

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТОХОКУ ($M=9.0$; 11.03.2011), ПОЛУЧЕННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ

В.В. Пупатенко

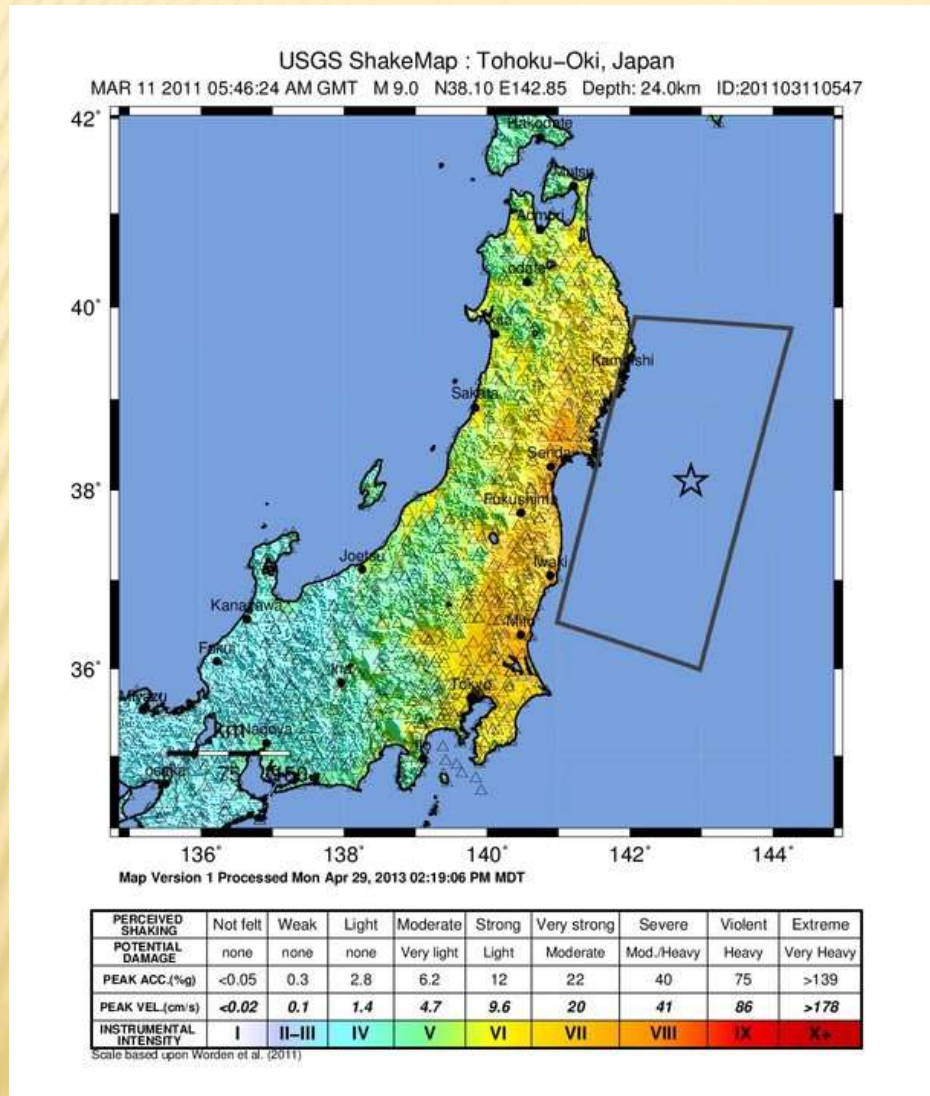
*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им.
Ю.А.Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск*

GPS - сейсмология

Развитие IGS и появление высокоточных орбит в точно определенной земной системе координат дало начало новым приложениям GPS, в число которых входит **GPS-сейсмология**.

В настоящее время системы спутниковой навигации широко используются для определения **сейсмического момента и смещений**. С помощью GPS можно определять смещения **большой величины** на любом удалении от эпицентра, в то время как **велосиметры** широкополосных сейсмостанций **перегружаются** при сильном сигнале, а **акселерометры** требуют **двойного интегрирования**, искажающего значения смещений.

Землетрясение ТОХОКУ (M=9.0; 11.03.2011)



2011/03/11 05:46:23
(GMT)

у восточного
побережья
о. Хонсю, Япония
произошло
землетрясение
с M=9.0
(38.10N 142.85E,
h=33 km)

Карта размещения сейсмических и GPS станций



▲ - Сейсмические станции DATAMARK

▲ - Сейсмические станции REFTEK

● - GPS/ГЛОНАСС станции

Хабаровский край

Хабаровск (ИТиГ ДВО РАН)



Ванино (ИТиГ ДВО РАН)



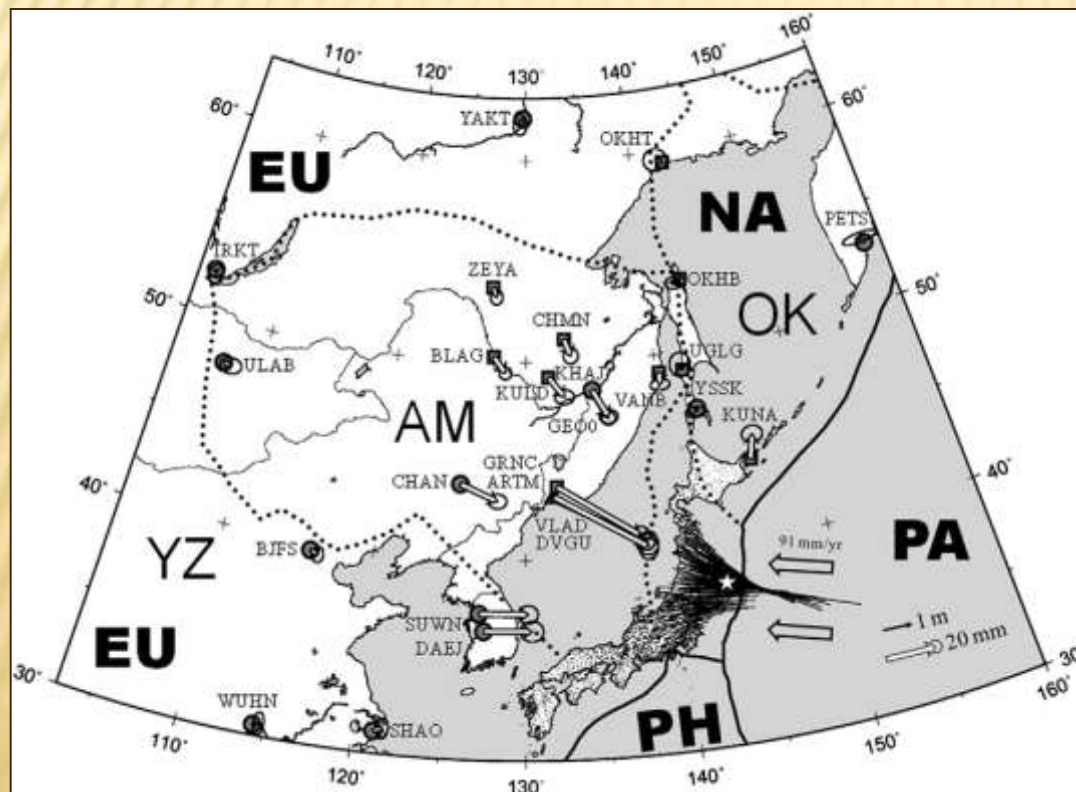
Приморский край

Горнотаежное
(ИПМ ДВО РАН)



Расположение непрерывно работающих GPS пунктов и наблюденные косейсмические смещения.

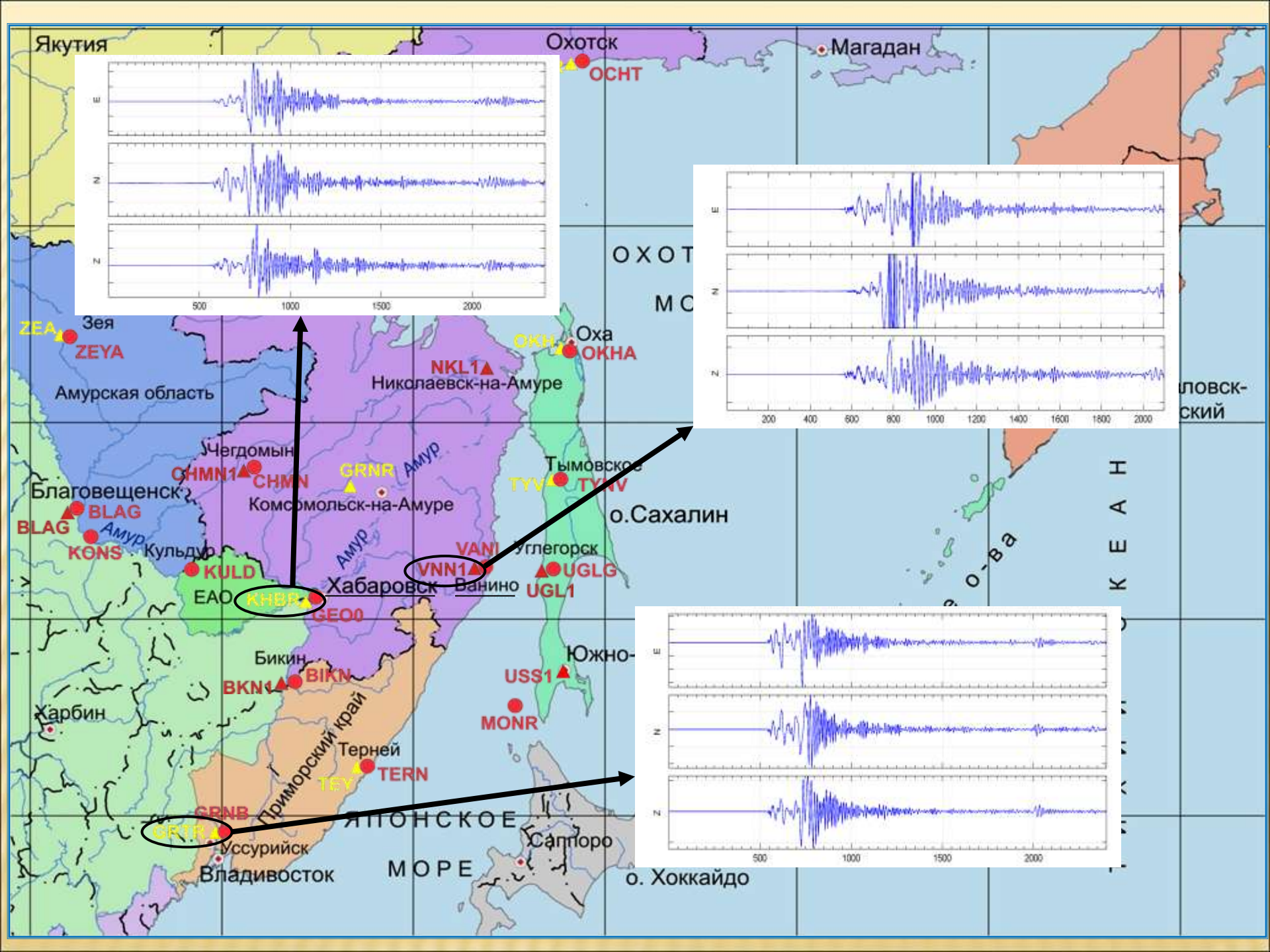
Вследствие землетрясения Тохоку широкая зона к западу от Японии подверглась косейсмическим смещениям. Значимых вертикальных перемещений станциями сети не зарегистрировано. Наибольший косейсмический сдвиг (> 40 мм) определен для группы станций VLAD, DVGU, ARTM и GRNC Южного Приморья. Наиболее интенсивные деформации к западу от Японии были зафиксированы в южной континентальной части Дальнего Востока России, Корее и северо-востоке Китая. Значимые косейсмические смещения от 1.5 до 4-5 мм были также зафиксированы в континентальных регионах на расстояниях до 2300 км от эпицентра землетрясения Тохоку.



IGS станции - серые кружки;
GPS станции ДВО РАН – серые
квадраты;
станции ARTM и DVGU – серые
треугольники.
Звезда – эпицентр землетрясения
(JMA, 2011).

Литосферные плиты:
EU – Евразийская;
NA – Североамериканская;
PA – Тихоокеанская;
PH – Филиппинская;
AM – Амурская;
OK – Охотская;
YZ – Янцзы.

(Shestakov N.V. et al., 2012)



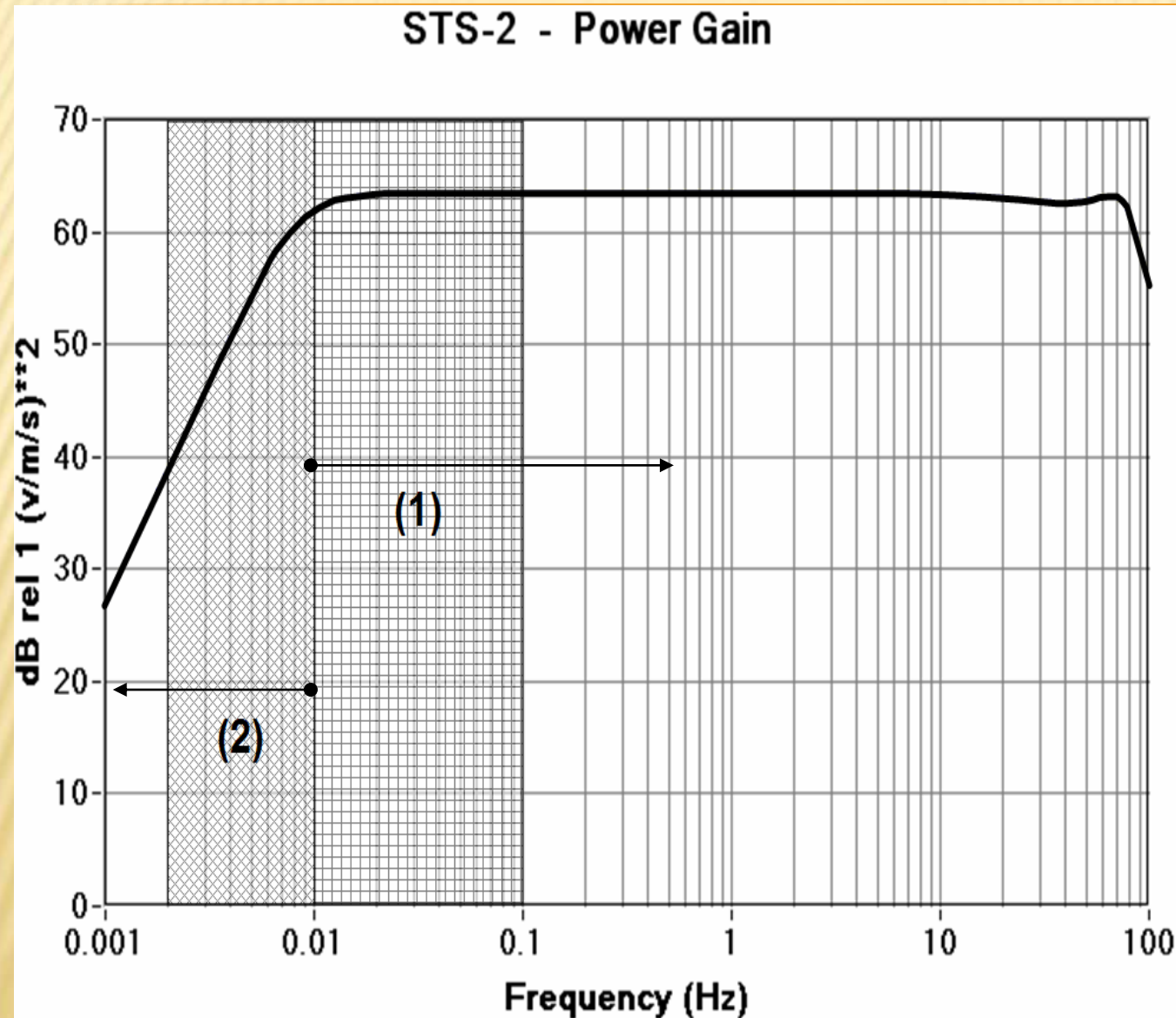
Цель работы

Сопоставить в разных частотных диапазонах волновые формы землетрясения Тохоку ($M_w=9.1$, 11.03.2011, Япония), полученные сейсмологическим и геодезическим методами.

Методика обработки

- Интегрирование записей сейсмометров для перехода от скоростей к смещениям;
- Выбор частотных диапазонов;
- Выделение частотных диапазонов фильтрацией, в том числе «выравнивание» АЧХ сейсмометров посредством фильтрации фильтром, имеющим АЧХ, обратную АЧХ сейсмометров.

АЧХ сейсмометра STS-2



Были выделены
2 частотных
диапазона в АЧХ
сейсмометров:

(1)
более 0.01 Гц –
«ровная» АЧХ,
полоса пропускания

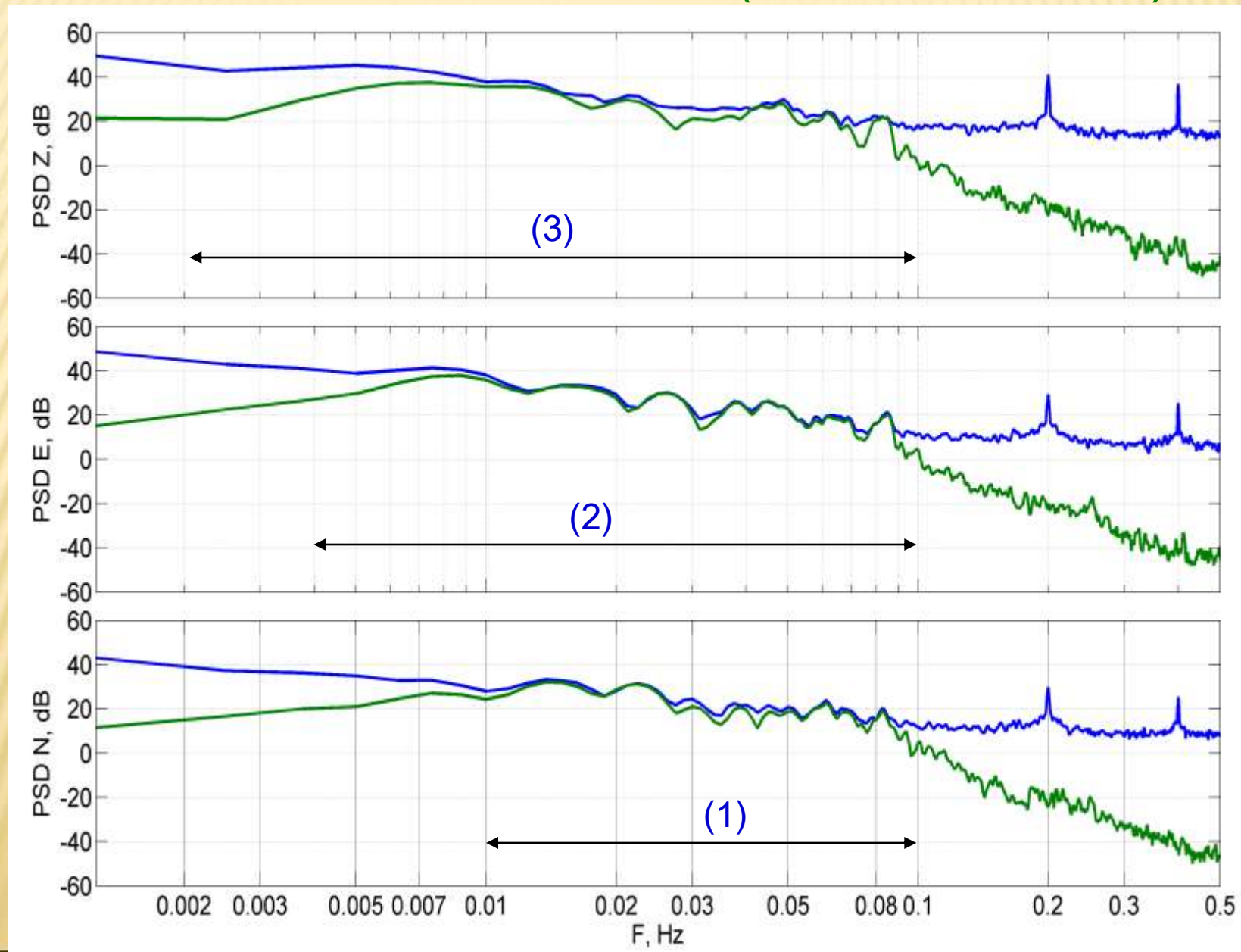
(2)
менее 0.01 Гц –
«наклонная» АЧХ,
вне полосы
пропускания

Выбор частотного диапазона

Частотный диапазон следует ограничить:

- Сверху, исходя из
 - частоты дискретизации GPS записей,
 - частотного диапазона землетрясения.
- Снизу, исходя из
 - АЧХ сейсмометров,
 - частотного диапазона землетрясения.

Спектры мощности GPS записи (синие линии) и сейсмической записи (зеленые линии)

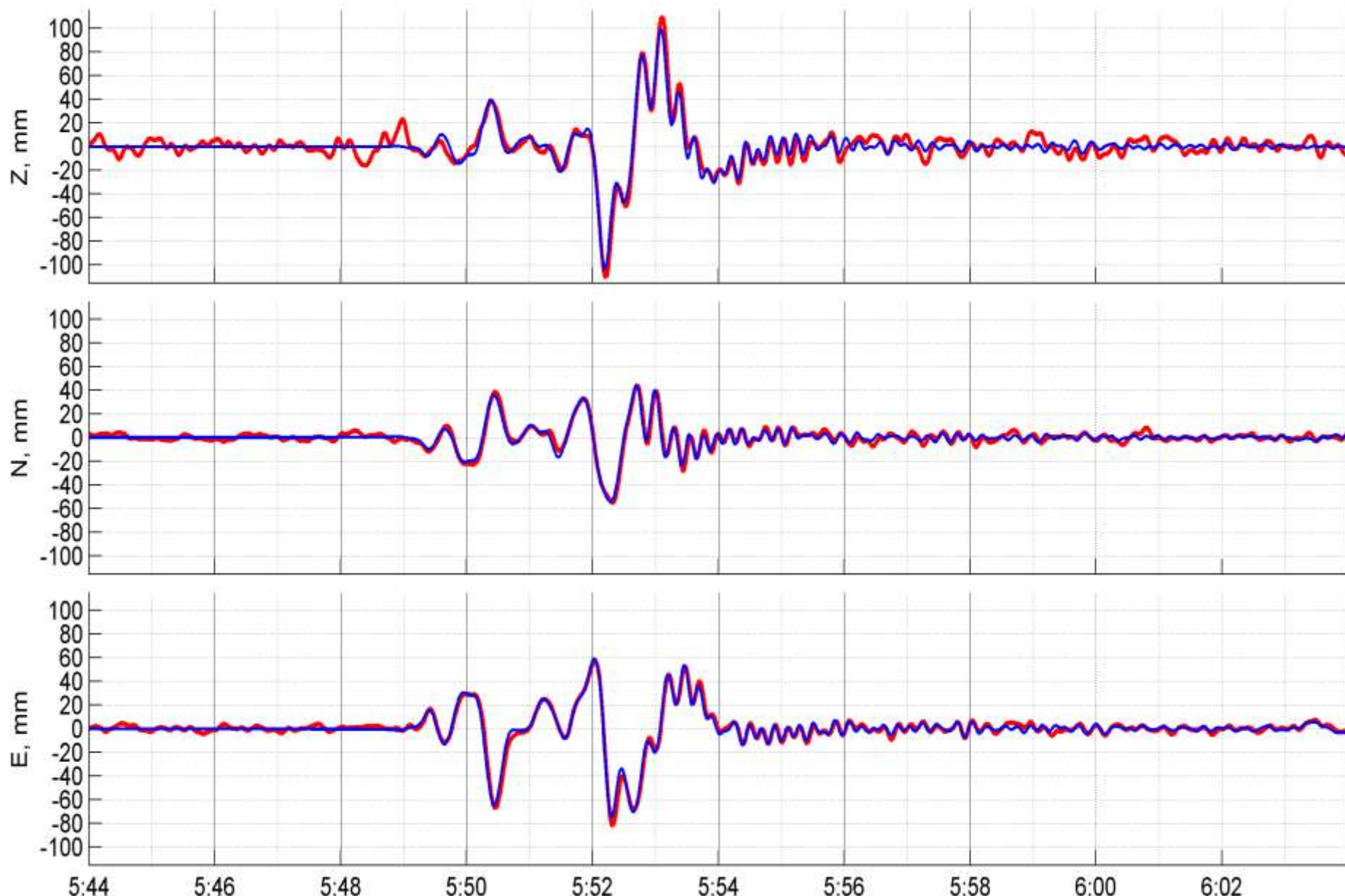


Выбор частотного диапазона

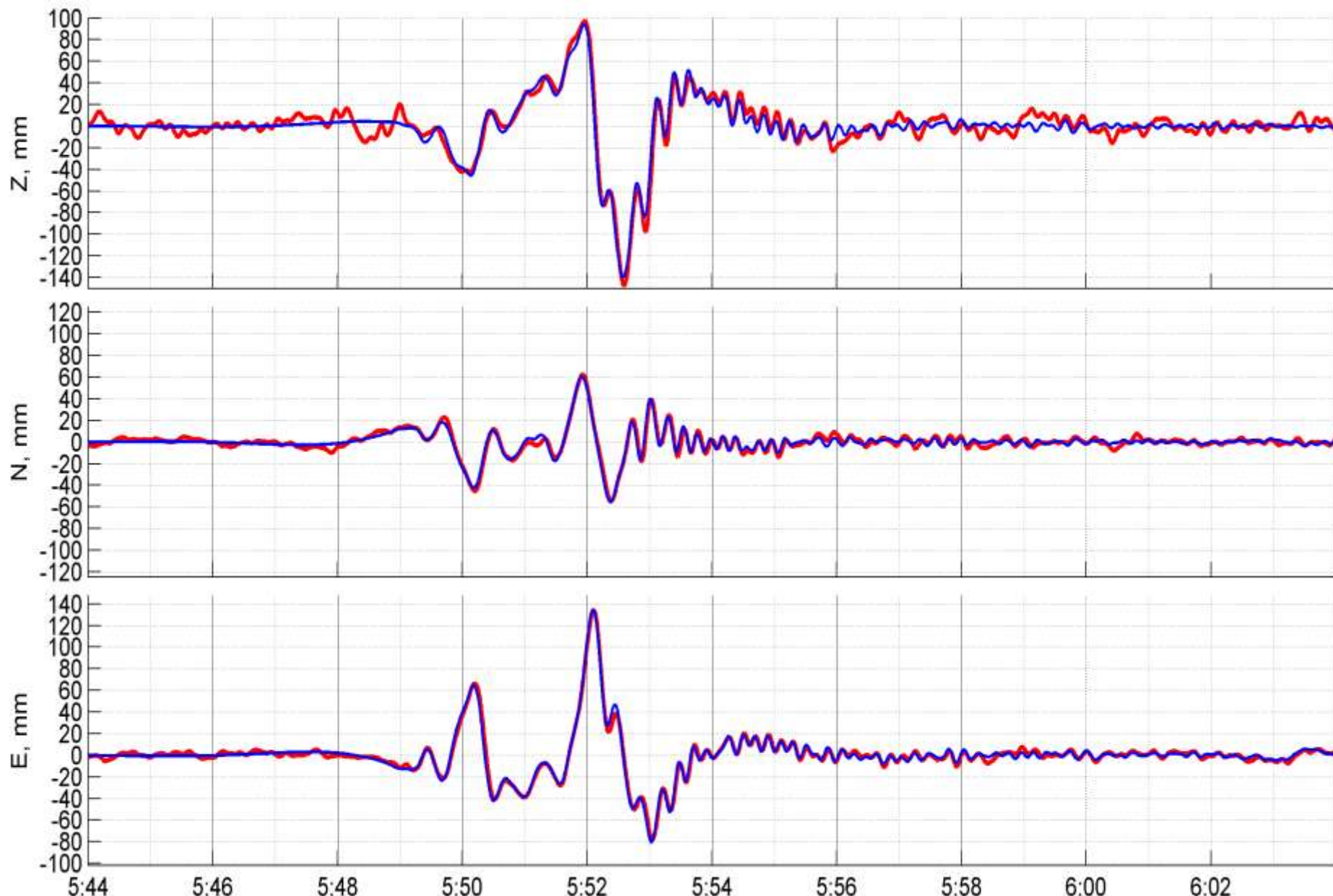
Были выбраны 3 частотных диапазона для сопоставления:

- (1) – $(0.01 - 0.1)$ Гц – узкий диапазон (в пределах полосы пропускания сейсмометров);
- (2) – $(0.004 - 0.1)$ Гц – более широкий диапазон;
- (3) – $(0.002 - 0.1)$ Гц – широкий диапазон.

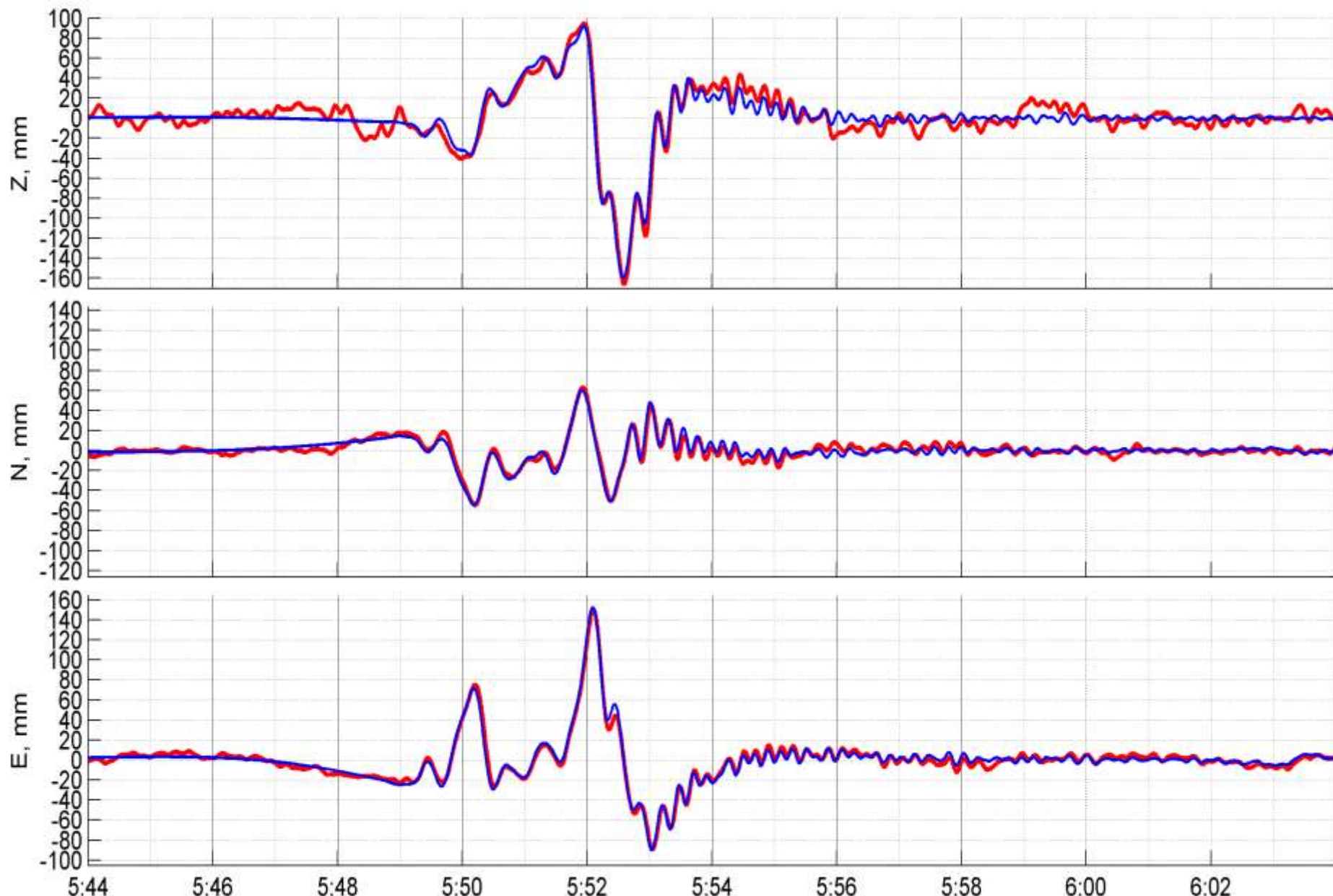
Пункт Горнотаежное – Частотный диапазон (1) (0.01 – 0.1 Гц)



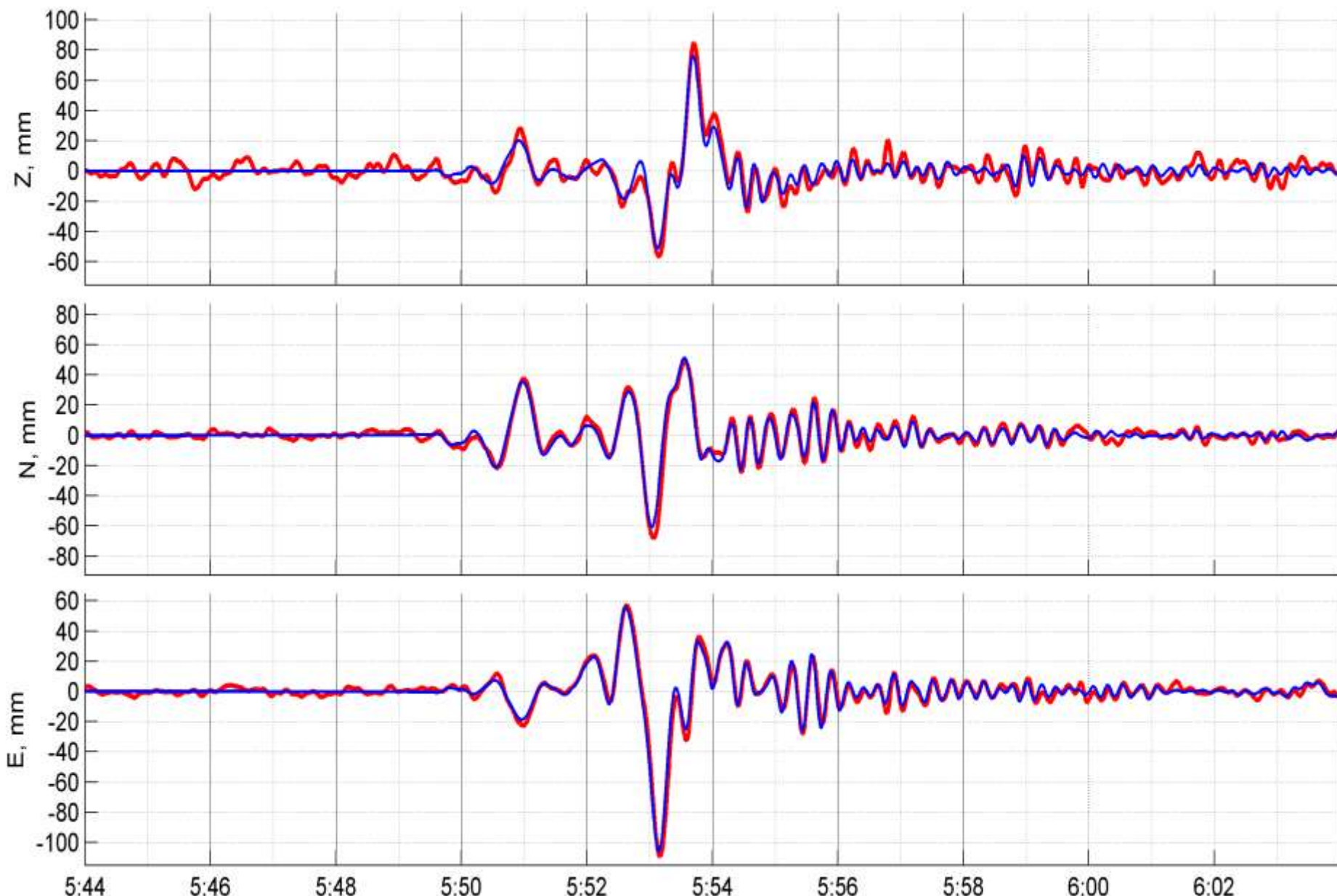
Пункт Горнотаежное – Частотный диапазон (2) (0.004 – 0.1 Гц)



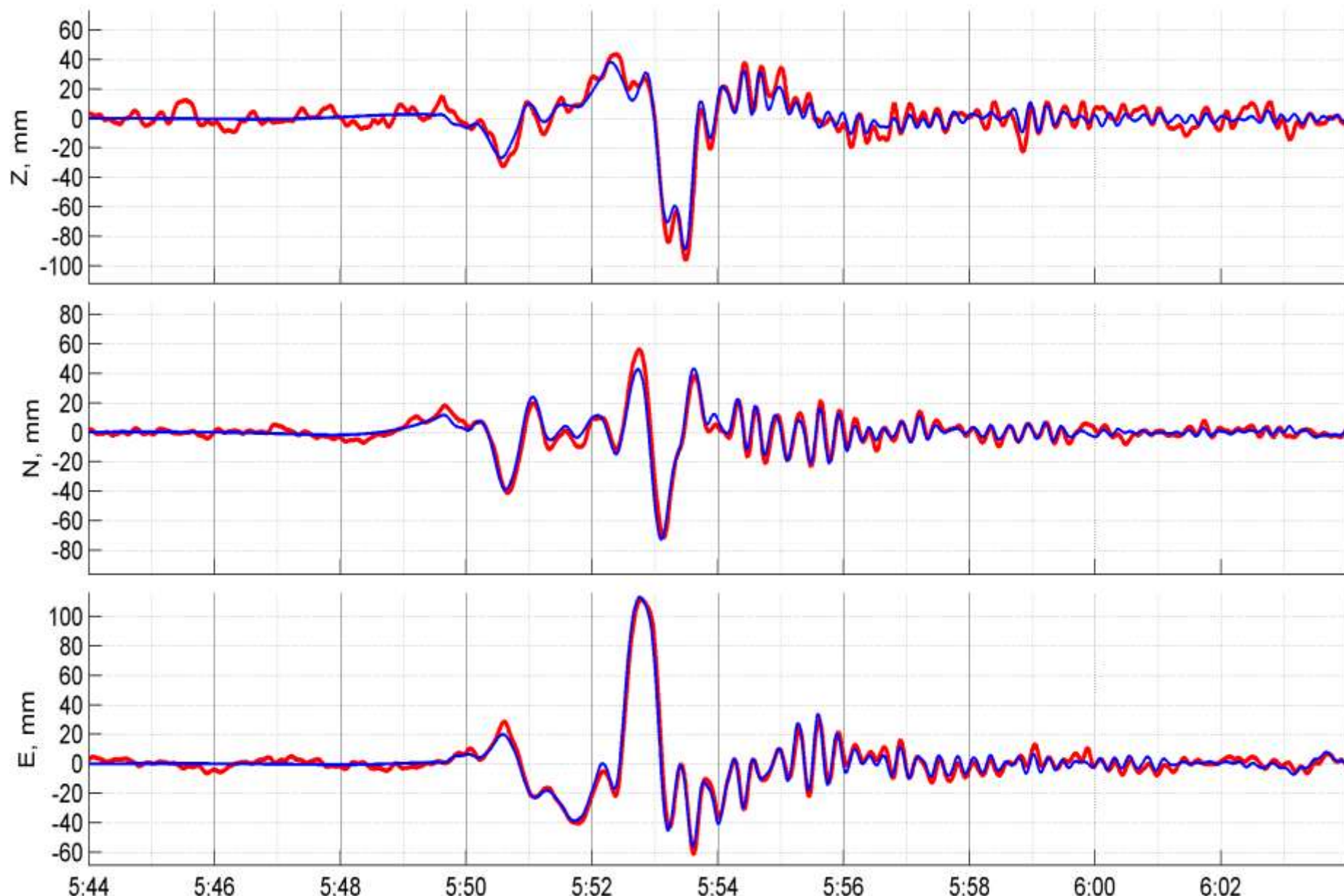
Пункт Горнотаежное – Частотный диапазон (3) (0.002 – 0.1 Гц)



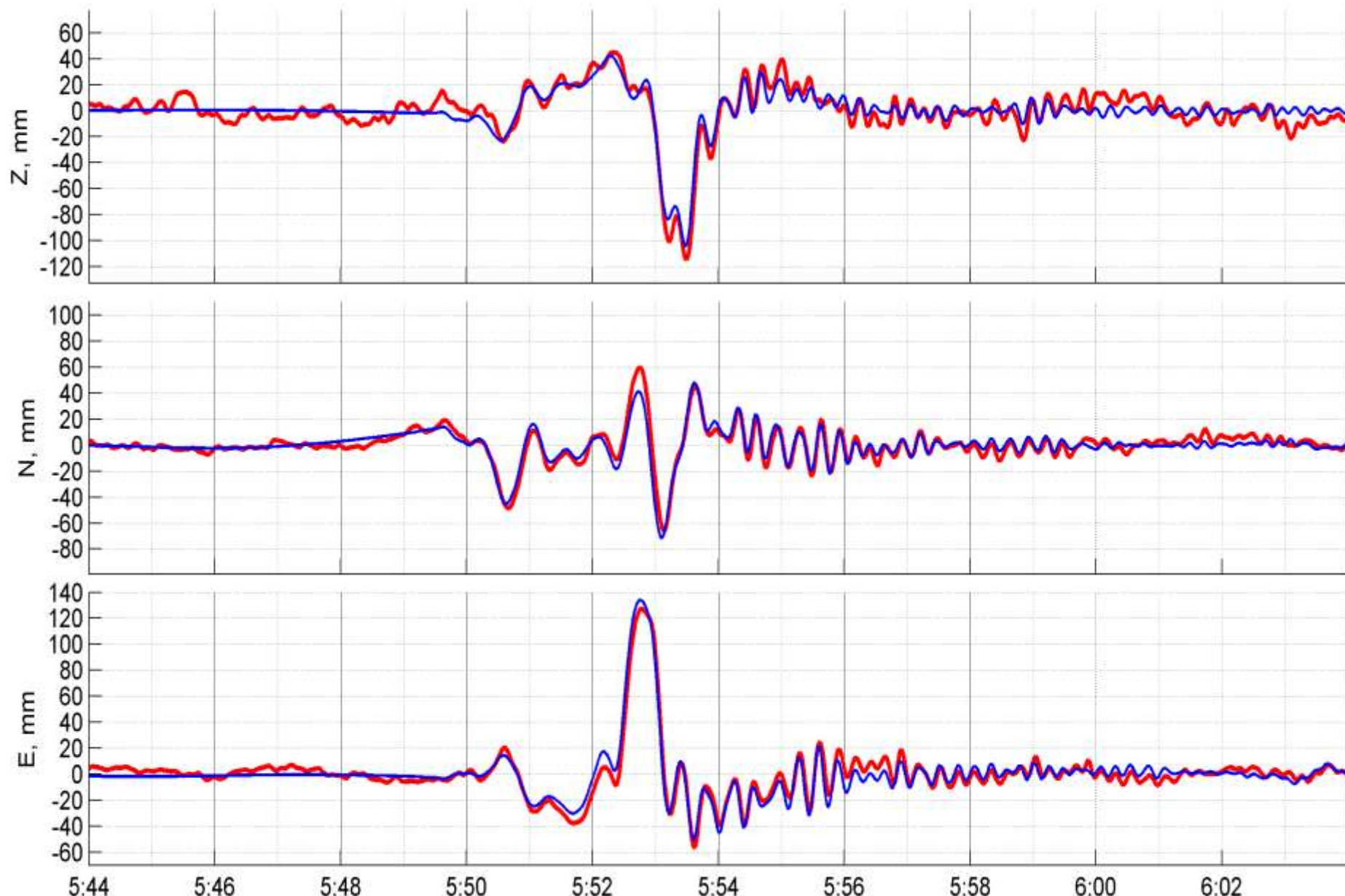
Пункт Хабаровск – Частотный диапазон (1) (0.01 – 0.1 Гц)



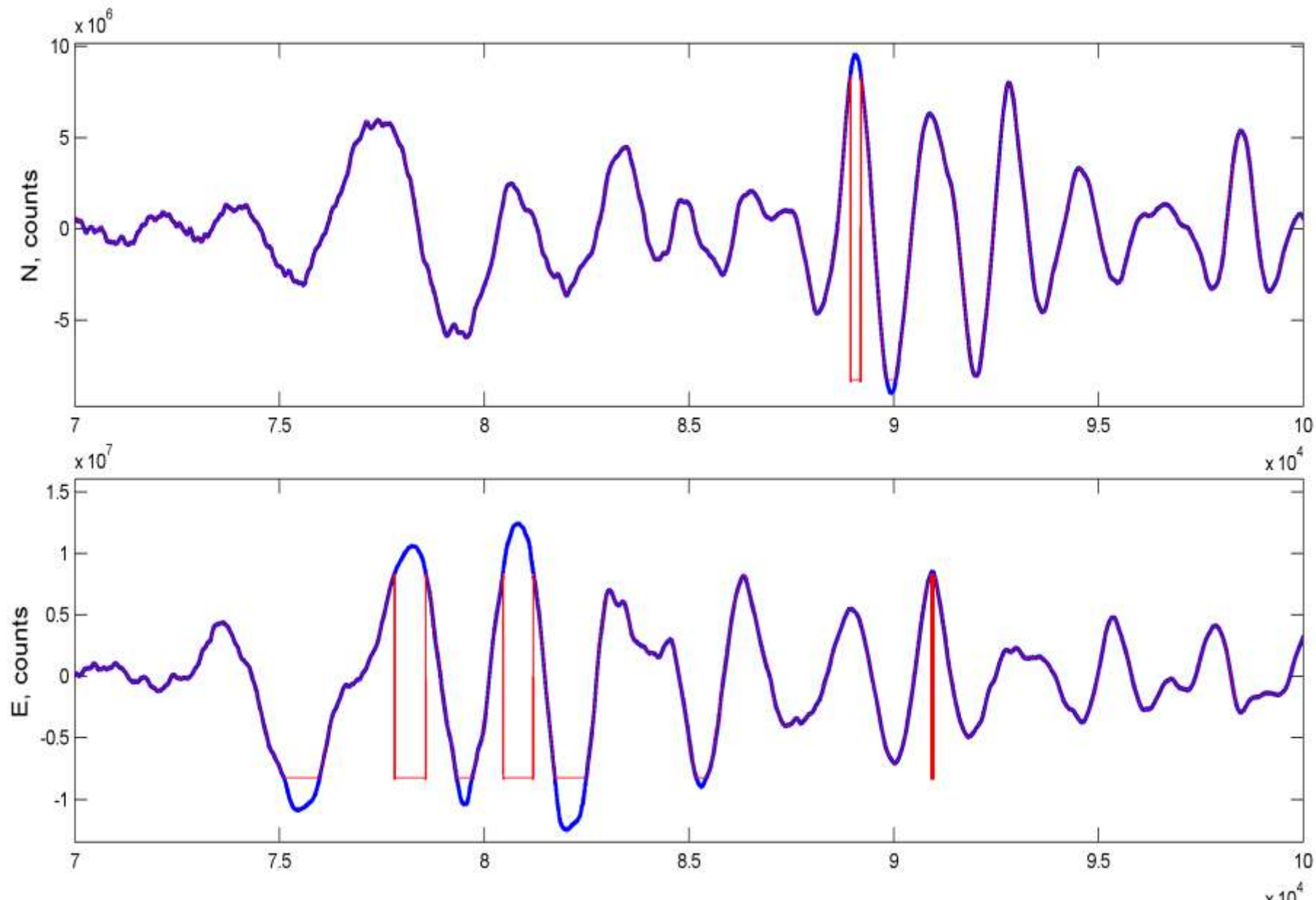
Пункт Хабаровск – Частотный диапазон (2) (0.004 – 0.1 Гц)



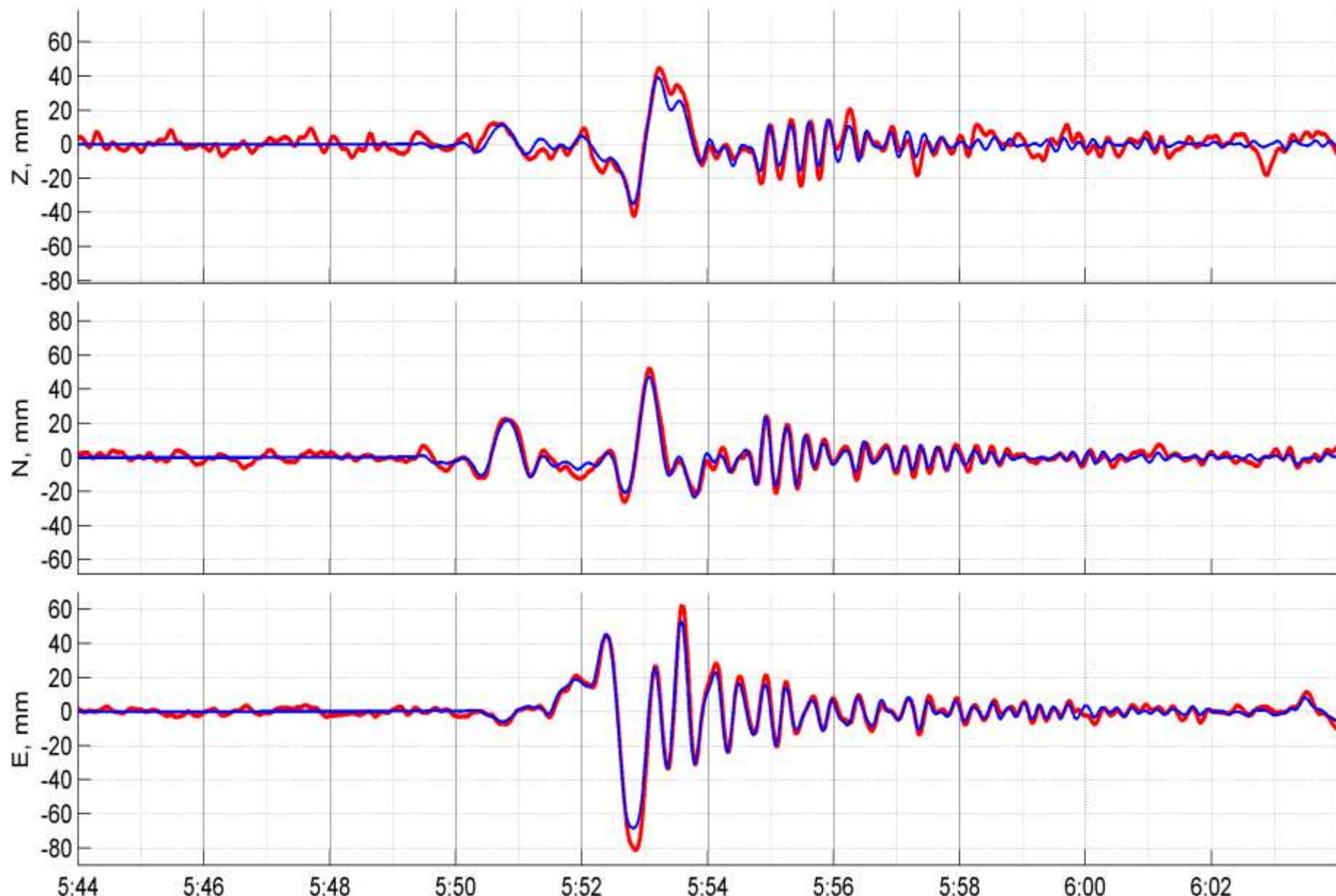
Пункт Хабаровск – Частотный диапазон (3) (0.002 – 0.1 Гц)



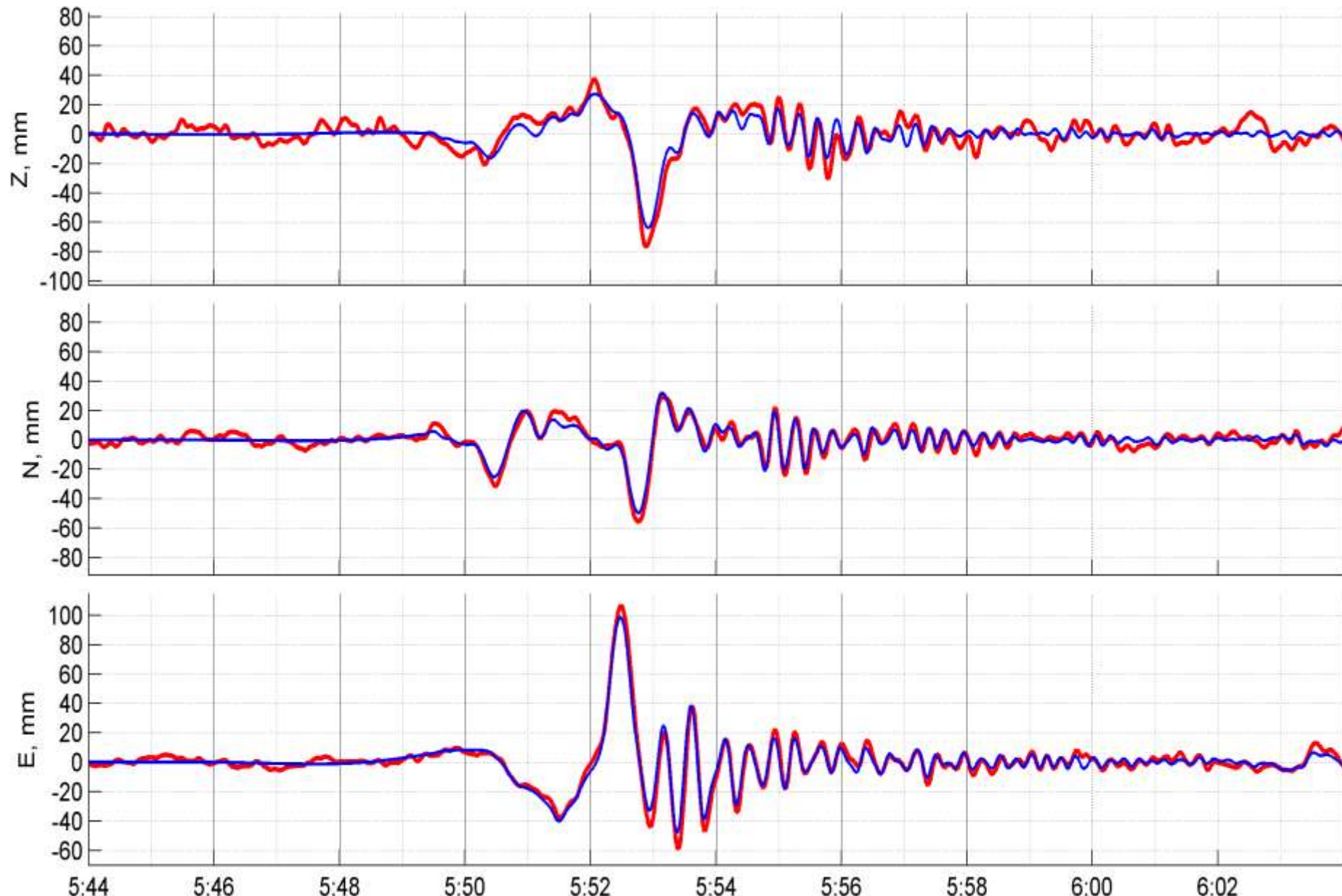
Перегруз сигнала на пункте Ванино



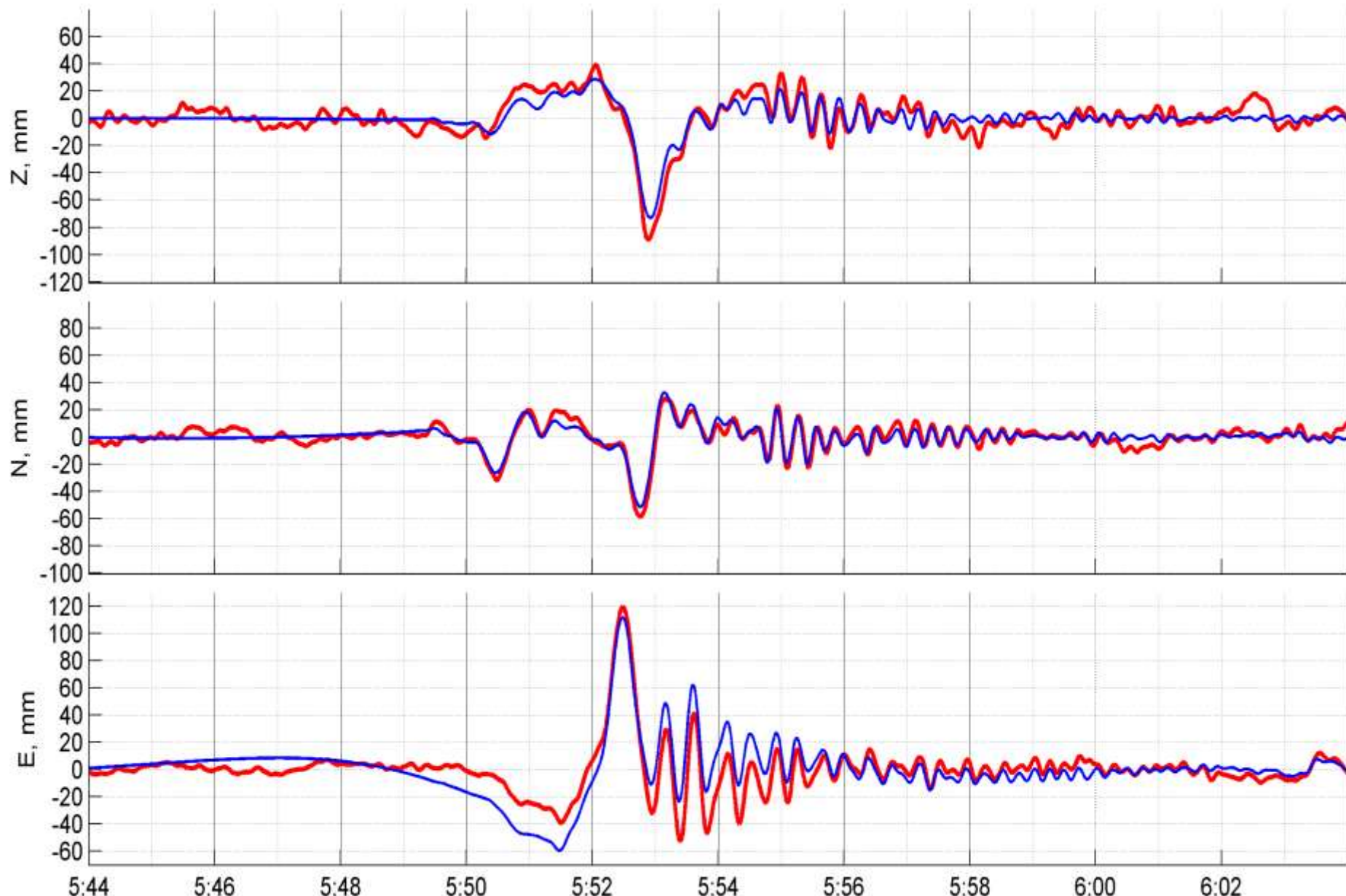
Пункт Ванино – Частотный диапазон (1) (0.01 – 0.1 Гц)



Пункт Ванино – Частотный диапазон (2) (0.004 – 0.1 Гц)

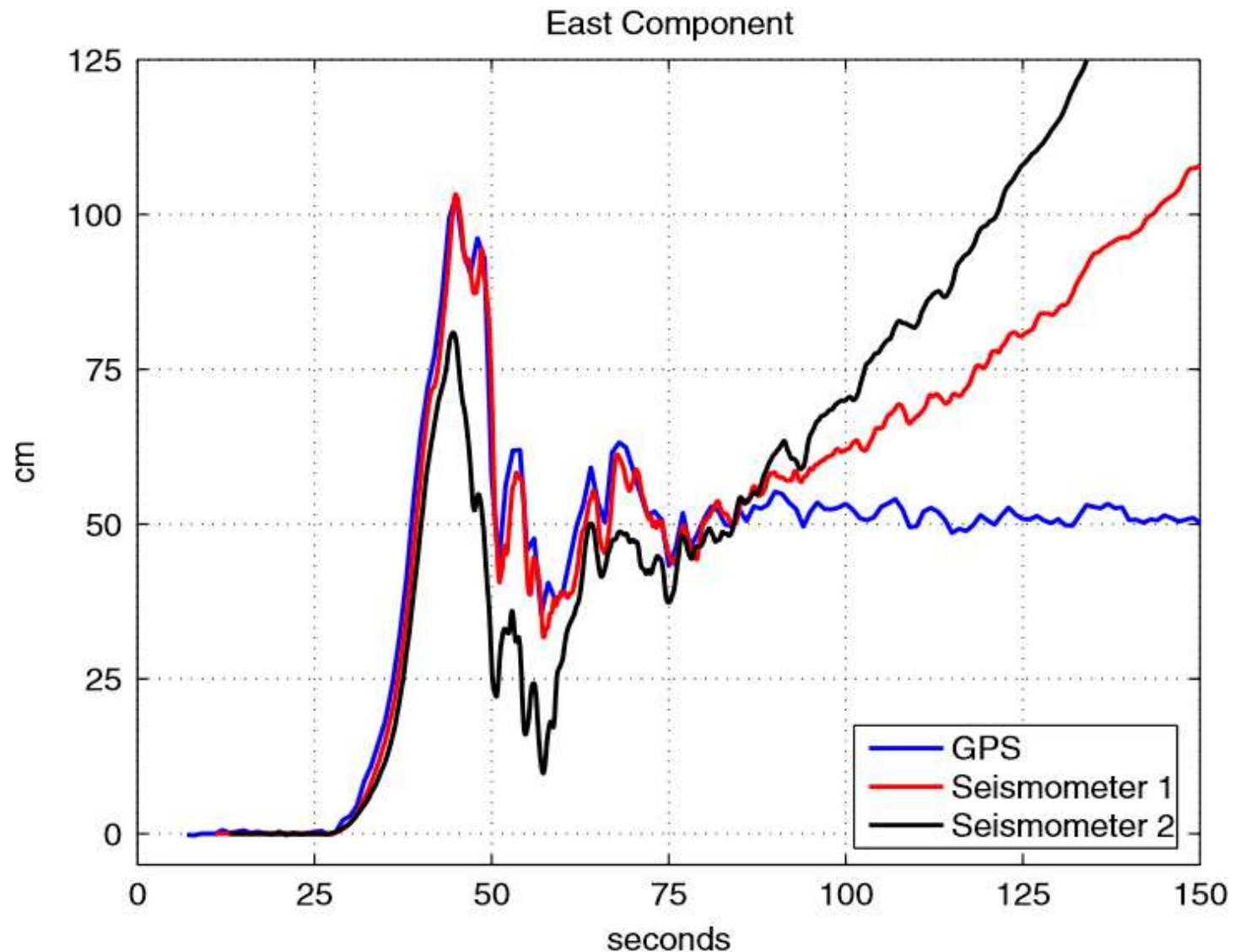


Пункт Ванино – Частотный диапазон (3) (0.002 – 0.1 Гц)

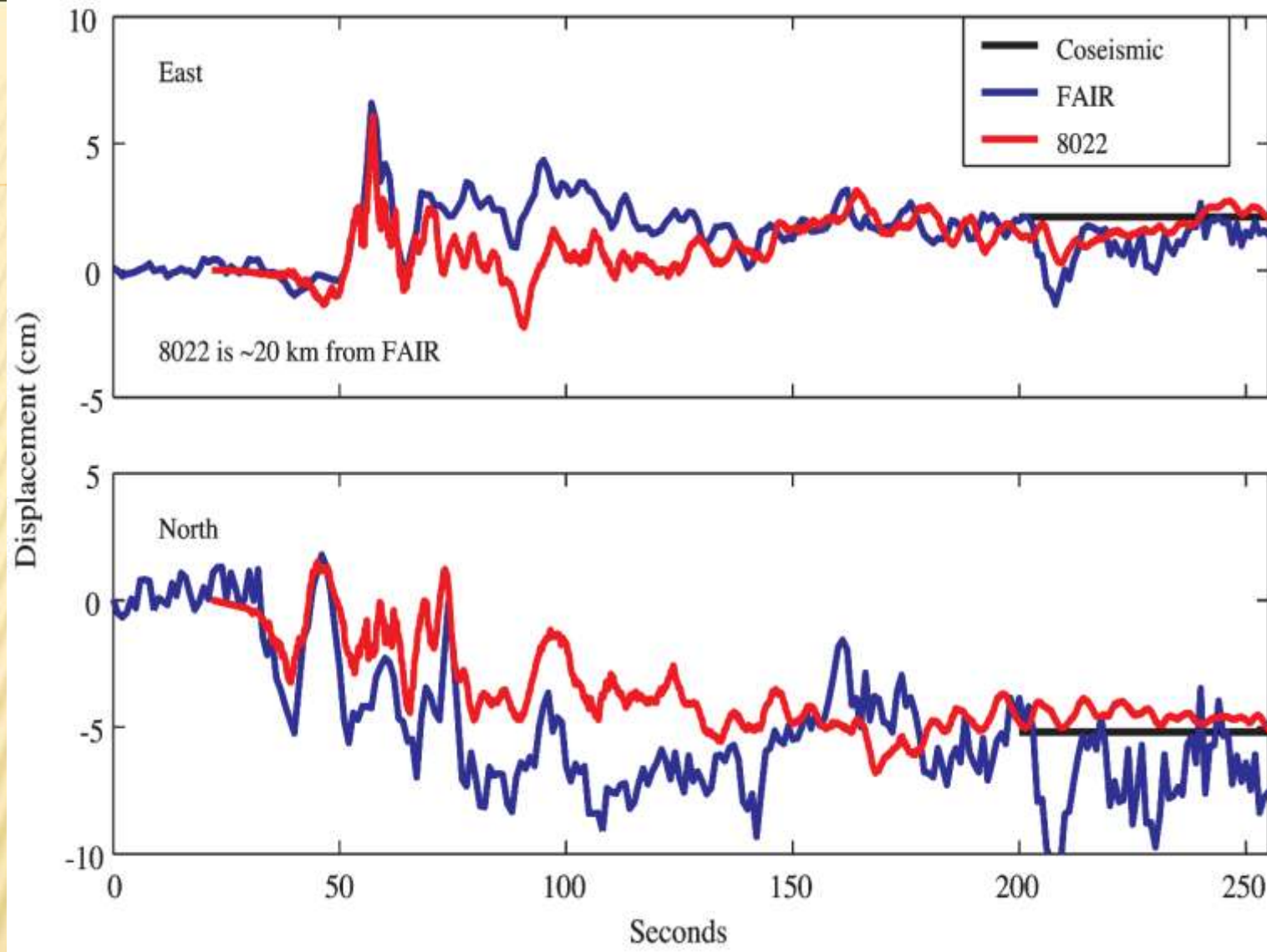


Выводы

- Волновые формы землетрясения Тохоку, полученные сейсмическим и геодезическим методами, хорошо согласуются друг с другом. Амплитуды и фазы колебаний практически совпадают, их различие не превышает ошибку определения положения GPS приемника
- Наилучшее соответствие наблюдается в частотных диапазонах 0.01 – 0.1 и 0.004 – 0.1 Гц, в диапазоне 0.002 – 0.1 Гц наблюдается различие в низкочастотной области.
- Перегруз сейсмометра REF ТЕК 151-120 не привел к значительному понижению точности регистрации колебаний и не помешал интегрированию записи.



(Larson K, 2009). Землетрясение Tokachi-oki ($M=8$)
25.09.2003. Сейсмические записи не согласуются друг с
другом и не дают реалистичную запись после



(Larson K, 2003). Землетрясение Denali ($M=7.9$) 03.11.2002 на Аляске. Красным обозначены интегрированный сигнал акселерометра со станции 8022, синим – 1-Гц положение GPS приемника на станции FAIR.

Заключение

- В приведенных ранее работах для сопоставления сейсмических и геодезических данных использовались записи акселерометров.
- В настоящей работе была возможность использовать для сопоставления широкополосные сейсмометры. Их существенного перегруза не произошло даже при столь значительных амплитудах (до 250 мм). Этому способствовало преобладание у сейсмических волн низких частот и большое удаление пунктов наблюдений от эпицентра.
- Таким образом, была достигнута высокая точность регистрации колебаний обоими методами, недостижимая при использовании акселерометров или при малых амплитудах.
- Полученные результаты могут служить основанием широкого применения GPS в сейсмологии и дальнейшей работы по изучению совместного использования GPS и сейсмических данных.