

---

---

## ГЕОМЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД И МАССИВОВ

---

---

УДК 622.833.5:550.34

### ИССЛЕДОВАНИЕ НДС МАССИВА КАТАВ-ИВАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Панжин А.А.**

Институт горного дела УрО РАН

Приведены результаты диагностики изменения напряженно-деформированного состояния массива при землетрясении в районе г. Катав-Ивановск в сентябре 2018 г. Данные получены в результате исследования региональной геодинамики с использованием постоянно действующих станций Global Navigation Satellite System (GNSS) Урала. Определены численные значения амплитуд изменений координат, распределения сдвижений и деформаций массива горных пород.

**Ключевые слова:** землетрясение, геодинамическая активность, напряженно-деформированное состояние, тектонические нарушения

### КАТАВ-ИВАНОВСКИЙ ЖЕР ТИТИРӨӨНҮН МАССИВДИН АБАЛЫН ГЕОДЕЗИЯЛЫК МЕТОДДОР МЕНЕН ИЗИЛДӨӨ

**Панжин А.А.**

Россия илимдер академиясынын Урал филиалынын тоо-кен институту

2018-жылдын сентябрь айында Катав-Ивановск аймагында болгон жер титирөөнүн учурунда массивдин чыңалуу-деформациялык абалынын өзгөрүшүн диагностикалоонун натыйжалары келтирилди. Маалыматтар туруктуу станцияларды колдонуу менен аймактык геодинамиканы изилдөөнүн натыйжасында алынган. Уралдын глобалдык навигациялык спутник системасы (GNSS). Координаттардагы өзгөрүүлөрдүн амплитудаларынын сандык маанилери, тоо тектеринин жылыштарынын жана деформацияларынын бөлүштүрүлүшү аныкталган.

**Баштапкы сөздөр:** жер титирөө, геодинамикалык активдүүлүк, чыңалуу-деформациялык абал, тектоникалык бузулуулар

# STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE KATAV-IVANOVSKY EARTHQUAKE BY GEODETIC METHODS

Panzhin A.A.

Institute of Mining of UB RAS

The results of diagnostics of changes in the stress-strain state of the massif during an earthquake in the region of Katav-Ivanovsk in September 2018 are presented. The data were obtained as a result of a study of regional geodynamics using permanent stations of the Global Navigation Satellite System (GNSS) of the Urals. The numerical values of the amplitudes of changes in coordinates, the distribution of displacements and deformations of the rock mass have been determined.

**Key words:** earthquake, geodynamic activity, stress-strain state, tectonic faults

## Введение

Современная сейсмичность Уральского региона в основном характеризуется большим количеством мелкофокусных событий с магнитудой 2-3 [1, 2]. В сентябре 2018 года на Южном Урале произошла серия землетрясений с магнитудами 4.2 – 4.5. Эпицентр землетрясений находился в 7 км. северо-западнее города Катав-Ивановск Челябинской области, на глубине 10 км (рис. 1).



Рис. 1. – Местонахождение эпицентра серии землетрясений

Ранее геодинимические исследования на Урале проводились в основном геофизическими методами, постоянные деформационные измерения ведутся на единственной IGS станции ARTU. Исследования геодинимики Северного и Среднего Урала геодезическими методами, по данным GPS, были выполнены под руководством В.И. Уткина (ИГФ УрО РАН) в 2009-2010 г. При переопределении координат пунктов геодезических сетей было определено изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива. По результатам выполненной работы были сделаны выводы [3]:

- Уфимский выступ Восточно-Европейской плиты является тектоническим образованием, которое в современное время продолжает медленное движение на восток, вклиниваясь в Уральскую структуру;

- движение Уфимского выступа неизбежно будет происходить и в будущем времени и приводить к накоплению упругих напряжений на границах выступа, которые при своей разрядке могут вызвать достаточно сильные землетрясения;

- была отмечена необходимость организации комплексного детального геодинимического мониторинга в районе Уфимского выступа Восточно-Европейской плиты с целью возможного прогнозирования возможного следующего крупного тектонического события.

Однако в дальнейшем, мониторинг НДС Урала по ряду причин не был организован и исследования Институте геофизики УрО РАН не проводились. Однако, в Институте горного дела УрО РАН уже несколько лет ведутся исследования региональной геодинимики с использованием исходных данных постоянно действующих станций Global Navigation Satellite System (GNSS) Северного, Среднего и Южного Урала [4]. При этом производятся периодические, четыре раза в год, вычисления их пространственных координат от пунктов IGS в системе ITRF-2014, определение годовых скоростей сдвижений, построение полей сдвижений и деформаций по разностям скоростей.

### **Постановка задачи**

В связи с произошедшим в сентябре 2018 года землетрясением, был проведен эксперимент с целью диагностики изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе г.Катав-Ивановск. Размеры района исследований составили 280 x 250 км (рис. 2). В эксперименте было задействовано 9 постоянно действующих GNSS станций Южного Урала, при этом использовались накопленные станциями данные в формате RINEX. Камеральная обработка производилась в пакетах программного обеспечения Bernese Software (методом Precise Point Positioning PPP) и Waypoint GrafNet (методом Double Difference DD) с определением пространственных координат пунктов по каждой суточной серии.

Была сделана выборка исходных данных за период с 15.08.2018 по 15.10.2018, для фиксации движений и деформаций до, во время, и после землетрясения.

Программа эксперимента включала:

- определение абсолютных координат пунктов и их изменения по осям координат ежесуточно, за 61 сутки, путем привязка их от 10-12 исходных пунктов IGS в системе INRF-2014;
- обработку и уравнивание GNSS сети, для исследования трендовых движений путем сопоставления пространственных координат пунктов, полученных в различные серии мониторинговых измерений.

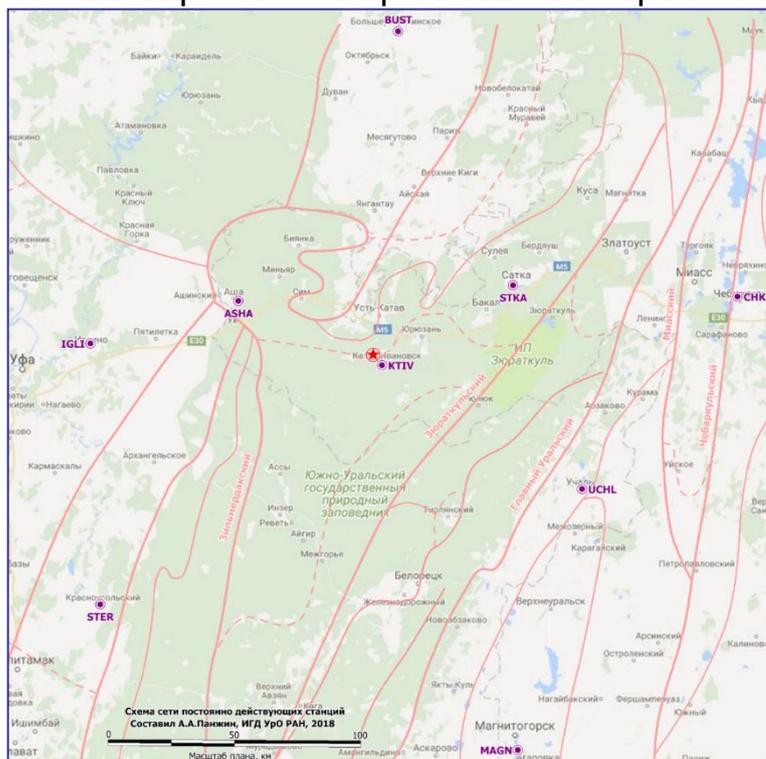


Рис. 2 – Схема сети постоянно действующих GNSS станций Южного Урала.

### Результаты исследований

В результате были определены численные значения:

- суточных амплитуд изменений координат по трем осям координат, амплитудная и трендовая составляющие до землетрясения, между сериями землетрясений и после землетрясений (рис 3).

- распределения горизонтальных сдвижений и деформаций массива горных пород в районе – в виде перемещений на восток с амплитудами 7-10 мм (рис. 4).

Зафиксированы также вертикальные сдвигения, которые проявляются в виде равномерного наклона: поднятия в юго-западной части, оседания на северо-востоке. Отмечены деформации растяжения в юго-западной и западной частях участка под азимутами 135° и 45°, при этом в восточной части исследуемой территории преобладают сжимающие деформации.

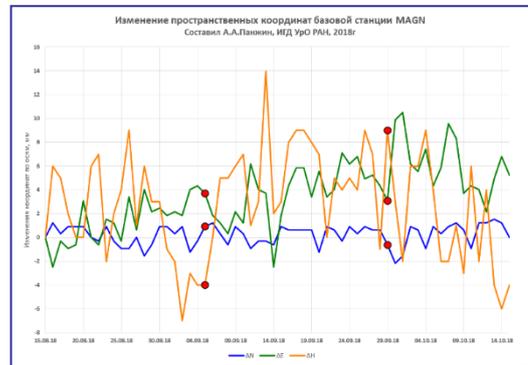
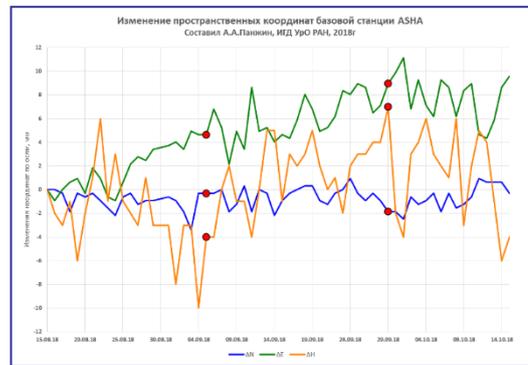
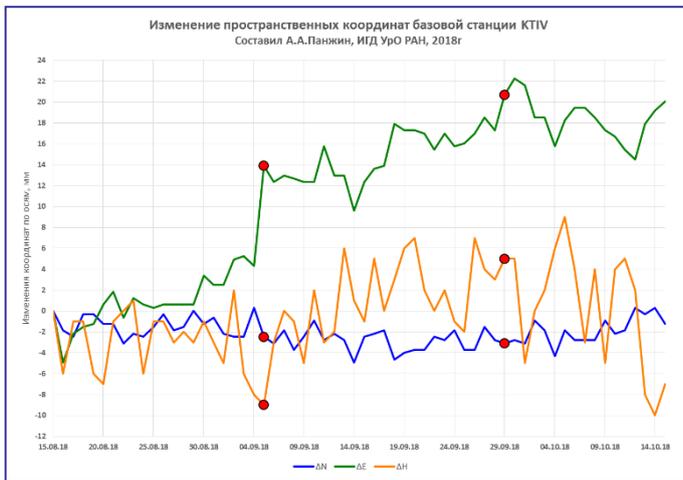


Рис. 3 – Поведение массива горных пород до и после землетрясения. Амплитуда изменений пространственных координат пунктов GNSS сети: компоненты ■ -  $\Delta X$ , ■ -  $\Delta Y$ , ■ -  $\Delta H$

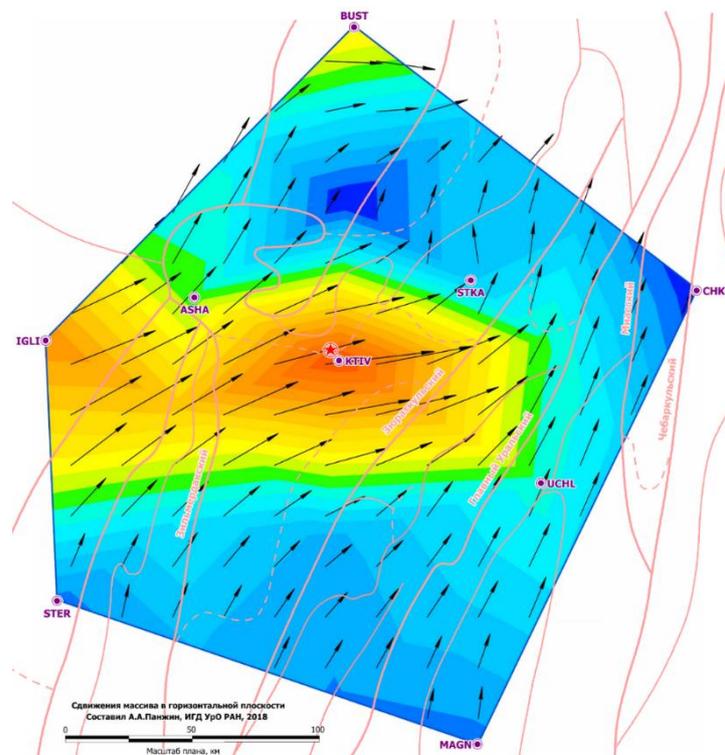


Рис. 4 – Горизонтальные перемещения на восток по оси станций IGLI - KTIV с амплитудами 7-10 мм

Также, по результатам измерений, были построены азимут-диаграммы сдвижений по всем возможным  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta H$ , 2D, 3D между пунктами GNSS

сети. Установлено как соответствие, так и несоответствие по основным направлениям преобладающих ориентировок разломов в Уральском регионе (рис. 5).

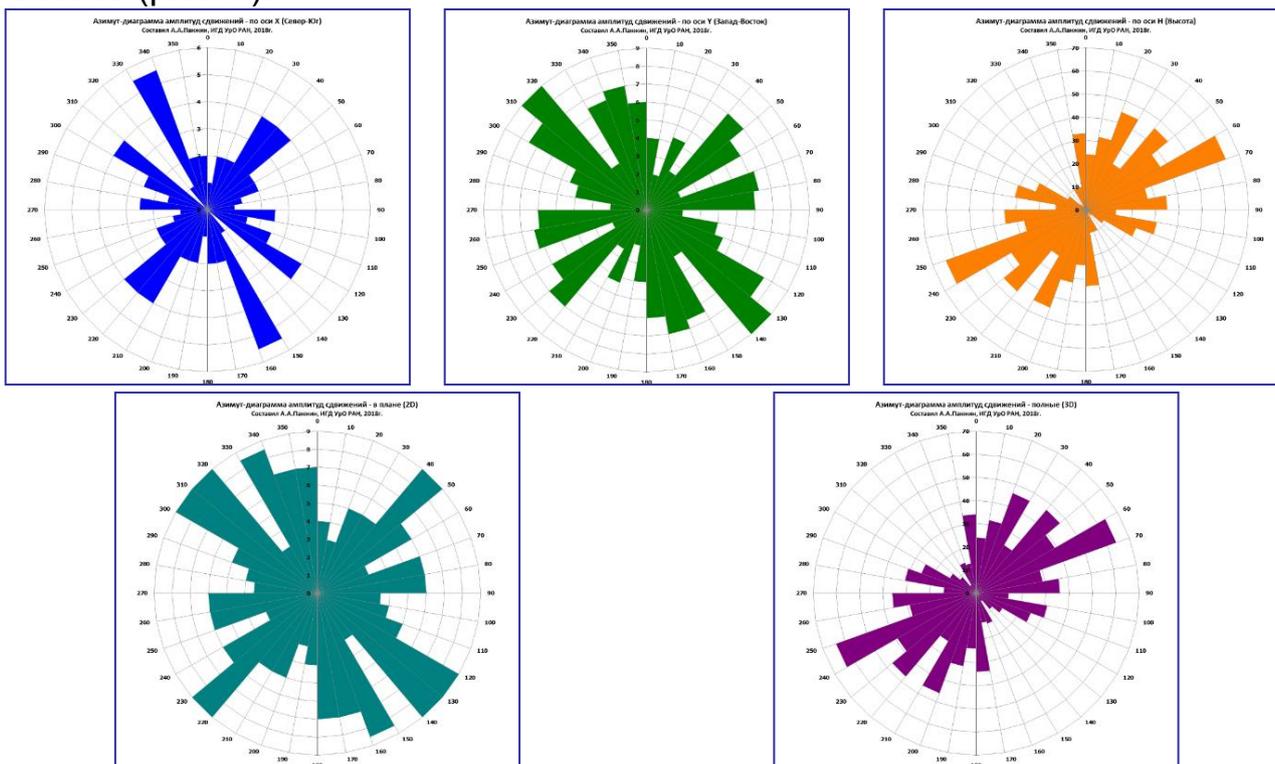


Рис. 5 – Азимут-диаграммы всех возможных приращений координат между пунктами сети: ■ -  $\Delta X$ , ■ -  $\Delta Y$ , ■ -  $\Delta H$ , ■ -  $2D$ , ■ -  $3D$

### Заключение

Дальнейшие направления исследований состоят в определении новых данных по скоростям сдвижений пунктов GNSS сети района, находящихся в области изменения напряженно-деформированного состояния массива при землетрясении в районе г. Катав-Ивановск, за период 2018-2019 и дальнейшие годы, в период стабилизации геодинамической обстановки.

Перспективным направлением дальнейших исследований является установление основных характеристик векторного поля современных движений [5], в частности дивергенции [6], что позволит определить закономерности распределения его характеристик и идентифицировать источники формирования и стока деформационных процессов. В настоящее время разработан и алгоритмически реализуется математический аппарат, позволяющий определять дивергенцию по результатам исходных данных, представленных как в виде равномерной Крайгинг-модели, так и в виде данных, представленных в вершинах единичных элементов триангуляции Делоне.

Также, в рамках обозначенных экспериментальных исследований, Институтом горного дела УрО РАН, продолжаются работы по созданию базы данных современных геодинамических движений верхней части Земной коры Уральского региона [7]. Исходными данными для наполнения

базы данных являются пространственные сдвигения и их скорости, определенные по результатам обработки геодезических измерений более 60 пунктов GNSS, расположенных на территории Северного, Среднего и Южного Урала

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кононенко И. И. Современная геодинамика Урала / И.И. Кононенко, Н.И. Халевин, М.А. Блюмин, В.Р. Яценко. – Свердловск, 1990. - 91 с.
2. Гуляев А.Н. Сейсмичность Урала и прилегающих территорий // Известия Уральского государственного горного университета. - 2016. - № 4 (44). - С. 45-49.
3. Уткин В.И., Белоусова А.А., Тягунов Д.С., Баландин Д.В. Исследование геодинамики Северного и Среднего Урала по данным GPS // Доклады Академии наук. - 2010. - Т. 431. - № 2. - С. 246-251.
4. Панжин А.А. Исследование геодинамических движений CORS для обоснования методики контроля процесса сдвига на месторождениях Уральского региона // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2015. - № 1 (49). - С. 22-26.
5. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Современные проблемы и задачи геомеханики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2020. - № 3-1. - С. 188-198.
6. Колмогоров В.Г., Мазуров Б.Т., Панжин А.А. Алгоритм оценки дивергенции векторных полей движений земной поверхности по геодезическим данным // Геодезия и картография. - 2018. - Т. 79. - № 10. - С. 46-53.
7. Панжин А.А., Панжина Н.А. Оценка стабильности опорных пунктов как основы для геодинамического мониторинга // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2019. - № 6. - С. 31-40.