

*Досліджено аномальні динамічні і кінематичні характеристики глобального геодформаційного процесу в квітні-травні 2013 р., який супроводжувався сильним землетрусом 25.05.2013 в Охотському морі. Перевірена гіпотеза впливу на резонансні руйнування інженерних споруд в цей період, в різних регіонах, асейсмічних геодформацій. Використовуючи статистичні методи показано зв'язок руйнування різного типу інженерних споруд з асейсмічними геодформаціями*

*Ключові слова: сейсмічна небезпека, деформації поверхні Землі, руйнування інженерних споруд, моніторинг геодформацій*

*Исследованы аномальные динамические и кинематические характеристики глобального геодформационного процесса в апреле-мае 2013 г., сопровождавшегося сильнейшим землетрясением 25.05.2013 в Охотском море. Проверена гипотеза влияния на резонансные разрушения инженерных сооружений в этот период, в различных регионах, асейсмических геодформаций. Используя статистические методы показана связь разрушения различного типа инженерных сооружений с асейсмическими геодформациями*

*Ключевые слова: сейсмическая опасность, деформации поверхности Земли, разрушение инженерных сооружений, мониторинг геодформаций*

УДК 528.482(073.8)

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37201

# НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ АСЕЙСМИЧЕСКИХ ГЕОДЕФОРМАЦИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА

И. Л. Учитель

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: sch@odgaz.odessa.ua

Б. Б. Капочкин

Кандидат геолого-минералогических наук\*

E-mail: tsb1@ukr.net

\*Кафедра теплогазоснабжения

Одесская государственная академия

строительства и архитектуры

ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, Украина, 65029

## 1. Введение

В результате появления новых данных о характеристиках асейсмических геодформаций разрушительного характера, вопросы модернизации строительных технологий, приобретают повышенную актуальность и большое практическое значение. В результате выполненных нами исследований [1–3] было доказано, что землетрясения, учет которых в строительстве регламентирован соответствующими нормами и правилами, являются лишь звеном геодформационного процесса. Асейсмический геодформационный процесс, внутри которого эпизодически может происходить разрушительное землетрясение, по энергии существенно превышает энергию самого сейсмического события. Геодформационная аномалия, как правило, имеет глобальный масштаб и обусловлена влиянием внешних факторов. Аномальный геодформационный процесс начинается за несколько дней до землетрясения и продолжается с такой же амплитудой несколько дней после землетрясения.

Разрушения инженерных сооружений землетрясениями обусловлено резонансными эффектами, совпадением частоты сейсмических колебаний с собственной частотой строительных объектов. Разрушения, вызванные асейсмическими геодформациями, могут быть связаны с нарушением сплоченности геологической среды. Если влияние сейсмических волн на

инженерные сооружения минимизируются путем применения специальных строительных технологий, то для минимизации рисков разрушения инженерных сооружений в результате нарушения сплоченности геологической среды, технологии еще не разработаны. Инженерные сооружения разных типов подвержены разной степени риска от воздействия асейсмических геодформаций. В связи с тем, что в отличие от сейсмических волн, распространяющихся в геологической среде непрерывно, асейсмические деформации проявляются хоть и глобально, но дискретно. Таким образом, площадь «поражения» земной поверхности асейсмическими геодформациями меньше площади «поражения» сейсмическими волнами. Исходя из этого принципа, максимальный риск разрушения асейсмическими геодформациями существует для инженерных сооружений большой протяженности. Это автомобильные дороги и железнодорожное полотно, линии метрополитена, дренажные системы и естественно трубопроводы. Меньшему риску подвержены инженерные сооружения большой площади с массивной кровлей на опорах со значительными расстояниями между несущими конструкциями. Это выставочные центры, бассейны, стадионы. На третьем месте – ветхие и строения любого типа. Наименее подвержены риску разрушения асейсмическими геодформациями монолитные ж/б сооружения с небольшой площадью фундамента.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Обусловленность разрушения инженерных сооружений асейсмическими геодеформациями рассмотрена во многих работах [1–3]. Впервые быстропротекающие высокоамплитудные асейсмические реверсивные деформации земной поверхности были зафиксированы по данным разрушения газовых и водопроводных сетей на одесском геодинамическом полигоне ПАО «Одессагаз» [4]. В последующие годы формирование разрывов газопроводов асейсмическими геодеформациями было подтверждено непрерывными GPS измерениями [5–7]. Измерения были выполнены в районе Краснотуринска, где фиксировалось 80 % аварий ПАО «Газпром». Измеренные геодеформации в районе тестируемого трубопровода составили более 10 см за 20 минут. Внимание широкой научной общественности к проблеме асейсмических геодеформаций было привлечено после публикации японского сейсмолога К. Обары [8, 9]. После этого внимание ученых было привлечено к ко-сейсмическому горизонтальному смещению на 52 см геодезической обсерватории в Южной Америке [10]. Стало понятно, что геодеформации могут иметь значительную амплитуду. С использованием GPS были измерены «крутильные колебания» – смещения южного полушария относительно северного по трансформным разломам экваториальной зоны [11–14]. Амплитуда интегрированных за год смещений оценивалась в 5 см. В последние годы появились результаты исследования пространственно-временных деформаций земной поверхности, вызываемые суточными и полусуточными приливами в твердом теле Земли [15, 16]. Амплитуда таких геодеформаций измеряется десятками сантиметров. В последние годы с участием украинских, французских ученых начались разработки систем оперативного мониторинга асейсмических геодеформаций с целью минимизации риска аварий трубопроводного транспорта [17].

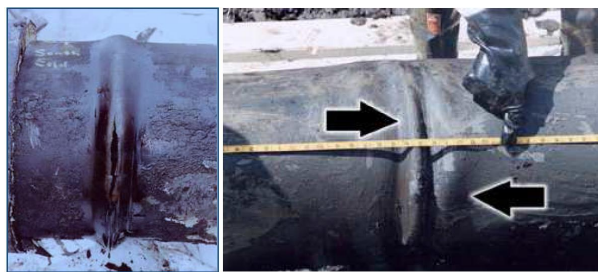
Известно, что наиболее интенсивные геодеформационные процессы сопровождаются сильными землетрясениями. В качестве эталонного примера нами всегда приводится катастрофическое Турецкое землетрясение 17.08.1999 г., при изучении последствий которого было показано, что до и после землетрясения, 13 и 19–21 августа, в Одессе, на значительном удалении от эпицентра, число разгерметизаций газопроводов возрастало в 5–6 раз, а в те же даты над эпицентральной зоной были зафиксированы тепловые аномалии геотермического происхождения [1]. Последующими исследованиями было показано, что причиной катастрофического землетрясения можно считать динамические факторы, связанные с аномалией гравитационного поля во время Солнечного затмения 11 августа 1999 г. [1, 2]. Важно отметить, что описанное ранее горизонтальное смещение 23.06.2001 г. на 52 см геодезической обсерватории в Южной Америке [2, 10] произошло поле затмения 21.06.2001 г. Достоверно установлено, что амплитуда геодеформаций в даты затмений увеличивается более, чем в 2 раза. Например, на широте эпицентра катастрофического Турецкого землетрясения в сизигию амплитуда суточных вертикальных

смещений увеличивается с 19 см до 48 см [15, 16]. В даты затмений амплитуда увеличивается дополнительно на 20 %.

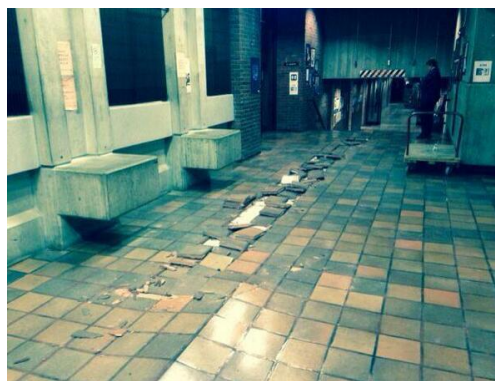
## 3. Цель и задачи исследования

Учитывая то, что нарушения сплоченности геологической среды являются причинами разрушения трубопроводов и некоторых типов инженерных сооружений, важно показать степень влияния этого фактора на инженерные сооружения разного типа. Только при осознании значимости этого фактора риска возникнут основания для совершенствования технологий строительства инженерных сооружений направленные на минимизацию этих рисков.

Нарушения сплоченности геологической среды могут быть дивергентными и конвергентными. Дивергентные движения (увеличение площади земной поверхности с раскрытием трещин и образованием провалов) формируют вполне ожидаемые разрушения инженерных сооружений, проектирование которых не предусматривает возможность увеличения геометрических размеров объекта без снижения прочностных показателей. Однако и конвергентные движения (сжатие и закрытие существующих трещин и пустот) могут сопровождаться разрушениями инженерных сооружений. На рис. 1, а, б приведены примеры разрушения трубопровода и деформации пола здания в условиях деформаций сжатия.



а



б

Рис. 1. Примеры разрушения некоторых типов инженерных сооружений в условиях сжатия [17, 18]: а – трубопроводов; б – фундаментов и перекрытий

Целью работы является обоснование необходимости учета риска разрушения инженерных сооружений асейсмическими геодеформациями в зависимости типа сооружения.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- предложить критерий выбора периода активизации геодеформаций глобального масштаба;
- обосновать правильность выбора периода активизации геодеформаций глобального масштаба;
- сформировать представительный временной ряд из последовательности чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, зафиксированных в период активизации геодеформаций глобального масштаба;
- выполнить расчеты, подтверждающие наличие статистической связи между динамикой формирования чрезвычайных ситуаций с глобальным геодинамическим процессом.

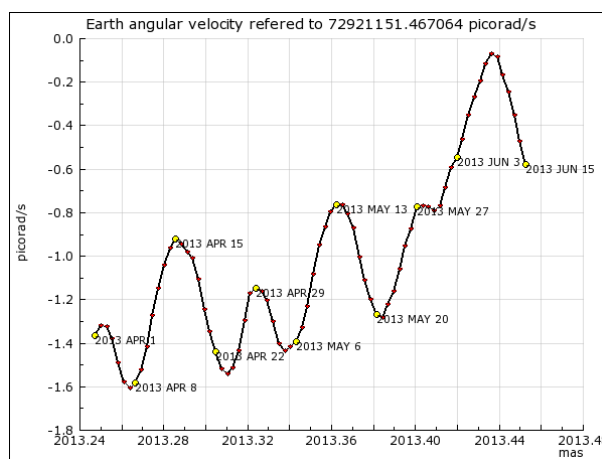
Достижение поставленной цели может быть достигнуто анализом геодинамических, сопровождающих наиболее активные сейсмические проявления. По данным [1–3] наиболее активные геодинамические процессы глобального масштаба сопровождаются сильнейшими землетрясениями. Возникновение сильнейших землетрясений формируется, такими же по амплитуде, но более продолжительными, асейсмическими геодинамическими процессами. В качестве примера будет рассмотрено самое сильное за историю наблюдений землетрясение 24.05.2013 г. в 05:44 UTC (Охотское море) [19].

### 5. Результаты исследований статистической связи разрушения инженерных сооружений с глобальным геодинамическим процессом

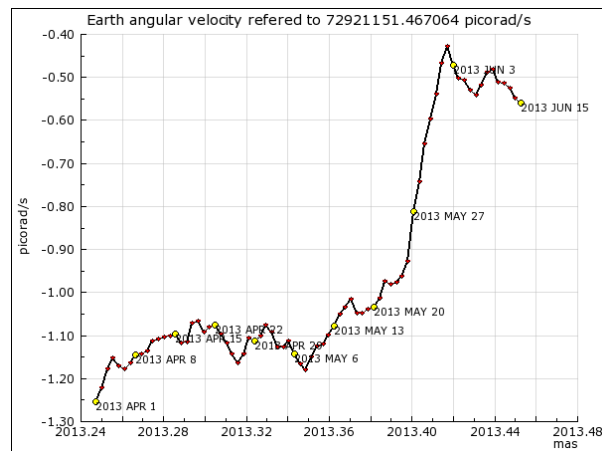
Рассмотрим динамические условия возникновения указанного землетрясения. Аномалия внешнего гравитационного поля сформировалась в связи с условиями Лунного затмения 25 мая 3:53:11–4:26:56 UTC и условиями перигелия Луны 26 мая 1:43 UTC. Эффективность влияния указанных внешних динамических факторов 25–26 мая 2013 г. на глобальный геодинамический процесс подтверждена результатами мониторинга изменений во времени угловой скорости вращения Земли. На рис. 2 показаны изменения во времени угловой скорости вращения Земли рис. 2, а и эти же данные без учета двухнедельной периодичности рис. 2, б, синхронизированной с геодинамическими связанными с зональными приливами в твердом теле Земли.

Приведенные данные показывают, что ротационные характеристики нашей планеты изменились не во время сильнейшего землетрясения 24 мая 2013 г., а после воздействия аномального внешнего гравитационного поля в условиях Лунного затмения 25 мая и перигелия Луны 26 мая 2013 г. Влияние внешних динамических факторов стало причиной изменения ротационных характеристик Земли в последующие несколько суток. С 26 мая по 2 июня 2013 г. угловая скорость вращения выросла примерно на 0,5 picorad/s. Принято считать, что изменение ротационных эффектов согласовано во времени с изменением геометрических характеристик нашей планеты, то есть с её деформацией. Ранее нами были изучены условия формирования этого землетрясения [21]. Показано, что в соответствии с выявленными нами закономерностями формирования очага сильного землетрясения, задолго до землетрясения в районе эпицентральной зоны температурная аномалия охватила акваторию площадью

не менее 100 тыс. км<sup>2</sup>. Экстремумы температурной аномалии на 8 °С превышали температуру глубинных водных масс Охотского моря. Геодинамический процесс начался примерно 16 мая 2013 г. Афтершоки землетрясения начались 18 мая. Главной особенностью этого землетрясения является его «дальнодействие» и дискретность сотрясаемости. Сотрясения ощущались на удалении до 6530 км от эпицентра, но только в 26 населенных пунктах. Сила 5-ти балльных сотрясений в пунктах с эпицентральной дистанцией 400 км (Петропавловск Камчатский), 4120 км (Томск), 4300 (Новосибирск), 6530 (Актау) [22]. В результате деформаций в Москве один из домов пошел трещинами и рядом произошел провал грунта, было эвакуировано 900 работников офисов, в Самаре в одном из зданий образовались трещины, в Санкт-Петербурге также были эвакуированы работники одного из многоэтажных зданий [23].



а



б

Рис. 2. Изменения во времени параметров вращения Земли: а – угловой скорости вращения; б – угловой скорости вращения Земли без учета двухнедельной периодичности [20]

Кроме этого важно отметить, что в Красноярске (эпицентральной дистанции 3740 км) сотрясения ощущались в 05:58 UTC, в Нижегородской области (эпицентральной дистанции 6120 км) на 4 минуты раньше, в 5:54 UTC, в Москве (эпицентральной дистанции

6420 км) сотрясения зафиксированы еще раньше, в 05:53 [24, 25]. Исходя из этого, связь между сотрясениями на Европейской территории с сейсмическими волнами от землетрясения в Охотском море не является очевидной. Этот вывод в какой-то мере подтверждаются и другими учёными. Со ссылкой на журнал «Science», авторы публикации [26] считают, что рассматриваемое землетрясение было «сверхбыстрым».

Это предположение подтверждает и тип зафиксированных деформаций. По описаниям очевидцев, ощущаемые движения не соответствуют сейсмическим Р-волнам, имеющим вертикальную составляющую, так как проявлялись медленными движениями в горизонтальной плоскости – «ощущалось головокружение, иногда подташнивание, возвратно-поступательные движения пола в горизонтальной плоскости (в одном случае с востока на запад)» [24].

Исходя из изложенного, можно высказать предположение о том, что деформации на значительном удалении от эпицентра сильнейшего землетрясения были самостоятельным деформационным процессом. В связи с этим становится уместным привести информацию о разрушениях инженерных сооружений, произошедших менее чем за сутки перед землетрясением. 24 мая примерно 03:00 UTC в районе Сиэтла (США) рухнул четырехполосный мост (в воду упало несколько автомобилей), 23 мая в 22:15 мин UTC в Пермском крае произошло обрушение здания (погибли люди), 23 мая в 12:30 UTC в г. Одесса произошло обрушение 4-х этажного здания (под завалами оказались люди) [27]. Обрушения указанных инженерных сооружений вполне обоснованно не связывают с сильнейшим землетрясением 24.05.2013 г., однако это не противоречит нашему предположению о том, что обрушения связаны с геодеформациями глобального масштаба, которые сопровождалась как сильнейшим землетрясением, так и обрушениями на значительной площади. Этот тезис лежит в плоскости объективной необходимости организации мониторинга асейсмических геодеформаций, без которого обрушения инженерных сооружений 23–24 мая 2013 г. в Сиэтле, Кунгуре и Одессе будут восприниматься, как последовательность хоть и очень маловероятных, но случайных совпадений.

Попробуем расширить временной диапазон исследования. Если вернуться к причинам сильнейшего землетрясения (динамическим факторам), то можно отметить, что аналогичная геодинимическая обстановка имела место за месяц перед землетрясением во время Лунного затмения 25 апреля в 20:06 UTC и перигея Луны 27 апреля 2013 г. в 19:51 UTC. Кроме этого экстремальные геодеформации глобального масштаба имели место во время Солнечного затмения 10 мая 2013 в 00:24 UTC. Исходя из этих данных, есть основания предполагать, что апрель–май 2013 г. – это период существенных геодеформаций, которые могли вызвать другие резонансные разрушения инженерных сооружений.

Сделаем попытку применения статистических методов для обоснования разрушений инженерных сооружений асейсмическими геодеформациями. Не будем исследовать причины отдельных аварий, полагая, что в каждом конкретном случае имеет место и доля случайности. Однако, если удастся обнаружить проявления неслучайного (закономерного) характера, это и будет доказательством наличия причинно-следственной связи

между асейсмическими геодеформациями и разрушениями инженерных сооружений. Такой подход уже был успешно применен для изучения динамики обрушения зданий по базе данных МЧС РФ за 2002–2005 гг. [2]. Используя информационный ресурс «ОКО ПЛАНЕТЫ», была собрана информация о резонансных разрушениях инженерных сооружений и о явных деформациях поверхности земли в апреле–мае 2013 г. Был сформирован временной ряд, состоящий из 9-ти случаев выброса газа, 8-ми случаев провала грунта, 6-ти случаев обрушения зданий, 5-и случаев разрыва нефте- и газопроводов, 4-х случаев обрушения шахт метро, котлованов, 2-х случаев связанных с мостами и 1-й аварии на железной дороге. Итого отобрано 35 случаев чрезвычайных ситуаций (ЧС) разного рода. Были выполнены проверки соответствия временного ряда критериям подчиненности нормальному закону распределения случайных величин. Установлено, что среднее, мода и медиана суточных значений ЧС не равны между собой. Установлено, что показатель асимметрии ряда не равен нулю. Таким образом, имеются признаки того, что ряд аварий ЧС содержит неслучайную составляющую.

Динамика перечисленных чрезвычайных ситуаций характеризуется то их полным отсутствием, то одновременным возникновением. Рассмотрим первый эпизод активизации ЧС 9–10 апреля 2013 г. 9 апреля зафиксированы случаи провалов грунта в Португалии и Красноярске, а 10 апреля провалы грунта в Нижегородской области и в Самаре. Видно, что описанные ранее колебания 24 мая в Нижнем Новгороде и в Самаре ощущались в тех местах, где ранее проявлялись геодеформации растяжения.

Важно оценить масштаб этих провалов, то есть качество исходной информации. В Португалии провал грунта был самым масштабным за всю историю страны. Глубина воронки составила 100 метров, диаметр приблизительно 17 метров. В Красноярске провал грунта оказался сравнительно небольшим – 50 м<sup>2</sup>, но в Нижегородской области зафиксирована гигантская воронка диаметром 85 м и глубиной 14 м. Воронка поглотила 3 здания. В Самаре в результате провалов в течение нескольких дней в провалы попали «десятки» автомобилей автобусов и грузовиков. Приведенная информация подтверждает то, что три из четырех ЧС были резонансными и их случайное совпадение имеет ничтожную вероятность.

В исходном временном ряде три случая ЧС зафиксированы 14 апреля, по два случая 20, 21 апреля, 11, 17, 23 мая 2013 г. Важно отметить, что во время Лунного затмения 25 апреля 2013 г. произошло наиболее резонансное из всех ЧС. Произошло обрушение восьмиэтажного здания «Rana Plaza» в Бангладеш. В результате внезапного обрушения здания погибло более 320 человек, примерно 1000 человек были ранены. Получив представление о том, что временной ряд ЧС в апреле–мае 2013 г. действительно состоит из резонансных ЧС, вероятность квазисинхронного возникновения которых пренебрежительно мала, нами был рассчитан амплитудный спектр временного ряда ЧС разного типа (рис. 3).

Спектр получен с использованием временного ряда ЧС, подвергнутого процедуре медианного сглаживания с «окном» в трое суток. Такое сглаживание применяется для подавления случайной составляющей процесса. В

качестве ожидаемого результата предполагалось получить периодичности кратные и дольные 7-ми суткам. Фактически получено увеличение амплитудного спектра в широком диапазоне от 5,2 до 10-ти суток. Недельная цикличность в спектре проявлена «провалом». Полученный результат оказался несколько неожиданным, так как обычно разрушительные геодформации происходят с четкими периодами, кратными и дольными 14-ти суткам [2]. В создавшейся ситуации возникла необходимость проверить в рассматриваемый промежуток сохранения 14-ти суточной периодичности глобального геодформационного процесса. Оценим устойчивость 14-суточной периодичности угловой скорости вращения Земли, приведенной на рис. 1, синхронизирующийся с зональными приливами в твердом теле Земли. С 7 апреля по 9 июня 2013 г. между экстремумами графика временной изменчивости угловой скорости вращения Земли вместо 7-ми суток обнаруживаем 5; 8; 9; 5; 5; 9; 8; 6; 3; 10-ти суточные интервалы. То есть глобальный геодформационный процесс в апреле–мае 2013 г. характеризовался нетипичной сменой кратковременных эпизодов замедления и ускорения вращения. Значительные ускорения (интервалы между экстремумами короче более чем на 2-е суток) составляют 40 %, а соответствующие замедления составляют 30 %. В работе [1] изучены последствия таких нетипичных ускорений. Показано, что нарушения стабильности частоты квазидвухнедельной гармоник ротационных эффектов обычно опережают (становятся причиной) аномалии геодформационного процесса. Таким образом «размытость» амплитудного спектра, приведенного на рис. 3 в виде «провала» в спектре для периода 7 суток в полной мере соответствует зафиксированным в этот период нарушениям 14 суточной периодичности динамических факторов, что еще более убедительно иллюстрирует эффективность решения поставленной задачи.

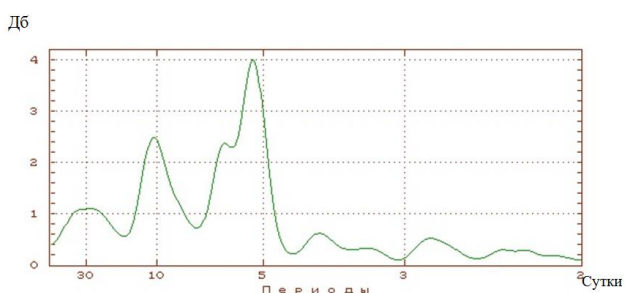


Рис. 3 Спектр временного ряда ЧС разного типа (апрель–май 2013 г)

## 6. Выводы

В результате выполненных исследований сделана попытка обоснования необходимости учета риска разрушения инженерных сооружений асейсмическими геодформациями в зависимости типа сооружения. В качестве критерия выбора периода активизации геодформаций глобального масштаба выбрано увеличения амплитуды суточных амплитуд земноприливных деформаций в даты совпадения синигии, нулевого склонения Луны и перигелия Луны. Выбранный критерий соответствует более чем дву-

кратному росту амплитуды геодформаций в эти даты, выявленному с использованием перманентных GPS геодезических сетей. Был использован разнородный временной ряд маловероятных «резонансных», ЧС составленный для временного промежутка апрель–май 2013 г. и включающий случаи выброса газа, провалов грунта, обрушения зданий, обрушения шахт метро, котлованов, случаев разрыва нефти и газопроводов, ЧС связанных с мостами и авариями на железной дороге. Статистическими методами показано, что глобальный геодформационный процесс статистически связан с ЧС. Показано, что временной ряд ЧС не подчиняется нормальному закону распределения случайных величин, так как имеет статистически значимую периодическую составляющую. Установлено, что особенности периодичности ЧС в рассматриваемый период, согласуются с аналогичными особенностями, зафиксированными в проявлении периодичности динамического фактора геодформаций. В первом приближении можно отметить, что в геодинамически активный период наиболее часто возникают ЧС связанные с провалами грунта и выбросами литосферных газов, реже деформационные процессы локализуются непосредственно под зданиями и трубопроводами. Наименее опасны геодформации для мостов и железнодорожных путей.

## Литература

1. Учитель, И. Смена парадигмы современной геодинамики и сейсмотектоники [Текст] / И. Учитель, Б. Капочкин. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, – 80 с.
2. Войтенко, С. П. Геодинамика [Текст] / С. П. Войтенко, Б. Б. Капочкин, И. Л. Учитель, В. Н. Ярошенко. – Основы кинематической геодезии. Астропринт. Одесса, 2007. – 264 с.
3. Учитель, И. Л. Геодинамика. Основы динамической геодезии [Текст] / И. Л. Учитель, В. С. Дорофеев, В. Н. Ярошенко, Б. Б. Капочкин. – Одесса: Астропринт, 2008. – 311 с.
4. Учитель, И. Л. Научный приоритет открытия природного явления асейсмических геодформаций и риски от этого явления на территории Украины [Текст] / И. Л. Учитель, В. Н. Ярошенко, Б. Б. Капочкин // Системы контроля окружающей среды. МГИ НАНУ. Севастополь, 2011. – С. 82–84.
5. Сашурин, А. Д., Кашкаров А. А., Копырин В. В. Геофизические исследования земной коры при оценке аварийности Краснотурьинского участка многониточного газопровода [Текст]: межд. конф. / А. Д. Сашурин, А. А. Кашкаров, В. В. Копырин // Горная геофизика. Санкт-Петербург, Россия. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – С. 329–333.
6. Панжин, А. А. GPS-технологии в геодезическом мониторинге НДС техногенного участка [Текст]: сб. науч. тр. / А. А. Панжин // Геомеханика в горном деле: / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 1999. – С. 68–85.
7. Панжин, А. А., Голубко Б. П. Применение спутниковых систем в горном деле [Текст] / А. А. Панжин,

- Б. П. Голубко // Известия Уральского государственной горно-геологической академии. Сер. Горное дело. – 2000. – Вып. 11. – С. 183–195.
8. Obara, K. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan [Text] / K. Obara // Science. – 2002. – Vol. 296, Issue 5573. – P. 1679–1681. doi: 10.1126/science.1070378
  9. Kawasaki, I. The 1992 Sanriku-Oki, Japan, Ultra-Slow Earthquake [Text] / I. Kawasaki, Y. Asai, Y. Tamura, T. Sagiya, N. Mikami, Y. Okada, M. Sakata, M. Kasahara // Journal of Physics of the Earth. – 1995. – Vol. 43, Issue 2. – P. 105–116. doi: 10.4294/jpe1952.43.105
  10. Kaninith, K. Displacement of the space geodetic observatory Areqipa due to recent earthquakes [Text] / K. Kaninith, H. Muler, V. Seemuller // Z. Geod. Geoinf. Und landmag. – 2002. – Vol. 27, Issue 4. – P. 238–243.
  11. Barkin, Yu. Kinematics and dynamics of the Earth hemispheres [Text] / Yu. Barkin, J. Shuanggen // Geophysical Research Abstracts. – 2006. – Vol. 8. – P. 01680.
  12. Barkin, Yu. Sources of the Earth elastic energy and its seismicity [Text] / Yu. Barkin, J. Ferrandiz, M. Garcia // Geophysical Research Abstracts. – 2006. – Vol. 8. – P. 01685.
  13. Barkin, Yu. Core polar motions and variations of the Earth figure [Text] / Yu. Barkin // Geophysical Research Abstracts. – 2006. – Vol. 8. – P. 02297.
  14. Barkin, Yu. Core polar motion and inversion gravity variations of the Earth [Text] / Yu. Barkin // Geophysical Research Abstracts. – 2006. – Vol. 8. – P. 04688.
  15. Haritonova, D. Solid Earth Tides in the Territory of Latvia [Text] / D. Haritonova // Geomatics. – 2012. – Vol. 8. – P. 20–24.
  16. Haritonova, D. Displacements at the GNSS stations [Text] / D. Haritonova, J. Balodis, I. Janpaule, M. Normand // 4th International Conference Civil engineering. Proceedings Part I Land management and geodesy, 2013. – P. 305–309.
  17. Яворский, А. В. Система прогнозирования геодинамической опасности в зоне пролегания протяженных инженерных сооружений [Текст] / А. В. Яворский, А. Тахар, П. М. Райтер, И. В. Рибницкий, С. П. Ващишак // Научные известия. – 2012. – Т. 1, № 133. – С. 281–285.
  18. BREAKING: The Floor at City Hall [Electronic resource] / Available at: <http://www.boston.com/news/local/massachusetts/2014/04/30/floor-boston-city-hall-buckles/dxeoNad5weJggzGKC05iO/story.html>
  19. Землетрясение в Охотском море [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение\\_в\\_Охотском\\_море\\_%282013%29](https://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Охотском_море_%282013%29)
  20. Earth orientation centre [Electronic resource] / Available at: <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>
  21. Колесник, А. В. Изменение погодных условий при землетрясениях [Текст] / А. В. Колесник, М. Б. Капочкина, Б. Б. Капочкин / Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т. 4. – С. 107–112.
  22. 2013-05-24 Mw 8.3 SEA OF OKHOTSK [Electronic resource] / Available at: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/Testimonies/comments.php?id=318696>
  23. Здание в центре Самары треснуло из-за землетрясения на Дальнем Востоке [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ria.ru/eco/20130524/939238354.html>
  24. Землетрясение в Москве [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://ru-lenta.com/proisshestiya/zemletryasenie-v-moskve-24-maya-2013-0000119658.html#\\_24\\_2013-2](http://ru-lenta.com/proisshestiya/zemletryasenie-v-moskve-24-maya-2013-0000119658.html#_24_2013-2)
  25. 8 баллов в Охотском море превратились в 1 балл в Москве [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1087670>
  26. Охотское землетрясение было сверхбыстрым, доказали геологи [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.infox.ru/science/planet/2014/07/11/Ohotskoye\\_zyemlyetry.phtml](http://www.infox.ru/science/planet/2014/07/11/Ohotskoye_zyemlyetry.phtml)
  27. В Одессе обвалился жилой дом [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://kp.ua/incidents/395303-v-odesse-obvalysia-zhyloi-dom>