

УДК 622.833.5:550.34

**Панжин Андрей Алексеевич**,  
кандидат технических наук,  
ученый секретарь,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург, ул. М.-Сибиряка, 58  
e-mail: [panzhin@igduran.ru](mailto:panzhin@igduran.ru)

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
ДИАГНОСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ МАССИВА  
ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ В РАЙОНЕ  
г. КАТАВ-ИВАНОВСК В СЕНТЯБРЕ 2018 г.**

*Аннотация:*

*Приведены предварительные результаты диагностики изменения напряженно-деформированного состояния массива при землетрясении в районе г. Катав-Ивановск в сентябре 2018 г. Данные были получены в результате исследования региональной геодинамики с использованием исходных данных постоянно действующих станций Global Navigation Satellite System (GNSS) Урала.*

*Ключевые слова:* землетрясение, сейсмичность Урала, Катав-Ивановск, современная геодинамическая активность, напряженно-деформированное состояние массива, тектонические нарушения, деформационные измерения, мониторинг.

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.033

**Panzhin Andrey A.**  
Candidate of Engineering Sciences,  
Scientific Secretary,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075, Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.,  
email: [panzhin@igduran.ru](mailto:panzhin@igduran.ru)

**PRELIMINARY RESULTS OF  
DIAGNOSTICS OF CHANGES IN  
THE STRESS-DEFORMED STATE  
OF THE ROCK MASS  
AT THE EARTHQUAKE  
IN THE REGION OF KATAV-IVANOVSK  
IN SEPTEMBER 2018**

*Abstract:*

*The paper describes the preliminary results of diagnostics of changes in the stress-deformed state of the rock mass at the earthquake in the region of Katav-Ivanovsk (Russia) in September 2018. The data were obtained as a result of the regional geodynamics study using the raw data from the permanent Global Navigation Satellite System (GNSS) stations of the Urals.*

*Key words:* earthquake, seismicity of the Urals, Katav-Ivanovsk, current geodynamic activity, stress-deformed state of rock mass, tectonic disturbances, deformation measurements, monitoring.

**Благодарности:**

автор выражает глубокую признательность коллективам компаний Эффективные технологии ([www.eftgroup.ru](http://www.eftgroup.ru)), HIVE ([www.hive.geosystems.aero](http://www.hive.geosystems.aero)), УралГеоТехнологии ([www.ugt-holding.com](http://www.ugt-holding.com)), ГеоСтройИзыскания ([www.gsi.ru](http://www.gsi.ru)), Hexagon ([www.geosystems.ru](http://www.geosystems.ru)), ПРИН ([www.prin.ru](http://www.prin.ru)) за предоставленные исходные данные и содействие при выполнении исследований.

Современная сейсмичность Уральского региона в основном характеризуется большим количеством мелкофокусных событий с магнитудой 2-3. В сентябре 2018 г. 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).

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

- 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 и приводить к накоплению упругих напряжений на границах выступа, которые при своей разрядке могут вызвать достаточно сильные землетрясения;

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

M5.5 2018/09/04 - 22:58:18 UTC Lat 54.80 Lon 58.12 Depth 10.0 km

133 km E of Ufa, Russian Federation ( pop: 1,034,000 local time: 03:58 2018/09/05 )

7 km NW of Katav-Ivanovsk, Russian Federation ( pop: 19,400 local time: 03:58 2018/09/05 )



Рис.1 – Местонахождение эпицентра серии землетрясений

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

В связи с произошедшим в сентябре 2018 г. землетрясением был проведен эксперимент с целью диагностики изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе г. Катав-Ивановск. Размеры района исследований составили 280 × 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.

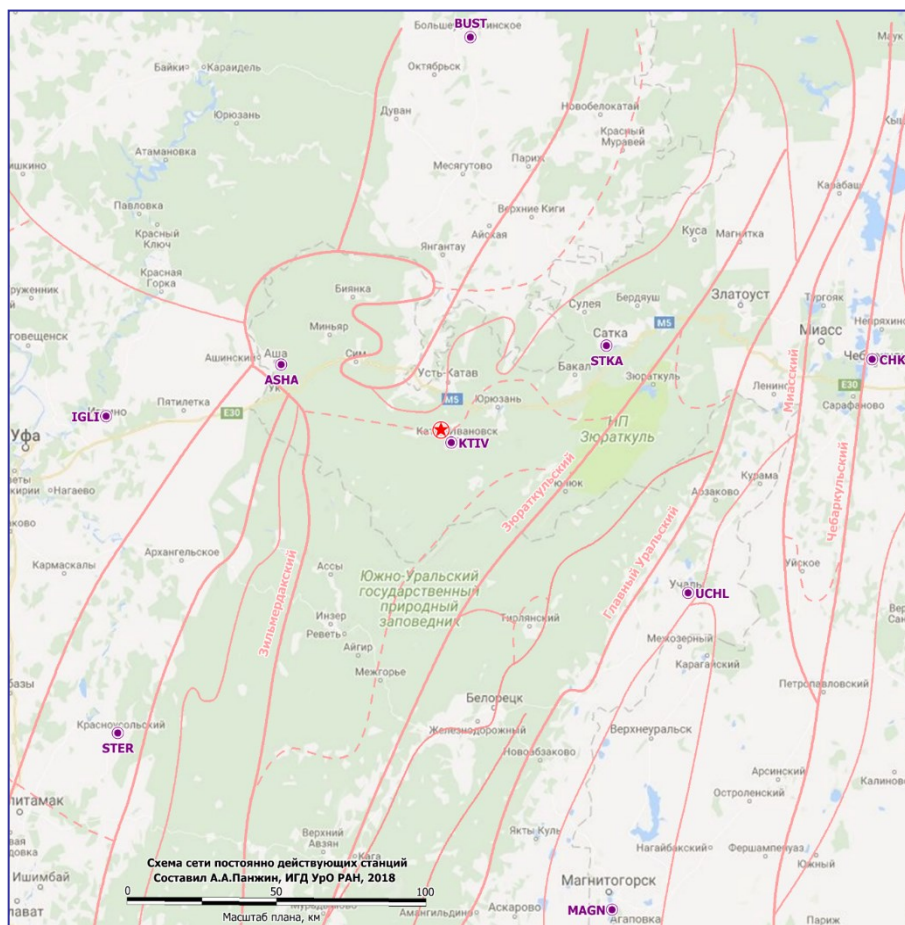


Рис.2 – Схема сети постоянно действующих GNSS станций Южного Урала

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 привязки 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.

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 сдвижения, 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  $135^\circ$  и  $45^\circ$ , при этом в восточной части исследуемой территории преобладают сжимающие деформации.

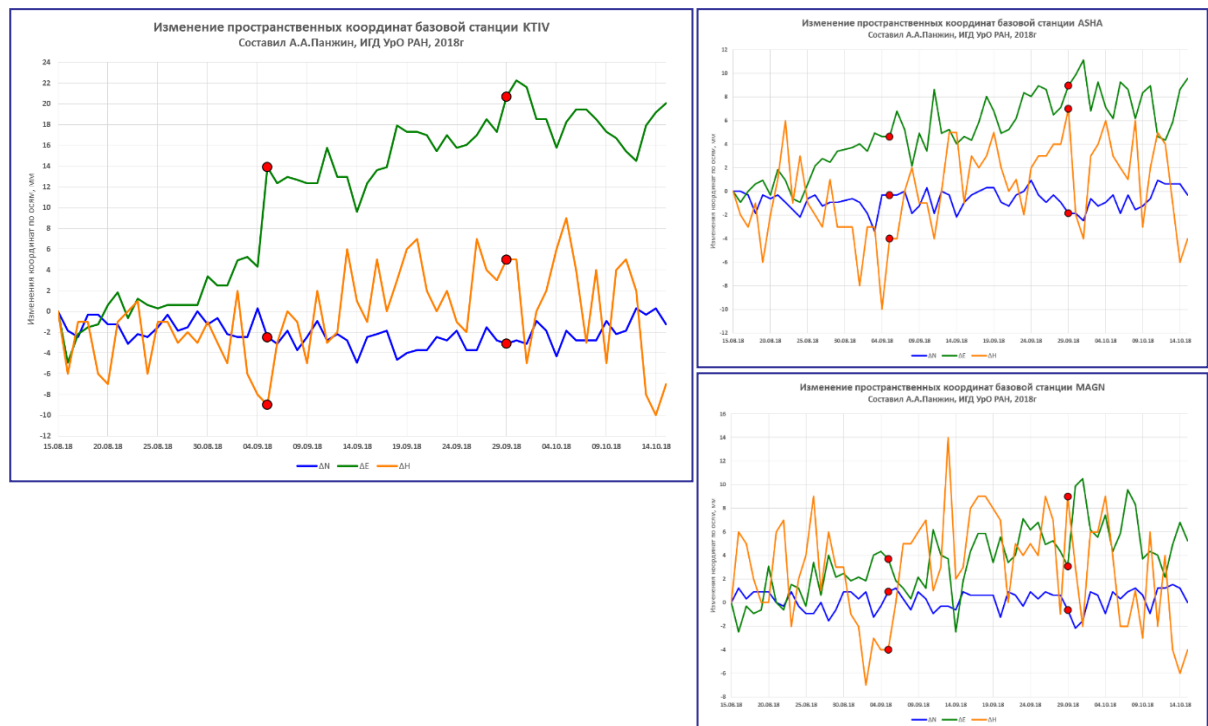


Рис.3 – Поведение массива горных пород до и после землетрясения. Амплитуда изменений пространственных координат пунктов GNSSсети: компоненты -  $\Delta X$ , -  $\Delta Y$ , -  $\Delta H$

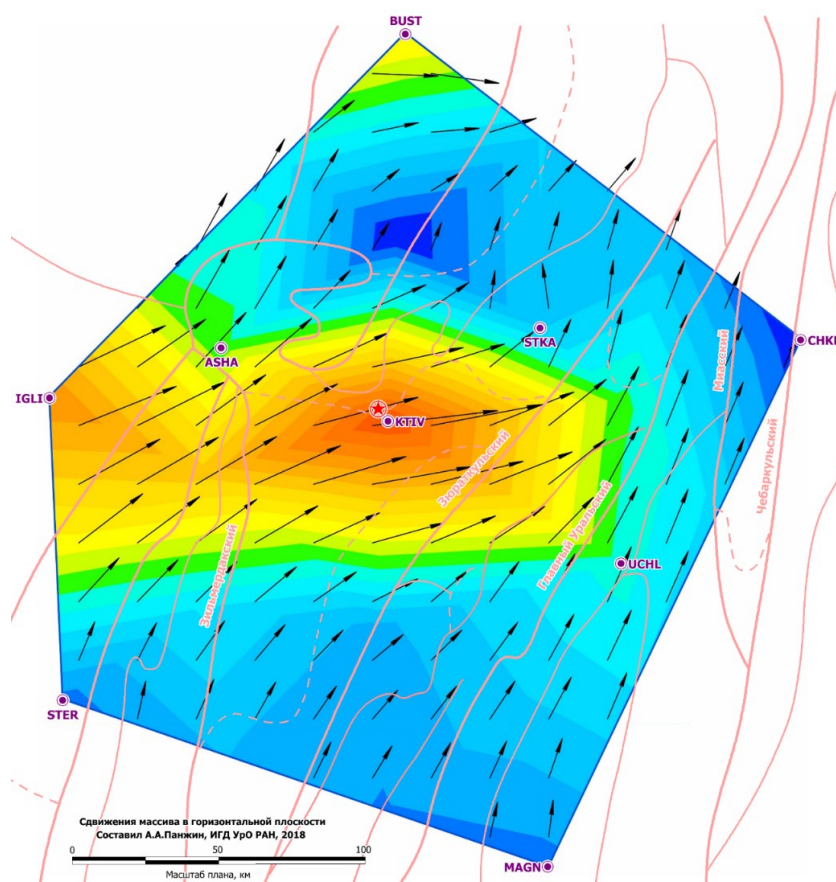


Рис.4 – Горизонтальные перемещения на восток по оси станций IGLI - KTIV с амплитудами 7 – 10 мм

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).

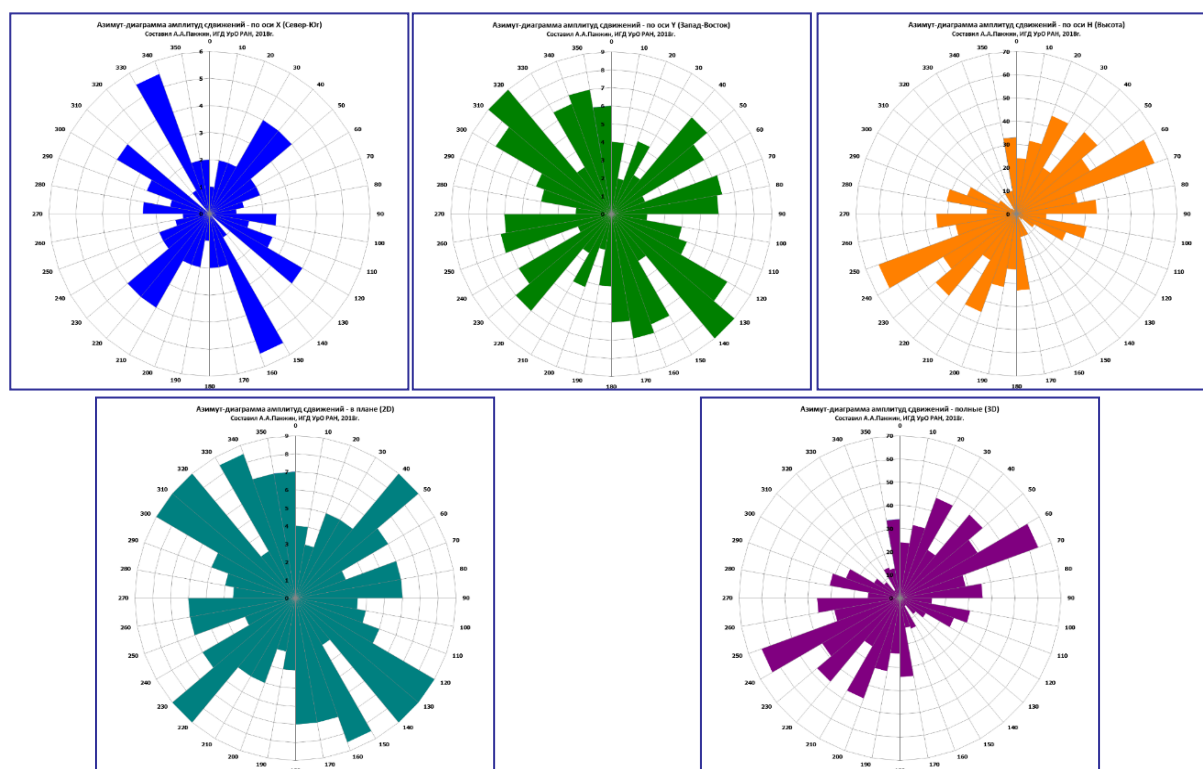


Рис. 5 – Азимут-диаграммы всех возможных приращений координат между пунктами сети: ■ -  $\Delta X$ , ■ -  $\Delta Y$ , ■ -  $\Delta H$ , ■ -  $2D$ , ■ -  $3D$

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 гг. и далее, в период стабилизации геодинамической обстановки. Перспективным направлением дальнейших исследований является установление основных характеристик векторного поля современных движений, в частности дивергенции, 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. 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.