

НАКЛОНОМЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И «ЗЕМЛЯНЫЕ» ВОЛНЫ НА КАМЧАТКЕ

С.С. Сероветников¹, А.В. Викулин²

1. Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский. (sssu@emsd.ru).
2. Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия. (vik@kscnet.ru)

Введение

В период с февраля по март 2013г. в южной части Камчатки, на удалении ~250км от г. Петропавловск-Камчатский, произошла серия сейсмических событий, включающая отдельные землетрясения с магнитудой до $M_w=6.6$.

Непрерывная регистрация наклономерными станциями [10] поверхностных проявлений деформационных процессов позволила интерпретировать «медленное» (со скоростью меньше сейсмической) возмущение, которое связано с наклоном поверхности Земли с амплитудой до 5 мсR (микрорадиан). Зарегистрированное станцией РЕТТ (с/с Петропавловск) длиннопериодное возмущение имеет выраженный волновой характер.

Можно предположить, что сходные возмущения были зарегистрированы ранее с помощью светодономерных наблюдений В.Е. Левиным и В.Ф. Бахтияровым [1]. Такие возмущения, сопровождаемые, в том числе изменением наклона поверхности, возможно, связаны с так называемыми «земляными» волнами, которые также неоднократно наблюдались после сильных землетрясений в разных частях планеты.

В частности, после сильного землетрясения 04.05.1959, $M = 7,6$ с очагом в Кроноцком заливе многими жителями Петропавловска наблюдались такие «земляные» горбы, которые двигались от п-ва Шипунский (из очага землетрясения) в сторону города; во время землетрясения $M = 6.8$ 08.06.1993 одним из соавторов наблюдались поверхностные проявления движения «земляного» горба в г. Петропавловске –Камчатском по автотрассе, вдоль проспекта Победы в направлении восток-запад.

В соответствии с классической теорией упругости такие волны в твердом сплошном теле распространяться не могут [15]. Но такие волны могут распространяться в земной коре, имеющей блоковое строение [5], в смысле [11,13].

Рейдные (сверхтекучие) свойства геосреды

Имеется много свидетельств движения земной поверхности в направлении от очагов землетрясений в виде «горбов земли» [4, с. 222]. Например, «по поверхности террасы прошла волна высотой 20–30 см — совершенно бесшумно, и земная твердь на мгновение превратилась в пластическую субстанцию, ... а еще через мгновение поверхность террасы опять стала плоской и абсолютно ровной. И никаких следов деформации!» [9, с. 5]. Или: «во время землетрясения ... по бетонному шоссе и тротуарам шли волны высотой 1.2–1.8 м и длиной 3 м, но на бетоне не появилось ни одной трещины» [7, с. 77]. Анализ инструментально зарегистрированных движений вблизи очага сильного Паркфилдского (Калифорния) 1966 г. землетрясения позволил сделать вывод, что движение грунта (с характерной продолжительностью 10–100 с) вблизи образовавшегося разлома, скорее, характерно для жидкости [8]. Породы, слагающие вихревые структуры, возможно, в течение сотен тысяч (10^{12} с) — миллионов (10^{13} с) лет формировались « в твердом состоянии на месте и за счет вещества верхней мантии» как дугообразные, а не механически изгибались из первоначально прямолинейных структур» [14, с. 73, 92].

Анализ позволил связать «бухтообразные» предвестники землетрясений с вероятными пульсациями отдельных участков поверхности Земли с характерными периодами ~100 дней (10^5 с). К числу таких пульсаций можно отнести «куполообразное вспучивание (Сан-Андреас, США), охватившее территорию с поперечником $\sim 2 \cdot 10^4$ м и высотой ~0.5 м. Наделав много шума и не оправдав опасений сейсмологов, вспучивание «благополучно» исчезло [3]. К числу такого рода эффектов, по-видимому, можно отнести и свидетельство летописца, относимое к 1601 г. на Валдае: «И с того озера Бросна выходила из воды гора песчаная, а ото dna воды в верх с сажень и стояла так двенадцать дней. ... И по двенадцать дней опустилась ... и над него глубины стало семь сажень, как и прежде» [2, с. 325]. Летом 2011 г. достаточно большой участок побережья Таманского полуострова протяженностью 435 м и шириной 50 м, вероятно, в течение одного месяца испытал поднятие с максимальной амплитудой до 3,4 м; при этом ни сейсмическая, ни вулканическая активность в районе поднятия и вблизи от него не зафиксирована [12]. Анализ такого рода вариаций показал, что их «разнознаковость при наблюдаемой быстротечности свидетельствует о процессе в жидкой фазе».

Все геофизические и геологические данные о таких “медленных” движениях геосреды с характерными длительностями $10-10^{13}$ с, рассматриваемые в совокупности, позволили геологам в 1930-х гг. ввести в рассмотрение реидные [6, с. 181; 16] или сверхпластичные деформации Земли “как течение материала в твердом состоянии” [9].

В соответствии с классической теорией упругости такие волны в твердом теле распространяться не могут [15].

Ситуация кардинальным образом меняется при переходе к ротационной моде c_0 , определяемой коллективным движением совокупности геоблоков, тектонических плит и геологических структур, где c_0 – характерная скорость $\{v_0, c_0\}$ передачи ротационных деформаций солитонного типа (напряжений с моментом силы) в рамках блоковой модели нелинейной геосреды.

В работе [5] показано, что сверхпластичное состояние геосреды является прямым следствием ее ротационного движения. Характерное для ротационной моды предельное значение c_0 на пять порядков меньше поперечной и продольной сейсмических скоростей, и температура Дебая для нее составляет весьма малую величину:

$$\theta_d \approx 10^{-2} K,$$

которая и определяет возможность реидного [16] или сверхпластичного [6] течения геосреды в твердом состоянии, физическим аналогом которого является квантовое сверхтекучее движение.

Наклономерные наблюдения

В период с 18.02.2013 по 12.03.2013г. наклономерной станцией Петропавловск РЕТТ зарегистрировано длиннопериодное возмущение, имеющее выраженный волновой характер (рис.1). Интерпретация результата наблюдений позволяет предположить, что имело место одиночное горбовидное вспучивание земной поверхности, перемещающееся с малой скоростью в направлении с юго-востока на северо-запад. Максимальная амплитуда возмущения составила 5 mcR (микрорадиан) или 5 мм/км, его продолжительность 18-23 сут.

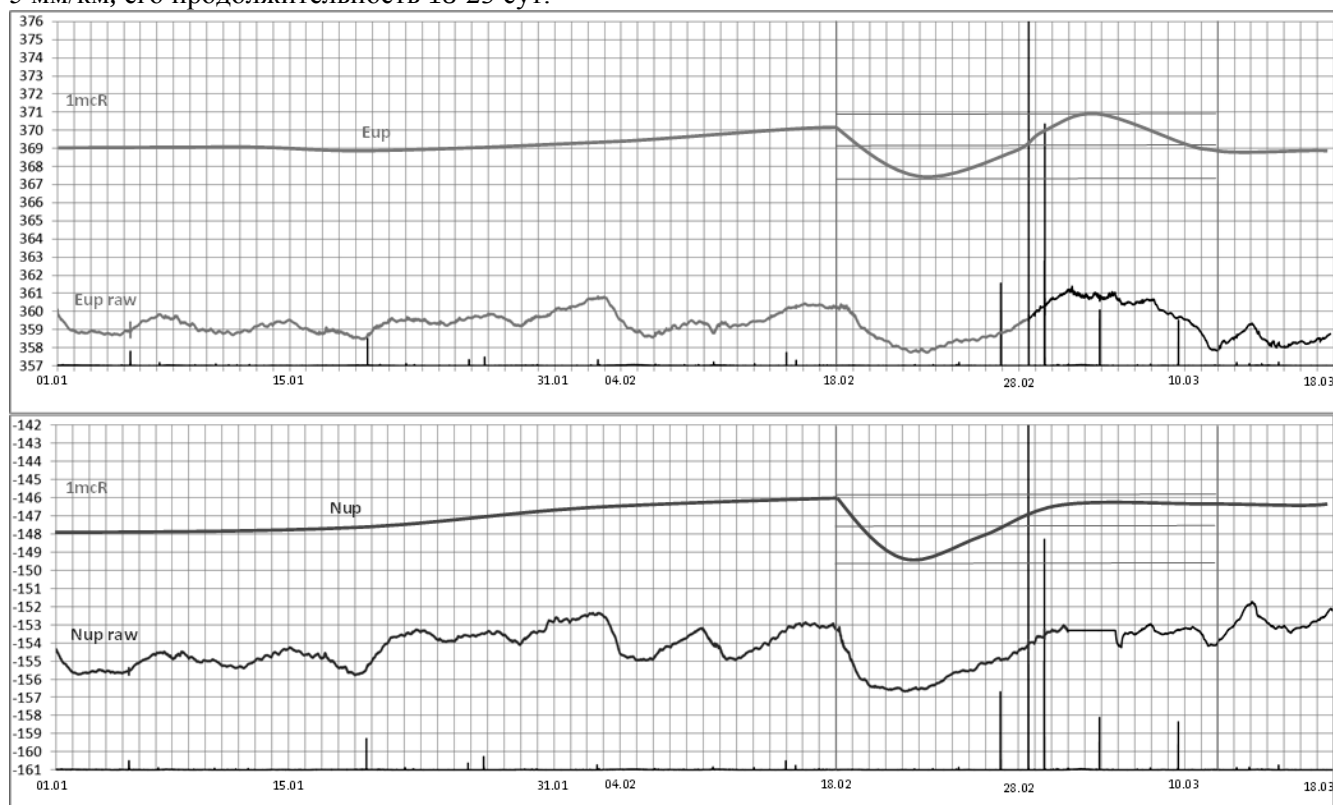


Рис. 1. Графическое отображение деформационного волнового процесса, зарегистрированного наклономером станции Петропавловск РЕТТ в период с 18.02.2013 по 12.03.2013г. Продолжительность возмущения 18-23 сут. Верхний график, Eur raw – наклоны в направлении запад-восток не обработанные данные, Eur – результат обработки (термобарокompенсация и суточное осреднение). Нижний график, Nup raw – наклоны в направлении юг-север не обработанные данные, Nup – результат обработки (термобарокompенсация и суточное осреднение). Ось абсцисс – время, в днях, Ось ординат – амплитуда возмущения в mcR (микрорадианах), вертикальные линии времени землетрясений зарегистрированных наклономером; высота линий пропорциональна магнитуде землетрясения; наибольшее значение магнитуды Mw=6.6 28.02.2013.

Землетрясение 28.02.2013 $M_w=6.6$ вызвало косейсмический наклон станции РЕТТ на величину 3.51 mcR в направлении запад (на рис.1 косейсмический наклон не показан), при этом ближайшая наклономерная станция Карымшина KRMT находящаяся на удалении ~ 50 км от РЕТТ показала косейсмический наклон 1.6 mcR в направлении юг (рис. 2). Взаимная разнонаправленность косейсмических реакций может свидетельствовать о блоковой структуре геосреды и неоднородности ее глубинного строения. С 18.02.2013 по 12.03.2013г. наклономер KRMT не выявил длиннопериодных возмущений сходных по параметрам с возмущением зарегистрированным РЕТТ. При интерпретации длиннопериодного события в виде «земляной» волны, отсутствие возмущения в данных наклономера KRMT может свидетельствовать о нарушении условий распространения такой волны вдоль поверхности в связи с неоднородностью ее структуры.

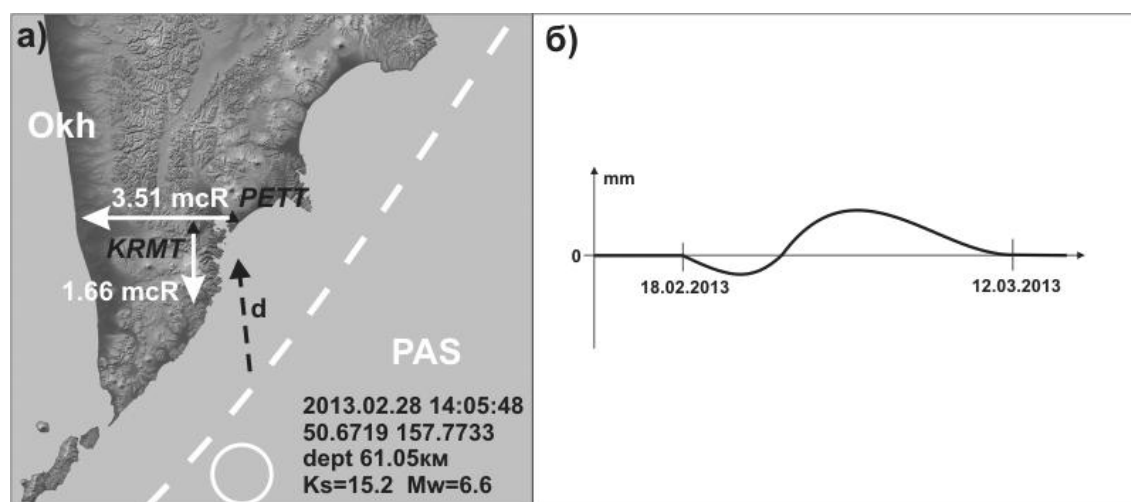


Рис.2. а) Взаимное расположение наклономерных станций и эпицентра землетрясения $M_w=6.6$ 28.02.2013 и величины вызванных им косейсмических наклонов. Белые стрелки – направление наклона станций относительно плоскости карты, сопоставленная белой стрелке величина – угловое значение косейсмического наклона. Пунктирная стрелка d – интерпретируемое нами направление движения «земляной волны», белый круг – эпицентр события $M_w=6.6$ 28.02.2013, PAS – Тихоокеанская плита, Okh – Охотоморская плита. б) интерпретируемый нами профиль «земляной волны» в относительных линейных величинах.

Продолжительность отрезка времени регистрации волнового деформационного процесса не позволяет однозначно связать его с сейсмическими событиями 26-28.02.2013 на юге Камчатки, в тоже время направление распространения интерпретируемой «земляной» волны совпадает с направлением из очаговой зоны землетрясения $M_w=6.6$ 28.02.2013.

Немаловажным, на наш взгляд, является следующее. 1) отсутствие в ряду данных наклономера РЕТТ «ступенчатых сбросов» в течение всего периода прохождения «земляной» волны; 2) идентичность углового расположения станции перед началом процесса и по его завершении. Эти данные могут свидетельствовать об отсутствии структурных в течении всего времени прохождения волны, или о ее возможной реидной (пластической) природе. Исключение составляет косейсмический наклон 3.51 mcR в направлении запад, который является прямым «обычным сейсмическим» следствием землетрясения $M_w=6.6$ 28.02.2013 и является отражением совершенно другого процесса, нежели рассматриваемое авторами возмущение волнового характера в виде «земляной» волны.

Заключение

В связи с развитием технических средств инструментальных наблюдений и как следствие, повышением чувствительности и разрешающей способности регистрирующих систем возрастает количество фактов регистрации деформационных геодинамических процессов, описание которых в рамках «классических» представлений весьма затруднительно. В тоже время сведение «странных» данных в разряд ошибок наблюдений и неучтенных внешних воздействий не может являться правильным направлением развития научного знания.

Ввиду низкой плотности сети наклономерных станций в районе г. Петропавловск-Камчатский, авторы не имеют возможности судить о территориальном проявлении интерпретируемой «земляной» волны. Так же, затруднительным является определение точных скоростных характеристик деформационного процесса, ввиду отсутствия достаточно резко обозначаемых начала и окончания процесса деформирования. Такие данные могут быть получены при сопоставлении результатов

наклономерных наблюдений с результатами других методик инструментальных наблюдений проводившихся на территории Камчатского края в период с 18.02.2013 по 12.03.2013г.

Список литературы

1. Бахтиаров В.Ф., Левин В.Е. Светодальномерные наблюдения из обсерватории «Мишенная». Анализ результатов наблюдений. // Вулканология и сейсмология. 1991. №3. с. 85-89.
2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. — М.: Мысль, 1988.
3. Бороздич Э.В. Короткоживущие подкоровые локальные возмущения (КПЛВ). Их природа и проявления // Исследования в России. Электронный журнал. — 2008. <http://zhurnal.apl.relarn.ru/articles/2008/049.pdf>
4. Викулин А.В. Мир вихревых движений. — Петропавловск–Камчатский: КГТУ, 2008.
5. Викулин А.В., Иванчин А.Г. Концепция блоковой геосреды и ее следствия. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск №3, 2013, стр. 67-84.
6. Геологический словарь. Т. 2. — М.: Недра, 1978.
7. Каррыев Б.С. Вот произошло землетрясение. — SIBIS. 2009. <http://www.publication.ru>
8. Кузнецов В.В. Ударно–волновая модель землетрясения. I. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // Физическая мезомеханика. — 2009. — Т. 12. — № 6.
9. Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. Труды геологического ин–та РАН. Вып. 575. — М.: Наука, 2008. Leonov M.G. Tectonics of the consolidated crust. Transactions of the Geological Institute. V. 575. — Moscow, Nauka, 2008. (in Russia)
10. Левин В.Е., Бахтиаров В.Ф., Титков Н.Н., Сероветников С.С., Магуськин М.А., Ландер А.В. Исследования современных движений земной коры (СДЗК) на Камчатке. В монографии «Комплексные сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке» (К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений). – Петропавловск-Камчатский, 2012. с.188 – 210.
11. Пейве А.В. Тектоника и магматизм. // Изв. АН СССР. Геология. 1961. №3. С. 36-54.
12. Попков В.И., Фоменко В.А., Глазырин Е.А., Попков И.В. Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 г. на Таманском полуострове // Доклады Академии наук. 2013. Т. 448. № 6. С. 1-4.
13. Садовский М.А. Гешфизика и физика взрывов. // м.: Наука. 2004. 440с.
14. Слезняк О.И. Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. — Киев: Наукова Думка, 1972.
15. Шебалин Н.В. Количественная макросейсмика. Вычислительная сейсмология. // Вып. 34. м.: ГЕОС, 2003. с. 57-200.
16. Carey S.W. The Rheid concept in geotectonics // Bull. Geol. Soc. Austral. — 1954. — V. 1.