

И. Е. Дорогова^{1✉}, В. В. Курносов¹, Р. Ф. Гарифуллин¹

Исследование потенциала использования дифференциальных геодезических станций для изучения геодинамических процессов

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

Аннотация. В настоящей статье рассматривается возможность использования данных дифференциальных геодезических станций (ДГС) для мониторинга деформаций земной коры и изучения геодинамических процессов в районах с повышенной сейсмической активностью. Проведен анализ пространственного распределения станций сетей EFT-CORS и ПРИННЕТ на примере Кавказского региона, оценена стабильность работы станций. Полученные с сайтов ДГС данные о расположении станций сопоставлены с картами сейсмической активности, расположением основных геологических разломов и информацией о стабильности работы с сайта Федеральной сети геодезических станций (ФСГС). Показано, что комбинация данных ДГС с современными методами обработки позволяет выявлять деформации земной коры и прогнозировать геодинамические риски. Следующим этапом исследования является обработка результатов, оценка и сравнение скоростей движений земной коры, полученных по данным ДГС, с другими источниками данных.

Ключевые слова: дифференциальные геодезические станции, геодинамика, GNSS, EFT-CORS, ПРИННЕТ, сейсмическая активность, мониторинг деформаций

I. E. Dorogova^{1✉}, V. V. Kurnosov¹, R. F. Garifullin¹

Research on the potential use of differential geodetic stations for studying geodynamic processes

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

Abstract. This article considers the possibility of using differential geodetic stations (DGS) data to monitor crustal deformations and study geodynamic processes in areas with increased seismic activity. The spatial distribution of EFT-CORS and PRINNET stations is analyzed using the Caucasus region as an example, their density and station stability are estimated. The data obtained from DGS are compared with seismic activity maps, locations of major geological faults, and stability information from the Federal Geodetic Station Network (FSGS) website. It is shown that the combination of DGS data with modern processing methods allows us to identify crustal deformations and predict geodynamic risks; further processing of observation results will show how consistent the obtained crustal movement velocities are with other data sources.

Keywords: differential geodetic stations, geodynamics, GNSS, EFT-CORS, PRINNET, seismic activity, deformation monitoring

Введение

Современные геодинамические исследования и задачи координатно-временного обеспечения государства [1-3] требуют высокоточного определения

движений земной коры, особенно в сейсмически активных регионах. Дифференциальные геодезические станции (ДГС), такие как EFT-CORS и ПРИНNET, предоставляют возможность регулярного получения пространственно-временных данных, позволяющих фиксировать изменение координат пунктов во времени. Однако для исследования потенциала их использования в геодинамических исследованиях требуется оценка количества станций и стабильности их работы, плотности распределения станций и корреляции расположения ДГС с картами сейсмической активности, расположением основных геологических разломов. Целью данного исследования является оценка возможностей применения данных ДГС для мониторинга деформаций земной коры на примере Кавказского региона.

Материалы и методы

В данном исследовании оценка потенциала для геодинамических исследований выполнялась для двух наиболее крупных сетей ДГС.

EFT-CORS – сеть постоянно действующих дифференциальных геодезических станций глобальных навигационных спутниковых систем GNSS, в настоящая время охватывающая обширную территорию Российской Федерации (рис. 1, а) [4].

ПРИНNET – сеть постоянно действующих дифференциальных геодезических станций GNSS от компании АО «ПРИН», расположенных на территории Российской Федерации (рис. 1, б) [5].

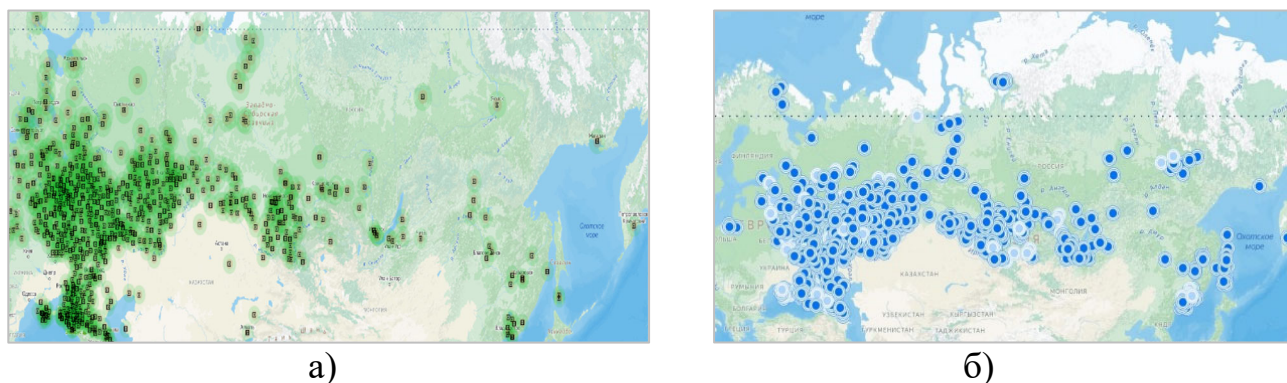


Рис.1 Карты распределения дифференциальных геодезических станций
а) EFT-CORS [4], б) ПРИНNET [5]

Преимуществами сетей дифференциальных геодезических станций являются: широкая географическая область покрытия, высокая плотность станций в экономически развитых регионах, длительные временные ряды наблюдений, доступность данных.

К некоторым ограничивающим недостаткам использования данных ДГС можно отнести неравномерное распределение станций, наличие пропусков в данных, зависимость от качества обработки данных, ограничение на скачивания RINEX-файлов.

Данные о дифференциальных геодезических станциях, вошедших в Федеральную сеть геодезических станций (ФСГС) приводятся также на официальном сайте сети [6].

Авторами проведено небольшое исследование для оценки потенциала ДГС при решении задач построения локальных моделей движений земной коры для сейсмоактивных регионов, в состав исследования включены следующие пункты:

- сбор данных с сайтов EFT-CORS и ПРИНNET;
- оценка плотности ДГС для территорий геодинамически активных регионов, расчет средней плотности;
- оценка стабильности работы ДГС;
- сравнение данных с картами геологических разломов и сейсмической активности, а также с информацией сайта Федеральной службы геодезических станций (ФСГС).

Расчет средней плотности ДГС

Проведем анализ пространственного распределения станций сетей EFT-CORS и ПРИНNET на примере Кавказского региона, оценим их плотность и стабильность работы. А также сопоставим данные расположения ДГС с картами сейсмической активности и расположением основных геологических разломов.

Для оценки обеспеченности Кавказского региона ДГС проведен расчет их средней плотности. В качестве исходных данных были использованы количество станций и площадь региона.

Если оценить среднюю плотность ДГС на территории Российской Федерации для станций сети ПРИНNET, получим 1 станцию на 24 672 км² (693 станции на 17 098 246 км²). При этом плотность распределения станций существенно отличается для экономически развитых и малообжитых районов.

Для сравнения по Кавказскому региону средняя плотность расположения станций получилась равной одной станции на 3 784 км² (42 станции на 158 938 км²), что значительно превосходит среднюю плотность расположения станций для всей территории РФ и, вероятно, соответствует значениям плотности для экономически развитых регионов.

Проведенные расчеты подтверждают, что Кавказский регион характеризуется высокой плотностью расположения ДГС, что позволяет использовать данные для подробного геодинамического мониторинга. Важным фактором для изучения активных геодинамических процессов в сейсмически опасных районах является также расположение станций относительно геологических разломов и участков проявления сейсмической активности.

Сопоставление распределения ДГС с зонами сейсмической активности

В ходе исследования также проведен сравнительный анализ пространственного распределения дифференциальных геодезических станций (рис. 2, а) и зон сейсмической активности Кавказского региона (рис. 3, б).

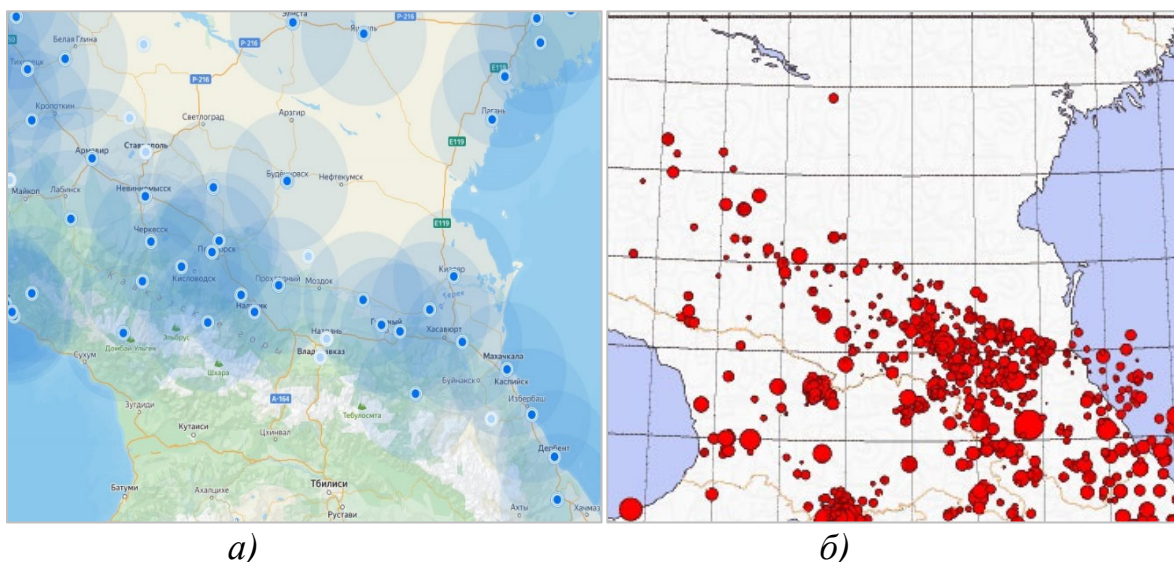


Рис 2. Сопоставление карты сейсмической активности с ДГС: а) карта станций ДГС ПРИННЕТ в Кавказском регионе [5]; б) карта сейсмической активности Кавказа [7]

Сравнение расположения ДГС и участков проявления сейсмической активности показало, что зоны повышенной сейсмичности Кавказа обеспечиваются достаточным количеством ДГС, что позволяет отслеживать деформации в реальном времени.

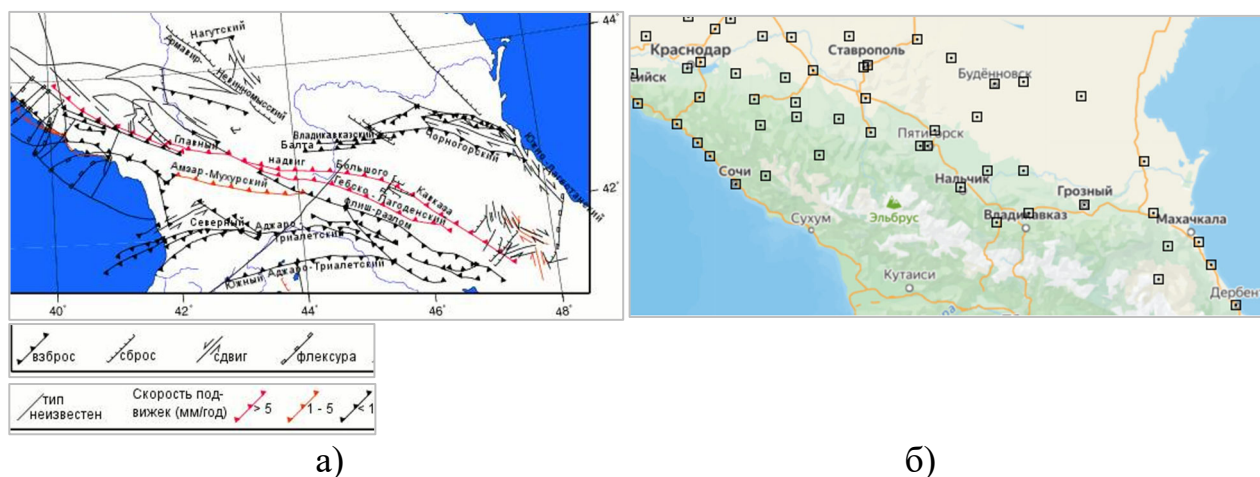


Рис 3. Сопоставление карты геологических разломов с ДГС: а) карта геологических разломов Кавказа [8]; б) карта станций ДГС EFT-CORS в Кавказском регионе [4]

Сопоставление карты разломов и расположения станций показало, что в целом расположение станций позволяет отслеживать перемещения точек земной коры разных бортов основных геологических разломов Кавказа.

Оценка стабильности работы ДГС

По данным о работе ДГС сети ПРИННЕТ Кавказского региона за период с ноября 2024 по апрель 2025 года была получена оценка стабильности работы станций, которая продемонстрировала следующие результаты:

- минимальный уровень стабильности работы для станции региона составил 40%;
- максимальный уровень стабильности работы для станции региона составил 95%;
- средний показатель по сети составляет около 78%.

Результаты оценки стабильности работы ДГС представлены в рис.3.

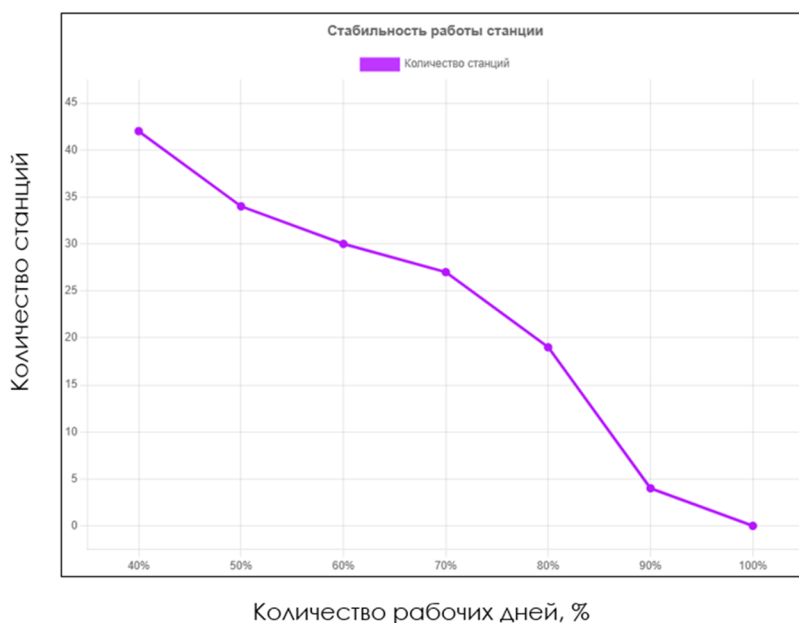


Рис.3. Оценка стабильности работы ДГС

За исследуемый период (ноябрь 2024 – апрель 2025 гг.) на уровне стабильности 80% и более работало всего 19 из 42 станций (менее половины), уровень стабильности работы в 70% продемонстрировали 27 станций. Таким образом, несмотря на хорошее с точки зрения изучения геодинамических процессов распределение станций на территории Кавказского региона, нельзя с полной уверенностью утверждать наличие достаточно подробных данных о смещениях станций, поскольку ряд станций работает нестабильно.

На следующем этапе исследования было выполнено сравнение данных о стабильности работы дифференциальных геодезических станций, полученных в ходе исследования за период ноябрь 2024 – апрель 2025 гг. и данных о стабильности работы станций за последние 7 дней, приведенных на сайте Федеральной сети геодезических станций (ФСГС) [6]. Результаты сравнения представлены на рис.4.

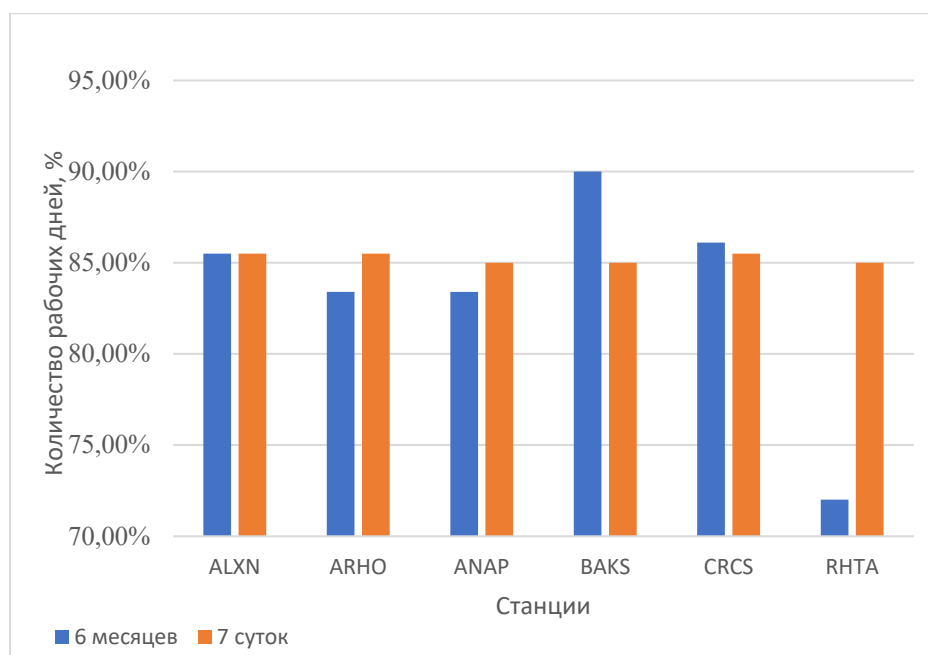


Рис.4. Сравнение данных о стабильности работы станций за последние 6 месяцев и последние 7 суток

На рисунке видно, что за последние 7 суток стабильность работы станций является более равномерной и составляет около 85%, что может оказаться случайностью или говорить о том, что в последнее время станции начали работать более стабильно, чем в целом за последние полгода.

Обсуждение

Анализ возможностей сетей EFT-CORS и ПРИНЕТ выявил их значительный потенциал для решения ключевых задач современной геодинамики.

Основные функциональные возможности ДГС для геодинимических исследований:

- выявление локальных скоростей движений земной коры с точностью до первых миллиметров в год;
- построение детализированных моделей современных геодинимических процессов;
- разработка прогностических оценок сейсмической опасности на основе анализа накопленных данных.

Ограничивающие факторы:

- пространственная неоднородность распределения станций (коэффициент вариации плотности достигает 65%);
- зависимость от стабильности работы станций.

Полученные результаты демонстрируют, что при обеспечении стабильности работы сеть дифференциальных геодезических станций потенциально может стать основой для создания:

- единой системы мониторинга деформаций;
- прогностических моделей сейсмической опасности;

– информационной базы для фундаментальных исследований в области гео-динамики.

Заключение

Исследование подтвердило значительный потенциал дифференциальных геодезических станций (ДГС) для решения задач геодинимического мониторинга. Использование данных станций сетей EFT-CORS и ПРИНNET в сочетании с соответствующей методологией обработки и анализа данных предоставляет мощный инструмент для изучения геодинимических процессов. Исследования по данным ДГС позволят получить ценную информацию о деформациях земной коры, выявлять закономерности, связанные с геодинимическими событиями, и прогнозировать возможные риски. Результаты таких исследований также могут быть использованы для разработки локальных подмоделей программно-математической модели движений земной коры. Тем не менее необходимо уделять особое внимание качеству данных, корректности обработки и интерпретации результатов для получения достоверных выводов.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-Квант-3» с целью повышения точности координатно-временных определений на территории РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Карпик А. П., Дорогова И. Е. Анализ мирового опыта ввода полудинамических систем координат и территориальных реализаций систем координат // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–30. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30.

2 Дорогова И.Е., Разработка программно-математической модели движений земной коры для территории Российской Федерации // Геодезия и картография. – 2024. – No 7. – С. 2-11. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1009-7-2-1.

3 Дорогова И. Е. Принципиальная схема программно-математической модели движений земной коры для территории Российской Федерации / И.Е. Дорогова // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, 21–24 ноября 2023 г., Новосибирск. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – № 3. – С. 179-185. – DOI 10.33764/2687-041X-2024-3-179-185.

4 Сеть базовых станций EFT-Cors [Электронный ресурс]. – URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

5 Сеть базовых станций PRINNET [Электронный ресурс]. – URL: <https://prinnet.ru/> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

6 Сайт Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), Федеральная сеть геодезических станций [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsgs.cgkipd.ru/> (дата обращения 24.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

7 Сайт Единой геофизической службы Российской академии наук [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gsras.ru/new/about.htm> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

8 Современная региональная геодинамика [Электронный ресурс]. – URL: <https://studizba.com/files/show/doc/92223-1-25234.html> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа : общий доступ. – Текст : электронный.

© И. Е. Дорогова, В. В. Курносов, Р. Ф. Гарифуллин, 2025