

УДК 550.348

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ГЛУБОКОМУ ОХОТОМОРСКОМУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ 24 МАЯ 2013 Г. С МАГНИТУДОЙ $M_W = 8,3$

П. П. Фирстов^{1,*}, В. Е. Глухов¹, Е. О. Макаров¹, Н. А. Жаринов²,
Н. Н. Титков¹, С. С. Сероветников³, Х. Такахаша⁴

Представлено академиком РАН Е.И. Гордеевым 04.07.2019 г.

Поступило 04.07.2019 г.

В работе проанализирована совокупность параметров геофизических полей и геодинамических событий перед сильнейшим Охотоморским землетрясением 24 мая 2013 г. с магнитудой $M_W = 8,3$ и глубиной очага 630 км. Во временной окрестности землетрясения (19–20 мая) наблюдалась временная синхронизация геодинамических процессов в районах п-ова Камчатка, разделённых сотнями километров. Одновременное возникновение аномалии в поведении наклонов в динамике потока подпочвенного радона, условных деформаций удалённой форшоковой активизации в Авачинском заливе говорит о едином геодинамическом процессе регионального масштаба, предшествующем землетрясению. Возможной причиной наблюдаемых синфазных геодинамических явлений может быть “геодеформационная волна”, возникшая на последней стадии подготовки Охотоморского землетрясения.

Ключевые слова: Охотоморское землетрясение, наклономер, подпочвенный радон, условная деформация, геодеформационная волна.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524893303-306>

Сильнейшее землетрясение за все годы детальных сейсмологических наблюдений на п-ове Камчатка начиная с 1961 г. магнитудой $M_W = 8,3$ произошло в Охотском море 24 мая 2013 г. в 05:44 (здесь и далее время UTC) (рис. 1). Охотоморское землетрясение (ОЗ, 54,75° с.ш., 153,78° в.д.) имело глубину 630 км, что соответствует предельному диапазону глубин для сейсмических событий, и сопровождалось большим количеством афтершоков, что нетипично для землетрясений с такой глубиной [1]. Непосредственно перед ОЗ с 18 по 24 мая 2013 г. в Авачинском заливе в районе юго-восточного склона подводного хребта Шатского наблюдалась удалённая форшоковая активизация [2] в виде роевой последовательности с максимальной магнитудой по NEIC $M_{Wmax} = 6,1$ (рис. 1). Детальное описание этих событий можно найти в работе [3].

В данной работе проанализирована совокупность всех доступных параметров геофизических полей и геодинамических событий перед ОЗ.

В районе Ключевской группы вулканов в этот период работала сеть наклономерных станций, созданных в рамках Российско-Японского гранта РФФИ № 13–05–92101ЯФ, где в качестве датчиков использовались платформенные двухосевые пузырьковые наклономеры Applied Geomechanics 701-2A с высоким разрешением, изготавливаемые фирмой “Applied Geomechanics Inc.”, USA [4]. В силу специфики установки приборов наиболее надёжно работал стационарный пункт в пос. Ключи (KLYT), расположенный в 32 км к северо-северо-востоку от вулкана Ключевской (рис. 1).

В пункте KLYT наклономер был установлен на отделённом от стен бетонном постаменте в основании шурфа глубиной ~12 м, пройденном в слое вулканических отложений. Для обеспечения надёжной термоизоляции от суточных и сезонных вариаций температуры шурф разбит на три отсека.

Глубина и хорошая термостабилизация шурфа позволили использовать максимальный угловой диапазон прибора в ± 800 мкрад. Регистрация осуществлялась с частотой дискретизации 100 Гц с последующей децимацией с интервалом 2 мин.

В 450 км южнее Северной группы вулканов в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического

¹ Камчатский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”, Петропавловск-Камчатский

² Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Петропавловск-Камчатский

³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета, Санкт-Петербург

⁴ Хоккайдский университет, Институт сейсмологии и вулканологии, Саппоро, Япония

*E-mail: firsov@emsd.ru

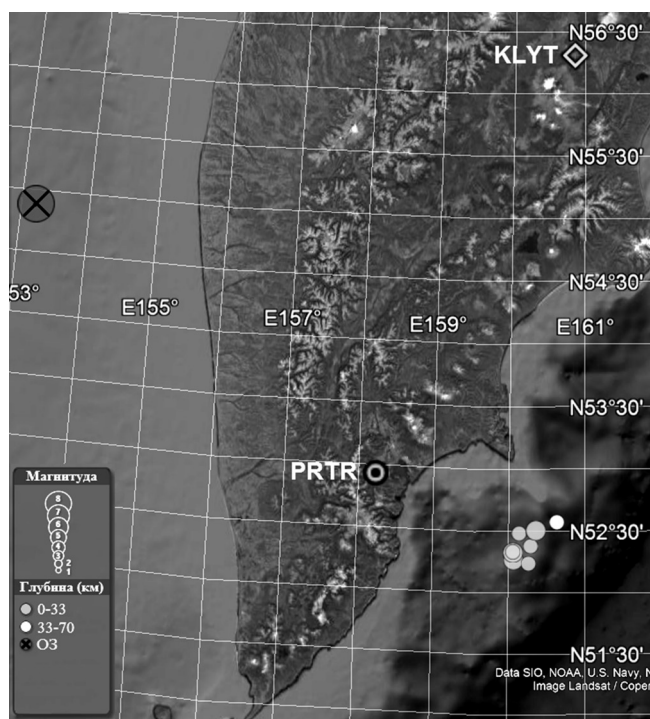


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений, эпицентров Охотоморского 24.05.2013 г. с $M_W = 8,3$ и землетрясений с $M > 5,5$ роевой последовательности 18.05–24.05.2013 г. в Авачинском заливе.

полигона с 2000 г. работает сеть пунктов мониторинга подпочвенного радона [5]. В пункте “Паратунка” (PRTR), расположенном в одноимённом районе месторождения термальных вод, в подвальном помещении производилась регистрация плотности потока радона (ППР) с поверхности при помощи двух газоразрядных счётчиков СБТ. Регистрация осуществлялась с частотой 2 цикла/ч.

За четырёхлетний период регистрации наклонов в пункте KLYT (2012–2015 гг.) визуально выделяется только одна аномалия, которая приурочена к временной окрестности Охотоморского землетрясения. На рис. 2а приведён ход наклонов по составляющим (Ю–С, 3–В) и температуры воздуха в шурфе за период с 10 апреля по 31 июля 2013 г. Уменьшение температуры в шурфе на $0,3\text{ }^\circ\text{C}$, которое произошло через двое суток после максимального градиента изменения скорости наклонов, вряд ли могло внести существенный вклад в динамику наклонов.

В зависимости от поведения кривых хода наклонов было выделено шесть временных интервалов (рис. 2а), отмеченных на векторной диаграмме (рис. 3). Началом краткосрочной аномалии в наклонах, которая отождествляется с краткосрочным предвестником ОЗ, следует считать участок II

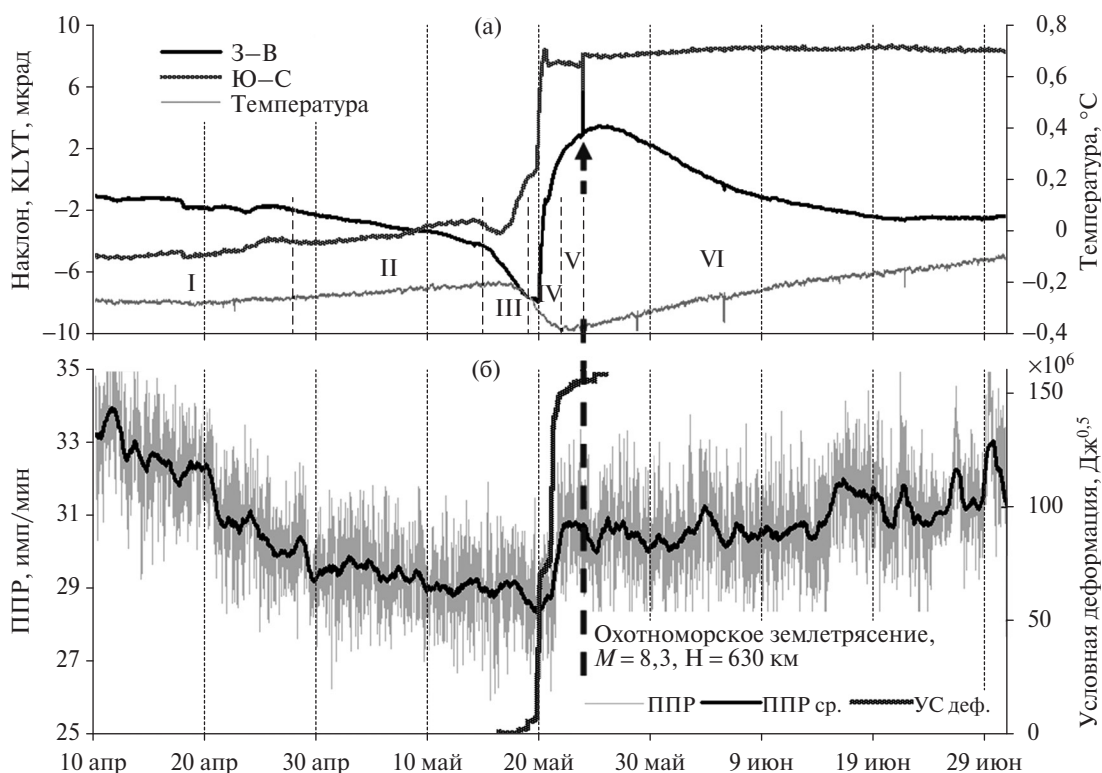


Рис. 2. Динамика некоторых параметров геофизических полей во временной окрестности Охотоморского землетрясения в период с 10.04 по 01.07.2013 г. а — ход наклонов двух составляющих (Ю–С, 3–В) и температуры воздуха шурфа в пункте KLYT, б — вариации плотности потока радона с поверхности в пункте PRTR и кумулятивный график условных деформаций для роя землетрясений в Авачинском заливе 18.05–24.05.2013 г.

(28.04–14.05.2013 г.), когда на векторной диаграмме появился слабо выраженный тренд с амплитудой ~2,0 мкрад в юго-восточном направлении. На следующем участке (III, 15.05–18.05) наклон продолжался в том же направлении и составил ~4,0 мкрад. Резкое увеличение наклонов ~8 мкрад по обоим каналам произошло на IV участке (19.05–20.05). Наклон земной поверхности в этот период изменился с южного направления на юго-западное, близкое к азимуту 252° на эпицентр ОЗ.

Во время события на канале С–Ю возник косейсмический эффект в виде остаточной деформации с амплитудой 0,7 мкрад, который хорошо выражен на векторной диаграмме. Причём косейсмический наклон имел направление, близкое к азимуту 225°, на центр вычисленных и измеренных косейсмических смещений, приведённых в работе [7]. После ОЗ направление наклонов сменилось с западного на восточное (рис. 3).

Общепризнанным фактом является то, что ППР с поверхности является наиболее чувствительным параметром радонового метода к изменениям напряжённо-деформированного состояния геосреды [8]. В динамике ППР в пункте PRTR 20.05.2013 г. чётко выделяется аномалия ступенчатой формы с относительной амплитудой $\delta = ((A_{ан} - A_{ф}) : A_{ф}) \cdot 100\% = 7\%$ (рис. 2б). За почти четырёхлетний период регистрации (09.2011–06.2015 г.) подобных аномалий не наблюдалось.

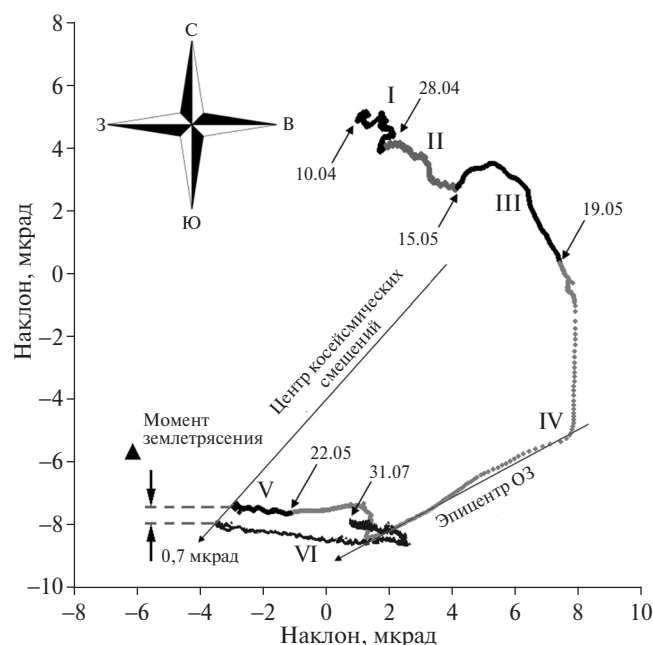


Рис. 3. Векторная диаграмма хода наклона с 10.04. по 31.07. 2013 г. в пункте KLYT.

Рассмотрим, как энергетически реализовался рой землетрясений в Авачинском заливе 18.05–24.05.2013 г. Идея сейсмотектонического течения горных масс развивалась в работах Ю.В. Ризниченко [9]. Одним из параметров, характеризующих сейсмотектоническое течение, является условная

деформация $e = \sum_{i=1}^n \sqrt{E_i}, (Дж)^{0,5}$. Как видно на рис. 2б,

99% условных деформаций приходится на 19.05–20.05. Это позволяет говорить, что на п-ове Камчатка перед ОЗ наблюдается временная синхронизация геодинамических процессов в районах, разделённых сотнями километров.

Одновременное возникновение аномалий в поведении наклонов в пункте KLYT, в динамике ППР в пункте PRTR и условных деформаций роевой последовательности свидетельствует о едином геодинамическом процессе регионального масштаба, предшествующем ОЗ.

На основании облака эпицентров афтершоков размер очага ОЗ с $M_w = 8,3$ и глубиной 630 км оценивается эллипсоидом рассеивания с 2σ -границей длиной 300 км и шириной 170 км [1]. Подготовка к разрушению такого объёма геоматериала вряд ли может быть кратковременной, но на последней стадии перед землетрясением возможно квазипластичное или катакластическое течение горных масс [10], которое может быть источником так называемых геодеформационных волн. Перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. с $M = 7,2$ и глубиной очага 171 км “геодеформационная волна” была зарегистрирована на сети пунктов мониторинга подпочвенного радона [11]. По мнению авторов, “геодеформационная волна”, возникшая на последней стадии подготовки очень глубокого ОЗ, явилась причиной синфазных геодинамических явлений, наблюдавшихся на п-ове Камчатка с 20 по 21 мая 2013 г.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту АААА–А19–119031490088–8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А. и др. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. С. 17–24.
2. Федотов С.А., Соломатин А.В. // Вулканол. и сейсмол. 2017. № 3. С. 3–21.
3. Сильные Камчатские землетрясения 2013 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2014. 241 с.

4. Сероветников С.С. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России // Тр. IV науч.-техн. конф. Петропавловск-Камчатский. 29.09–05.10.2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 108–112.
5. Фирстов П.П., Макаров Е.О. Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2018. 155 с.
6. Широков И.А., Жаринов Н.А., Перцев Б.П. и др. // Вулканол. и сейсмол. 2009. № 6. С. 44–51.
7. Шестаков Н.В., Ohzono M., Takahashi H., Герасименко М.Д. и др. // ДАН. 2014. Т. 457. № 4. С. 471–476.
8. Яковлева В.С., Каратаев В.Д. // Вулканол. и сейсмол. 2007. № 1. С. 74–77.
9. Ризниченко Ю.В. // Динамика земной коры. М.: Наука, 1965. С. 56–63.
10. Ребецкий Ю.Л. Проблемы тектонофизики. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН / Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд. ИФЗ РАН, 2008. С. 359–395.
11. Фирстов П.П., Макаров Е.О., Глухова И.П. // ДАН. 2017. Т. 472. № 4. С. 462–465.

**GEODYNAMIC PROCESSES PRECEDING
TO DEEP OKHOTOMORSKY EARTHQUAKE MAY 24, 2013
WITH MAGNITUDE $M_W = 8,3$**

**P. P. Firstov, V. E. Glukhov, E. O. Makarov, N. A. Zharinov,
N. N. Titkov, S. S. Serovetnikov, H. Takahashi**

¹*Kamchatka Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation*

²*Institute of Volcanology and Seismology, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation*

³*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation*

⁴*Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Kita-ku, Sapporo, Japan*

Presented by Academician of the RAS E.I. Gordeev July 4, 2019

Received July 4, 2019

The set of parameters of geophysical fields and geodynamic events before the strongest Okhotsk Sea earthquake May 24, 2013 with $M_W = 8,3$ and a focal depth of 630 km in this paper analyzed. In the temporary vicinity of the earthquake (May 19–20), there was a temporary synchronization of geodynamic processes in areas of the Kamchatka Peninsula, separated by hundreds of kilometers. The simultaneous occurrence of anomalies in the behavior of tilts, in the dynamics of flow of subsoil radon, conditional deformations of remote foreshock activation in Avacha Bay, speaks of a single geodynamic process on a regional scale, preceding the earthquake. A possible reason for the observed in-phase geodynamic phenomena may be the “geodeformation wave” that arose at the last stage of the preparation of the Okhotsk Sea earthquake.

Keywords: Okhotsk Sea earthquake, tiltmeter, subsoil radon, conditional deformation, geodeformation wave.