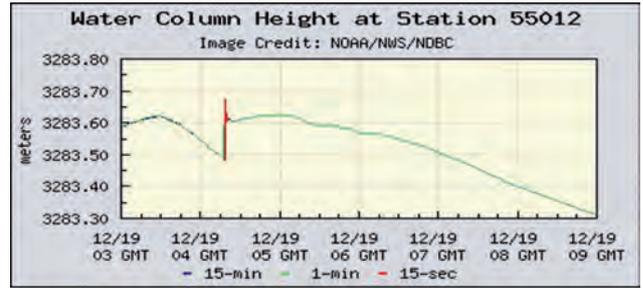
### Изложение основного материала исследований

Для выделения и дальнейшего исключения из анализа сейсмических волн Релея, измеренных системой раннего выявления цунами, мы изучили данные их регистрации в океане после сильного землетрясения с эпицентром на континенте. В качестве примера выбрано континентальное землетрясение 24.09.2013 г. в 11:29:47 UTC, с  $M=7,7$  в Пакистане ( $26.951^{\circ}N$   $65.501^{\circ}E$ ). Волны Релея от этого землетрясения измерены донной станцией регистрации цунами в Индийском океане № 23228, установленной на глубине 2611 м в точке с координатами  $20.799^{\circ}N$   $65.347^{\circ}E$ . На рис. 1 показана запись донной станции № 23228 волны Релея от указанного землетрясения. Скорость волны Релея составила 3 км/с, что соответствует её теоретическим оценкам. Волна Релея характеризовалась цугом из трех колебаний с периодом 75–90 секунд и амплитудой до 14 см.

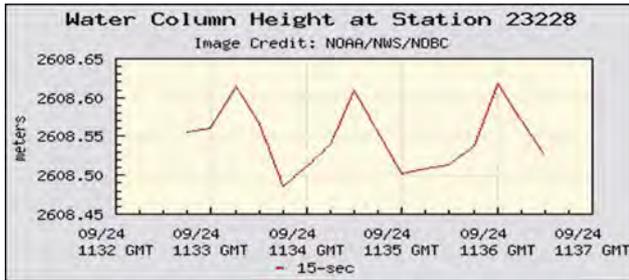
Считаем рис. 1 тестовым графиком сейсмических волн Релея после сильного землетрясения. Все виды движений поверхности дна, отличающиеся от графика тестового, будем классифицировать как гедеформации. В связи с тем, что гедеформации океанической коры анализируются впервые, необходимо выполнить важный этап научных исследований – их классификацию. Для анализа использована база данных измерений донных станций измерения цунами (<http://www.ndbc.noaa.gov>).



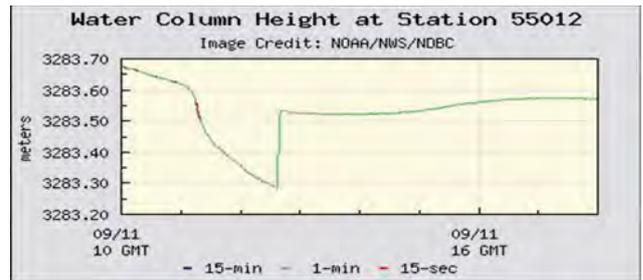
a



a



б



б

Рис. 1. Запись волны Релея донной станцией регистрации цунами №23228 (а) и увеличенный фрагмент этой записи с 11 часов 32 минут до 11 часов 37 минут 24.09.2013 г. (б)

Рис. 3. Результаты измерений станции регистрации цунами № 55012

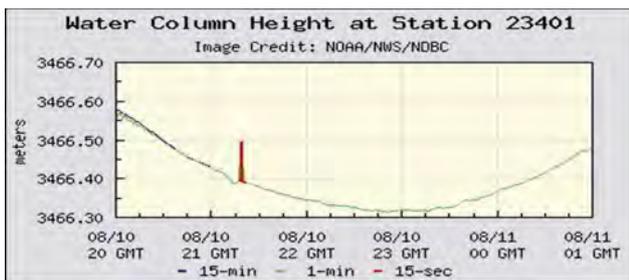


Рис. 2. Результаты измерений станции регистрации цунами № 23401

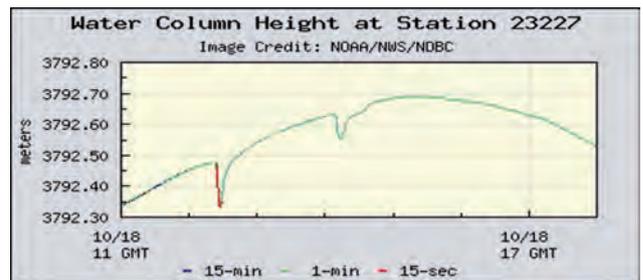


Рис. 4. Результаты измерений станции регистрации цунами № 23227

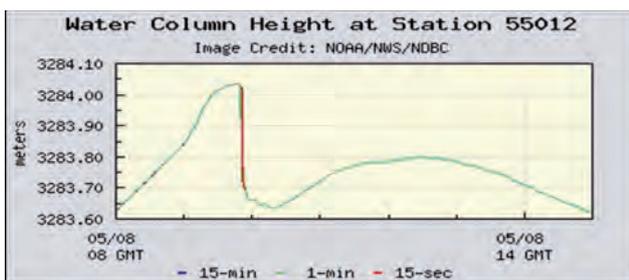


Рис. 5. Результаты измерений станции регистрации цунами № 55012

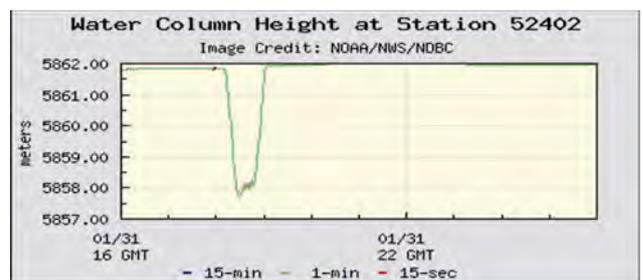


Рис. 6. Результаты измерений станции регистрации цунами № 52402

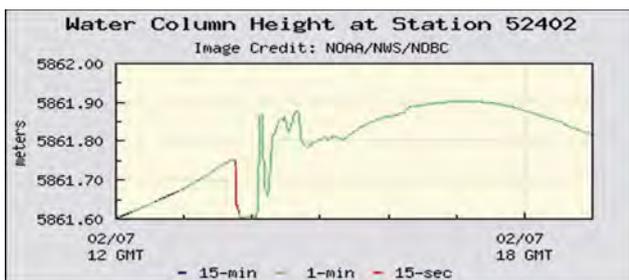


Рис. 7. Результаты измерений станции регистрации цунами № 52402

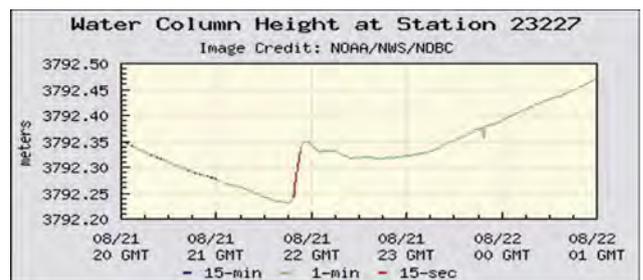


Рис. 8. Результаты измерений станции регистрации цунами № 23227

В результате анализа данных измерений 58 донных станций за последние семь лет удалось в выполнить классификацию геодеформаций океанической коры с периодами от одной минуты до нескольких часов. На рис. 2 приведено быстрое вздымание поверхности дна на 10 см и возвращение в прежнее положение с продолжительностью приподнятой фазы деформации до одной минуты.

На рис. 3 показаны примеры продолжительного 30-минутного (а) и полуторачасового (б) опускания поверхности дна на 10 см (а) и на 25 см (б) и быстрого возвращения в прежнее положение.

На рис. 4 показан пример быстрого опускания поверхности дна на 15 см и сравнительно плавного 20-минутного возвращения в прежнее положение.

На рис. 5 показан пример 2-часового поднятия поверхности дна на 30 см и быстрого возвращения в прежнее положение.

На рис. 6 показан пример опускания морского дна и возвращения в прежнее положение с амплитудой более 4 метров и продолжительностью около часа.

На рис. 7 показан пример сложных вертикальных движений морского дна с амплитудой 20–30 см и продолжительностью около часа.

На рис. 8 показан пример 5-минутного подъема поверхности дна на 12 см.

Анализ выполненной классификации геодеформаций показывает, что частотные характеристики быстропотекающих геодеформаций океанической коры согласуются с геодеформациями, регистрируемыми в пределах континентальной коры [3], а амплитуда вертикальных смещений океанической коры может быть значительно выше. Экстремальная амплитуда геодеформаций, измеряемая метрами и даже десятками метров, не имеет аналогов в пределах коры континентального типа и требует дополнительного анализа и изучения.

#### Выводы

В результате анализа методических решений по измерению геодеформаций на суше (условия континентальной коры) показаны возможности комплексного использования перманентных сетей спутниковой геодезии, глобальной сейсмологической сети широкополосных сейсмостанций и других методов для измерений геодеформаций в широком диапазоне частот. Для океана (условия тонкой океанической коры) методы изучения геодеформаций предложены не были. Мы предложили использовать технологию измерения цунами, позволяющую измерять вертикальную составляющую геодеформаций с сантиметровой

точностью и периодами более одной минуты. В результате исследований выполнена классификация геодинамических движений океанической коры и установлено, что частота быстропотекающих геодеформаций океанической коры согласуется с частотой геодеформаций, регистрируемых в пределах континентальной коры, а амплитуда деформаций океанической коры значительно выше.

#### Литература

1. Классификация асейсмических геодеформаций и их опасность для инженерных сооружений / И.Л. Учитель, В.Н. Ярошенко, Б.Б. Капочкин // *Экологія міст та рекреаційних зон.* – Одеса, 2011. – С.295–297.
2. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // *Геологическое изучение и использование недр: науч.-техн. информ. сб.* – М.: АОЗТ “Геоин-форммарк”, 1996. – Вып. № 4. – С.43–53.
3. Геодинамика. Основы кинематической геодезии / С.П. Войтенко, И.Л. Учитель, В.Н. Ярошенко, Б.Б. Капочкин. – Одесса: Астропринт, 2007. – 254 с.

#### Класифікація швидкоплинних деформацій океанічної кори

І. Учитель, Б. Капочкін

Виконано класифікацію геодинамічних рухів океанічної кори. Встановлено, що амплітуда швидкоплинних деформацій океанічної кори значно вища, ніж у континентальної кори.

#### Классификация быстропотекающих деформаций океанической коры

И. Учитель, Б. Капочкин

Выполнена классификация геодинамических движений океанической коры. Установлено, что амплитуда быстропотекающих деформаций океанической коры значительно выше, чем у континентальной коры.

#### Classification of high-speed deformation of the oceanic crust

I. Uchytel, B. Kapochkin

The classification geodynamic movements of the oceanic crust. Found that the amplitude of the high-speed deformation of the oceanic crust is much higher than that of the continental crust.



### 18-th Esri Users Conference in Ukraine “Geoinformation Technologies in the Management of Territorial Development”

**Date:** June 03 – 06, 2014.

**Location:** Ukraine, Crimea, Sudak

**Address:** 98000 Ukraine, Crimea, Sudak, 89 Lenin str., TOK “Sudak”

**Contacts:** info@ecomm.kiev.ua P/F: +38 044 5024121