

Оценка сейсмических деформаций вследствие землетрясения Тохоку 2011 года по данным ГНСС для задач раннего оповещения о цунами

Г.М. Стеблов, И.А. Сдельникова

2021



Сейсмическая система раннего оповещения о цунами

Сейсмологические наблюдения - достаточно точная и оперативная локализация землетрясений, в том числе подводных.

Формирования оповещений о цунами по *магнитудно-региональному критерию*, согласно которому для каждого участка береговой линии устанавливаются пороговые значения магнитуд подводных цунамиопасных землетрясений для объявления тревоги.

Проблемы:

- не учитывается глубина события и механизм очага

Пример: Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г., на глубине 611 км - объявлена ложная тревога по формальным признакам магнитудно-регионального критерия, позже отменена.

- недооценка магнитуды события

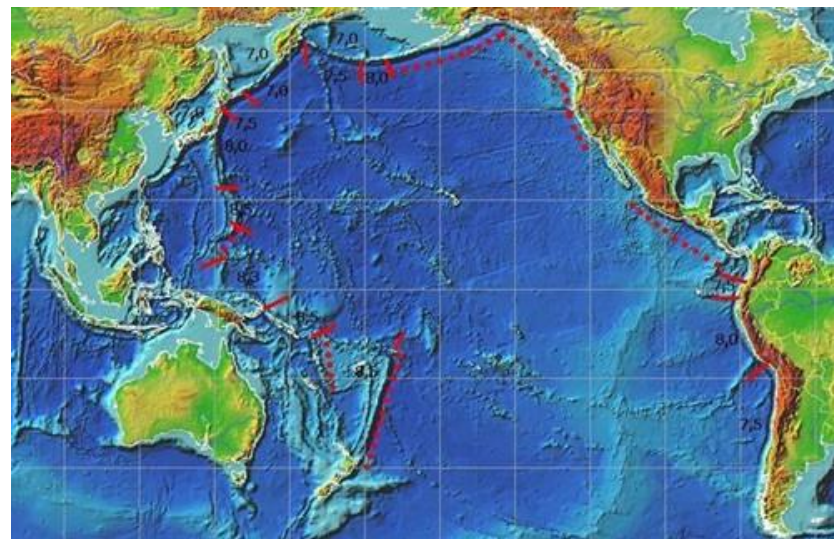
Пример: Сильнейшее землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. - сигнал тревоги объявлен в течение нескольких минут. Существенная недооценка магнитуды события привела к катастрофическим последствиям для обширной береговой инфраструктуры и населения прибрежной зоны.

Направления усовершенствования:

1. Оперативность получения оценок параметров очага и магнитуды.
2. Точность оценок параметров очага и магнитуды.

Решение:

Интеграция дополнений на базе ГНСС в систему раннего предупреждения о цунами.



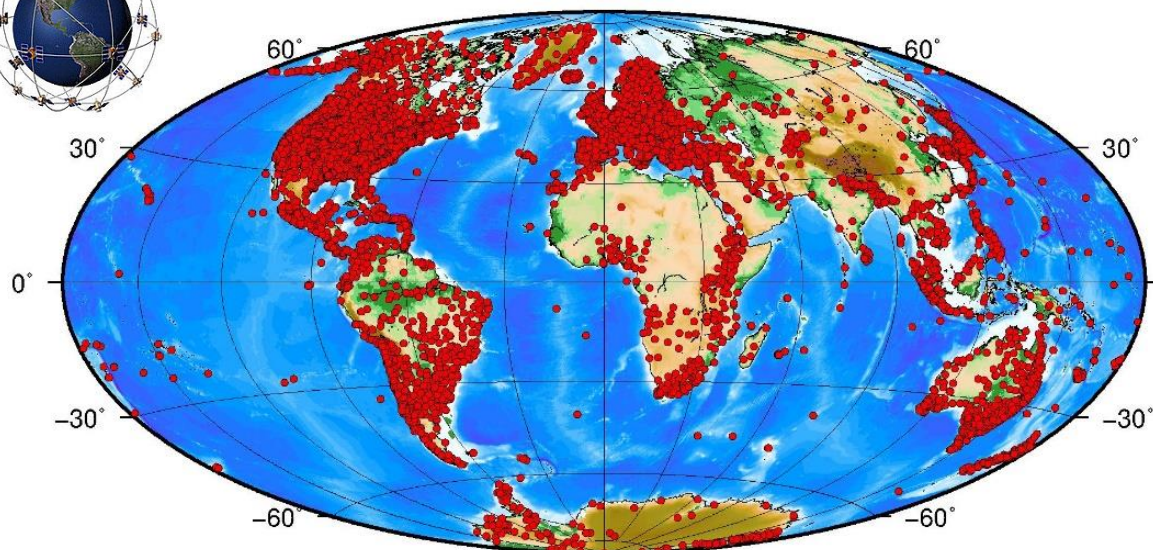
Своевременная оценка моментной магнитуды для мега-землетрясений осложнена продолжительным временем развития сейсморазрыва, превышением предельных порогов регистрирующей аппаратуры (по амплитуде и частоте) и ограниченными возможностями анализа поверхностных волн при магнитудах выше $M_w 8$.



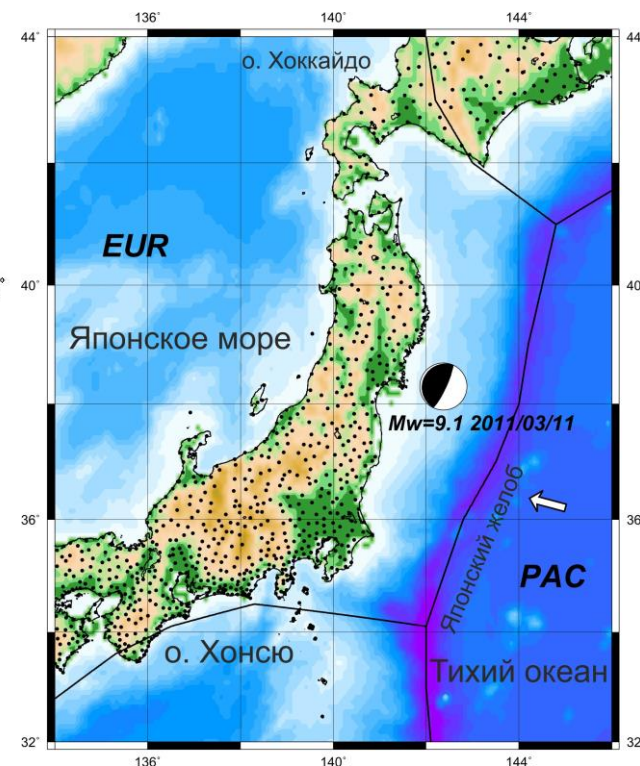
Глобальные Навигационные Спутниковые Системы



Мировая сеть станций ГНСС



Японская сеть станций ГНСС

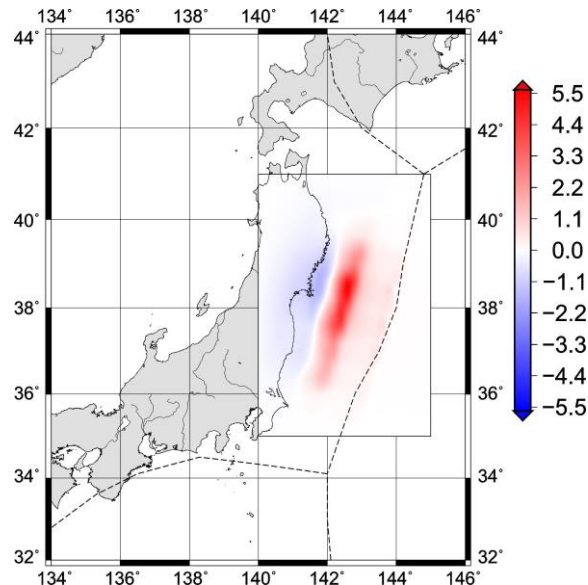
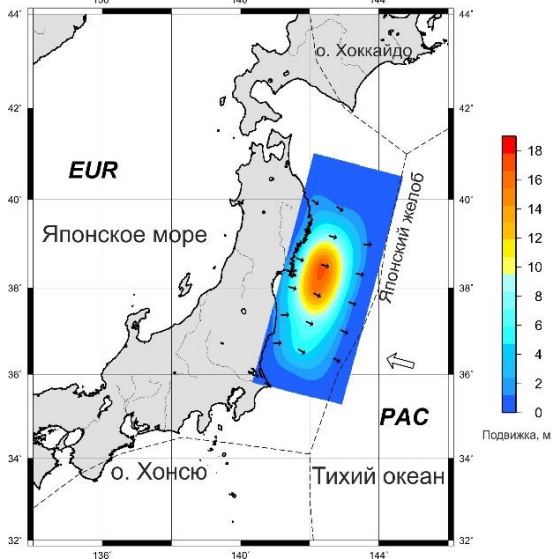
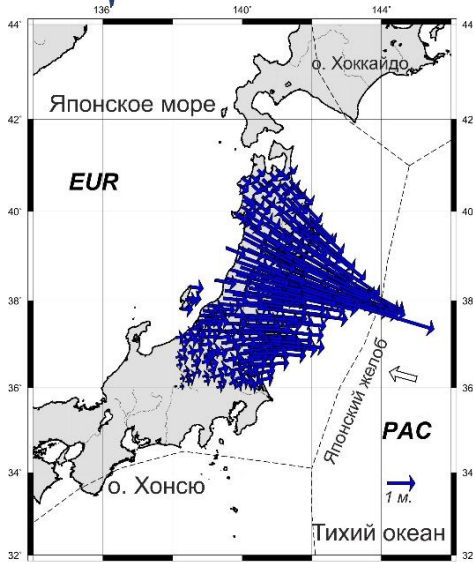


Области применения методов ГНСС:

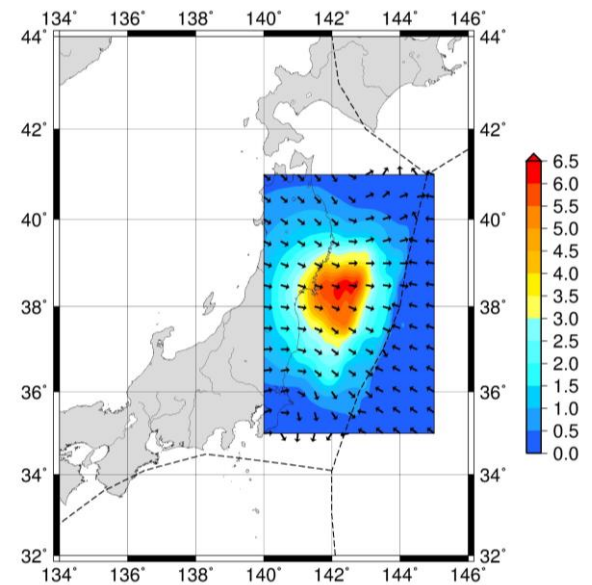
- навигация (в авиации и судоходстве);
- геодезия;
- геодинамика (движение и деформации тектонических плит, параметры вращения Земли);
- гляциология (движение ледников);
- службы времени и частоты;
- контроль строительства и эксплуатации инженерных сооружений;
- сейсмология, сейсмические процессы, включая предсейсмические и постсейсмические;



Сейсмические деформации по данным ГНСС

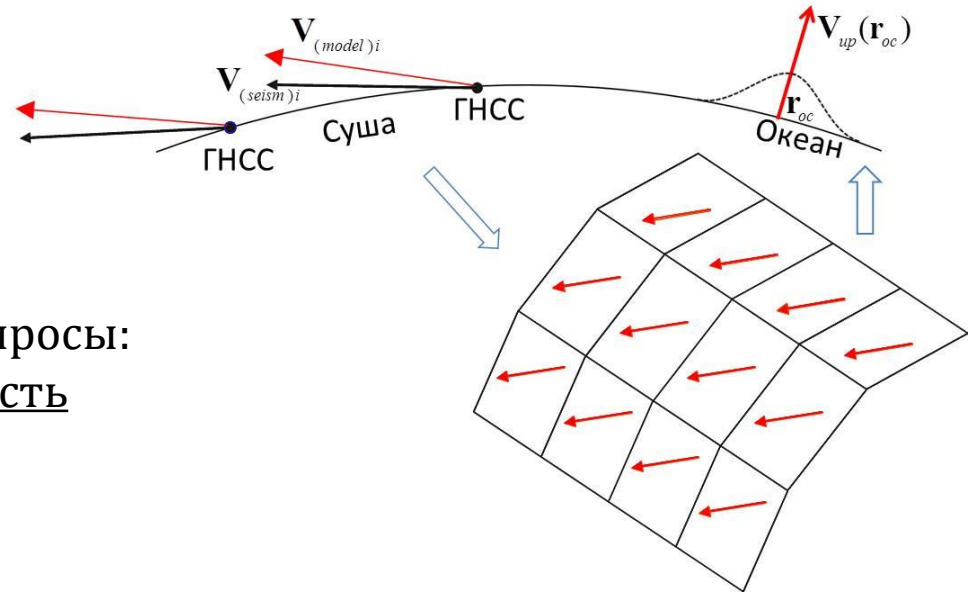


Вертикальные смещения



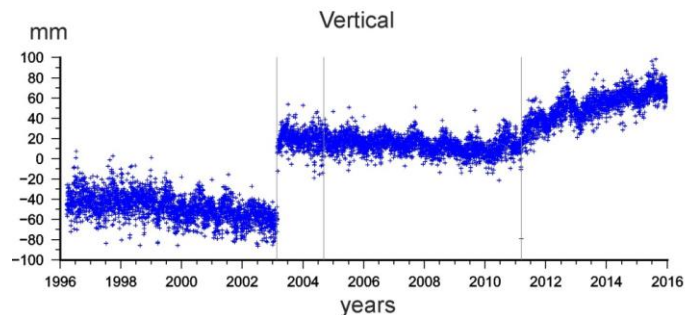
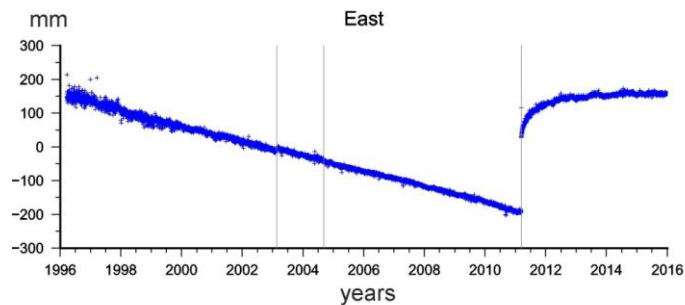
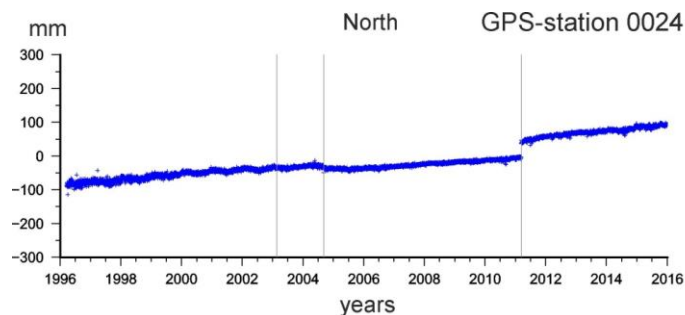
Горизонтальные смещения

Ключевые вопросы:
1) оперативность
2) точность

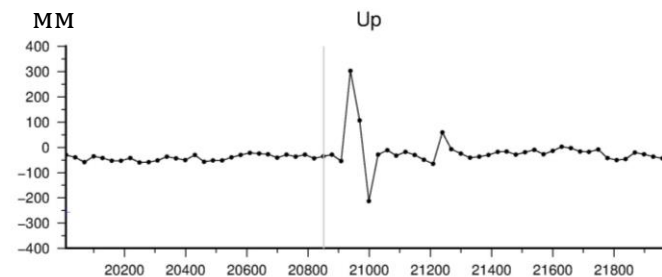
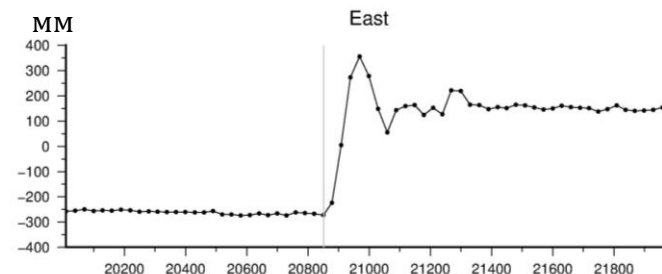
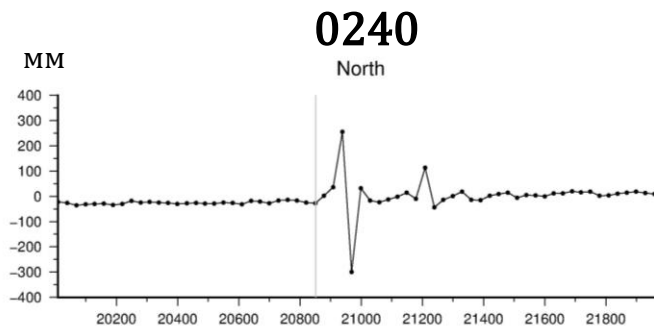




ГНСС в задачах сейсмологии



Статический режим: более точный.
Ежесуточные оценки положения станций ГНСС.



Минуты с 05:00 GMT

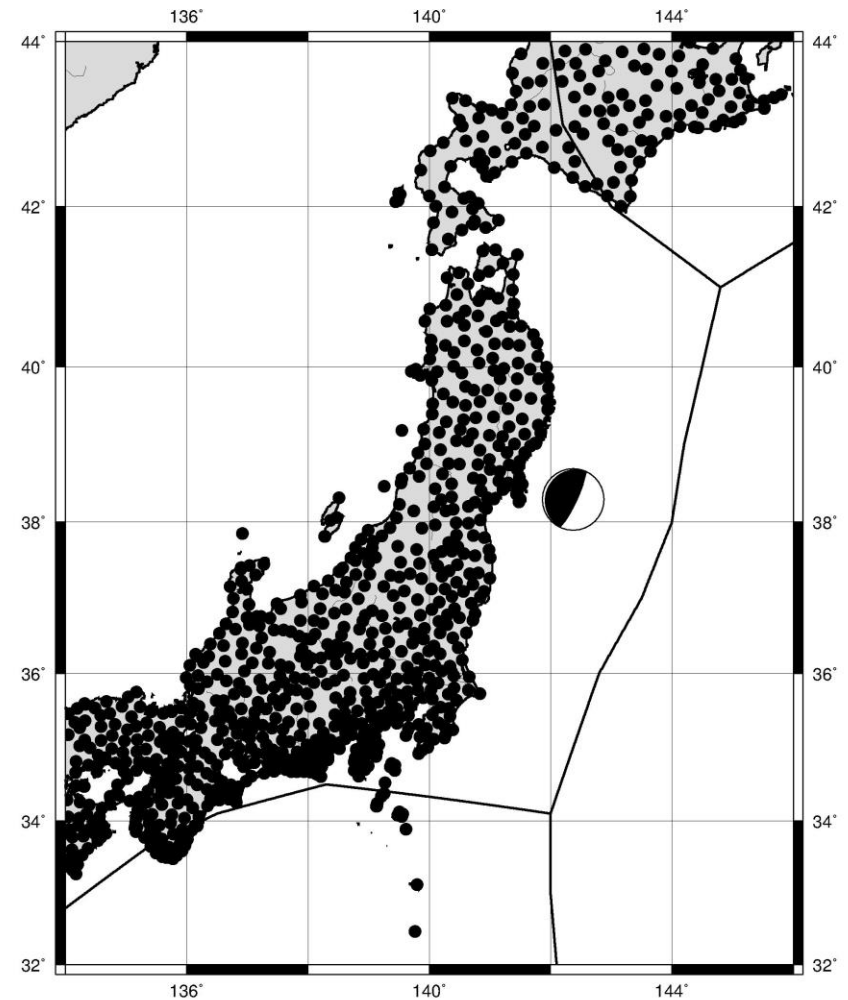
Кинематический режим:
позволяет получать данные в режиме реального времени.
30-секундные оценки положения станций ГНСС.



Японская сеть ГНСС



На Японских островах развернута густая сеть станций спутниковых геодезических измерений, насчитывающая более 1300 станций (GEONET).





Японская сеть ГНСС

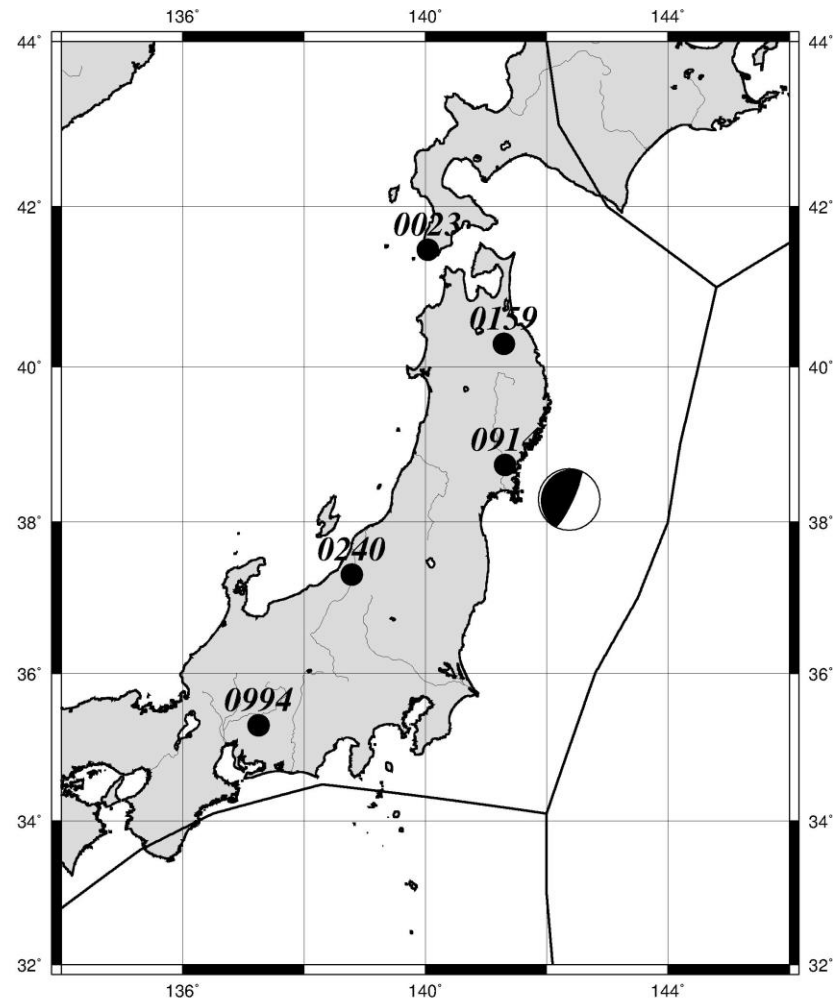


SMST-Nachi
Katsuura-cho



TSK2 -Tsukuba

На Японских островах развернута густая сеть станций спутниковых геодезических измерений, насчитывающая более 1300 станций (GEONET).

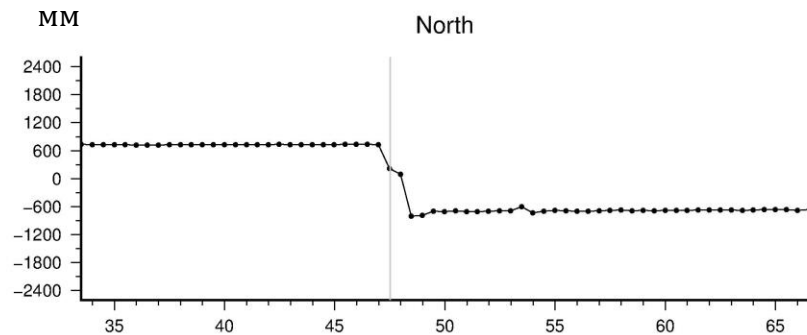




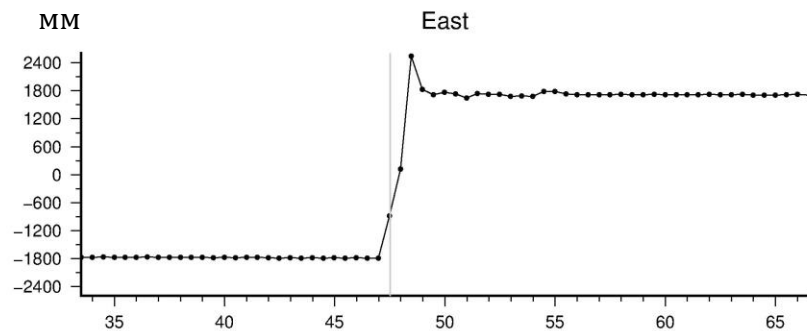
Японская сеть ГНСС

0914

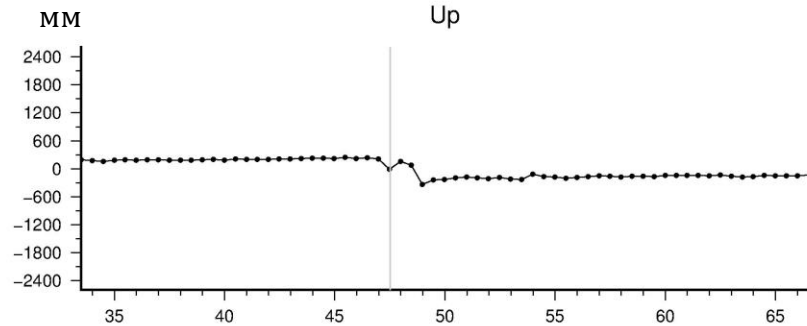
North



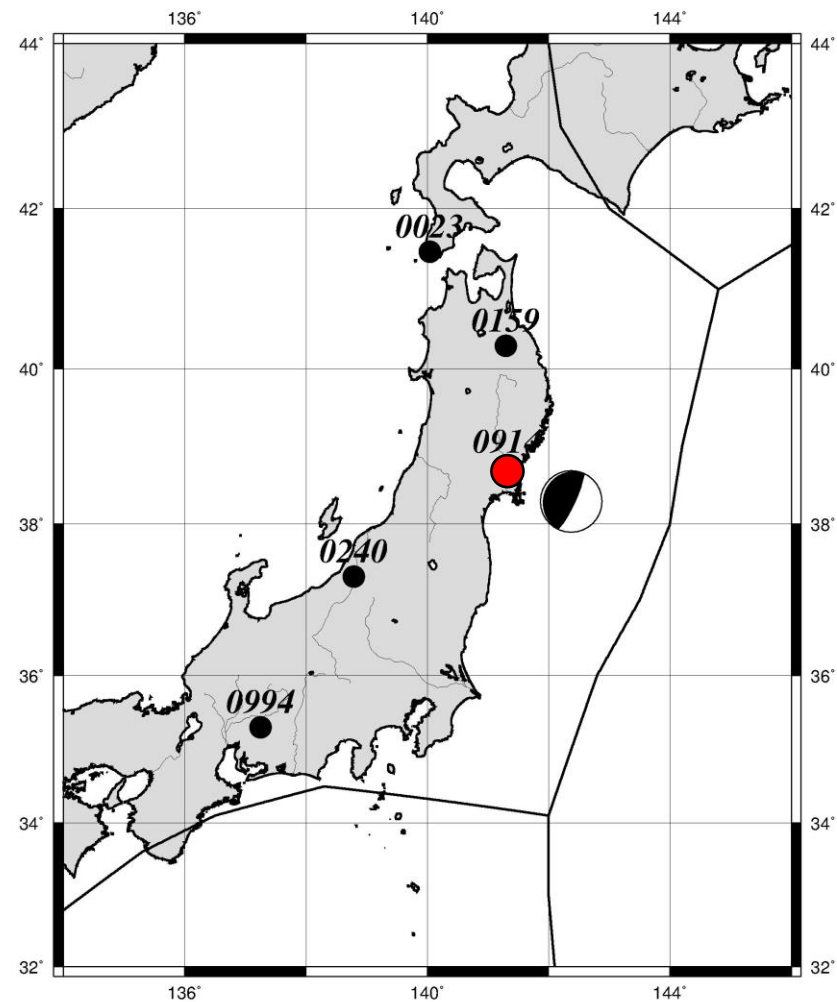
East



Up



Минуты с 05:00 GMT

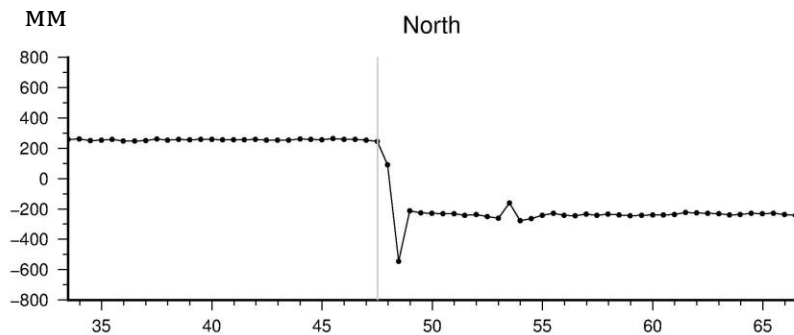




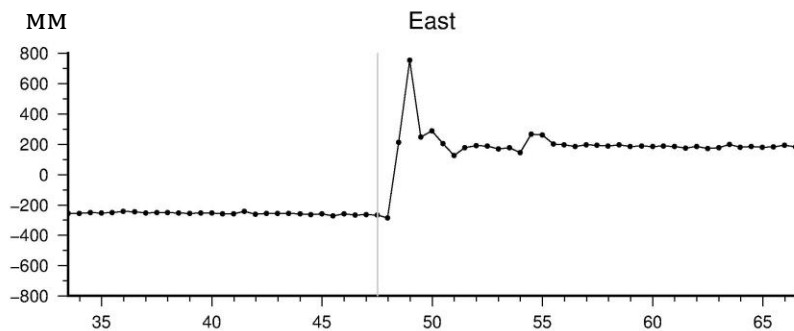
Японская сеть ГНСС

0159

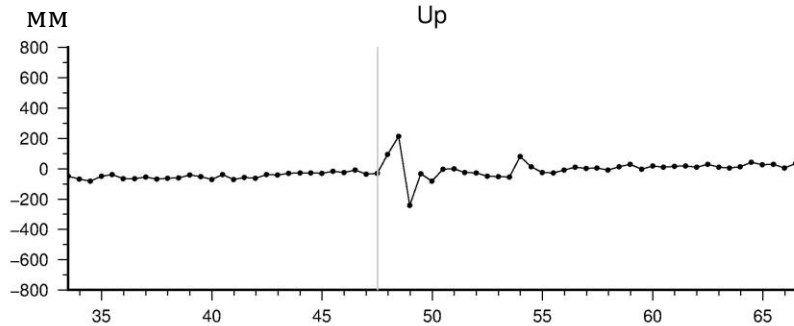
North



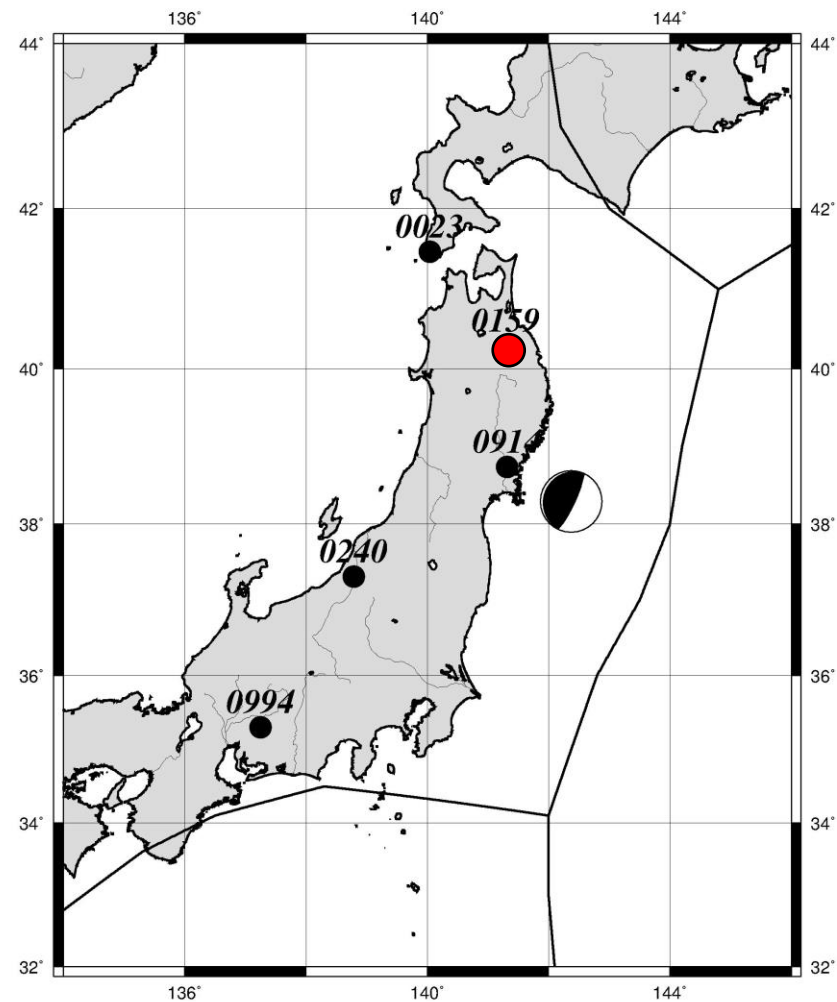
East



Up



Минуты с 05:00 GMT

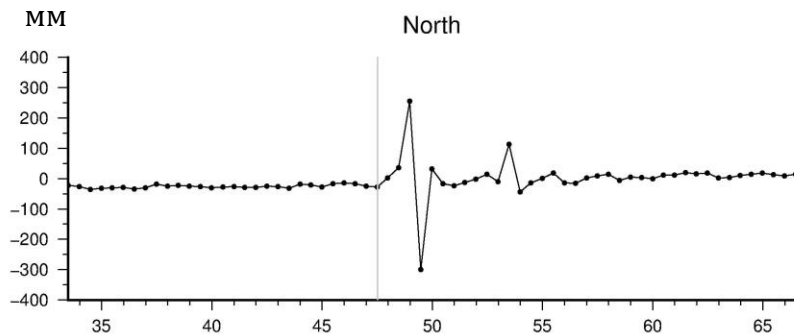




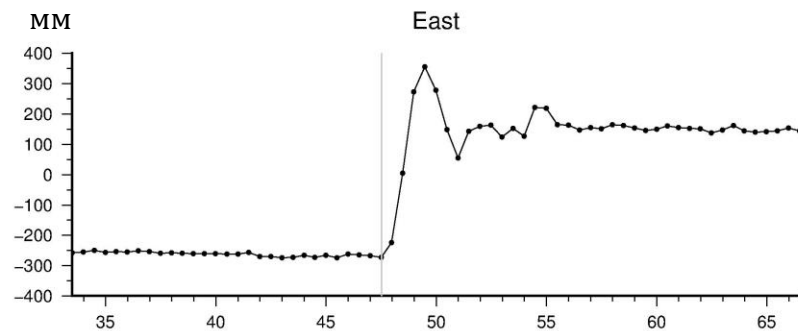
Японская сеть ГНСС

0240

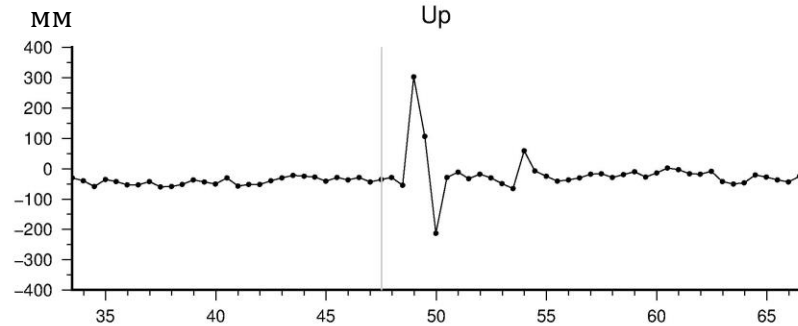
North



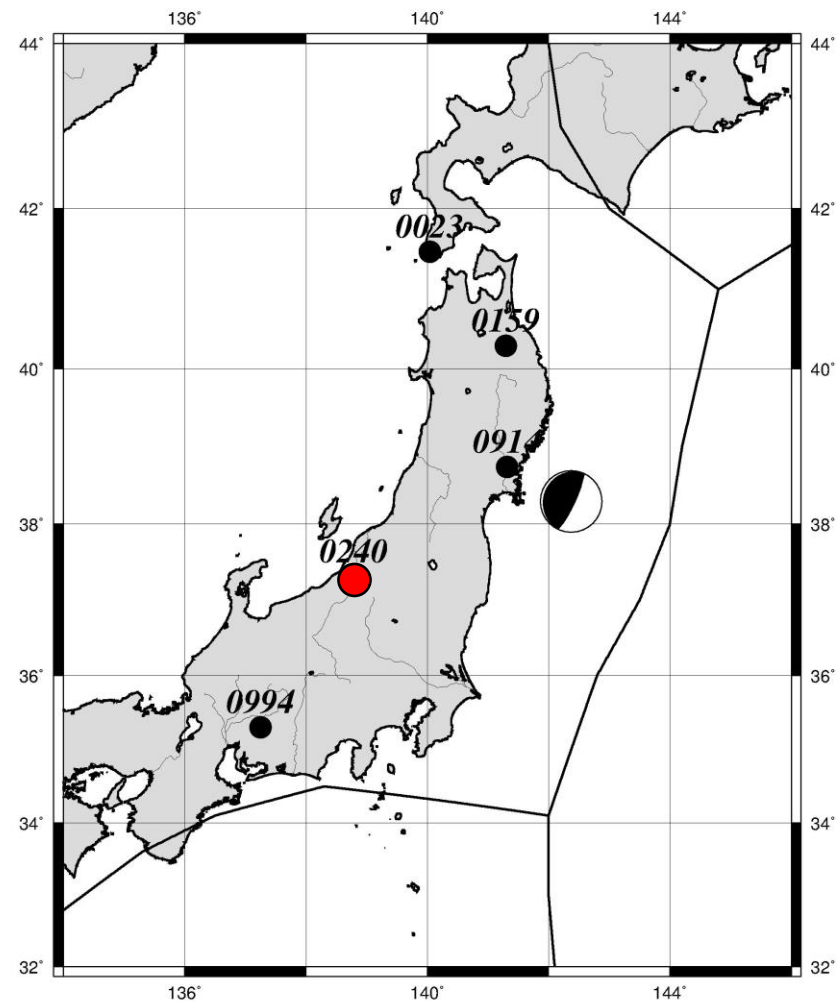
East



Up



Минуты с 05:00 GMT

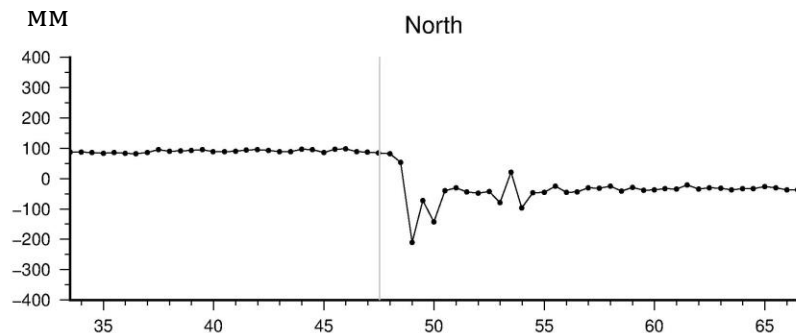




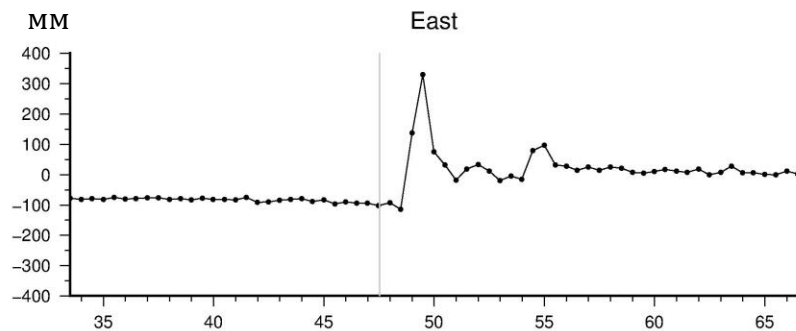
Японская сеть ГНСС

0023

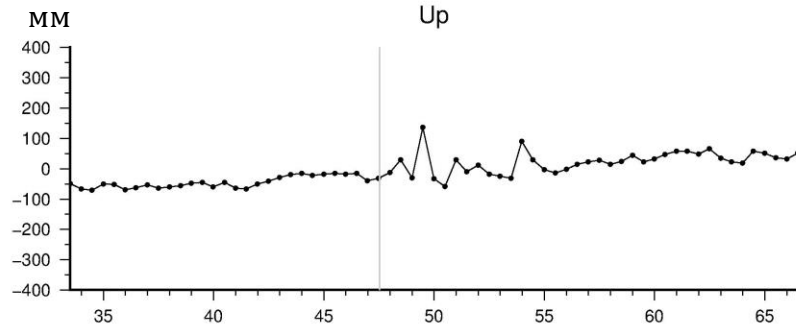
North



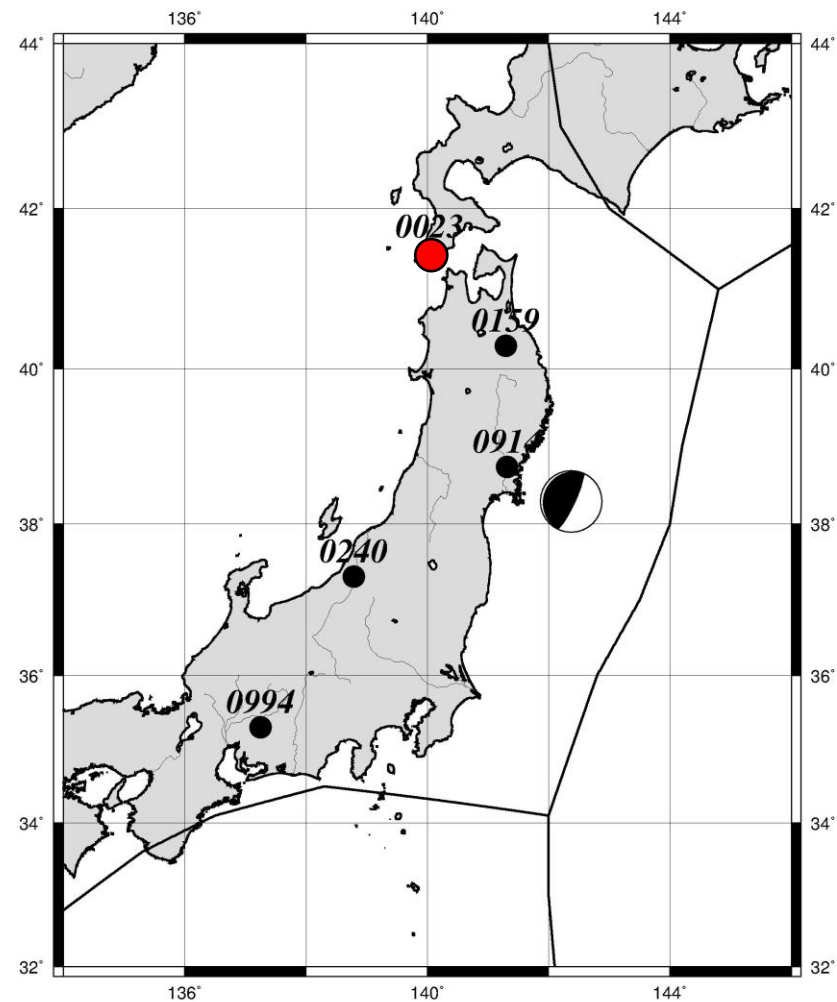
East



Up



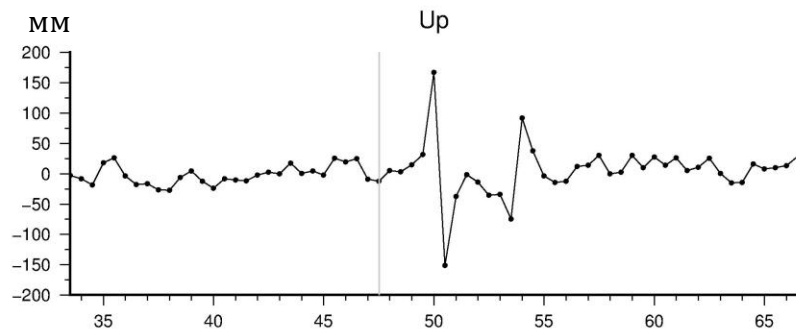
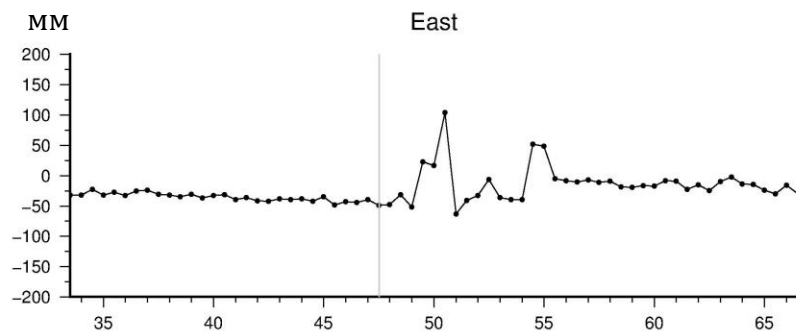
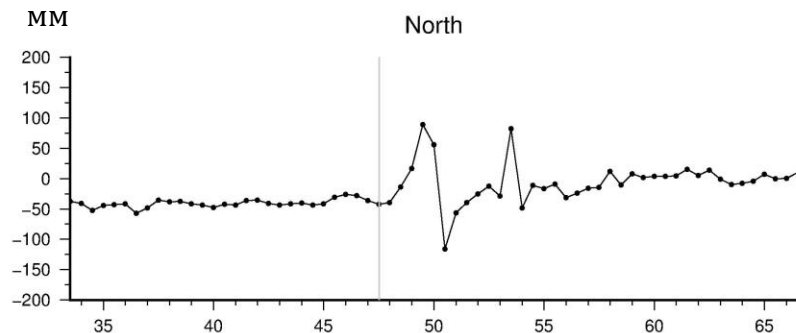
Минуты с 05:00 GMT



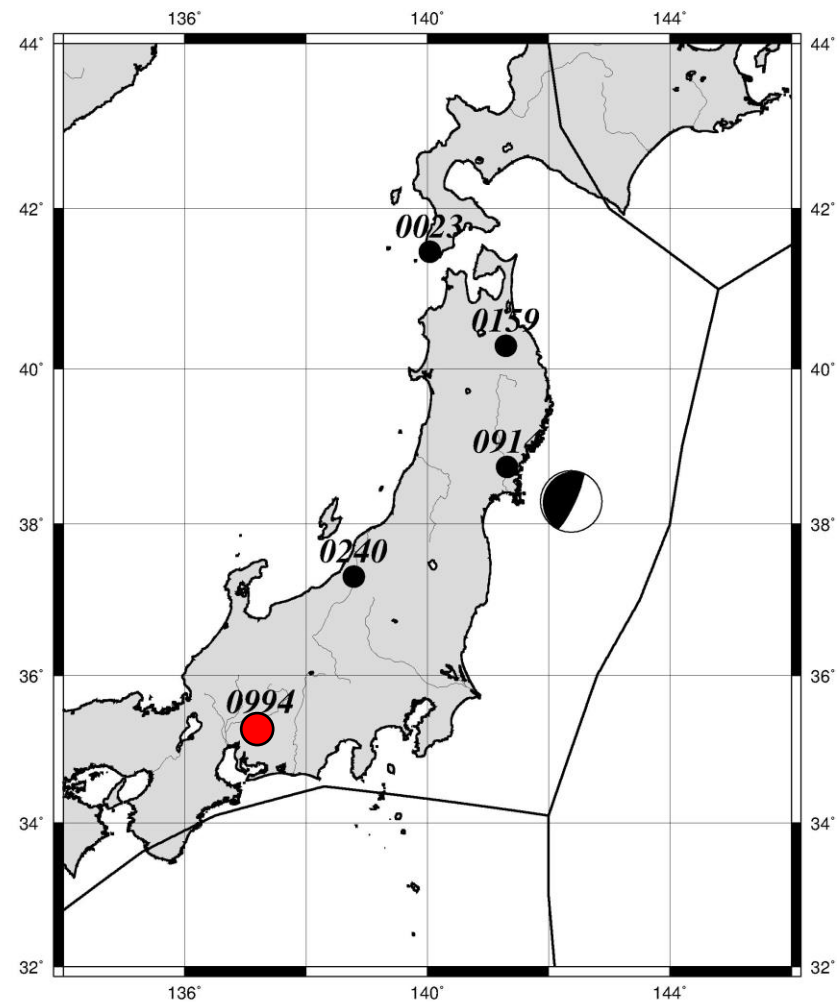


Японская сеть ГНСС

0994



Минуты с 05:00 GMT



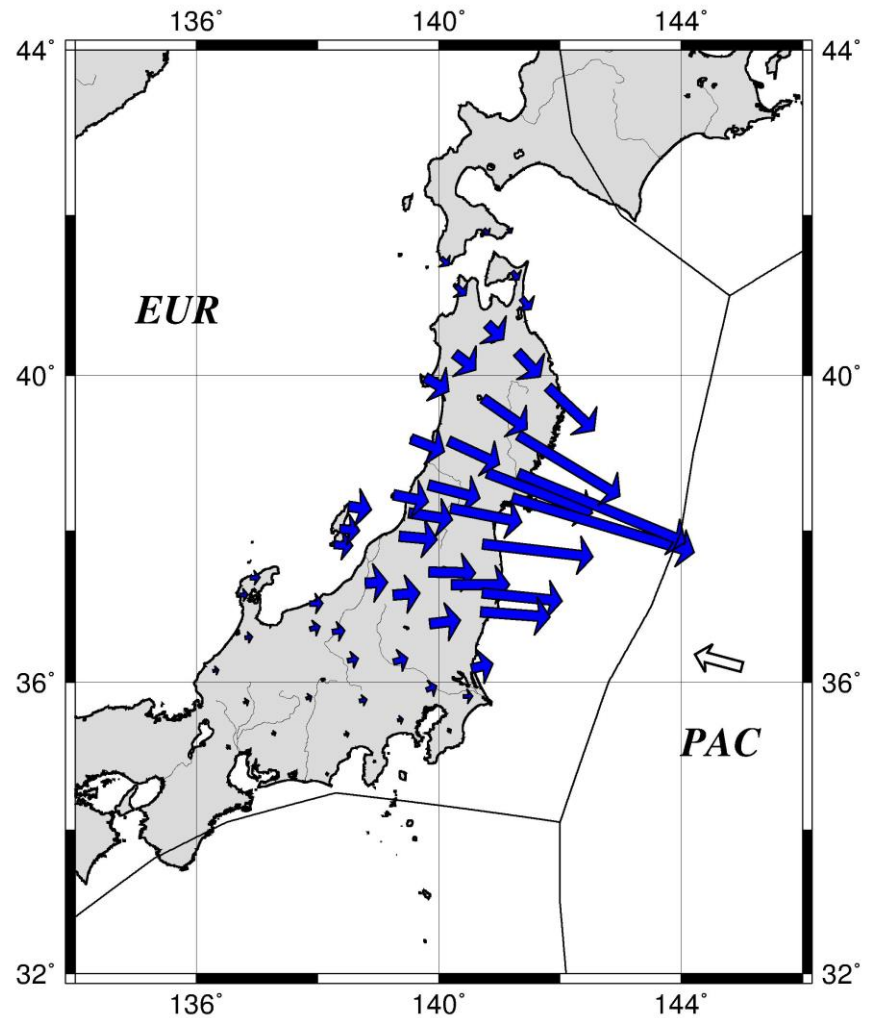
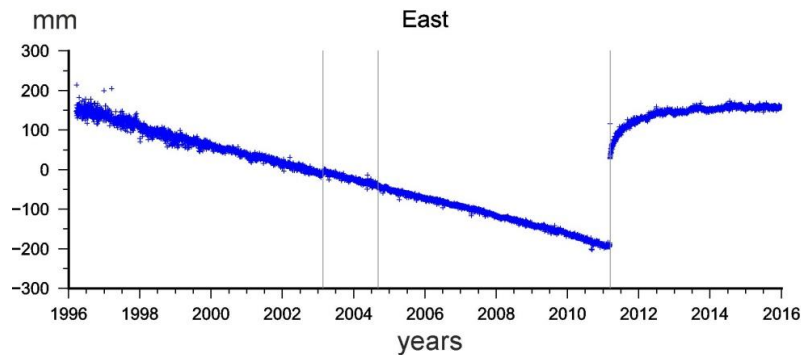
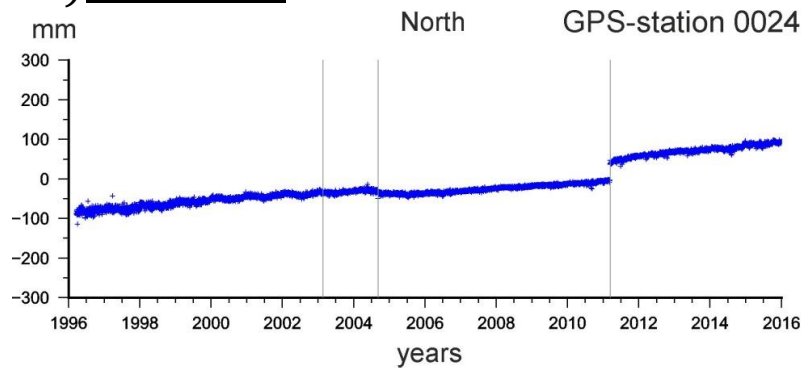


Сейсмические смещения

Ключевые вопросы:

1) оперативность

2) точность

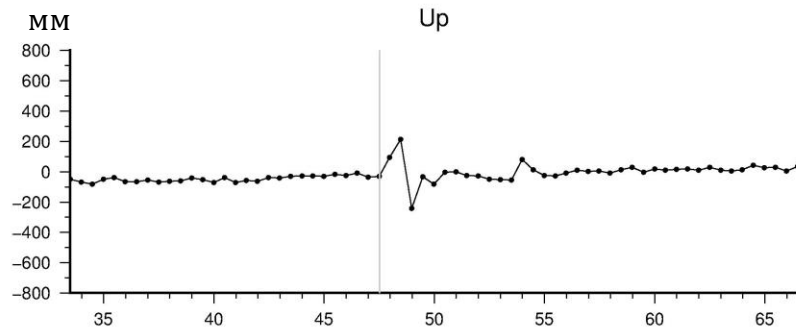
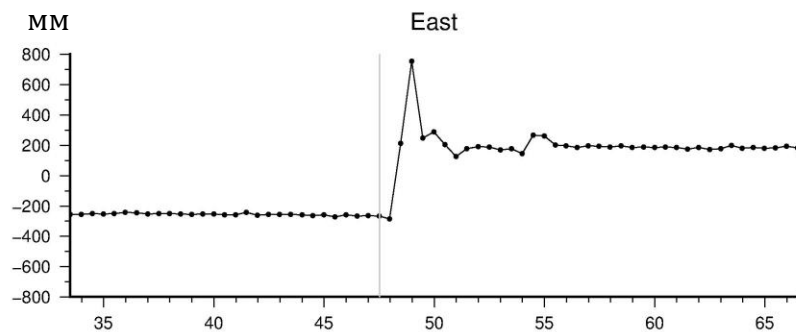
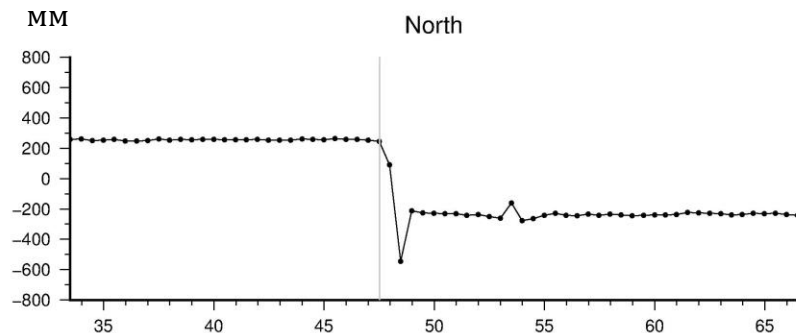




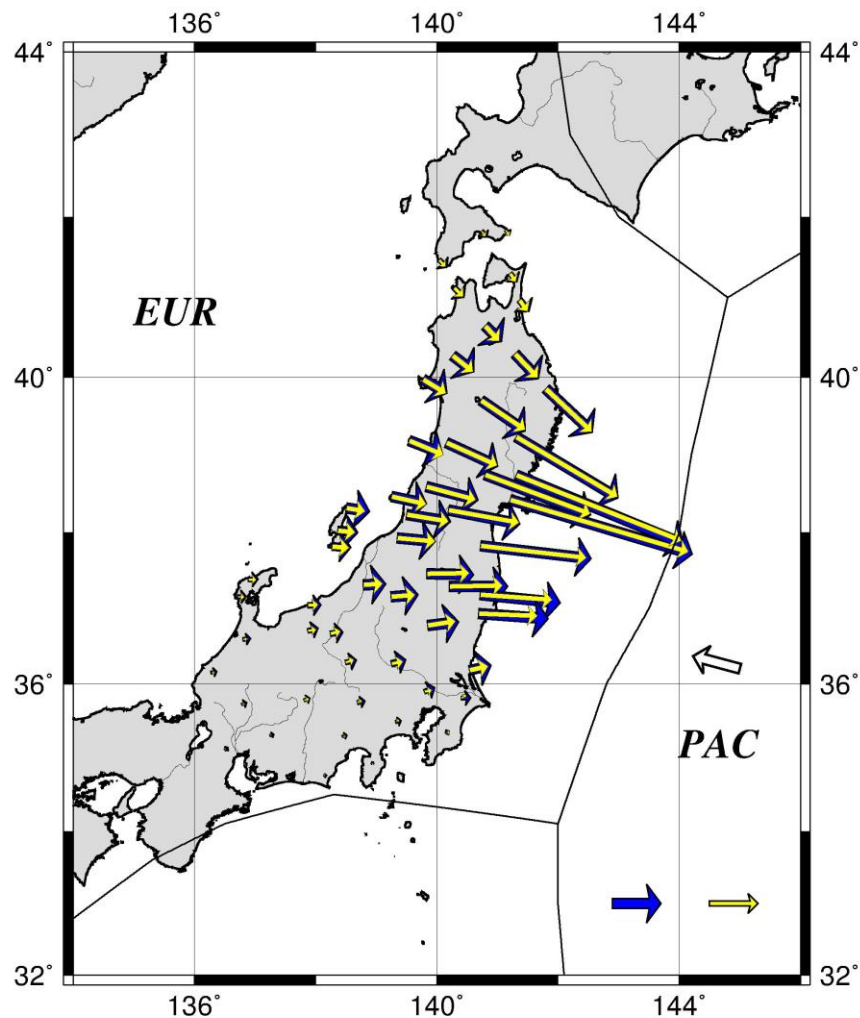
Сейсмические смещения

Через 5 минут после события

0159



Минуты с 05:00 GMT



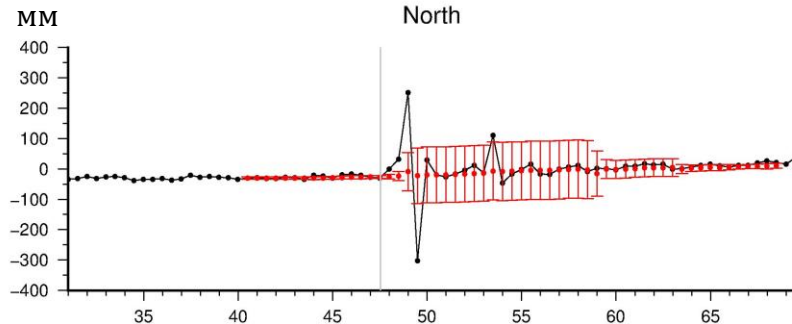


Обнаружение сейсмических смещений

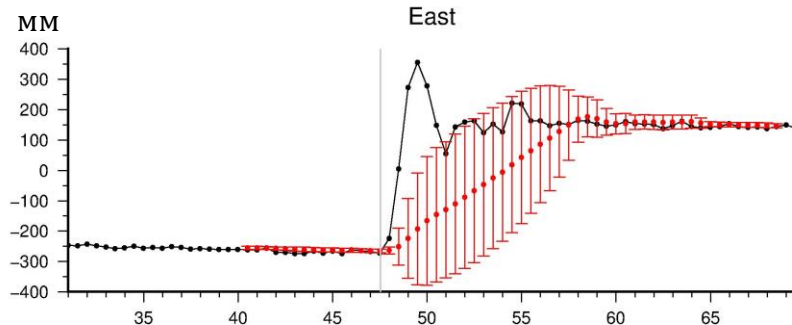
10-минутное скользящее окно

0240

North



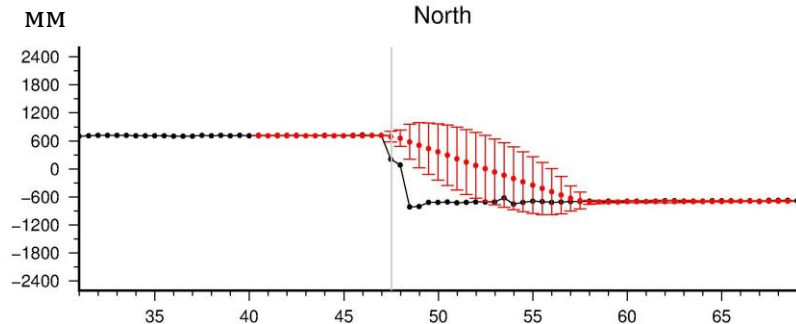
Минуты с 05:00 GMT



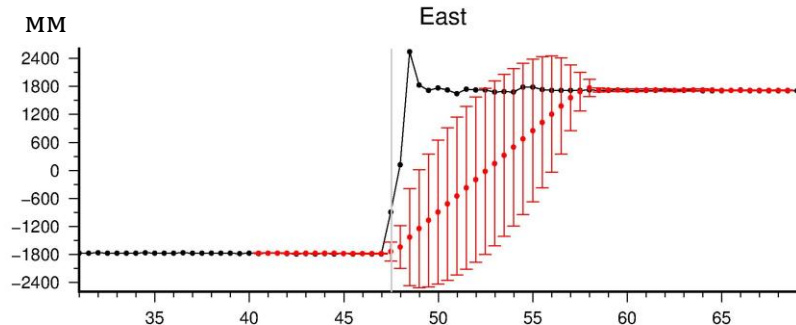
minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	86,78	6,95	6,55	5,36
46,5	86,09	6,34	7,39	5,18
47,0	85,42	5,83	7,67	4,97
47,5	84,77	5,91	7,20	4,82
48,0	86,46	10,93	8,52	7,62
48,5	99,65	61,12	11,43	15,18
49,0	126,36	131,95	25,43	63,33
49,5	157,21	184,53	11,77	91,18
50,0	184,16	211,60	14,92	91,87

0914

North



Минуты с 05:00 GMT



minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	11,89	6,94	-19,95	5,16
46,5	10,95	6,58	-19	4,58
47,0	10,02	6,69	-18,45	3,82
47,5	54,16	199,92	-44,12	114,19
48,0	148,8	460,69	-75,71	177,2
48,5	364,51	1040,19	-152,34	373,78
49,0	544,87	1265,02	-228,16	483,45
49,5	719,29	1418,98	-299,72	551,86
50,0	896,21	1541,88	-371,12	604,09

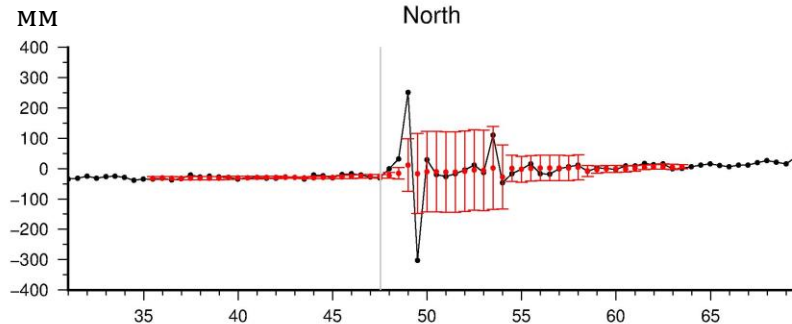


Обнаружение сейсмических смещений

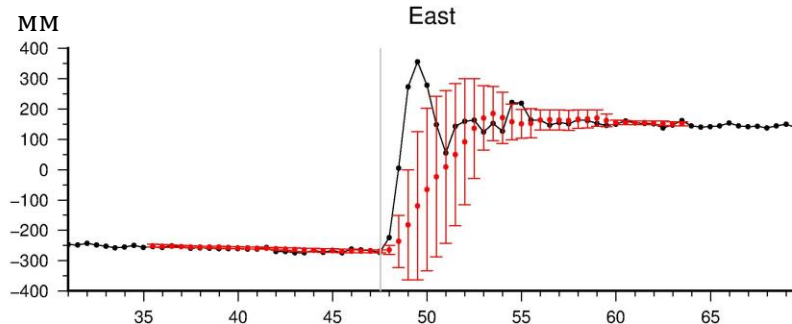
5-минутное скользящее окно

0240

North



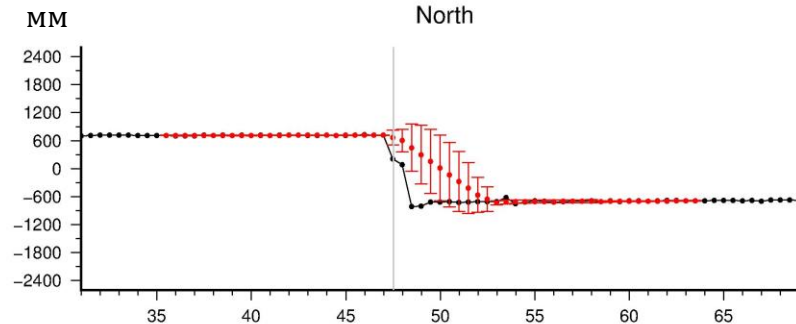
Минуты с 05:00 GMT



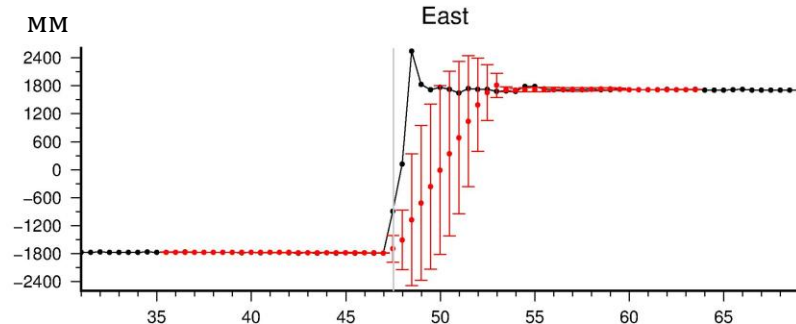
minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	81,94	6,1	8	5,9
46,5	81,02	4,52	9,12	5,93
47,0	81,36	4,57	9,55	5,55
47,5	81,11	4,7	9,27	5,76
48,0	86,15	14,72	12,07	9,42
48,5	113,98	85,96	18,74	19,03
49,0	167,84	181,37	46,05	86,65
49,5	230,77	244,58	18,18	132,06
50,0	285,22	267,94	24,18	132,7

0914

North



Минуты с 05:00 GMT



minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	6,82	5,62	-17,82	4,41
46,5	5,36	3,62	-17,4	4,68
47,0	4,83	3,94	-17,46	4,7
47,5	94,69	284,07	-69,11	161,65
48,0	285,36	637,64	-132,08	243,35
48,5	717,83	1416,61	-285,04	505,77
49,0	1079,12	1656,51	-436,98	629,68
49,5	1428,89	1769,68	-579,75	684,59
50,0	1783,37	1808,29	-722,63	704,14

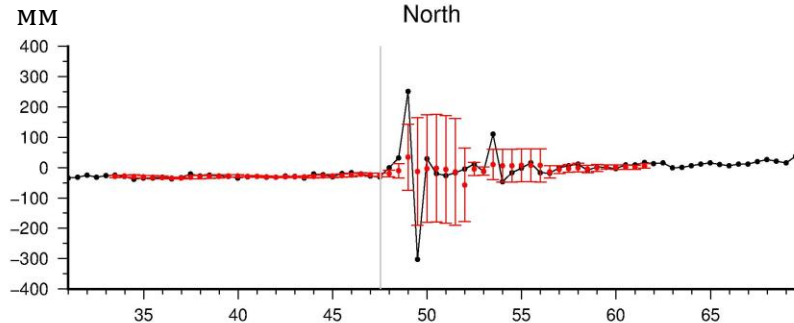


Обнаружение сейсмических смещений

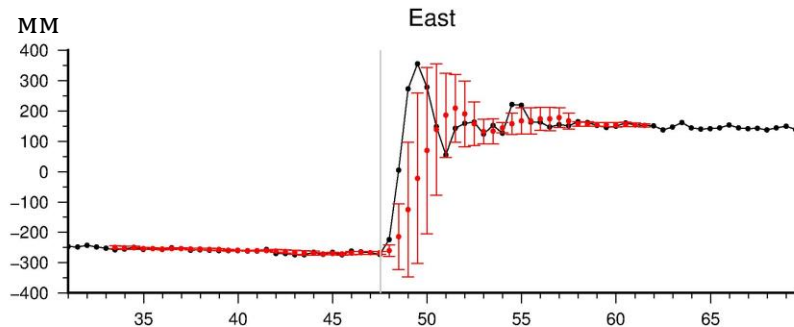
3-минутное скользящее окно

0240

North



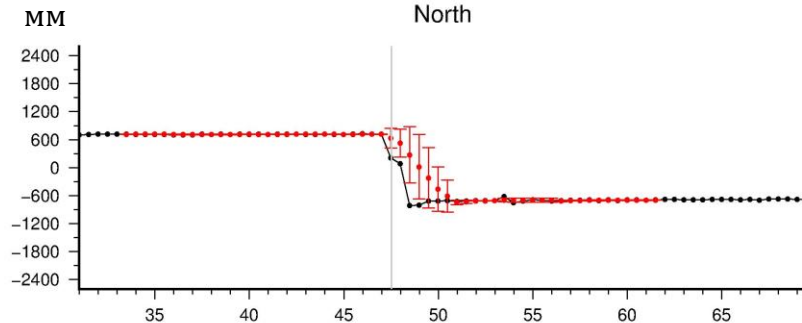
Минуты с 05:00 GMT



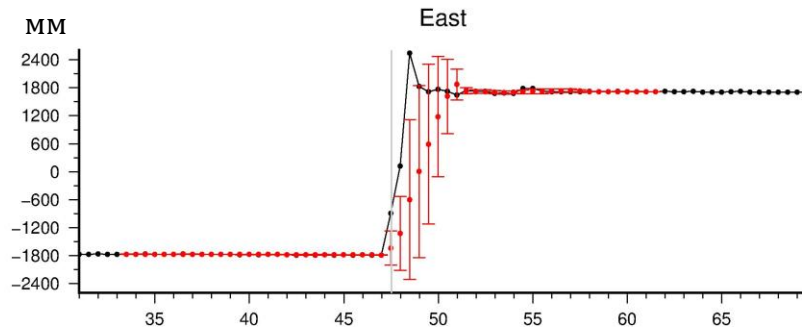
minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	81,48	5,24	10,28	6,67
46,5	82,85	4,86	12,58	4,72
47,0	82,65	4,8	11,47	5,2
47,5	82,75	4,67	10,32	6
48,0	89,67	18,47	15,27	10,33
48,5	136,1	108,73	23,92	23,59
49,0	225,18	222,09	68,82	109,27
49,5	328,75	280,82	21,83	177,01
50,0	419,7	273,79	31,33	177,57

0914

North



Минуты с 05:00 GMT



minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	5,52	4,81	-18,07	5,02
46,5	5,55	4,80	-16,52	4,96
47,0	3,90	4,54	-16,63	5,01
47,5	153,75	367,13	-101,13	209,65
48,0	470,98	792,77	-206,07	300,28
48,5	1192,95	1713,17	-462,48	604,96
49,0	1795,45	1843,87	-716,92	691,79
49,5	2378,32	1712,58	-956,40	646,52
50,0	2970,57	1287,45	-1195,13	471,90

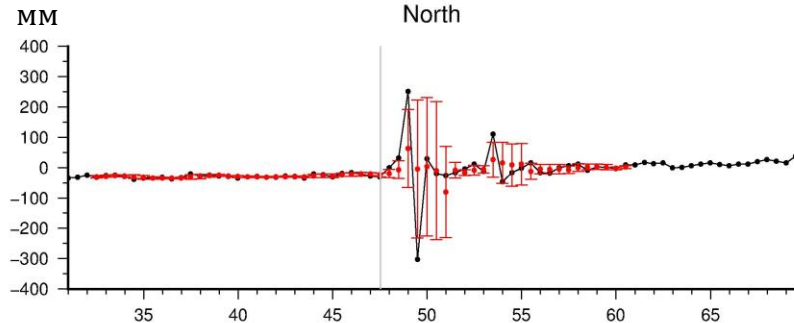


Обнаружение сейсмических смещений

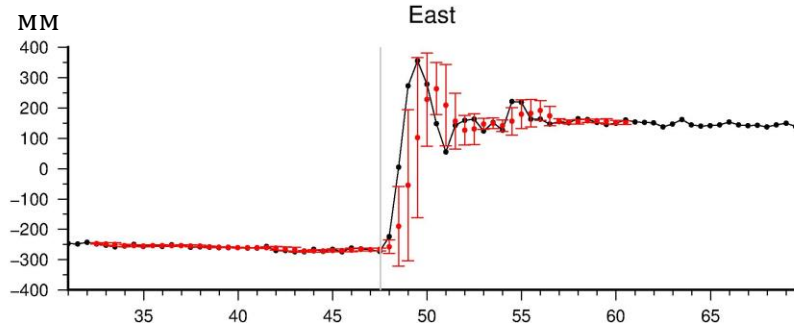
2-минутное скользящее окно

0240

North



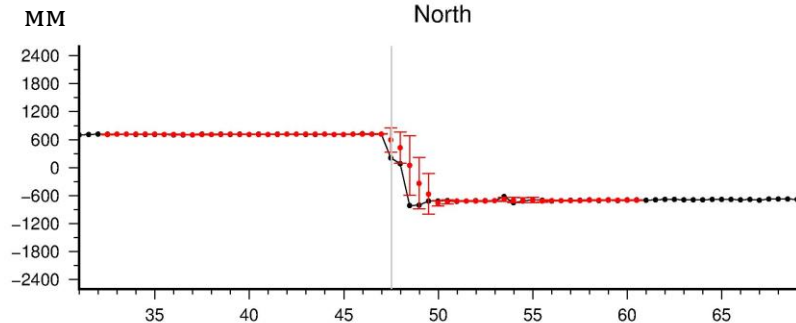
Минуты с 05:00 GMT



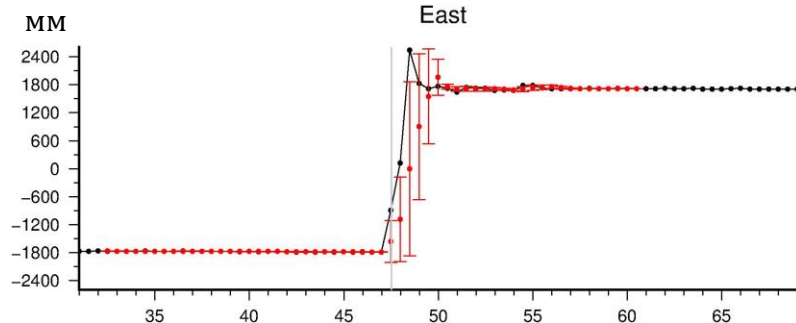
minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	81,83	5,93	11,90	5,93
46,5	83,80	5,14	12,70	6,00
47,0	83,50	5,11	13,45	4,54
47,5	83,80	4,57	10,68	6,14
48,0	93,15	22,25	14,75	13,27
48,5	160,68	131,47	27,98	29,32
49,0	295,62	249,71	97,92	128,46
49,5	452,80	264,34	29,97	227,93
50,0	578,55	153,65	37,55	228,59

0914

North



Минуты с 05:00 GMT

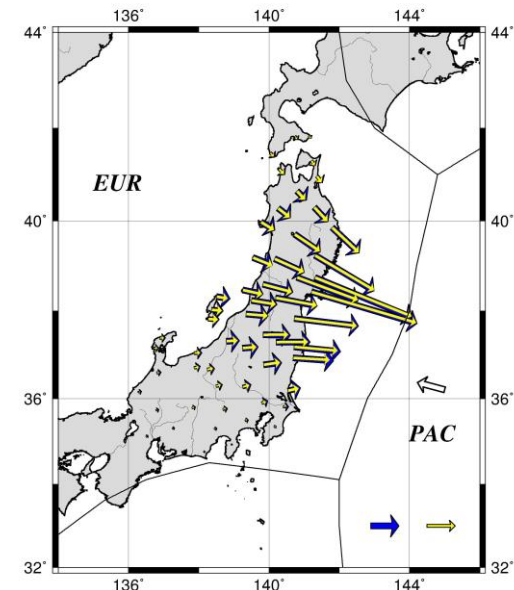
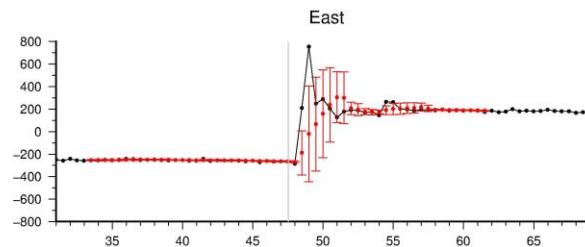
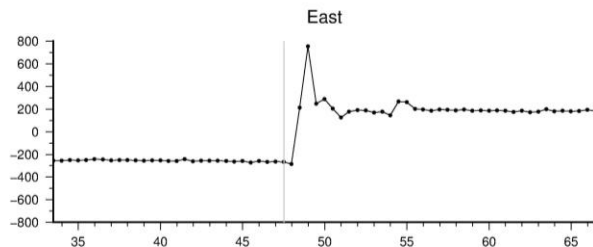
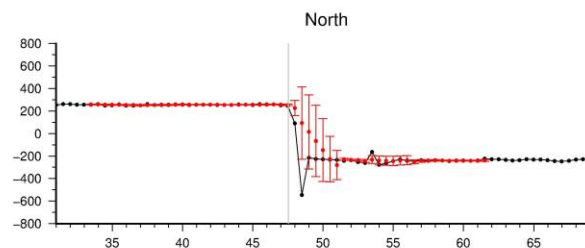
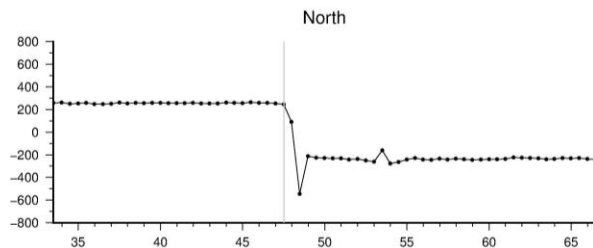


minute	Esrednee(mm)	ESKO	Nsrednee(mm)	NSKO
46,0	4,62	5,43	-17,07	5,94
46,5	4,75	5,41	-14,77	5,13
47,0	2,58	4,79	-13,88	3,38
47,5	229,05	449,38	-142,82	257,47
48,0	705,12	910,03	-303,10	335,58
48,5	1786,25	1866,43	-687,83	637,84
49,0	2691,95	1565,75	-1067,50	553,16
49,5	3341,60	1020,17	-1297,67	432,87
50,0	3751,95	387,91	-1497,47	54,67



ГНСС для задач раннего оповещения о цунами:

1. Оперативность получения оценок сейсмических смещений станций ГНСС: в течение нескольких минут после землетрясения (2 -7 минут).
2. Точность оценок сейсмических смещений станций ГНСС: через 5 минут после события при оптимальном выборе интервала осреднения точность составляет 2 см, при этом величина смещения составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров.





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЕДИНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Г.М. Стеблов, И.А. Сдельникова

2021