

УДК 550.837

ВОЗНИКНОВЕНИЕ БЕРЕГОВОГО ЭФФЕКТА ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВСЛЕДСТВИЕ МАГНИТНОЙ БУРИ

© 2020 г. Член-корреспондент РАН Г. А. Соболев*

Поступило 03.09.2020 г.
После доработки 04.09.2020 г.
Принято к публикации 05.09.2020 г.

Изучены во время сильной магнитной бури 29–31 октября 2003 г. записи скорости деформации горных пород по данным 58 широкополосных сейсмических станций, расположенных в различных районах земного шара. Проанализированы колебания в диапазоне 12–24 ч. Обнаружены аномальные вариации скорости деформации после бури на станциях, расположенных на расстоянии до 100 км от океанского берега. Эффект продолжался несколько суток и его амплитуда составила несколько мм в минуту.

Ключевые слова: деформации, сейсмический шум, геомагнитная буря, земной прилив, береговой эффект

DOI: 10.31857/S2686739720110158

Известно, что магнитные бури влияют на сейсмичность [1–4]. Работающая с 90-х годов XX века система широкополосных сейсмических станций IRIS позволяет исследовать возможные связи между этими геофизическими явлениями в широком диапазоне периодов от минут до суток [5]. В настоящей работе мы изучали записи станций, оборудованных сейсмометрами STS1 [6]. В базе GSNet_152.dat содержится описание 153 станций. Использованы данные 58 из них, не имевших перерывов в работе во время сильной магнитной бури 29–31 октября 2003 г.; их расположение на глобусе показано на рис. 1.

Для поиска отклика сейсмической станции на бурю применена следующая методика. По программе PETGTAB [7] были рассчитаны ежеминутные значения амплитуды вертикального теоретического земного прилива P_v скорости его изменения dP_v в месте расположения конкретной сейсмической станции. Они сопоставлялись с синхронными показаниями скорости деформации грунта dS по данным вертикального сейсмического канала станции. Ранее было показано [8], что коэффициент корреляции между такими рядами наблюдений при отсутствии магнитных бурь или аномальных погодных условий превышает 0.99. При этом разница в скоростях деформации $dif = dS - dP_v$ в среднем составляет 1 мм/мин.

Возрастание этой величины во время магнитной бури свидетельствует о влиянии бури на скорость деформации горной породы под сейсмической станцией.

Сведения о магнитных бурях получены из архива <http://www.spaceweatherlive.com>. В таблицах архива приведены значения планетарных Кр-индексов – отклонений магнитного поля Земли от нормы в течение трехчасовых интервалов соответствующих суток (GFZ Potsdam official Кр-index). Значения Кр-индексов лежат в диапазоне от 0 до 9. Во время очень сильных магнитных бурь значения Кр = 9 проявляются в нескольких трехчасовых интервалах. Рассмотрим на рис. 2 уровень Кр-индексов (график 1) при буре 29–31 октября 2003 г. Представлен интервал наблюдений с 25 октября по 11 ноября. Изменения Кр-индексов сопоставлены с вариациями параметра dif на трех сейсмических станциях. Станции PFO [33.60° с.ш.–116.45° з.д.] и COR [44.58° с.ш.–123.30° з.д.] находятся на расстоянии 100 и 96 км от границы Северной Америки до восточного берега Тихого океана. Станция PET [53.02° с.ш. – 158.65° в.д.] отстоит на 16 км от западного берега Тихого океана (см. рис. 1).

Обе американские станции PFO и COR показали аналогичное изменение тренда параметра dif после бури. Длительность нарастания уровня тренда до последующего спада составила примерно 5 сут. Расстояние между станциями PFO и COR (рис. 1) равно 1350 км; разница в высоте их расположения $dH = (1311 - 121 \text{ м})$ превышает 1 км. Таким образом, изменение тренда прослежива-

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук, Москва, Россия
*E-mail: sobolev@ifz.ru

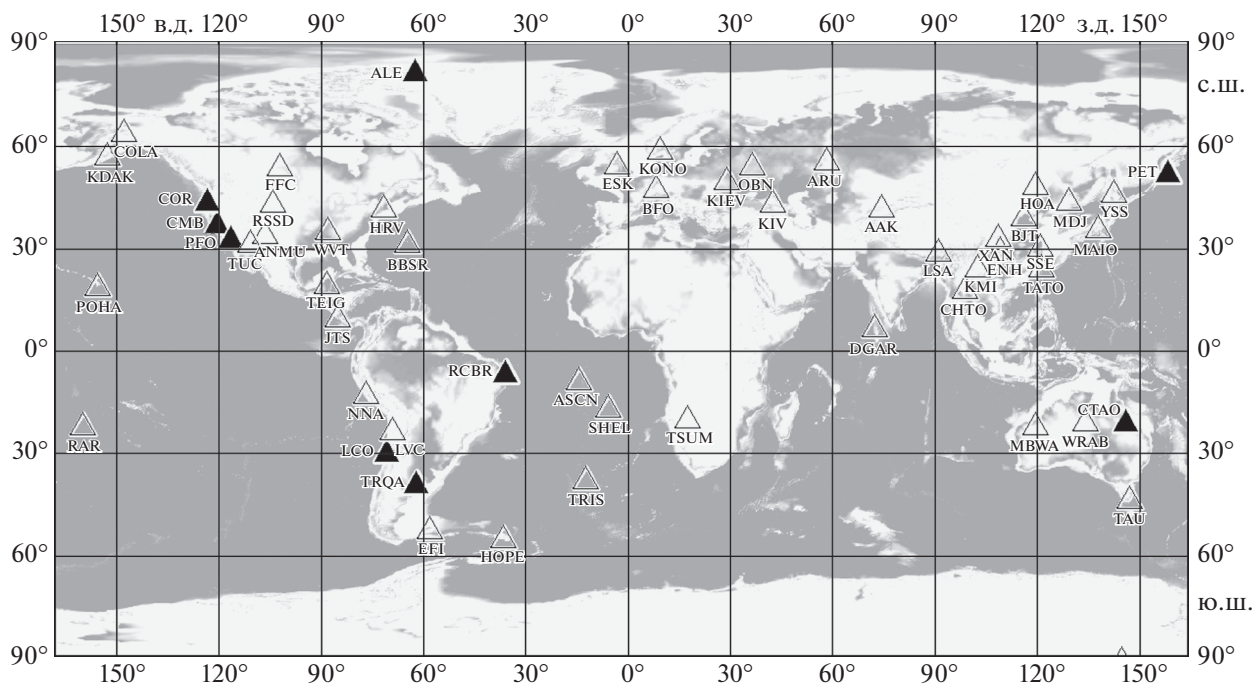


Рис. 1. Расположение проанализированных в работе широкополосных сейсмических станций; черным цветом обозначены станции, на которых обнаружен береговой эффект.

лось вдоль восточного побережья Тихого океана более, чем на 1000 км, и не связано с высотой расположения станции. С учетом удаленности станций от берега, зона его распространения в глубь материка превысила 100 км. На расположенной в другом полушарии станции PET изменение тренда также проявилось, хотя и в другой конфигурации.

Длительность повышения уровня тренда на графиках 2, 3, 4 лежит в диапазоне двухнедельных колебаний земных приливов. В связи с этим было проверено, не являются ли эти изменения скорости деформации просто отражением аналогичных вариаций в приливах. Последние были рассчитаны и представлены для станций PFO, COR, PET на графиках 5, 6, 7. Сопоставление низкочастотных трендов dS и dP от начала бури в интервале 6–17 сут (рис. 2) показало, что коэффициенты корреляции не превышают 0.5, в то время как коэффициент корреляции dS для станций PFO и COR равен 0.91. Еще одной причиной изменений тренда могли бы быть вариации атмосферного давления [8]. Для проверки этого предположения были получены такие данные с метеостанций Palm Springs [33.82° с.ш., 116.55° з.д.]; Corvallis [44.56° с.ш., 123.28° з.д.]; Elizovskoe [53.15° с.ш., 158.45° в.д.], находящиеся на расстояниях 26, 4 и 21 км от PFO, COR, PET. Значимой корреляции их низкочастотных трендов с соответствующими трендами dS не обнаружено. Было проверено, не является ли изменение тренда свойством стан-

ции, оснащенной сейсмометром STS-1. На расположенных в прибрежной зоне материк–океан станциях PFO и ALE, кроме сейсмометров STS-1, одновременно работали во время бури также сейсмометры другой конструкции – STS-2. Было установлено аналогичное изменение тренда после бури на приборах обоого типа.

Анализ вариаций других станций, расположенных на берегу материк–океан, показал, что структура, амплитуда и полярность вариаций тренда после бури на разных станциях различаются. Влияние бури обнаружено в записях следующих непрерывно работавших станций (см. рис. 1): COR (запад Америки), PFO (запад Америки), ALE (северо-восток Канады), CMB (запад Америки), STA0 (северо-восток Австралии), LCO (запад Южной Америки), TRQA (запад Южной Америки), RCBR (восток Южной Америки). На прибрежных станциях SSE (восток Китая) и NNA (запад Южной Америки) эффект не удалось выявить. На всех станциях, расположенных на материках или островах, изменений тренда после бури не зарегистрировано. Сравним на рис. 3 вариации dS во время бури на близких к берегу океана станциях PFO (100 км), COR (96 км) и более удаленных – RSSD (1600 км), HRV (4050 км); (см. рис. 1). Явное отсутствие изменений тренда после бури на станциях RSSD и HRV свидетельствует о существенной роли границы раздела океан–материк.

Обнаруженные в настоящей работе изменения деформаций на прибрежных станциях объясня-

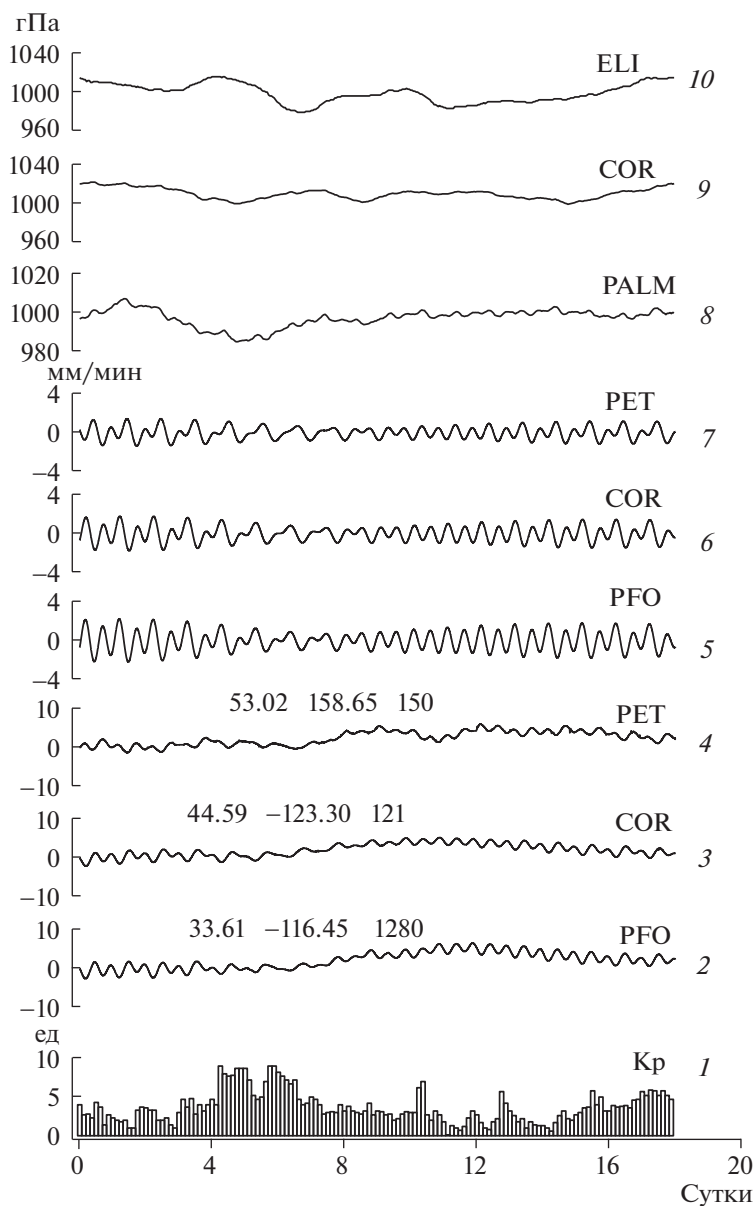


Рис. 2. Вариации различных геофизических параметров во время магнитной бури 29–31 октября 2003 г. 1 – Кр-индексы бури. Изменения скорости деформации (2–4) и земного прилива (5–7) на сейсмических станциях PFO, COR, PET. Изменения атмосферного давления (8–10) на близко расположенных к ним метеостанциях PALM, COR, ELI.

ются, по нашему мнению, влиянием геомагнитного берегового эффекта. Он вызван концентрацией во время бури электрических токов в береговой зоне между высокопроводящей средой (океан) и низкопроводящей (материк) [9, 10]. Результаты магнитотеллурических зондирований указывают при этом на вариации электропроводности литосферы до глубин в сотни км [11]. Одной из причин может быть изменение водонасыщенности пород под влиянием электрического тока вследствие электрокинетических явлений [12]. В зависимости от процентного содержания твердой фазы и жидкости меняется плотность по-

роды. Изменения плотности должны сказываться на вертикальных перемещениях поверхности Земли и вариациях силы тяжести. Появляются отличия от теоретических величин земного прилива, что и зарегистрировано прибрежными станциями. Количественные характеристики участвующих в данном процессе явлений не известны. Они зависят, например, от глубинного флюида, содержание которого в литосфере существенно меняется [13]. Из рис. 3 следует, что изменения скорости деформации после бури соизмеримы с вариациями земного прилива. Последние составляют около 2 мм/мин при колебаниях

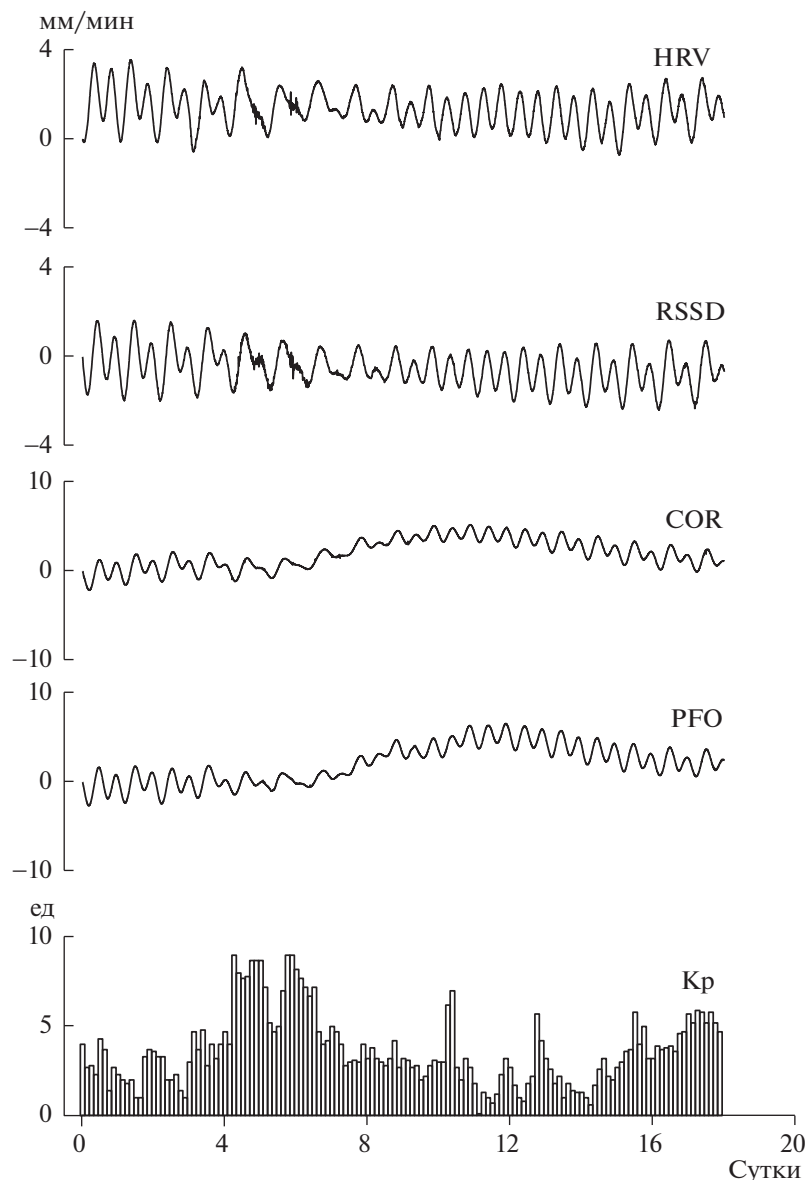


Рис. 3. Скорости деформации dS на прибрежных к океану станциях PFO, COR и более удаленных – RSSD, HRV; Кр-индексы – сила магнитной бури.

высоты прилива на 400 мм (200 мкГал) [13]. Вариации dS такой величины вполне объяснимы, если пористость горной породы с плотностью 3.5 г/см^3 изменилась под сейсмической станцией всего на $10^{-3}\%$ в слое мощностью 1 км.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа поддержана грантом РФФИ № 18–05–00026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П.* О связи сейсмичности с магнитными бурями // *Физика Земли*. 2001. № 11. С. 62–72.
2. *Yesugey S.C.* Comparative Evaluation of the Influencing Effects of Geomagnetic Storms on Earthquakes in the Anatolian Peninsula // *Earth Sci. Res. J.* 2009. V. 13. P. 82–89.
3. *Adushkin V.V., Spivak A.A.* Problems Related to the Interaction of Geospheres and Physical Fields in Near-surface Geophysics // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2019. V. 55. № 1. P. 1–11.
4. *Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Migunov I.N., Sobolev D.G., Boiko A.N.* Effect of Magnetic Storms on Low-Frequency Seismic Noise // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2020. V. 56. № 3. P. 291–315.
5. *Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A.* The Spatial and Temporal Structure of Worldwide Low Frequency Seis-

- mic Noise // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2019. V. 55. № 4. P. 529–547.
6. *Wieland E., Streckeisen G.* The Leaf-spring Seismometer – Design and Performance // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1982. V. 72. P. 2349–2367.
 7. *Wenzel G.* Program PETGTAB. version 3.01. 1999. Universita et Hannover.
 8. *Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A.* Local Tectonic Deformations and Nearby Contemporaneous Earthquakes // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2020. V. 14. № 3. P. 137–144.
 9. *Parkinson W.D.* The Influence of Continents and Oceans on Geomagnetic Variations // *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 1962. V. 6. P. 441–449.
 10. *Бердичевский М.Н., Колдаев Д.С., Яковлев А.Г.* Магнитотеллурическое зондирование на берегу океана // *Физика Земли*. 1992. № 6. С. 87–96.
 11. *Мороз Ю.Ф., Самойлова О.М.* Особенности регионального и локального береговых эффектов в магнитотеллурическом поле Камчатки // *Геофизические исследования*. 2017. Т. 18. № 3. С. 81–94.
 12. *Френкель Я.И.* Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, 1975. 592 с.
 13. *Родкин М.В., Рундквист Д.В.* Геофлюидогеодинамика. Долгопрудный: Издательский Дом “Интеллект”, 2017. 288 с.
 14. *Мельхиор П.* Земные приливы. М. Мир, 1968. 454 с.

APPEARANCE OF COAST EFFECT IN TECTONIC DEFORMATIONS OWING TO MAGNETIC STORM

Corresponding Member of the RAS G. A. Sobolev[#]

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

[#]*E-mail: sobolev@ifz.ru*

The records from 58 identical broadband seismic stations located in the different regions of the world during the strong geomagnetic storm are studied. Oscillations with a periods of 12–24 h are analyzed. The stations located a hundred kilometers away from the ocean coast demonstrate anomalous variations of strain rate after the storm. The effect lasted several days and the amplitude of variations consist of several mm/min.

Keywords: deformation, seismic noise, geomagnetic storm, coast effect