



Сейсмическая эмиссия на испытательном полигоне Пхунгери в КНДР продолжается в 2025 году

Виноградов¹ Ю.А., Китов² И.О., Санина² И.А., Соколова¹ И.Н.

¹ Единая геофизическая служба Российской академии наук, Обнинск, Россия

² Институт динамики геосфер им. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

E-mail: ikitov@mail.ru



Взрывы на полигоне Пунгери: 2006-2017

Оценки Международного центра данных

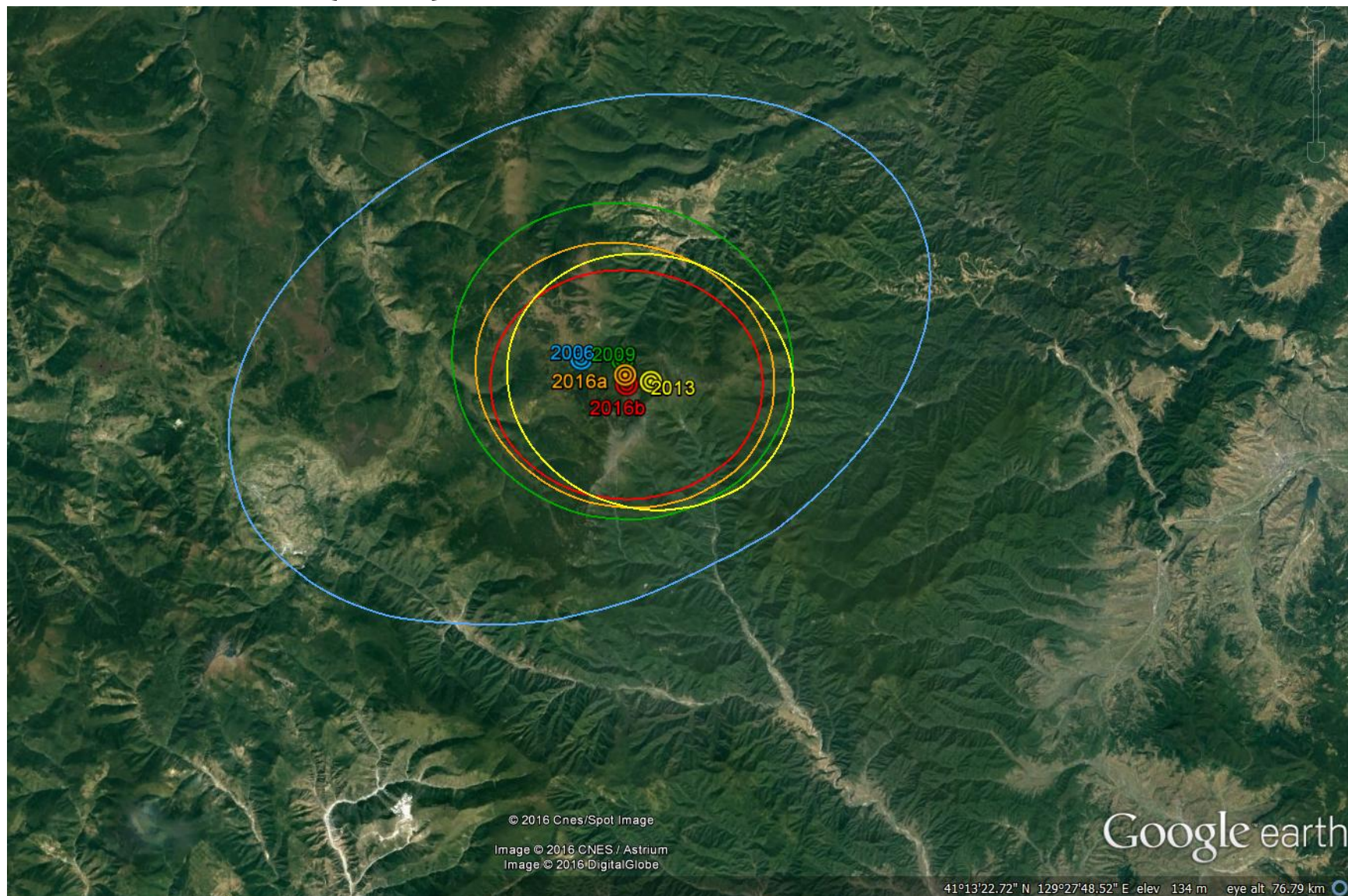


Взрыв	Дата	Время в источни ке	Широта, град.	Долгота, град.	Ndef	m _b	Ms	ML	S _{max} , км	S _{min} , км	азимут, град.	Площадь эллипса, кв. км
КНДР1	09.10.2006	01:35:28	41.312	129.019	22	4.08	-	3.89	20.6	13.6	67.2	880.15
КНДР2	25.05.2009	00:54:43	41.311	129.046	72	4.51	3.56	4.27	9.6	8.8	104.4	265.40
КНДР3	12.02.2013	02:57:51	41.301	129.065	110	4.92	3.95	4.52	8.1	7.1	106.6	180.67
КНДР4	06.06.2016	01:30:00	41.304	129.048	102	4.82	3.92	4.61	8.4	7.3	104.3	192.64
КНДР5	09.09.2016	00:30:01	41.299	129.049	120	5.09	4.17	4.29	7.6	6.4	91.6	152.81
КНДР6	03.09.2017	03:30:01	41.320	129.035	189	6.07	4.91	5.17	6.7	5.2	88.1	109.45

Магнитуда взрывов росла от первого к шестому. Третий взрыв был немного выше четвертого по магнитуде. Магнитуда шестого взрыва достаточно велика, чтобы наблюдать возможные афтершоки на телесеismicических расстояниях на сейсмических группах МСМ.



Взрывы на полигоне Пунгери: эпицентры и доверительные эллипсы Международного центра данных (МЦД)



Относительное положение взрывов, определенное с помощью кросс-корреляции сигналов на станциях МСМ



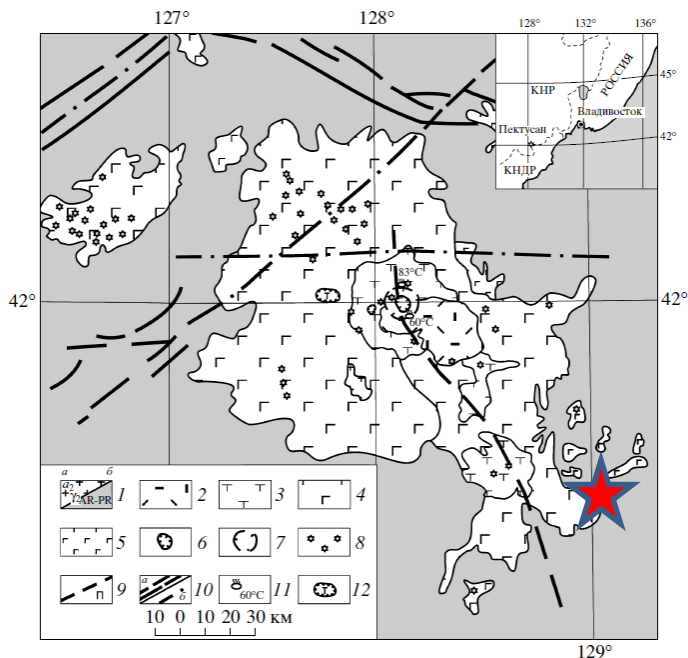


Рис. 1. Схема геологического строения вулкана Пектусан составлена на основе геологических карт и космических снимков (Magmatic map of Jilin Province, China. M-6 1000000, 1989; 7). 1 – фундамент: а – мезозойские граниты, б – архейско-протерозойские комплексы; 2 – комендит-риолитовые пеплы (1903 г. извержения); 3 – трахиты; 4 – базальты щитового вулкана; 5 – базальтовое плато (миоцен-палеоген); 6 – кальдера, заполненная оз. Тяньчи; 7 – внешняя кальдера; 8 – жерловины моногенных базальтовых вулканов; 9 – Пектусанский разлом; 10 – разломы системы Тяньлу; 11 – горячие источники и их температура; 12 – трубы взрывов.

Геологическое строение полигона сложное. ИИ: «Стратифицированные вулканические породы в КНДР представляют собой слои вулканического пепла, туфов и лав, такие как четвертичные базальтовые и риолитовые отложения на горе Мантап на ядерном полигоне Пунге-ри. Эти отложения мягкие, подвержены эрозии и вызывают деформацию земной поверхности при подземных взрывах.»

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК, 2007, том 412, № 2, с. 226–233

ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.313.554

ВУЛКАН ПЕКТУСАН: ХРОНОЛОГИЯ ИЗВЕРЖЕНИЙ, СОСТАВ И ЭВОЛЮЦИЯ МАГМ НА ОСНОВЕ К-Аг-ДАТИРОВАНИЯ И ИЗОТОПОВ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ И $\delta^{18}\text{O}$

© 2007 г. Член-корреспондент РАН В. Г. Сахно

Science & Global Security, 23:101–120, 2015

DOI: 10.1080/08929882.2015.1039343 Revised Geologic Site

Characterization of the North Korean Test Site at Punggye-ri

David Coblenz and Frank Pabian

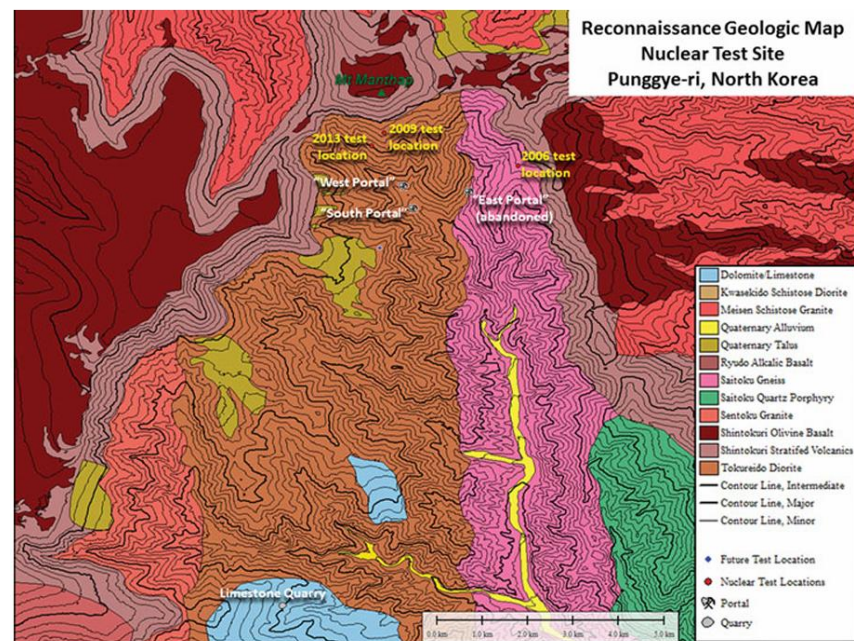
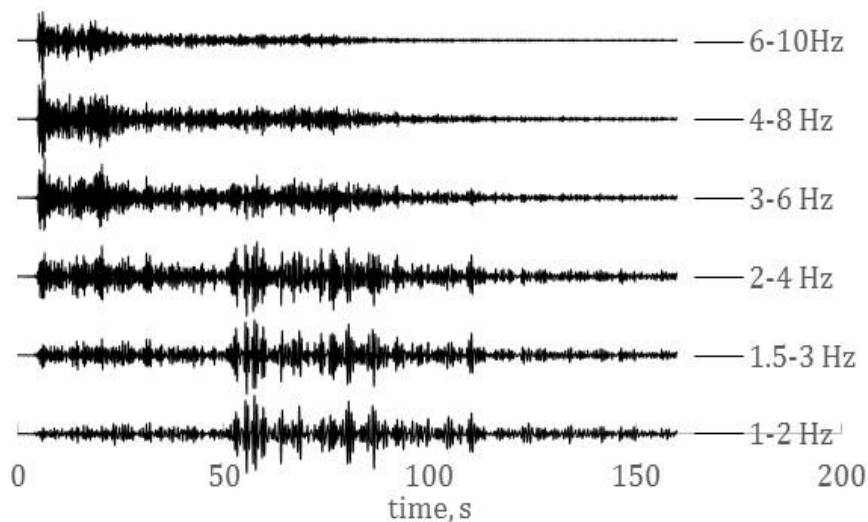
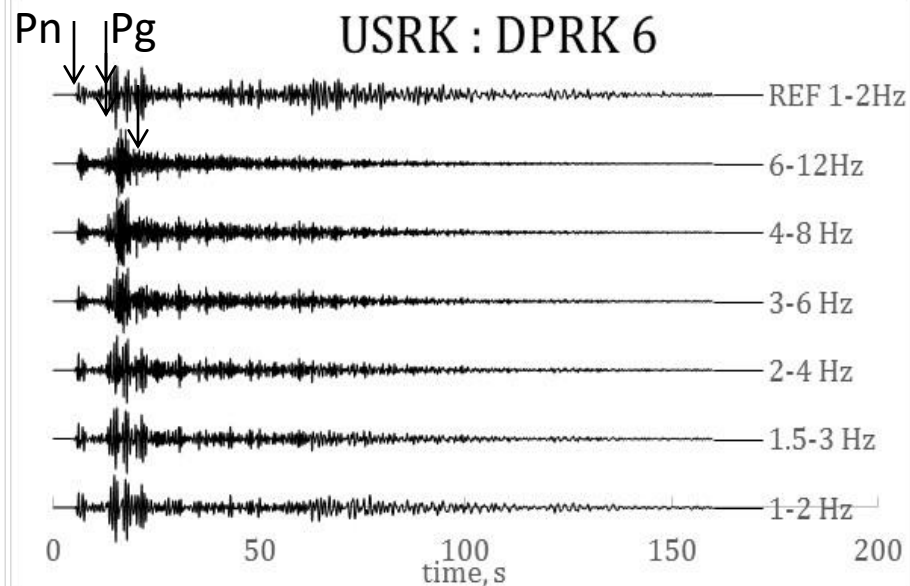


Figure 5: The local large scale predicted geologic map of the Punggye-ri nuclear test site derived from the various sources of geologic data and terrain analysis discussed in the text.

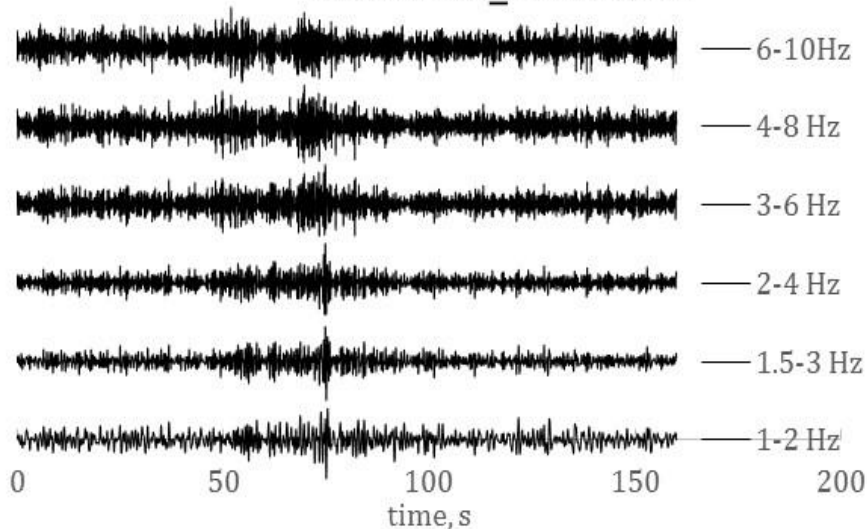
KSRS : DPRK 1



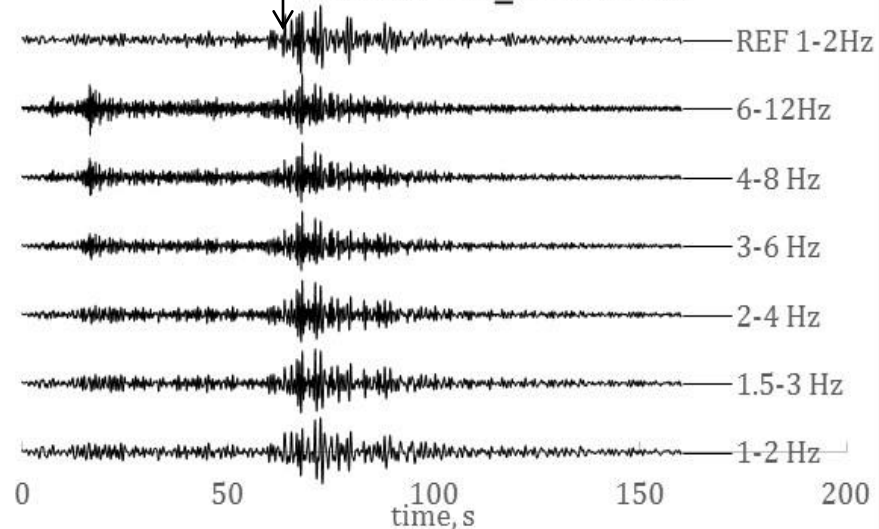
USRK : DPRK 6



KSRS : A_SHOCK3

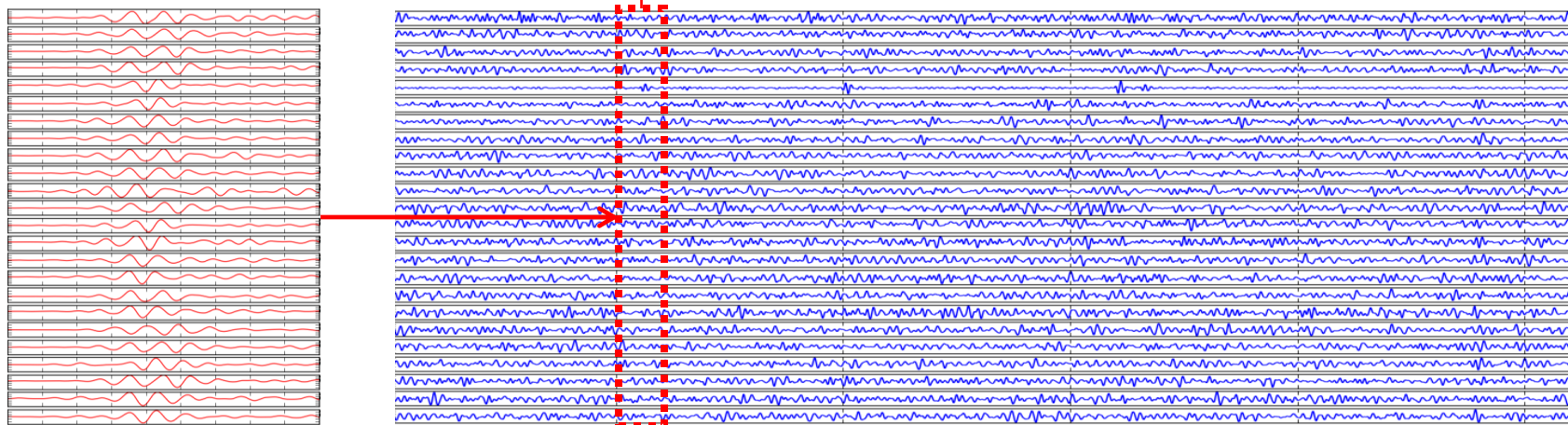


Lg USRK : A_SHOCK2

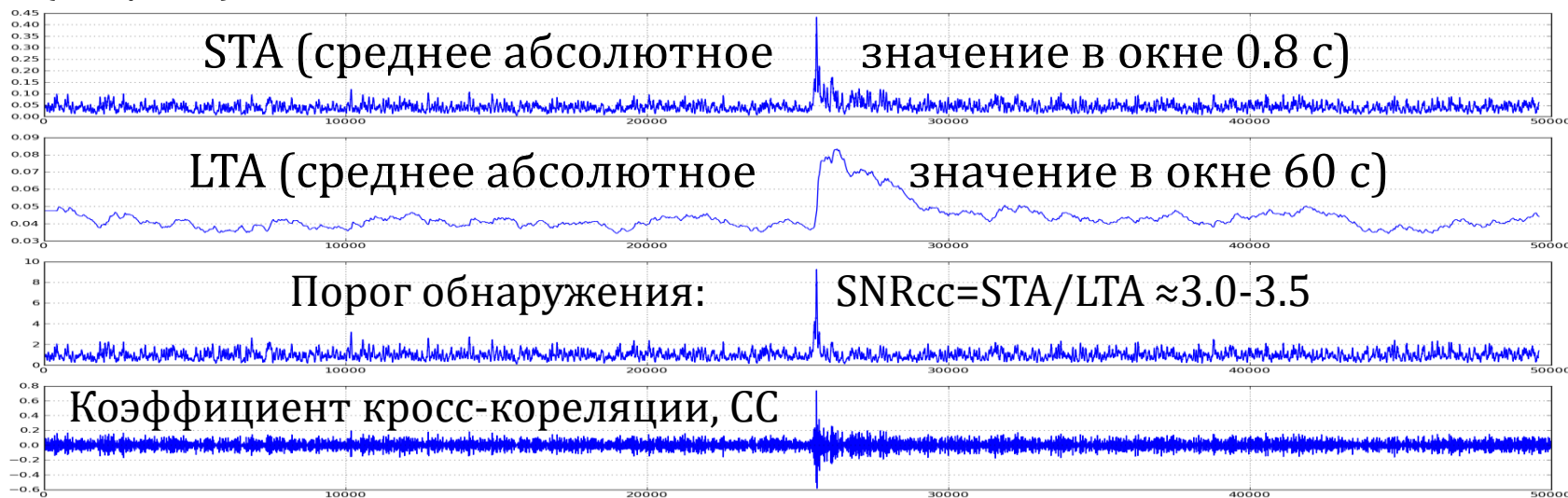


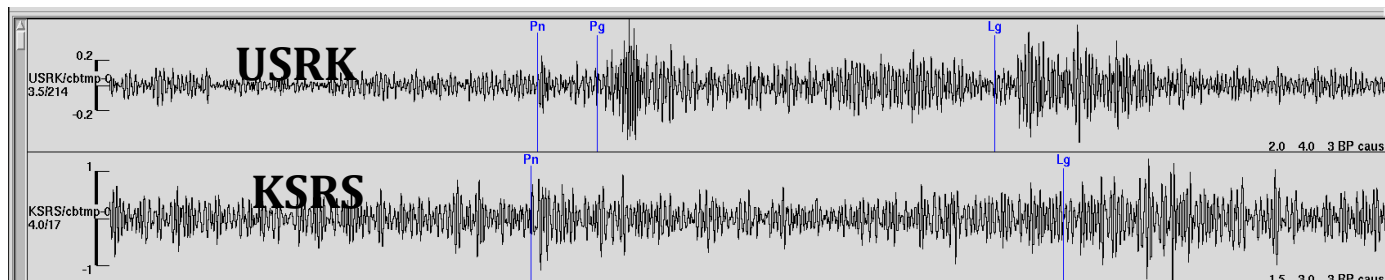
Шаблон

Непрерывные данные

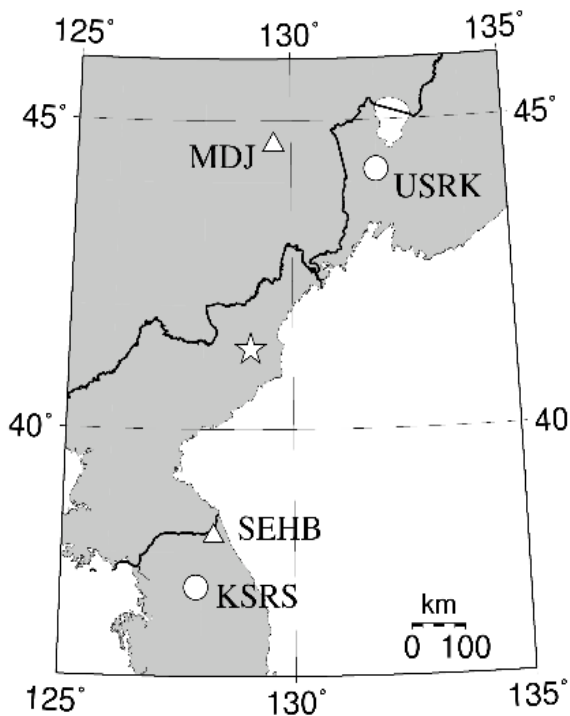


ККВФ создает трассу коэффициента кросс-корреляции (СС), к которому применяется стандартная процедура детектирования по превышению порога SNR (STA/LTA)

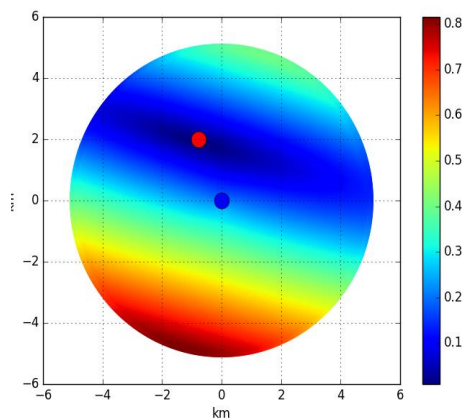




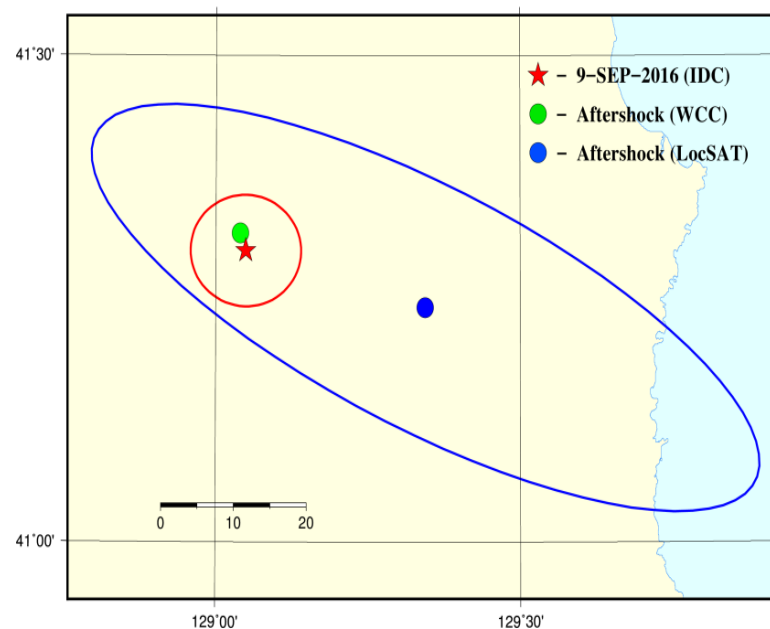
Относительное положение 4 станций и эпицентра КНДР-5



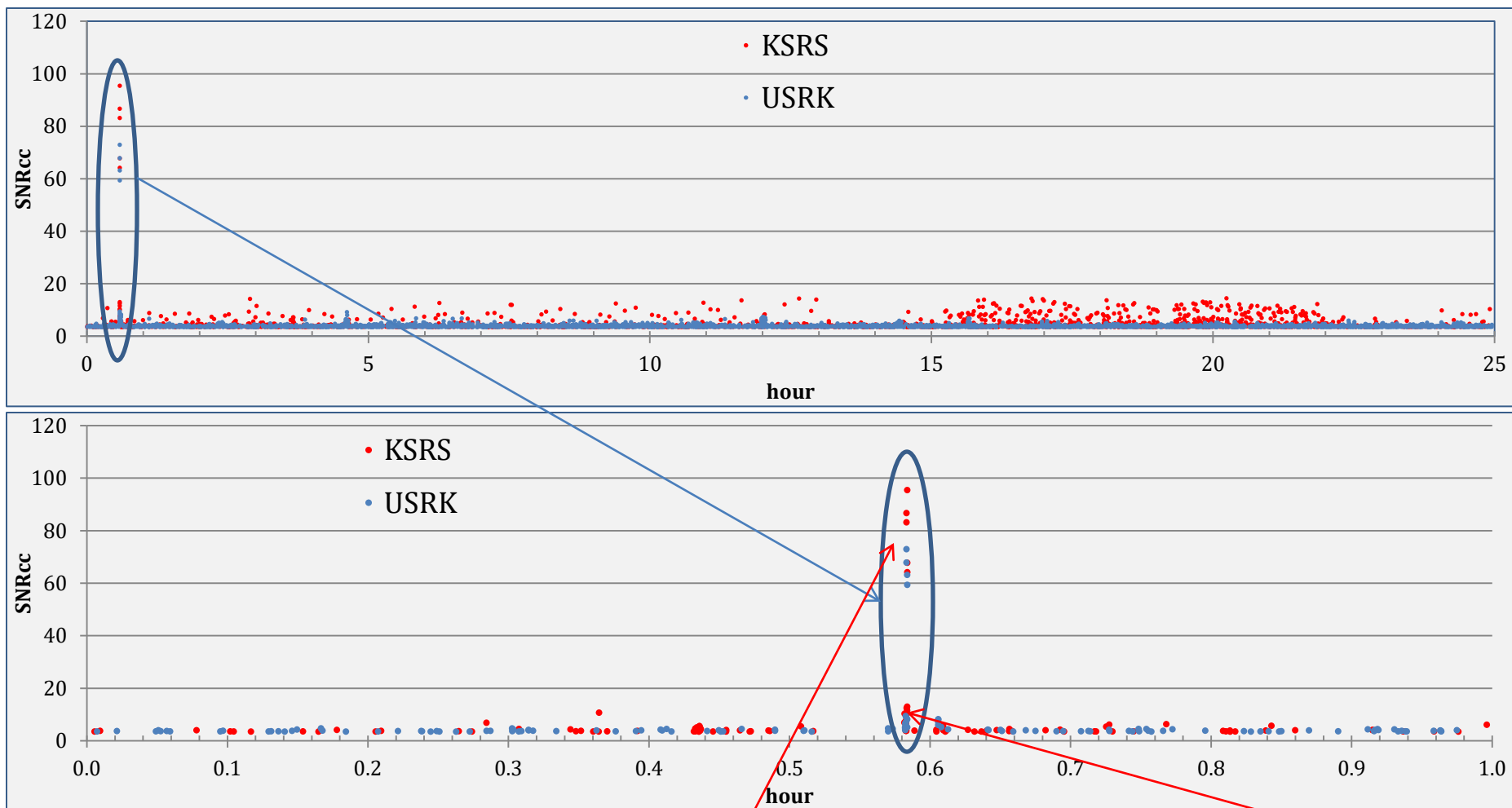
Среднеквадратичная невязка относительного времени пробега ~ 0.05 с



Относительное (ККВФ) и абсолютное (LocSAT) местоположение первого афтершока КНДР-5

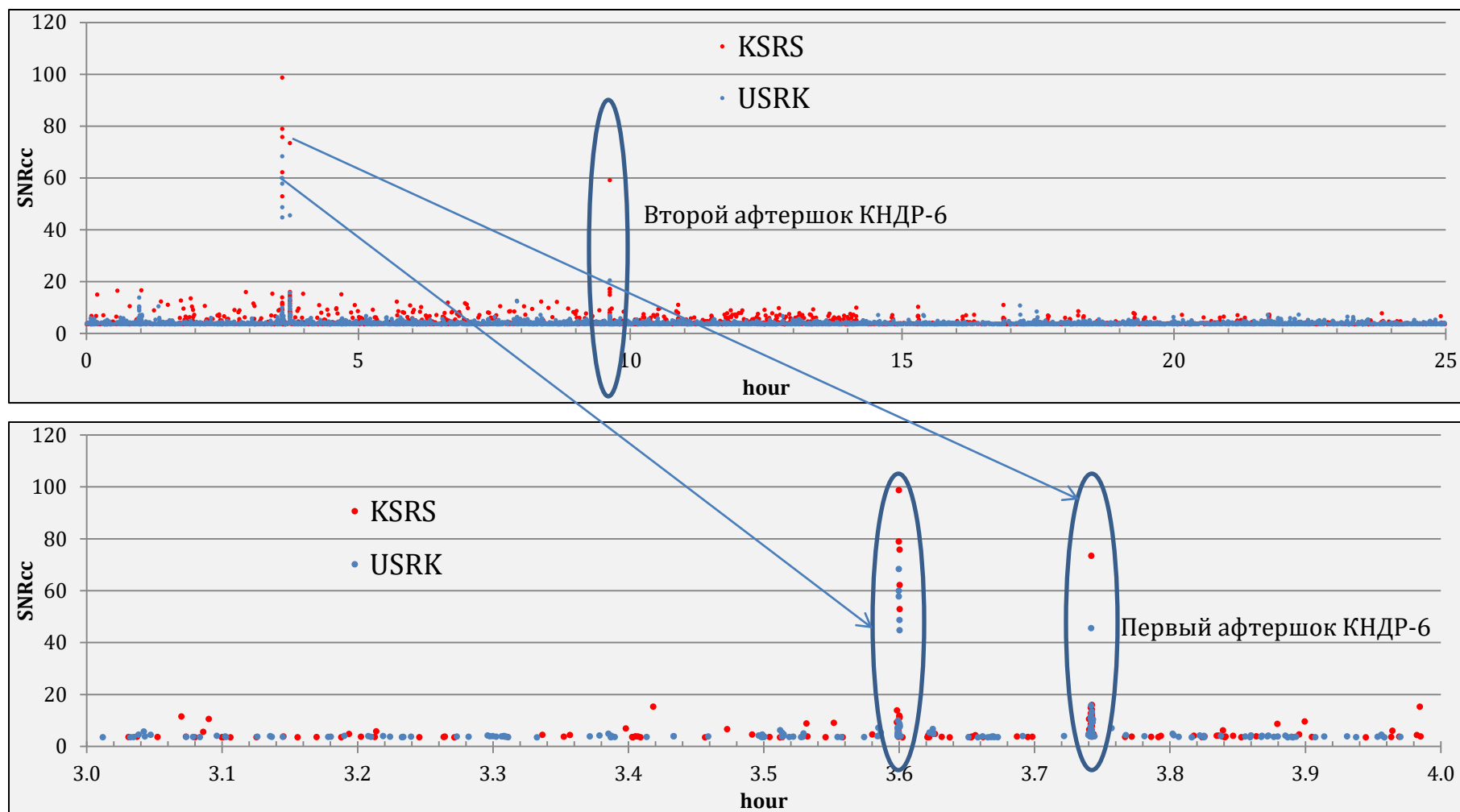


Сравнение кросс-корреляции взрывов и афтершоков на примере КНДР-5 (09.09.2016)



Высокая кросс-корреляция между сигналами взрывов. Корреляция сигналов взрывов и афтершоков гораздо ниже. Можно предполагать эффективное обнаружение взрывов с помощью сигналов взрывов.

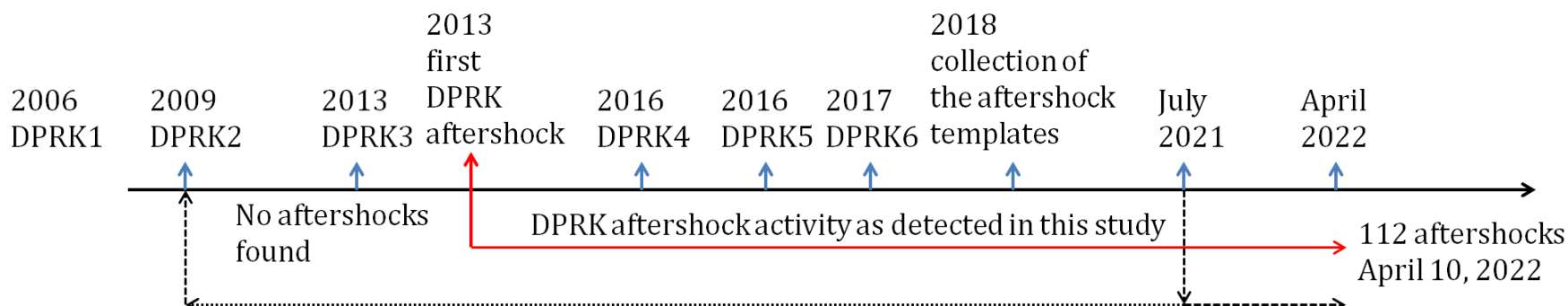
Сравнение кросс-корреляции взрывов и афтершоков на примере КНДР-6 (03.09.2017). Сигналы от всех шаблонов, приведенные ко времени в источнике.



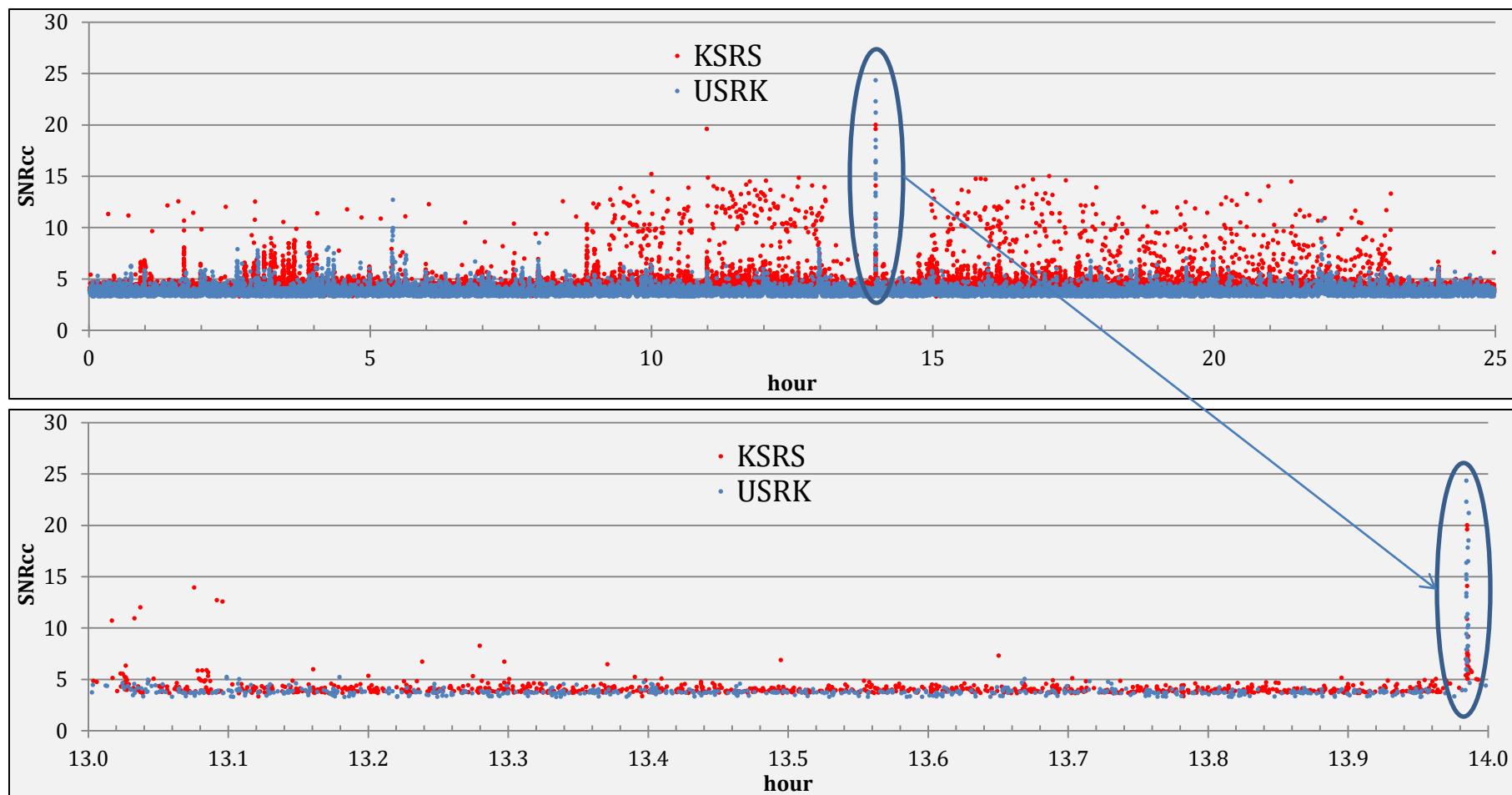
Кросс-корреляция между сигналами взрывов и афтершоков примерно такая же, как сигналов разных афтершоков. Для обнаружения афтершоков можно использовать сигналы от обоих типов источников.



Начиная с июля 2021 г. обработка шла в двух направлениях: прошлое и в реальном времени



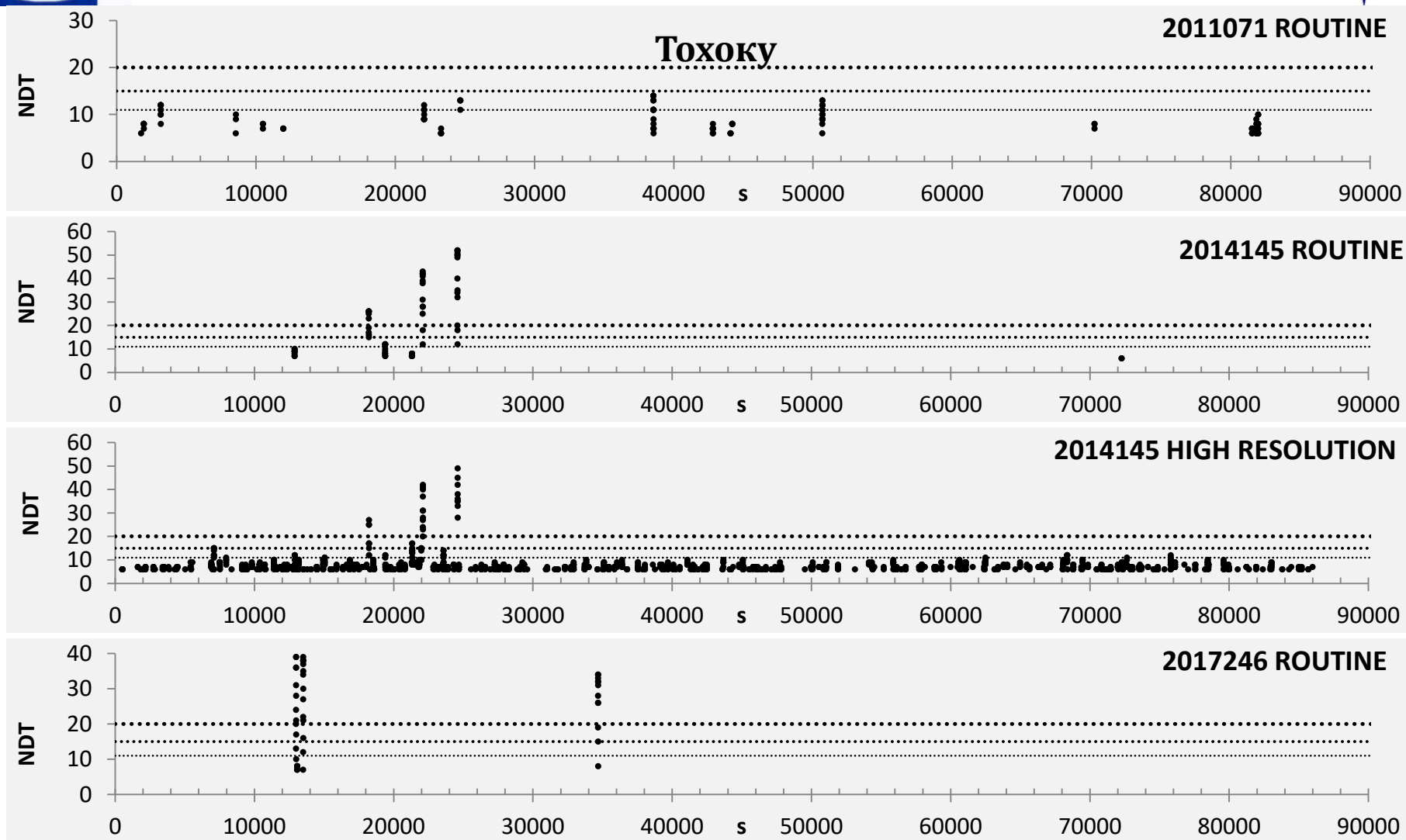
1. Обработка методом мульти-мастера проводится повторно в некоторых сегментах данных при повышении эффективности метода кросс-корреляции волновых форм.
2. Обработка использует один и тот же набор 57 шаблонов.
3. До 2009 г. станция USRK не работала. Оценить сейсмичность методом мульти-мастера не представляется возможным.
4. Между 2009 и 2013 гг. методом мульти-мастера не было обнаружено ни одного события, похожего на афтершоки взрывов на полигоне Пунгери.
5. В МЦД обработка продолжается в автоматическом режиме.
6. Поток событий не прекращается. Последнее событие было найдено 11 октября 2025 г. (jdate=2025284).



Фактически одно из первых событий, подобных афтершокам КНДР-5 и КНДР-6. Интерпретируется как возможное начало образования столба обрушения над полостью взрыва КНДР-3. Это и другие события до конца 2023 г. **подтверждены аналитиками МЦД** стандартными методами.



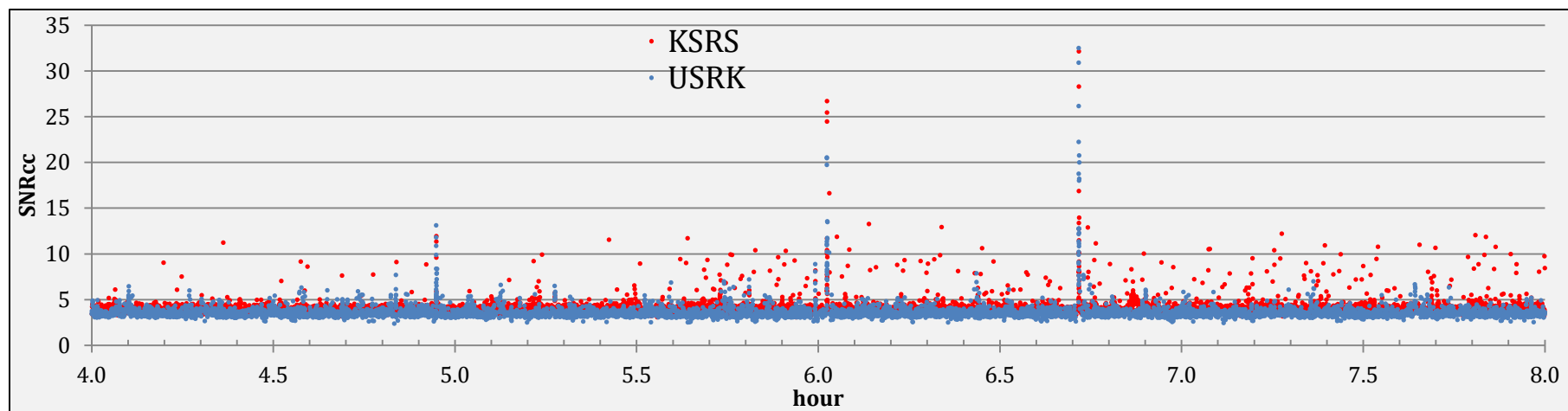
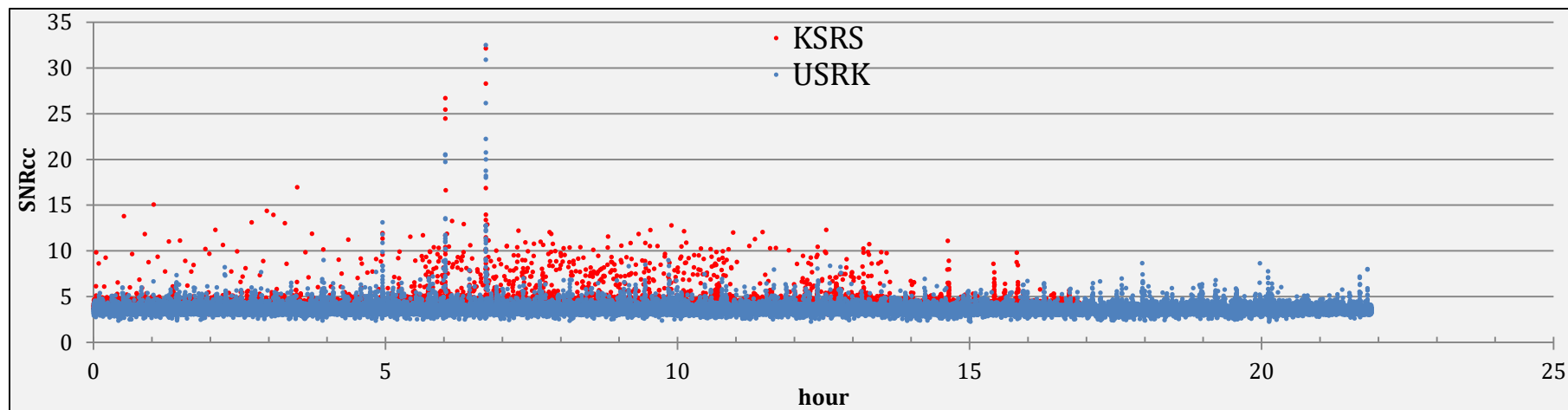
Число вступлений от 57 шаблонов в 8-секундном интервале после каждого вступления (приведенного ко времени в источнике)



Статистический порог события – 20 ассоциированных вступлений (NDT). Порог обеспечивает поток ложных срабатываний < 1/год. С высоким разрешением обрабатываются дни, в которые есть события с $20 > \text{NDT} > 15$.



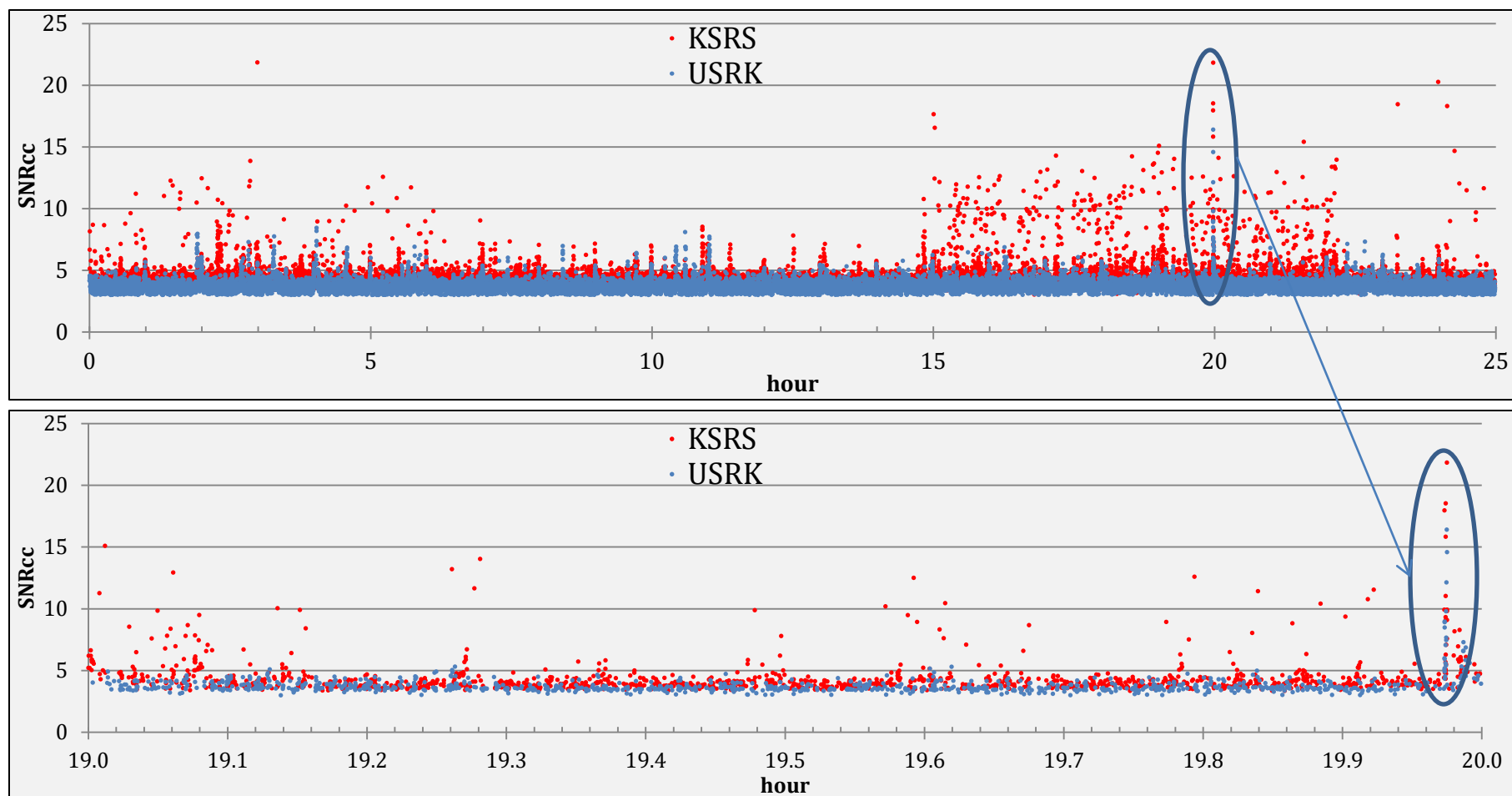
События 25 мая 2014 г. (jdate=2014145)



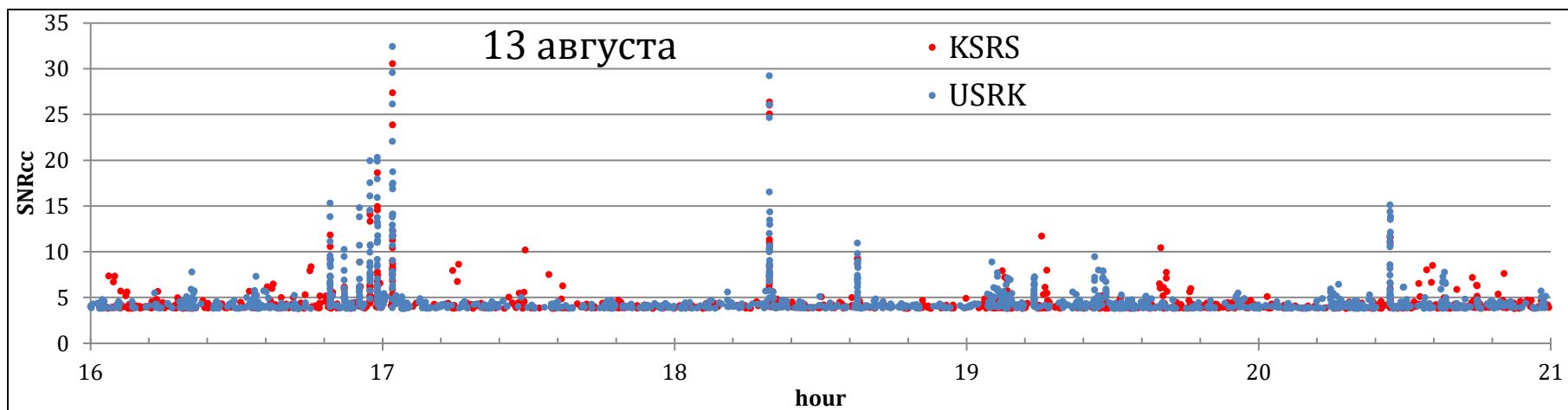
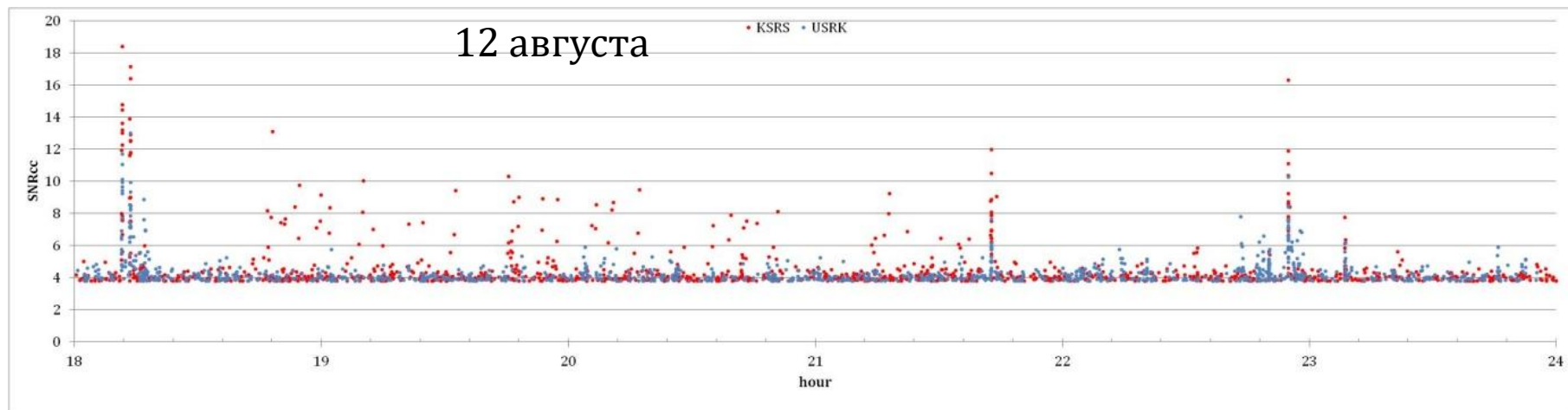
Последовательность из трех возрастающих по магнитуде событий, подобных афтершокам КНДР-5 и КНДР-6, произошедших в течение 2 часов. Интерпретируются как возможный коллапс полости взрыва КНДР-3.



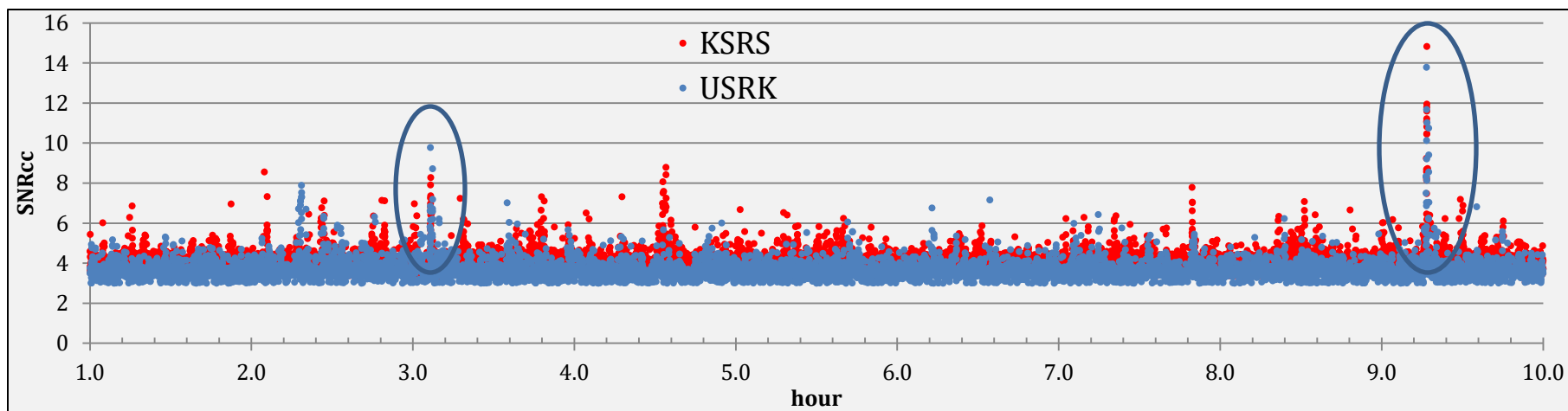
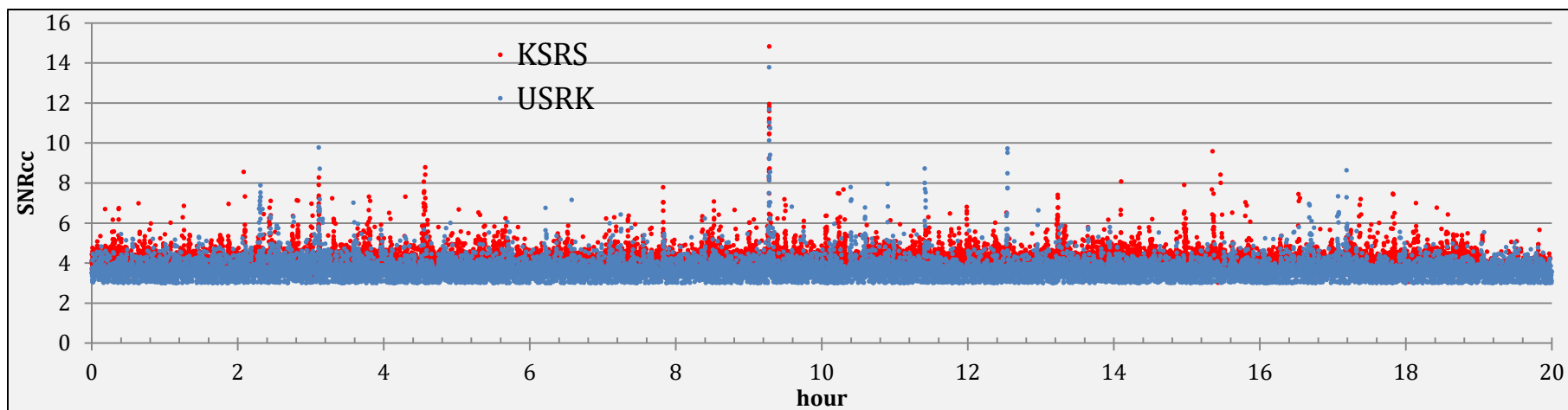
События 3 июля 2016 г. (jdate=2016184)



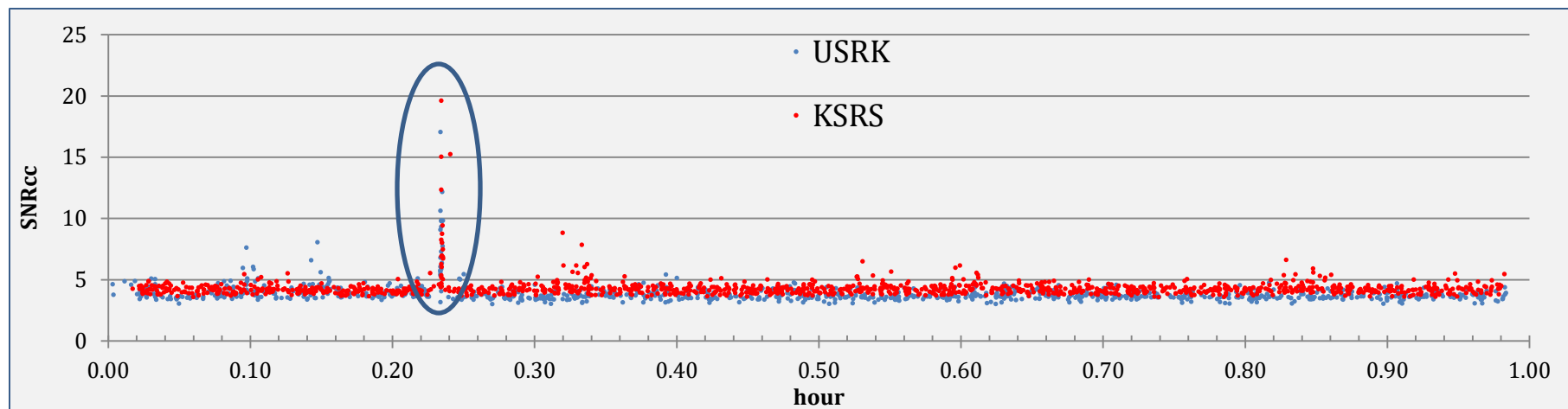
Событие, подобное афтершокам КНДР-5 и КНДР-6. Интерпретируется как возможное начало образования столба обрушения над полостью взрыва КНДР-4.



Самая интенсивная последовательность событий в течение 2 дней, подобных афтершокам КНДР-5 и КНДР-6. Возможно взаимодействие столбов обрушения КНДР-5 и КНДР-6.



Два события, подобных афтершокам КНДР-5 и КНДР-6. Число ассоциированных шаблонов 29 и 30.



Событие, подобное афтершокам КНДР-5 и КНДР-6. Число ассоциированных шаблонов 45.

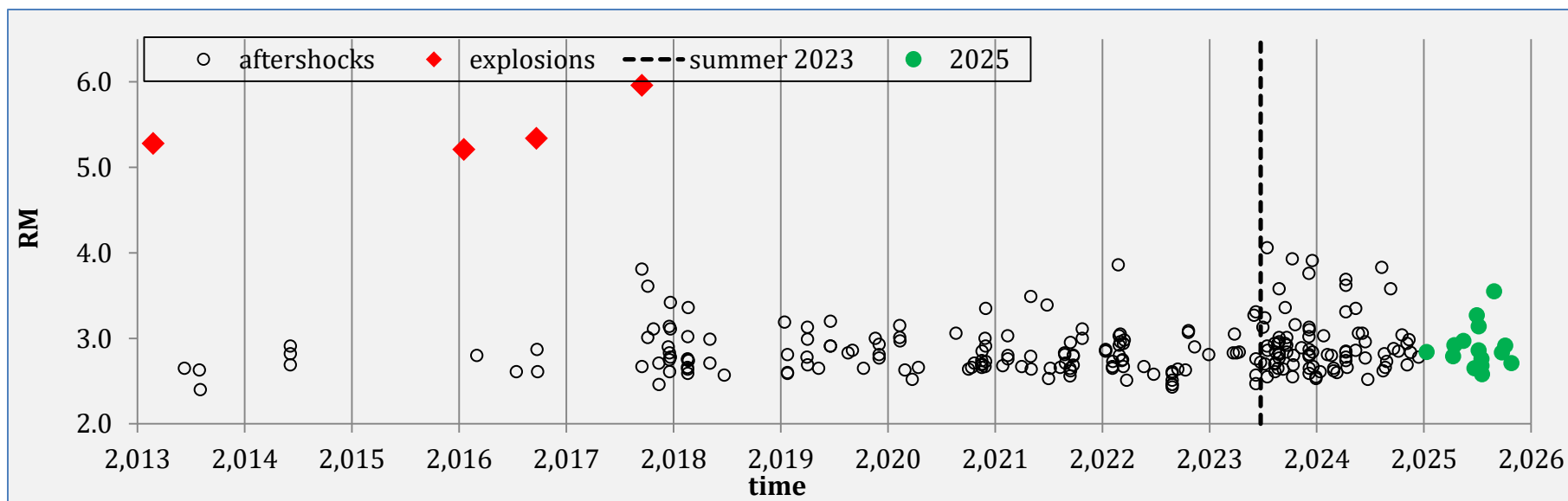
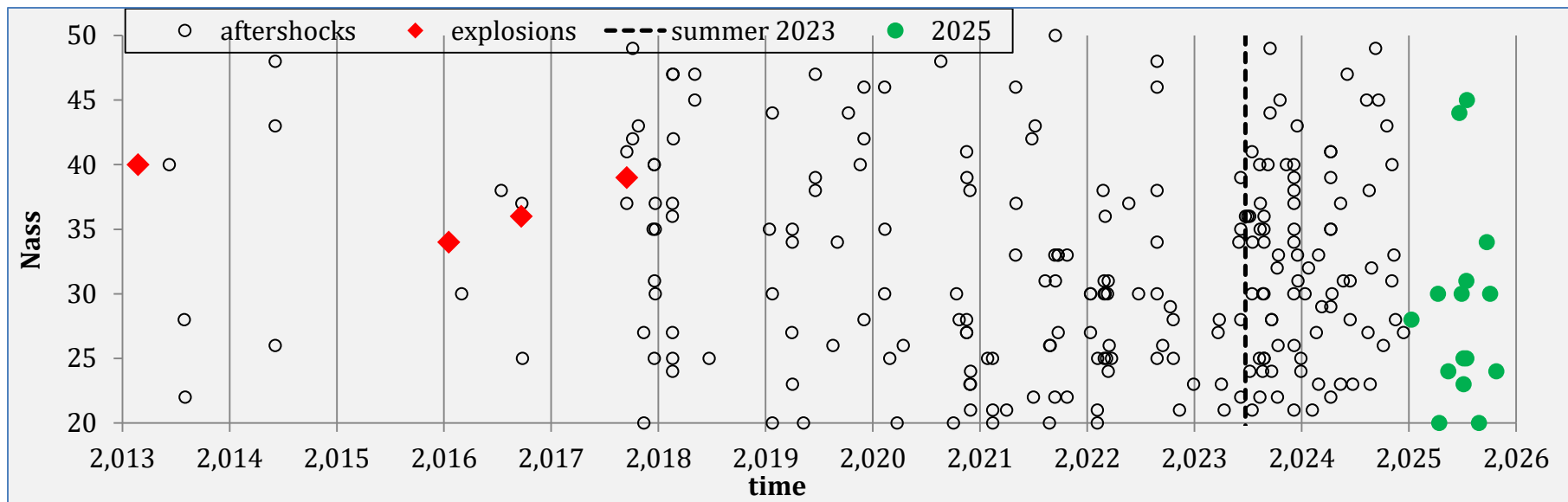
Всего в 2025 г. автоматически обнаружено 14 событий, похожих на афтершоки взрывов КНДР.

Непрерывная обработка продолжается. Выборочно применяются новые методы ККВФ.

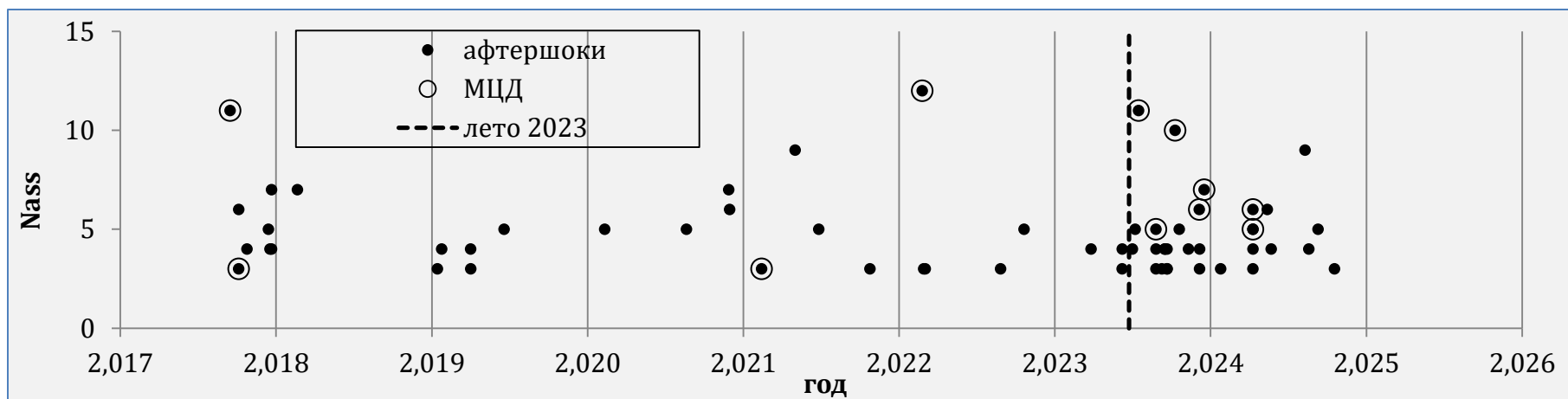
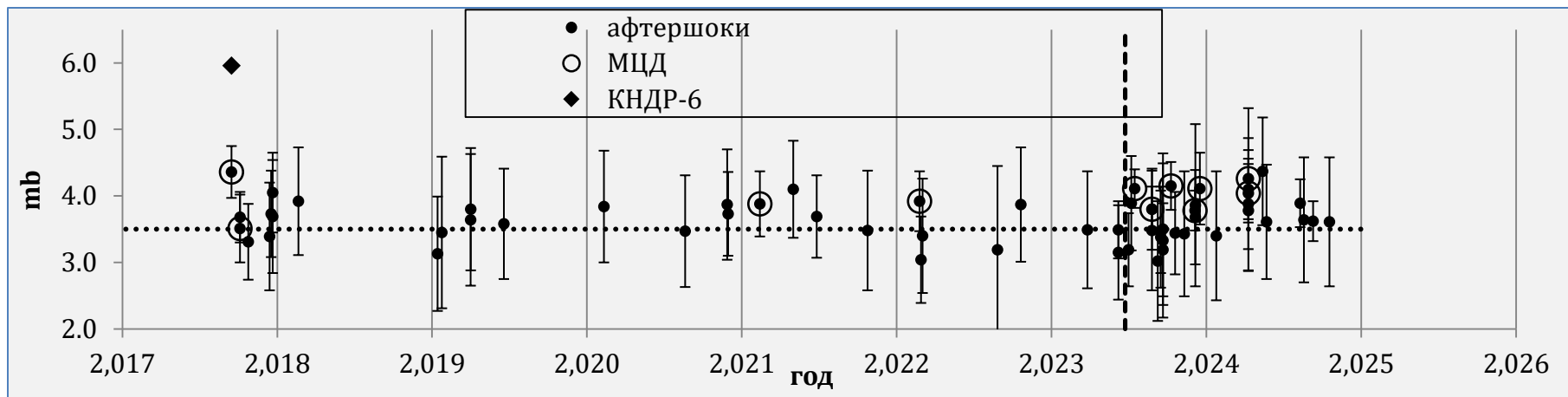
Все события проверяются на возможность обнаружить их сигналы на телесейсмических станциях с помощью ККВФ.



События на полигоне Пунгери по данным сейсмических групп МСМ USRK KSRS: 2013-2025



События на полигоне Пунгери по данным сети МСМ, полученные с помощью ККВФ: 2017-2025



В МЦД за весь период найдено 11 событий с ассоциированными телесейсмическими станциями МСМ. С помощью метода ККВФ обнаружено 61 событие из трех и более станций МСМ.

Что нужно, чтобы объяснить природу этих явлений?

