

В. А. Петручок¹✉

Исследование влияния серии землетрясений 2025 года на изменения координат дифференциальных геодезических станций на Камчатке

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vladenbob@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается стабильность дифференциальных геодезических станций (ДГС) операторов сетей EFT CORS и PrinNet на территории полуострова Камчатка в условиях сейсмической активности. Обработка спутниковых измерений выполнялась методом точного точечного позиционирования (PPP). Временные ряды координат, использованные в исследовании, охватывают период, включающий землетрясение 30 июля 2025 года магнитудой 8,8 и последующие афтершоки 13 и 19 сентября с магнитудой 7,4 и 7,8 соответственно. Анализ данных ГНСС-наблюдений выявил изменение плановых координат до 0,4 м в момент основного толчка и суммарное смещение пунктов до 1,0 м за весь период наблюдений (7 месяцев). В работе сделаны выводы о том, что статические координаты пунктов на полуострове Камчатка утратили свою актуальность, что подтверждает необходимость использования динамических или полудинамических систем координат.

Ключевые слова: геодинамика, геодезический мониторинг, землетрясения, изменение координат, ГНСС, метод точного точечного позиционирования PPP, деформация земной коры

V. A. Petruchok¹✉

Investigation of the impact of a series of earthquakes in 2025 on changes in the coordinates of the DGS in Kamchatka

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vladenbob@yandex.ru

Abstract. This article examines the stability of differential geodetic stations (DGS) of EFT CORS and PrinNet network operators on the Kamchatka Peninsula in conditions of seismic activity. The satellite measurements were processed using the precision point positioning (PPP) method. The time series of coordinates used in the study cover the period including the earthquake of July 30, 2025 with a magnitude of 8.8 and subsequent aftershocks on September 13 and 19 with a magnitude of 7.4 and 7.8, respectively. Analysis of the GNSS observation data revealed a change in the planned coordinates to 0.4 m at the time of the main shock and a total displacement of points to 1.0 m over the entire observation period (7 months). The paper concludes that the static coordinates of points on the Kamchatka Peninsula have lost their relevance, which confirms the need to use dynamic or semi-dynamic coordinate systems.

Keywords: geodynamics, geodetic monitoring, earthquakes, coordinate change, GNSS, PPP precision point positioning method, crustal deformation

Введение

Современное геодезическое обеспечение Российской Федерации в сейсмически активных регионах требует новых подходов для поддержания стабильности координатной основы. Полуостров Камчатка является одним из самых геодинамически активных регионов на планете, по причине активного взаимодействия Охотской, Тихоокеанской и Северо-Американской литосферных плит [1].

Землетрясение 30 июля 2025 года магнитудой 8,8, является самым мощным событием в камчатской сейсмозоне за последние 73 года, вызвавшим масштабные деформации земной коры [2, 3].

В данном исследовании проводится оценка косейсмических смещений дифференциальных геодезических станций (ДГС) и анализ влияния движений земной коры на изменения координат станций.

Материалы и методы исследования

Для исследования были использованы данные четырех ДГС: ELIZ, REMK, SKCH (оператора сети PrinNet [4]) и PKAM (сеть EFT CORS [5]) (рис. 1). Были получены RINEX-файлы суточных измерений на каждый седьмой день в период с апреля по октябрь 2025 года для выбранных станций, а для детального изучения косейсмического изменения координат были получены ежедневные файлы измерений с 23 июля по 6 августа 2025 года.



Рис. 1. Карта ДГС Камчатского региона, границ литосферных плит и эпицентра землетрясения 30.07.2025 года

Для определения координат использовался метод точного точечного позиционирования (Precise Point Positioning, PPP), реализованный в онлайн-сервисе CSRS-PPP [6], затем были построены временные ряды координат.

Для анализа горизонтальных и вертикальных смещений станций $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ были преобразованы в топоцентрическую систему $\Delta E, \Delta N, \Delta U$, для этого использовались следующие формулы

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\mathbf{R}$ – матрица преобразования топоцентрических координат в экваториальные; $\mathbf{R}^T$ – транспонированная матрица поворота.

Анализ изменения координат станций в исследуемый период

Графики смещений станций по осям X, Y, Z имеют ступенчатый характер (рис. 2). На графиках прослеживается скачок координат в момент основного землетрясения 30 июля 2025 года и менее интенсивный скачок, соответствующий последующим афтершокам 13 и 19 сентября 2025 года. В момент основного удара скачок координат наблюдался по всем трем осям в среднем 0,4 м.

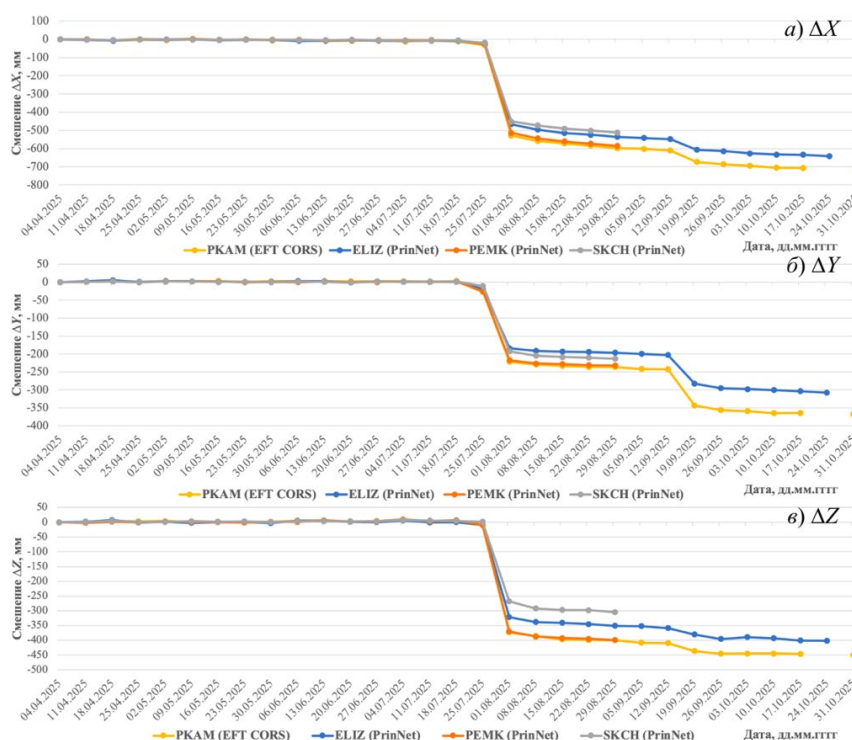


Рис. 2. Графики смещений координат пунктов ДГС на Камчатке с 4 апреля по 31 октября 2025: а) ΔX , б) ΔY , в) ΔZ

По суточным файлам измерений в период с 23 июля по 6 августа были получены изменения координат пунктов в разные периоды, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение координат в момент основного землетрясения 30.07.2025

Станция (Сеть)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ΔE , м	ΔN , м	ΔU , м
Изменение координат с 23 по 29.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,004	-0,004	0,001	0,005	-0,002	0,002
PKAM (EFT CORS)	-0,005	-0,002	-0,002	0,004	-0,004	0,001
Изменение координат с 29 по 30.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,421	-0,141	-0,194	0,286	-0,389	0,048
PKAM (EFT CORS)	-0,470	-0,175	-0,202	0,335	-0,420	0,063
Изменение координат с 30 по 31.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,006	-0,020	-0,116	0,021	-0,068	-0,094
PKAM (EFT CORS)	-0,010	-0,017	-0,160	0,020	-0,098	-0,126
Изменение координат с 31.07 по 06.08.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,036	-0,005	-0,014	0,018	-0,034	0,008
PKAM (EFT CORS)	-0,033	-0,008	-0,017	0,019	-0,033	0,003
Изменение координат общее с 23.07 по 06.08.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,468	-0,169	-0,324	0,328	-0,493	-0,035
PKAM (EFT CORS)	-0,518	-0,202	-0,381	0,377	-0,556	-0,059

По полученным результатам выявлены резкие скачки координат в момент землетрясения, в среднем составляющие 0,3 м по восточной и 0,4 м по северной компоненте. Выявлено поднятие пунктов в момент землетрясения около 0,05 м, но основные смещения по высоте пришлось на следующий день после землетрясения, опускания достигали 0,12 м.

Для более подробной оценки изменения координат семимесячный период с апреля по октябрь 2025 года был разделен на этапы согласно сейсмической активности, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение координат в период с 4 апреля по 31 октября 2025 года

Станция (Сеть)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ΔE , м	ΔN , м	ΔU , м
Изменение координат с 04.04 по 25.07.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,026	-0,020	-0,009	0,028	-0,019	0,003
PEMK (PrinNet)	-0,027	-0,026	-0,009	0,034	-0,018	0,002
SKCH (PrinNet)	-0,018	-0,010	0,002	0,017	-0,009	0,009
PKAM (EFT CORS)	-0,031	-0,027	-0,009	0,037	-0,021	0,004
Изменение координат по причине землетрясения с 25.07 по 01.08.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,441	-0,165	-0,313	0,316	-0,467	-0,041
PEMK (PrinNet)	-0,487	-0,191	-0,361	0,356	-0,524	-0,058
SKCH (PrinNet)	-0,433	-0,182	-0,269	0,333	-0,427	-0,016
PKAM (EFT CORS)	-0,497	-0,195	-0,363	0,363	-0,532	-0,055

Продолжение табл. 2

Станция (Сеть)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ΔE , м	ΔN , м	ΔU , м
Изменение координат с 01.08 по 12.09.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,082	-0,019	-0,037	0,047	-0,078	0,012
PEMK (PrinNet)	-0,072	-0,014	-0,029	0,039	-0,066	0,014
SKCH (PrinNet)	-0,061	-0,021	-0,037	0,042	-0,061	0,000
PKAM (EFT CORS)	-0,082	-0,021	-0,037	0,050	-0,077	0,012
Изменение координат по причине афтершоков с 12.09 по 19.09.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,057	-0,080	-0,022	0,096	-0,032	-0,003
PKAM (EFT CORS)	-0,063	-0,100	-0,027	0,116	-0,034	-0,008
Изменение координат с 19.09 по 31.10.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,035	-0,024	-0,022	0,036	-0,032	-0,003
PKAM (EFT CORS)	-0,046	-0,024	-0,013	0,039	-0,036	0,010
Смещения за весь период с 04.04 по 30.10.25						
ELIZ (PrinNet)	-0,642	-0,307	-0,402	0,522	-0,628	-0,032
PEMK (PrinNet)	-0,586	-0,232	-0,399	0,430	-0,608	-0,042
SKCH (PrinNet)	-0,512	-0,213	-0,305	0,391	-0,497	-0,008
PKAM (EFT CORS)	-0,721	-0,367	-0,450	0,605	-0,700	-0,037

После афтершоков 13 и 19 сентября 2025 года, магнитуа которых доходила до 7,8, координаты в плане изменились до 0,1 м. Общая величина изменения плановых координат за весь период наблюдения составила около 0,9 м, в момент землетрясения 30 июля изменение плановых координат составило примерно 60 % данной величины, остальное смещение распределено между сентябрьскими афтершоками и периодами постсейсмической деформации земной коры.

Заключение

Результаты проведенного исследования на полуострове Камчатка свидетельствуют о том, что сейсмическая активность в наблюдаемый период привела к изменению координатной основы. Установлено, что суммарный вектор смещения пунктов за семь месяцев составил около 0,9 м, что существенно снижает точность координат станций в данном регионе.

Интенсивность постсейсмических смещений координат и последующих афтершоков подтверждает нестабильность земной коры в течение длительного времени после основного толчка. В создавшихся условиях рекомендуется переход на динамические или полудинамические системы координат, включающие модель движения земной коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Константиновская, Е. А. Тектоника восточных окраин Азии: структурное развитие и геодинамическое моделирование / Е. А. Константиновская // Труды Геологического института. – 2003. – № 549. – С. 1-224. – EDN YLMSUX.
2. Закупин, А. С. Прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине в режиме реального времени. Результаты мониторинга в 2023–2025 гг. и их оценка в связи с мегаземлетрясе-

нием на Камчатке 30.07.2025, М 8.8 / А. С. Закупин // Геосистемы переходных зон. – 2025. – Т. 9, № 3. – С. 256–264. – DOI 10.30730/gtr.2025.9.3.256-264. – EDN EAAZGL.

3. Сильное землетрясение у побережья п-ова Камчатка НИИ "АЭРОКОСМОС". – [Электронный ресурс] // http://www.aerocosmos.info/news/detail.php?ELEMENT_ID=7204 (дата обращения: 10.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.

4. Федеральная RTK-сеть базовых станций PRINNET. – [Электронный ресурс] // https://prin.ru/seti_referencyh_stancij/ : [сайт]. – URL: <https://lk.prinnet.ru/login> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.

5. Федеральная сеть базовых станций. – [Электронный ресурс] // <https://eft-cors.ru/?ysclid=lp40ybon7f38282953> : [сайт]. – URL: <https://bp.eft-cors.ru/basestations> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : общ. до-ступ.

6. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP). – [Электронный ресурс] // <https://www.canada.ca/en.html> : [сайт]. – URL: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (дата обращения : 22.04.2026). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

© В. А. Петручок, 2026