



Физический факультет
Московского
государственного университета
имени М.В.Ломоносова

Анализ ориентации акселерометров сети подводных обсерваторий S-net

Пономарев О.В., Колесов С.В.



Физическая основа метода

В диапазоне частот вынужденных колебаний

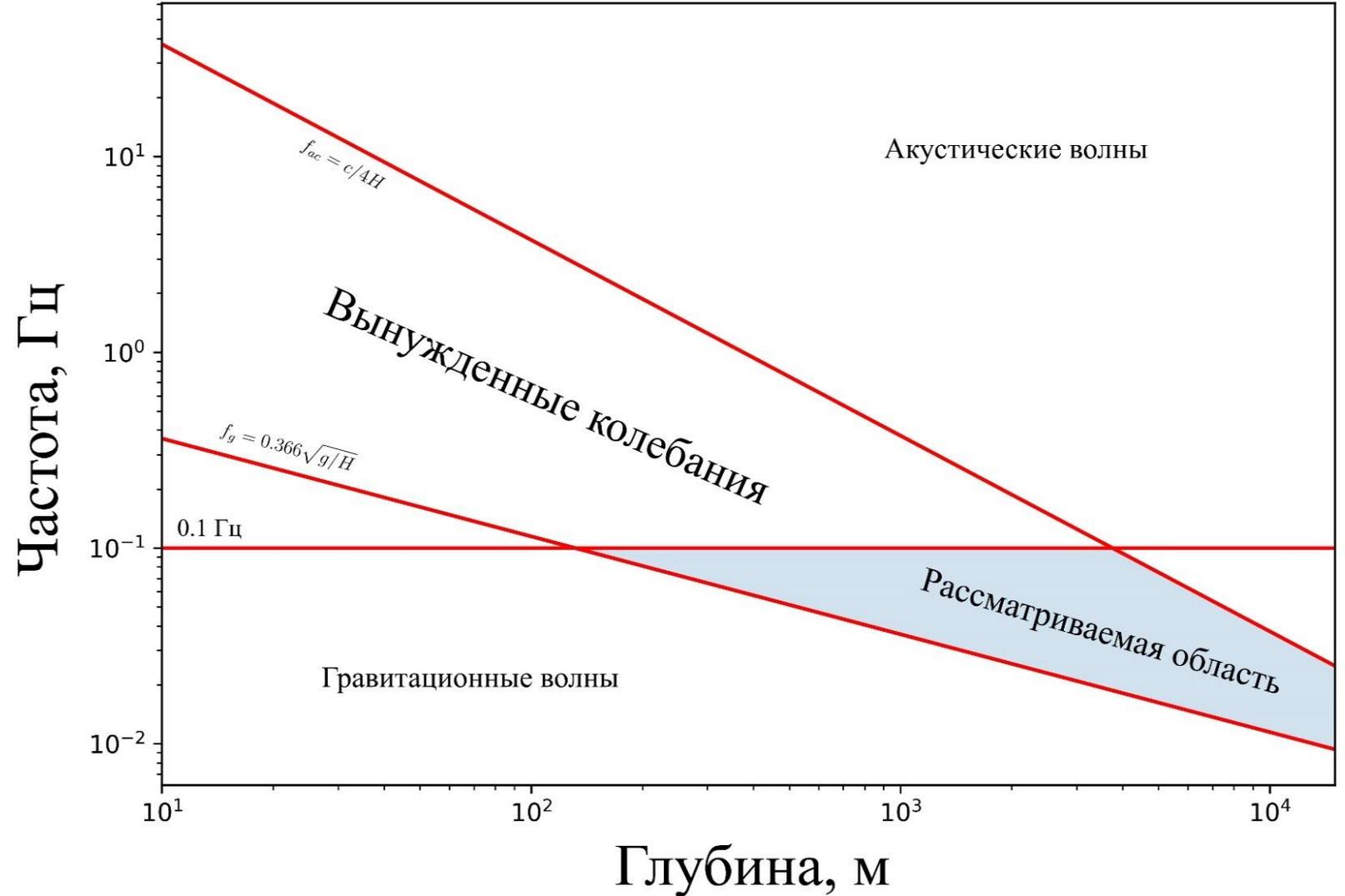
$$f_g < f < f_{ac}$$

выполняется линейная связь между давлением и вертикальным ускорением:

$$p = a_z * M$$

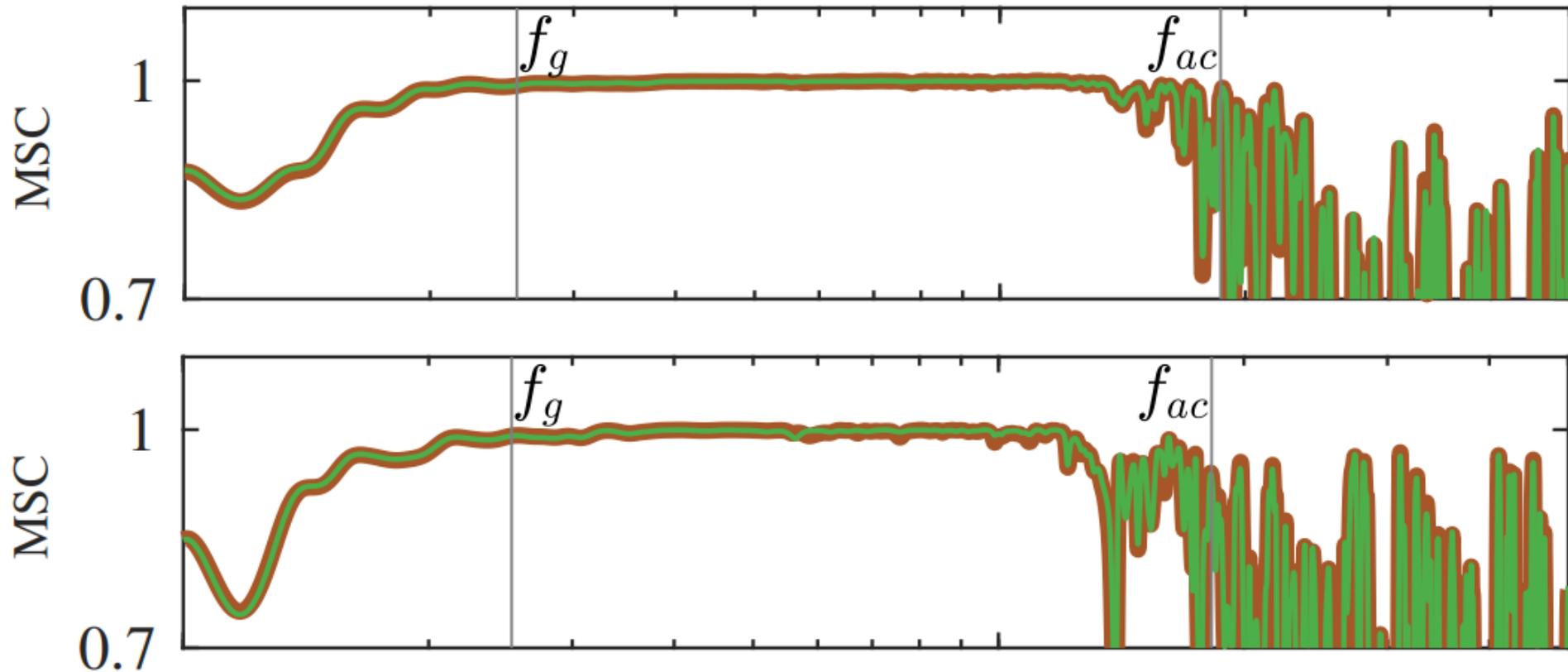
Где M – масса столба жидкости единичной площади.

Частоты выше 0.1 Гц можно отбросить чтобы избавиться от влияния микросейсмического шума



Когерентность

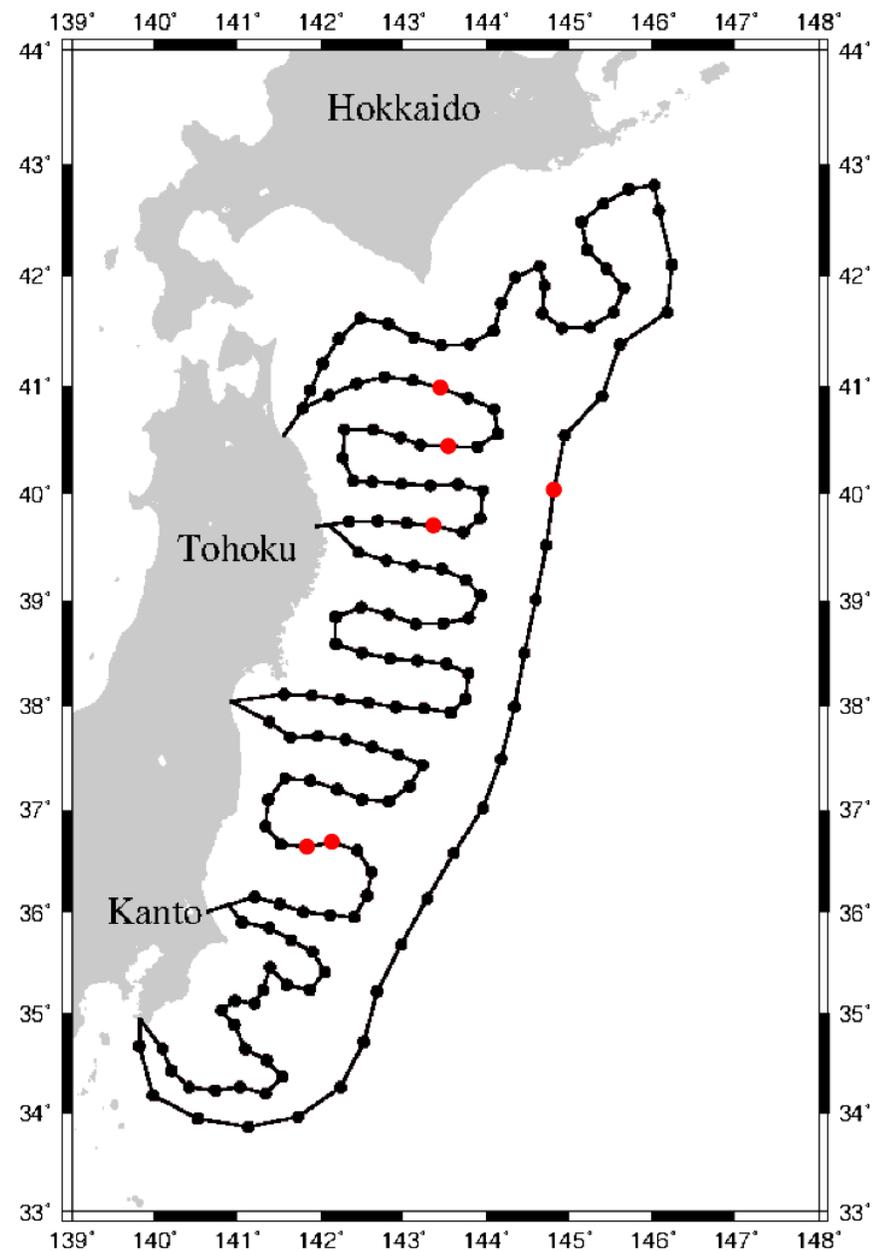
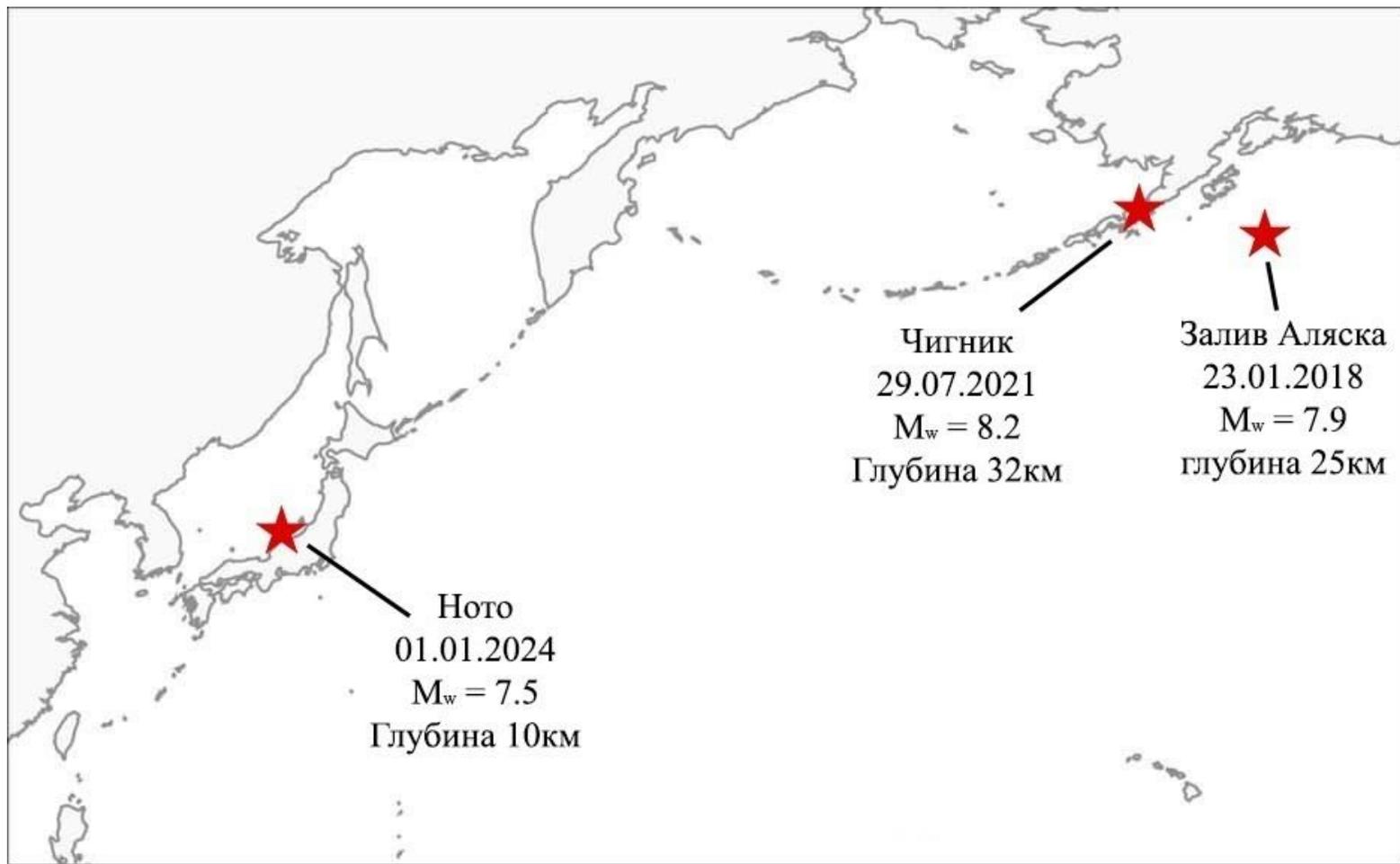
Строя MSC* по сигналам для давления и вертикального ускорения, можно увидеть, насколько они коррелируют. Если зависимость выполняется, MSC будет стремиться к единице



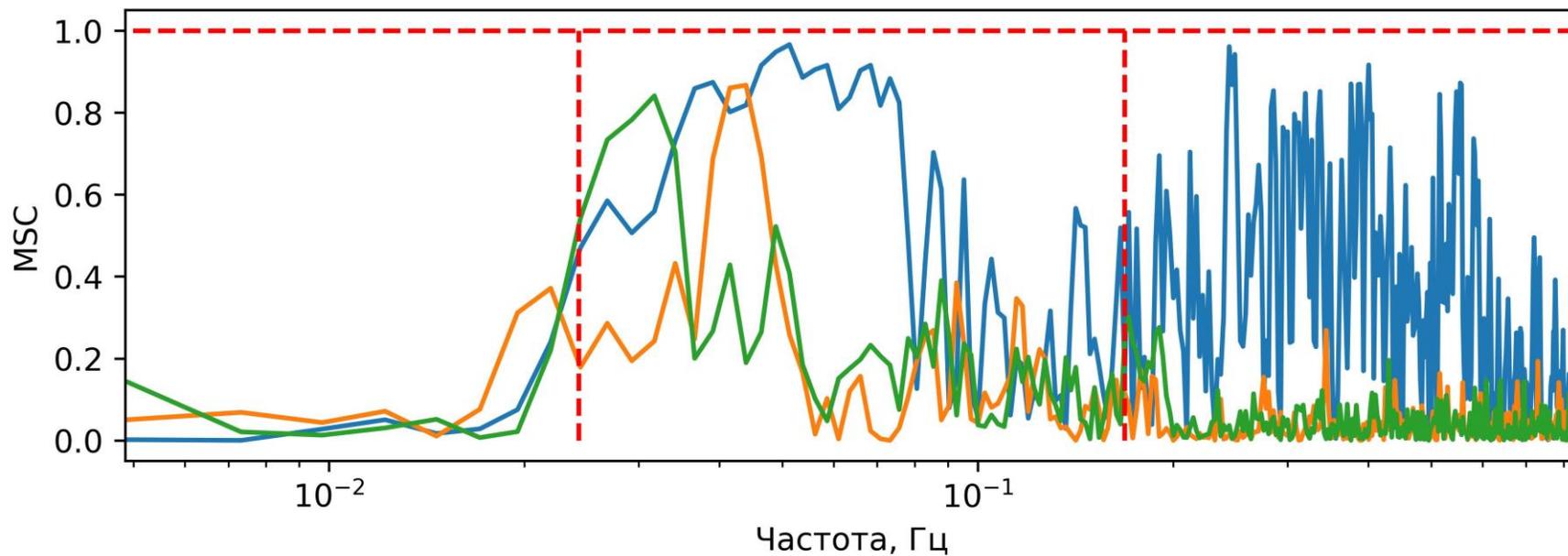
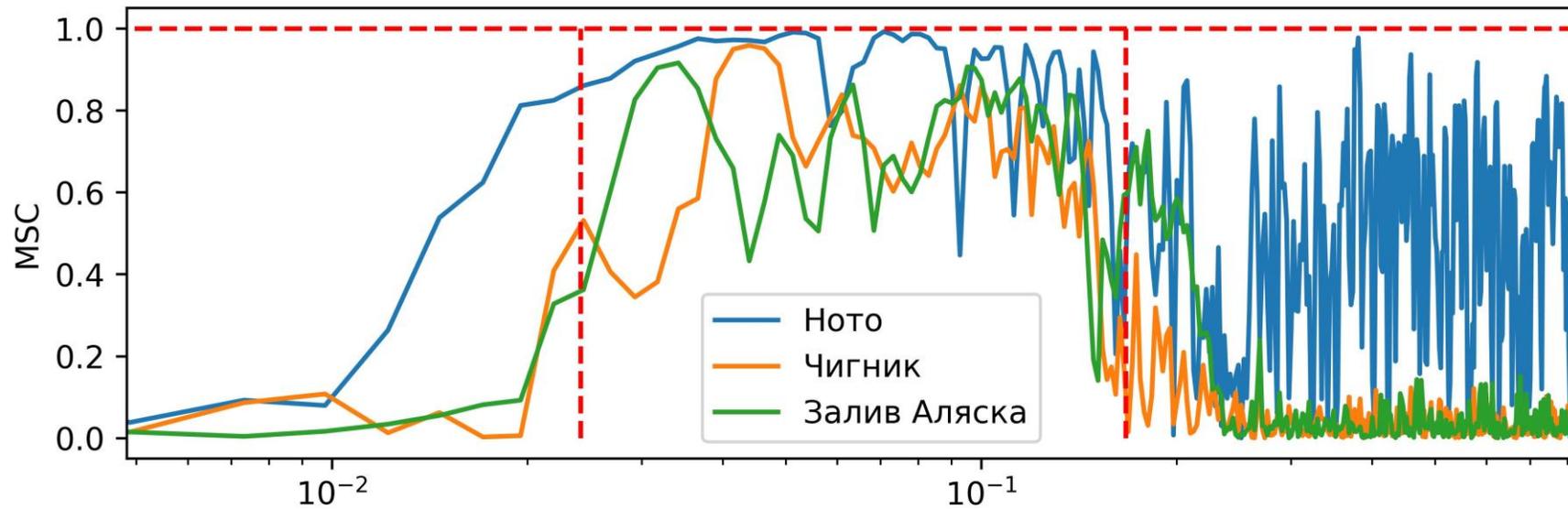
Станции A02, A04 сети DONET-1, Событие Тохоку (2011)



Выбор станций и событий



MSC полученный для S-net

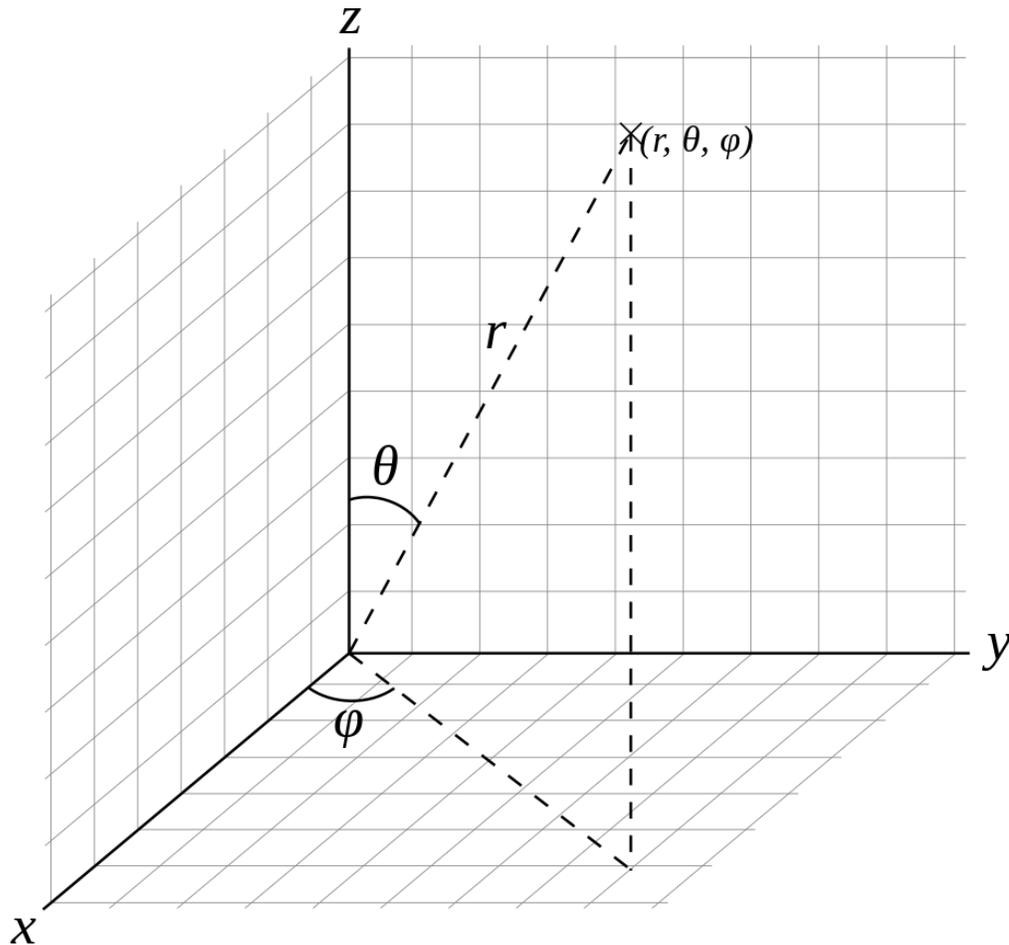


Причины по которым соотношение нарушается

- Наклонное или неровное дно
- Выбрано слишком слабое землетрясение
- Направление z-компоненты акселерометра отклоняется от реальной вертикали



Проекция ускорения на любое направление



- Станция в начале координат
- r – направление на реальную вертикаль
- x, y, z – оси акселерометра
- Направление задается двумя углами – ϕ, θ .

Ускорение вдоль любого направления определяется через углы ϕ, θ и ускорения вдоль осей акселерометра:

$$S = a_z \cdot \cos(\theta) + a_y \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\phi) + a_x \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\phi)$$



Определение направления на вертикаль

Перебирая значения углов ϕ, θ с некоторым шагом, рассчитаем для каждого интеграл от MSC по всему рассматриваемому диапазону частот. Направление, для которого значение интеграла максимально, и будет соответствовать вертикали:

$$\int_{f_g}^{f_{ac}} MSC df \rightarrow Max$$



Проверка на известных данных

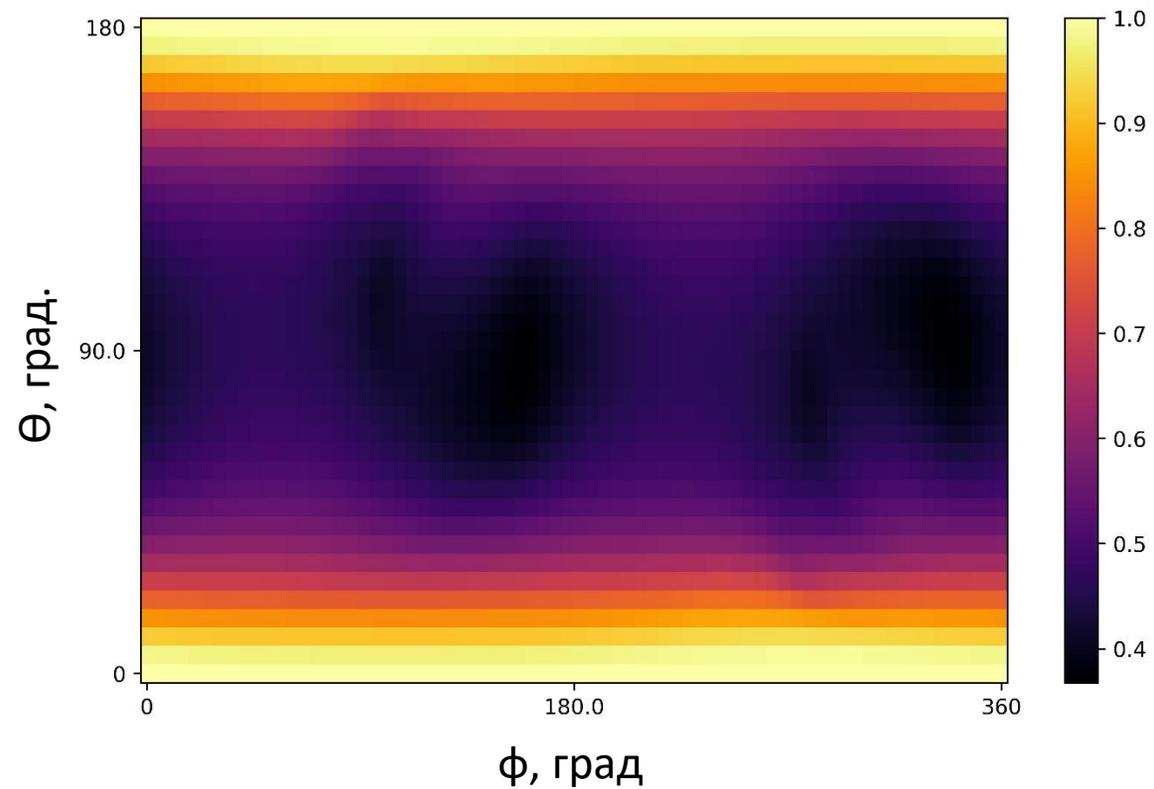
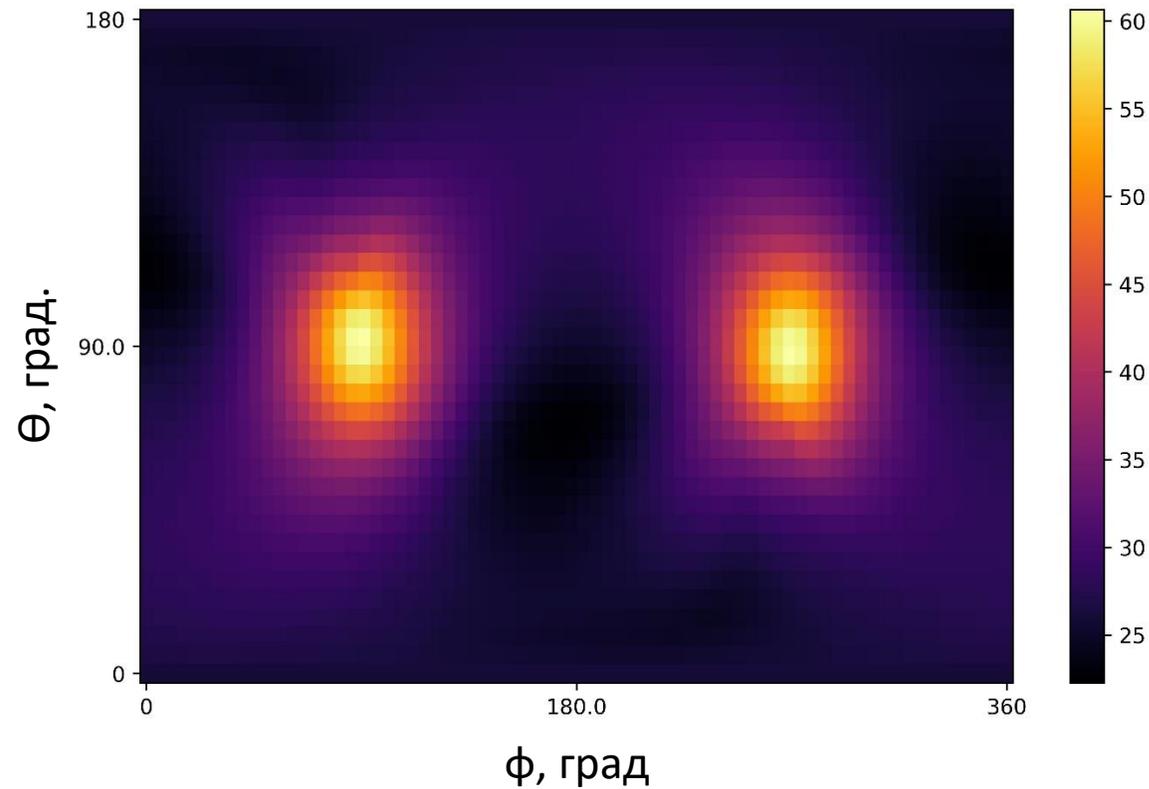


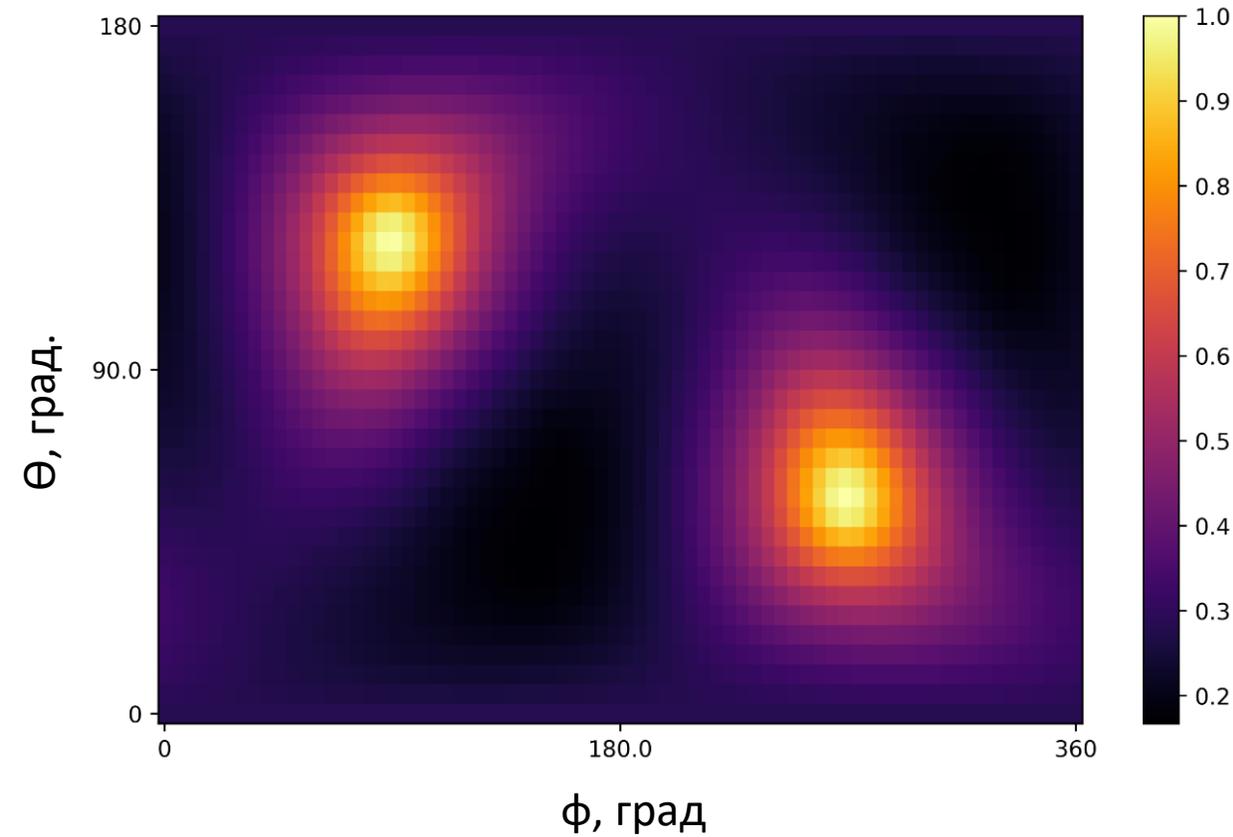
Диаграмма MSC(ϕ , θ) для реального сигнала



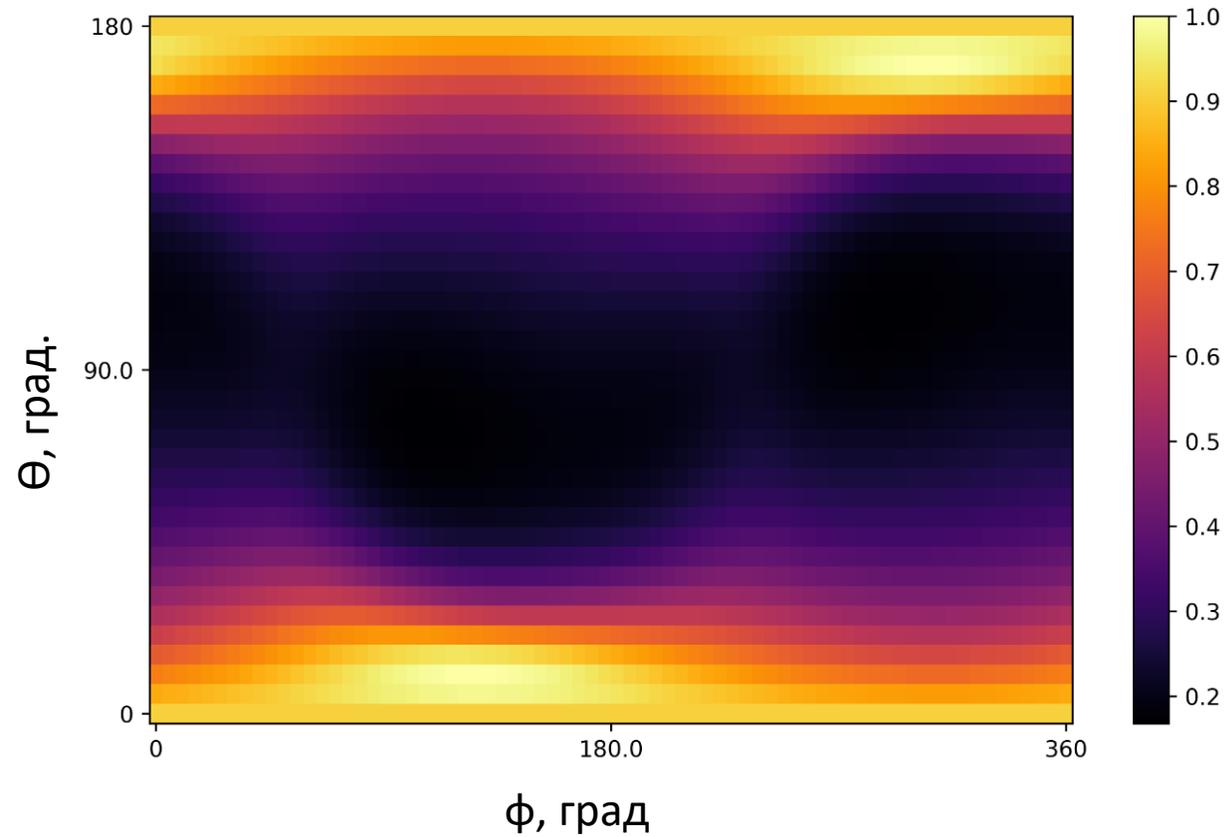
Синтетический сигнал с поворотом акселерометра на 90 градусов в плоскости перпендикулярной оси x



Применение метода к S-net

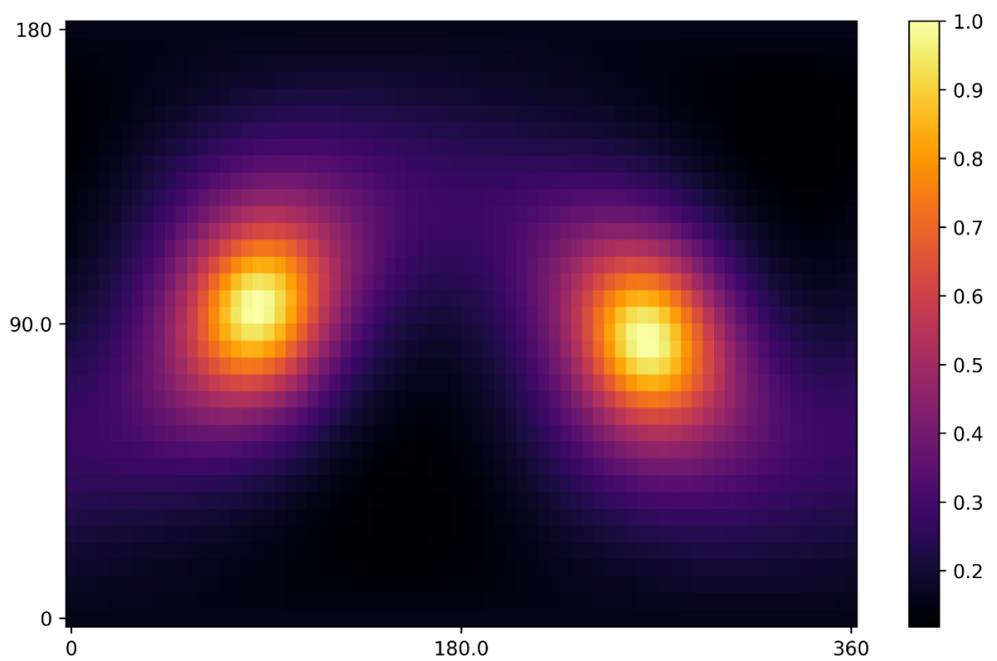


Станция S4N25

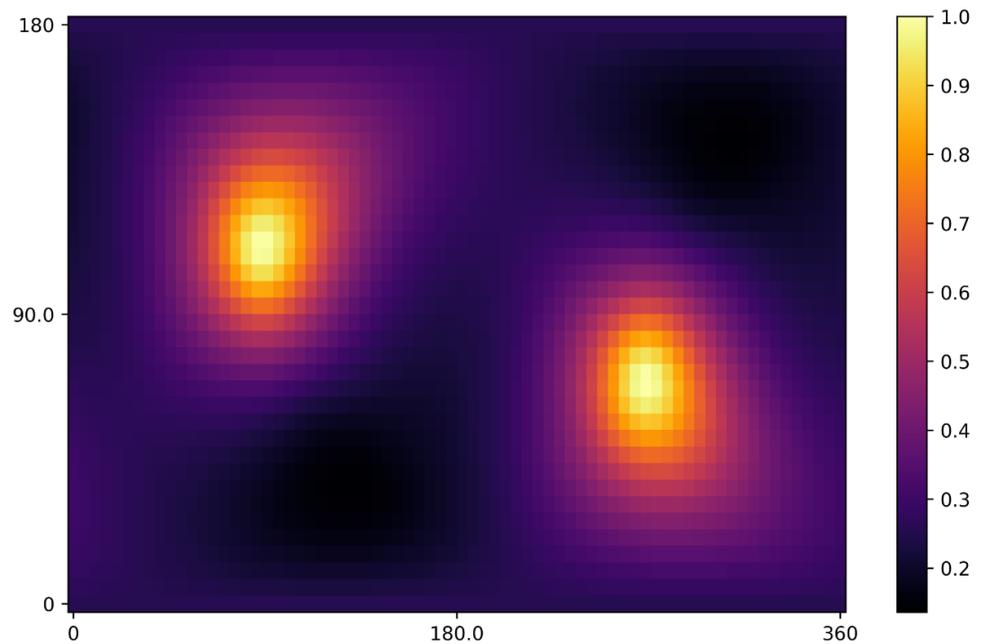


Станция S2N17

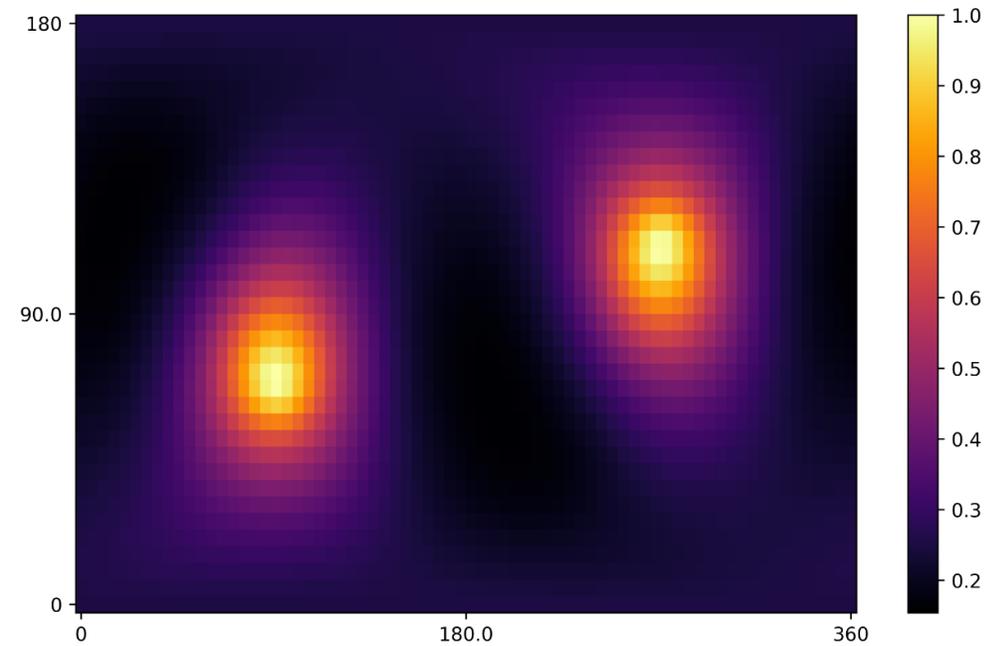
Станція S2N18



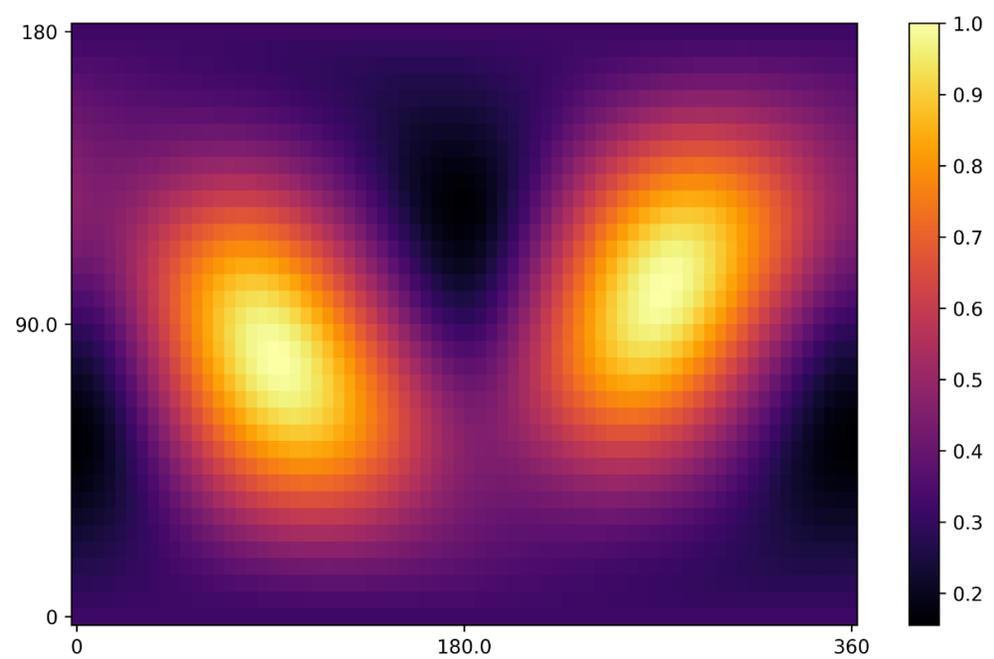
Станція S4N11



Станція S4N06



Станція S6N08



Отклонение для выбранных станций S-net

Станция	θ, ϕ	$\equiv \theta, \phi$
S2N17	12, 125	168, 305
S2N18	95, 86	85, 266
S4N06	80, 90	110, 270
S4N11	111, 89	69, 269
S4N25	124, 90	56, 270
S6N08	75, 95	105, 275

Отклонения преимущественно в плоскости, перпендикулярной оси X

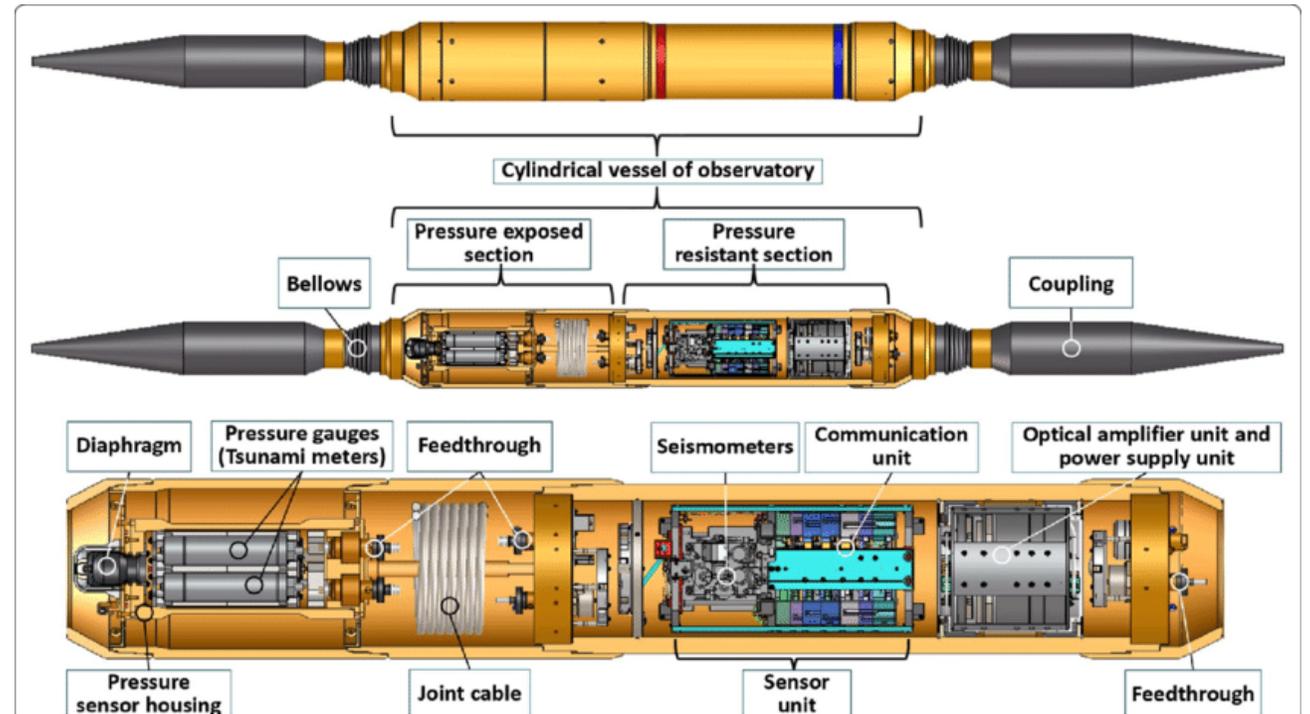
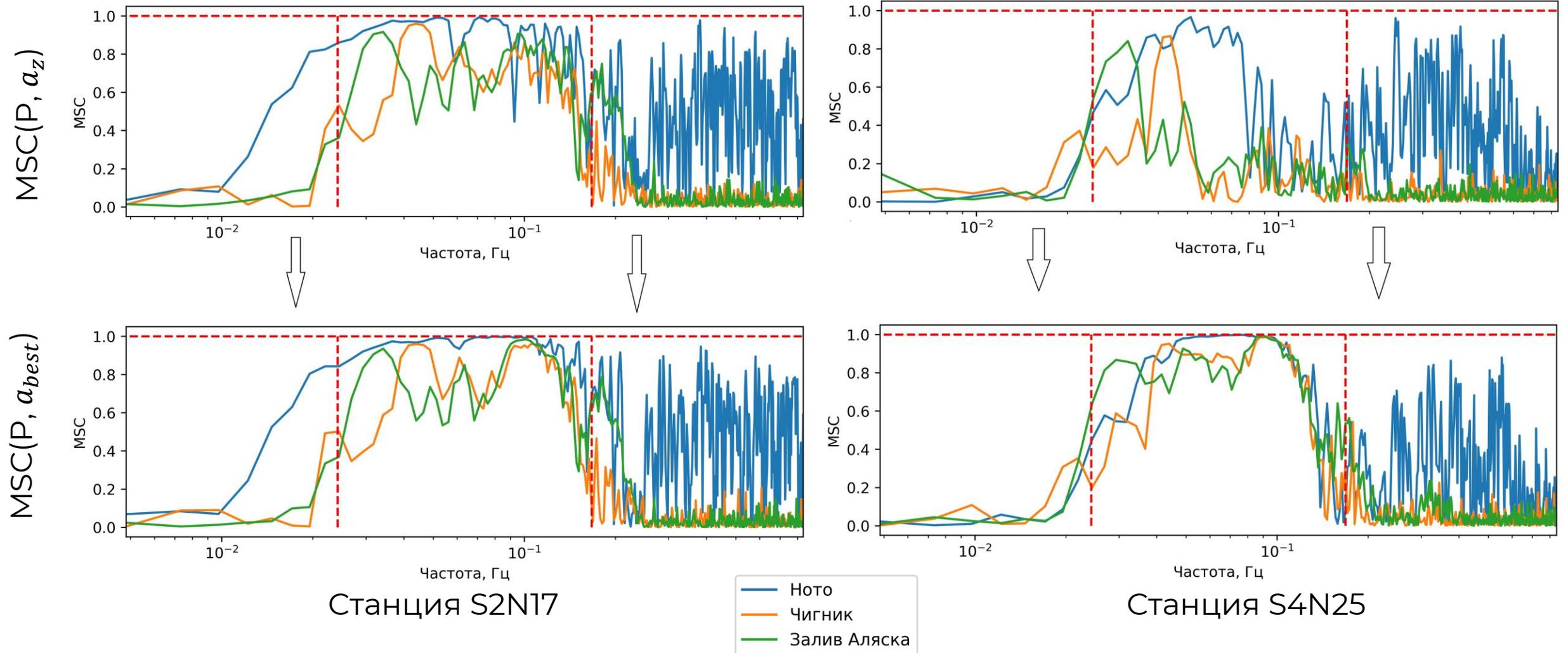
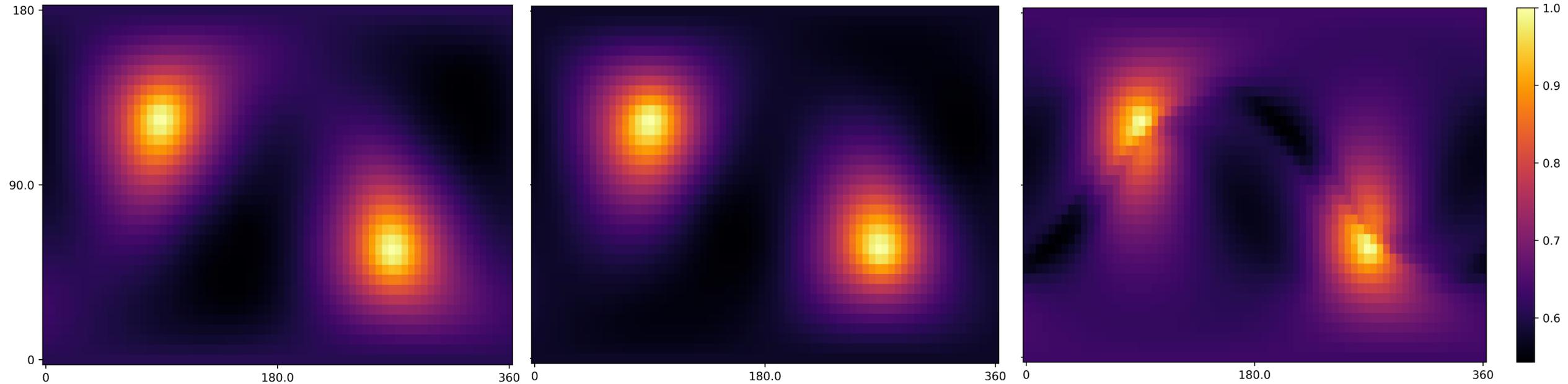


Рисунок взят из Aoi et al, 2020

Сравнение MSC по z и по лучшему направлению



Изменение картины со временем



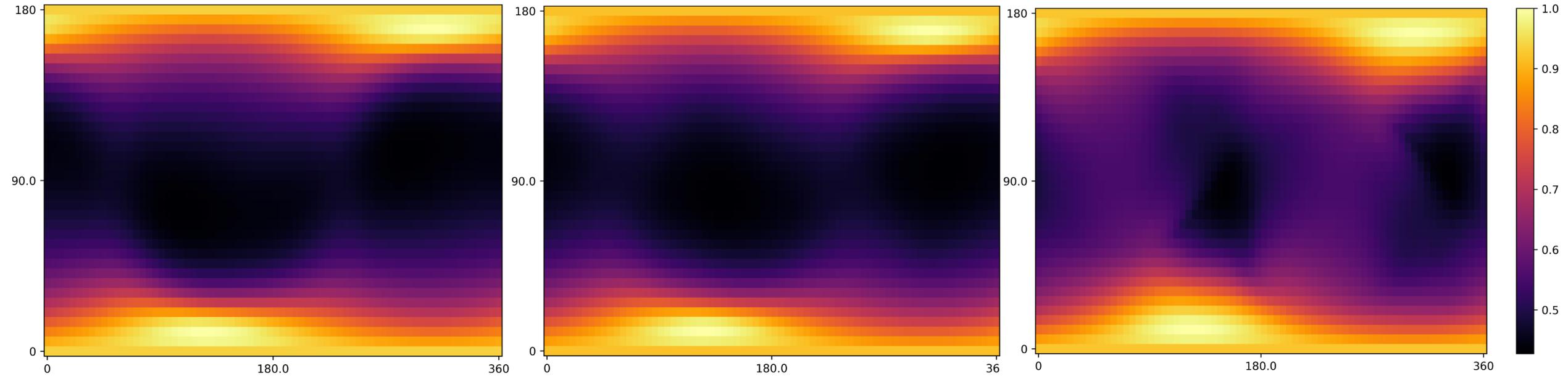
Залив Аляска, 2018

Чигник, 2021

Ното, 2024



Изменение картины со временем



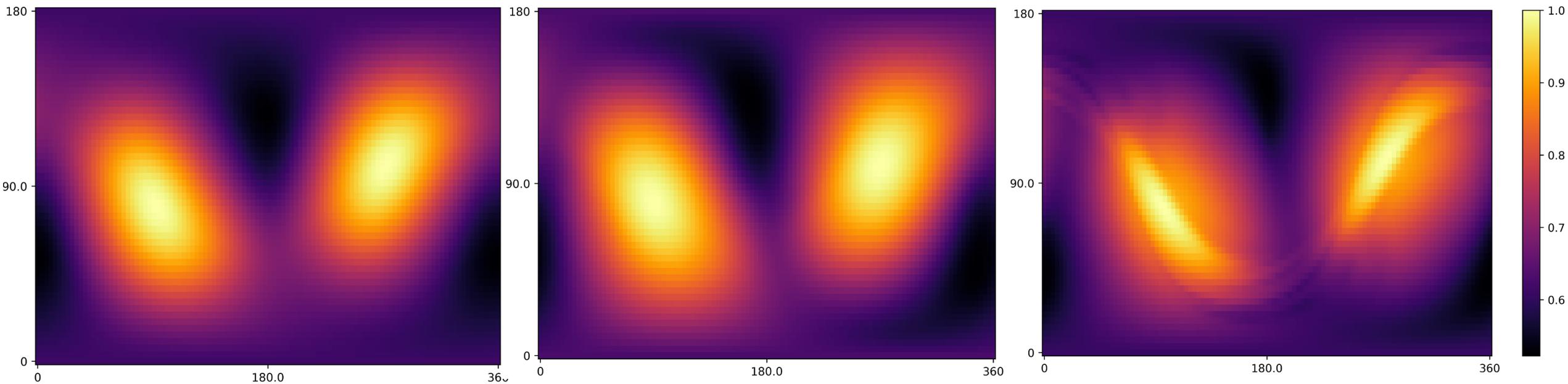
Залив Аляска, 2018

Чигник, 2021

Ното, 2024



Изменение картины со временем



Залив Аляска, 2018

Чигник, 2021

Ното, 2024



Выводы

- Предложен метод для определения ориентации осей акселерометра
- Метод испытан на известных данных, результат совпал с ожидаемым
- Для рассмотренных станций сети S-net предложенный метод определяет значительное отклонение направления оси z акселерометра от вертикали



Спасибо за внимание

Список литературы

- [1] Karpov, V. A., Sementsov, K. A., Nosov, M. A., Kolesov, S. V., Matsumoto, H., and Kaneda, Y. (2020). Method for examining the performance of seafloor observatory Sensors. *Moscow Univ. Phys. Bull.* 75, 371–377. doi: 10.3103/S0027134920040086
- [2] Nosov, M., Karpov, V., Kolesov, S., Sementsov, K., Matsumoto, H., and Kaneda, Y. (2018). Relationship between pressure variations at the ocean bottom and the acceleration of its motion during a submarine earthquake. *Earth Planets Space* 70:100. doi: 10.1186/s40623-018-0874-9
- [3] Aoi, Shin, Asano, Youichi, Kunugi, Takashi, Kimura, Takeshi, Uehira, Kenji, Takahashi, Narumi, Ueda, Hideki, Shiomi, Katsuhiko, Matsumoto, Takumi, Fujiwara, Hiroyuki. (2020). MOWLAS: NIED observation network for earthquake, tsunami and volcano. *Earth, Planets and Space.* 72. 10.1186/s40623-020-01250-x.

