

УДК 528.2; 528,7

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ

**И. Учитель**

Публичное акционерное общество “Одессгаз”

**Б. Капочкин**

“Трансконтинентальное сейсмопрогностическое бюро”

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

### Постановка проблемы

Асейсмические быстропротекающие геодеформации изучены на суше на основании результатов исследований на геодинамических полигонах [1]. В дальнейшем этот тип геодеформаций изучался на суше другими методами, а результаты этих исследований обобщены в работе [2]. В океане, где океаническая кора отличается по плотности и мощности, быстропротекающие геодеформации могут отличаться по амплитудно-частотным характеристикам и по характеру проявления. По данным исследований на суше, эти деформации проявляются повсеместно, но фрагментарно [2]. Целью этого исследования является изучение закономерностей проявления в пространстве быстропротекающих деформаций океанической коры. В качестве инструмента исследования выбрана система обнаружения волн цунами, укомплектованная донными датчиками, размещенными на океаническом дне. Всего в океане установлено более 50 донных систем, выполняющих измерения вертикальных смещений океанического дна с дискретностью 15 секунд. Это позволяет измерять геодеформации с периодом более 1 минуты. Точность измерения вертикальных смещений не хуже 5 мм. Данные измерений этой системы включают измерения деформаций океанического дна.

### Связь с важными научными и практическими заданиями

Глобальный характер высокоамплитудных асейсмических геодеформаций, их свойство пространственной локализации в условиях короткой продолжительности геодеформационного процесса существенно ограничивают применение существующих методов геодинамического мониторинга. По данным измерений глобальной сейсмологической сети установлено, что высокоамплитудные асейсмические геодеформации могут проявляться синхронно в разных частях земного шара. Длительность их проявления измеряется часами. По данным СМИ, в период проявления указанных асейсмических геодеформаций в разных районах фиксировались разрушения с изменением сплошности геологической среды. В океане реверсивные асейсмические геодеформации могут представлять опасность для трубопроводов, кабелей связи и гидротехнических инженерных сооружений.

### Анализ последних достижений и публикаций

На суше эпизодически проявляются высокоамплитудные циклические асейсмические геодеформации глобального масштаба разрушительного характера, рассмотренные в работе [2]. По данным разгерметизаций сети газопроводов ПАО “Одессгаз”, распределенных по площади около 200 км<sup>2</sup> при общей длине трубопроводов более 4 тыс. км установлено, что этот тип деформаций проявляется на вздымающихся блоках и не проявляется на опускающихся блоках. По этой причине возникает впечатление, что эти геодеформации проявляются фрагментарно. Описаны случаи, когда деформации на короткий промежуток времени охватывают целые блочные структуры площадью 4 км<sup>2</sup> [2]. Установлено, что деформации происходят по трем типам, описанным в работе [1].

### 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 пространственные закономерности проявления быстропротекающих деформаций океанической коры.

### Изложение основного материала исследований

В результате анализа данных измерений 58 донных станций за последние семь лет удалось выполнить классификацию геодеформаций океанической коры с периодами от одной минуты до нескольких часов. На рис. 1 приведен пример измерения наиболее широко распространенного типа асейсмических быстропротекающих геодеформаций в виде быстрого вздымания поверхности дна на 10 см и возвращения в прежнее положение, с продолжительностью приподнятой фазы деформации около одной минуты.

В результате анализа базы данных системы обнаружения цунами (<http://www.ndbc.noaa.gov>) мы обнаружили временной интервал, когда асейсмические геодеформации указанного типа проявлялись, как и на суше, одновременно в разных районах. Это период 12–16 января 2009 г. Перечислим в хронологическом порядке станции системы обнаружения цунами, на которых в этот период измерены асейсмические геодеформации по типу, приведенному на рис. 1. Это станции с координатами: № 44401 (37°55'21″N 50°0'37″W); № 46410 (57°38'5″N 143°47'8″W); № 46413 (47°59'56″N 174°13'37″W); № 52404 (20°46'57″N 132°20'54″E); № 21418 (38°41'17″N 148°46'9″E); № 44402

(39°23'58"N 70°56'30"W); № 46404 (45°51'18"N 128°46'30"W); № 46409 (55°18'1"N 148°30'55"W); № 52401 (19°15'38"N 155°46'16"E); № 51426(23°18'2"S 168°17'28"W); № 41424 (32°55'18"N 72°27'57"W); № 21413 (30°30'55"N 152°71"E); № 43413 (11°3'54"N 99°51'12"W); № 46407 (42°39'52"N 128°48'24"W); № 51425 (9°30'37"S 176°14'26"W); № 46403 (52°38'59"N 156°56'34"W); № 32411 (4°59'58"N 90°50'27"W); № 46419 (48°45'59"N 129°37'57"W); № 52406 (5°17'36"S 165°0'6"E); №21418 (38°41'17"N 148°46'9"E); № 21413 (30°30'55"N 152°71"E); № 42407 (15°17'22"N 68°12'54"W); № 46411 (39°20'55"N 127°1'15" W).

Для комплексного анализа геодинамической обстановки во вторую декаду января 2009 года были привлечены сейсмологические данные и данные о приливообразующих силах в твердом теле Земли. В результате анализа сейсмологической информации установлено, что асейсмические геодеформации начались перед и продолжались после сильного морского (46.862°N, 155.156°E) землетрясения  $M = 7.4$ , зафиксированного 15.01.2009 г. в 17:49:39 UTC. Время землетрясения совпадает с временем эпизодического ежедневного возникновения асейсмических геодеформаций 12–16.01.2009 г. Глобальная геодинамическая обстановка января 2009 года характеризовалась мощными внешними воздействиями гравитационной природы. Геодеформации произошли накануне солнечного (26 января 2009) и лунного (9 февраля 2009) затмений. Причиной возникновения геодеформаций 12–16.01.2009 г. можно считать динамический фактор, определяющийся суперпозицией 11 января сизигийных приливов (солнечного – годовая мода, и лунного – полумесечная мода), совпавших с перигеем Луны (10.01.2009) и перигелием (03.01.2009). Таким образом, можно считать геодеформации 12–16.01.2009 г. геодинамически обусловленными. Наличие динамического фактора не всегда приводит к кинематическим последствиям. Для подтверждения наличия причинно-следственных связей между гравитационным, внешним воздействием и глобальным проявлением геодеформаций океанической коры приведем график (рис. 2) измерения геодинамически обусловленного изменения бесприливной составляющей угловой скорости вращения Земли (зональные приливы в твердом теле Земли отфильтрованы)

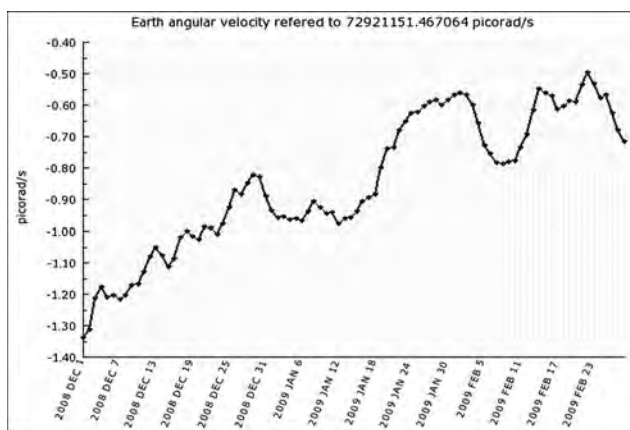


Рис. 2. Изменения бесприливной составляющей угловой скорости вращения Земли (зональные приливы в твердом теле Земли отфильтрованы)

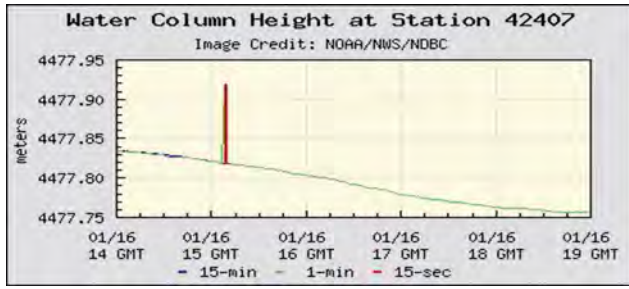
отфильтрованы). На графике показано, что в первой декаде января 2009 г. тенденции увеличения угловой скорости вращения Земли изменились на обратные и начали восстанавливаться, начиная с 12.01.2009 г. Эти данные дают основание считать, что факты аномального внешнего динамического влияния привели к глобальным кинематическим последствиям.

Традиционно рассмотрим характер глобальной геодинамической обстановки, контролируемой в Одессе по данным о пространственно-временной изменчивости разгерметизаций трубопроводов ПАО “Одессгаз”. На рис. 3 показаны изменения во времени аварий газопроводов в Одессе (зеленый), отфильтрованной недельной гармонике этих деформаций (красный) и аварий газопроводов, обусловленных горизонтальными смещениями поверхности (фиолетовый). Недельный цикл нарушения сплошности геологической среды (условия растяжения) начался 12.01.2009 г. одновременно с началом геодеформаций океанической коры, и закончился 15.01.2009 г., практически синхронно с прекращением деформаций океанической коры. Растяжение сменило условия сжатия 10–11.01.2009 г. и завершилось условием сжатия 16–18.01.2009 г. (геодинамически обусловленные аварии газопроводов в эти даты не происходили). 12–16.01.2009 г. фиксировались и горизонтальные смещения, формирующие специфические аварии газопроводов, показанные на рис. 3 фиолетовым цветом [2].

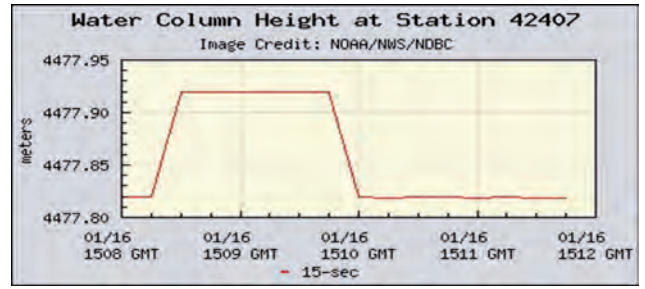
Выполним анализ геодеформаций океанической коры в указанный период. В таблице приведены посуточные данные о времени возникновения асейсмических геодеформаций.

**Данные о месте и времени проявления асейсмических геодеформаций океанической коры**

Дата	№ ст.	Время	Глубина, м
12.01.2009	44401	16:47–16:50	5357
	46410	16:53–16:55	3782
	46413	17:52–17:55	5614
	52404	18:02–18:04	5956
13.01.2009	21418	16:08–16:10	5662
	44402	16:17–16:19	2443
	46404	16:23–16:26	2793
	46409	16:32–16:34	4200
	52401	17:08–17:10	5578
	51426	17:17–17:19	5659
14.01.2009	41424	15:17–15:19	5284
	21413	15:25–15:23	5822
	43413	15:32–15:34	3380
	46407	15:47–15:49	3322
	51425	16:02–16:05	4960
	46403	16:23–16:25	4512
15.01.2009	32411	15:38–15:41	3312
	46419	15:54–15:56	2775
	52406	16:54–16:56	1826
	21418	18:39–18:41	5662
16.01.2009	21413	18:54–18:56	5822
	42407	15:08–15:10	4499
	46411	15:18–15:19	4259



а



б

Рис. 1. Запись асейсмических геодеформаций донной станцией регистрации цунами № 42407 (а) 16.01.2009 г. и увеличенный фрагмент этой записи с 15 часов 08 минут до 15 часов 12 минут (б)

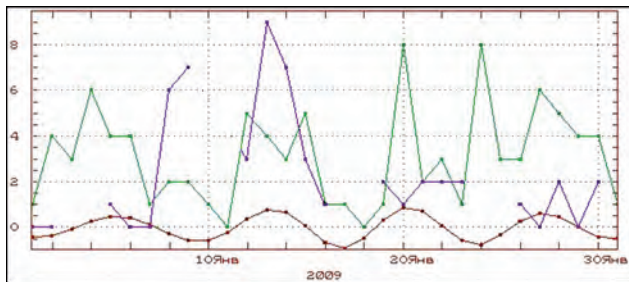
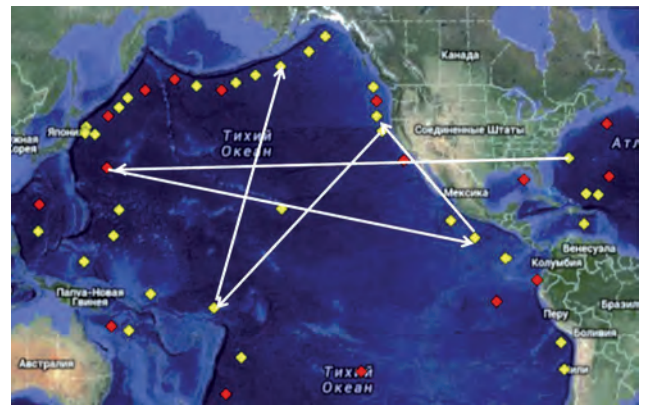


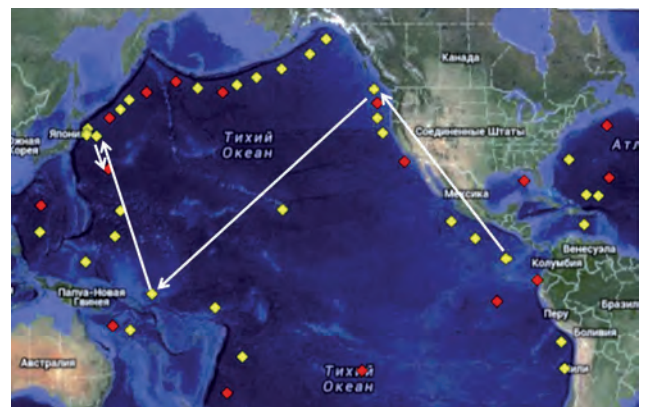
Рис. 3. Изменения во времени аварий газопроводов в Одессе (зеленый) отфильтрованной недельной гармонике этих деформаций (красный) и аварий газопроводов, обусловленных горизонтальными смещениями поверхности (фиолетовый)



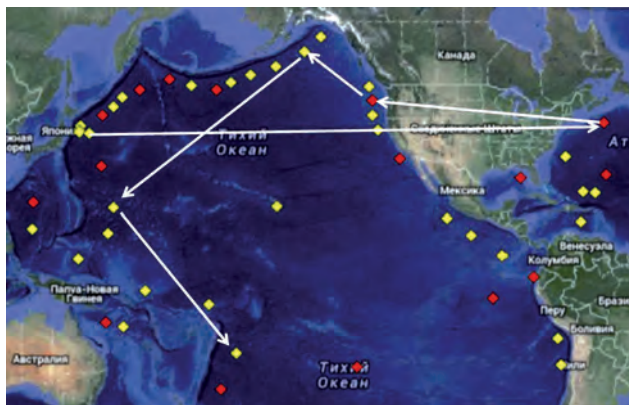
в



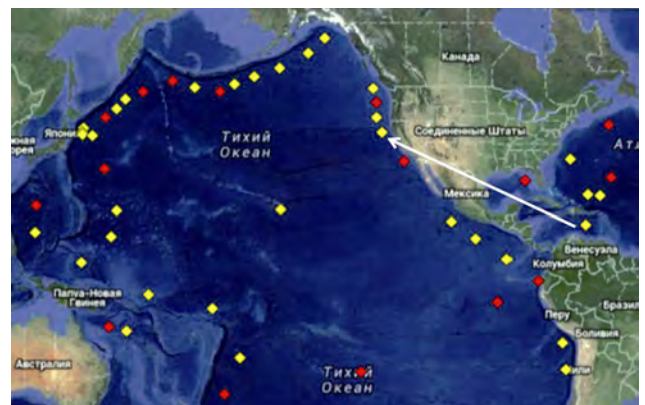
а



2



б



д

Рис. 4. Карта схемы последовательности проявления геодеформаций 12.01.2009 г (а), 13.01.2009 г (б), 14.01.2009 г (в), 15.01.2009 г (2), 16.01.2009 г (д)

В таблице показано, что деформации происходили ежесуточно с 15 до 18 часов. Во время морского землетрясения 15.01.2009 г. деформации прервались, а затем продолжились, что соответствует теоретическим положениям развития пластических и разрывных геодеформаций [2]. На рис. 4 показана последовательность проявления геодеформаций океанической коры.

Установлено, что, наряду с тенденцией распространения очагов геодеформаций в направлении против вращения Земли, существуют и другие особенности, проявляющиеся непосредственно перед возникновением разрывных геодеформаций океанической коры 15.01.2009 г.

На рис. 5 показаны изменения во времени асейсмических геодеформаций океанической коры 12–16.01.2009 г.

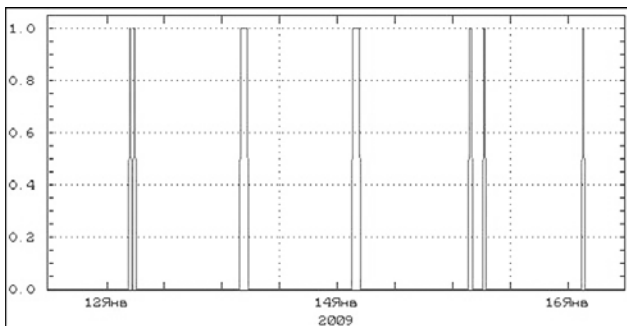


Рис. 5. Изменения во времени асейсмических геодеформаций океанической коры 12–16.01.2009 г.

Анализ приведенных данных показывает прямые аналогии пространственной изменчивости асейсмических реверсивных геодеформаций океанической и континентальной коры, изложенных в работе [2]. Исследованиями охвачены геодеформации, обусловленные процессами сжатия-растяжения, в условиях блоковой делимости литосферы, сопровождаемые реверсивными вертикальными смещениями по наклонным разломам. Два других типа асейсмических реверсивных геодеформаций требуют дополнительного анализа и изучения.

### Выводы

В результате анализа данных о проявлениях динамически обусловленных внешним гравитационным воздействием глобальных геодеформаций океанической коры установлено, что граница океанически-континентальной коры не является препятствием для распространения геодеформаций океанической коры. Геодеформации океанической коры в виде кратковременного вздымания поверхности дна с амплитудой примерно 100 мм и продолжительностью примерно минута проявляются глобально, но фрагментарно. Деформационный процесс 12–16 января 2009 г. проявлялся кратковременными активизациями в одно и то же время суток. Асейсмические геодеформации континентальной и океанической коры происходят

синхронизовано во времени и подчиняются одним закономерностям.

### Литература

1. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр: науч.-техн. инф. сб. – М.: АОЗТ “Геоин-форммарк”, 1996. – Вып. № 4. – С.43–53.
2. Геодинамика. Основы кинематической геодезии / С.П. Войтенко, И.Л. Учитель, В.Н. Ярошенко, Б.Б. Капочкин. – Одесса: Астропринт, 2007. – 254 с.

### Просторові закономірності прояву швидкоплинних деформацій океанічної кори

І. Учитель, Б. Капочкін

У результаті аналізу даних встановлено, що асейсмічні геодеформації океанічної кори у вигляді короткочасного підймання поверхні дна з амплітудою 100 мм і тривалістю хвилина проявляються глобально, але фрагментарно. Деформаційний процес 12–16 січня 2009 р. проявлявся короткочасними активізаціями в той самий час доби. Асейсмічні геодеформації континентальної та океанічної кори відбуваються синхронізовано в часі й підпорядковані однаковим закономірностям.

### Пространственные закономерности проявления быстротекающих деформаций океанической коры

И. Учитель, Б. Капочкин

В результате анализа данных установлено, что асейсмические геодеформации океанической коры в виде кратковременного вздымания поверхности дна с амплитудой 100 мм и продолжительностью минута проявляются глобально, но фрагментарно. Деформационный процесс 12–16 января 2009 г. проявлялся кратковременными активизациями в одно и то же время суток. Асейсмические геодеформации континентальной и океанической коры происходят синхронизовано во времени и подчиняются одним закономерностям.

### Spatial regularities of manifestation of short-term oceanic crust deformations

I. Uchytel, B. Kapochkin

An analysis of the data revealed that the aseismic geodeformations of oceanic crust in the form of a brief uplifting bottom surface with an amplitude of 100 mm and the length of the minute appear globally, but fragmentary. The deformation process 12–16 January 2009 Momentary activation manifested in the same time of day. Aseismic geodeformations of continental and oceanic crust happen are synchronized in time and obey the common laws.