



ОЦИФРОВКА И АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Анна А. Добрынина (1, 2),
В.В. Чечельницкий (3)
В.А. Саньков (1)

- 1 – Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия
- 2 – Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия
- 3 – Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Иркутск, Россия



***Седьмая научно-техническая конференция
Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России
29 сентября - 5 октября 2019 г.
г. Петропавловск-Камчатский***

Мирные ядерные взрывы (МЯВ) в бывшем СССР

Мирные ядерные взрывы в СССР проводились в период с [января 1965](#) по [сентябрь 1988 год](#) в рамках секретной «Программы № 7».

Количество взрывов:
Официально: 124 МЯВ
Ак. А.В. Яблоков: 169 МЯВ
Sultanov et al., 1999: 122 МЯВ

 – полигоны

 – отдельные МЯВ

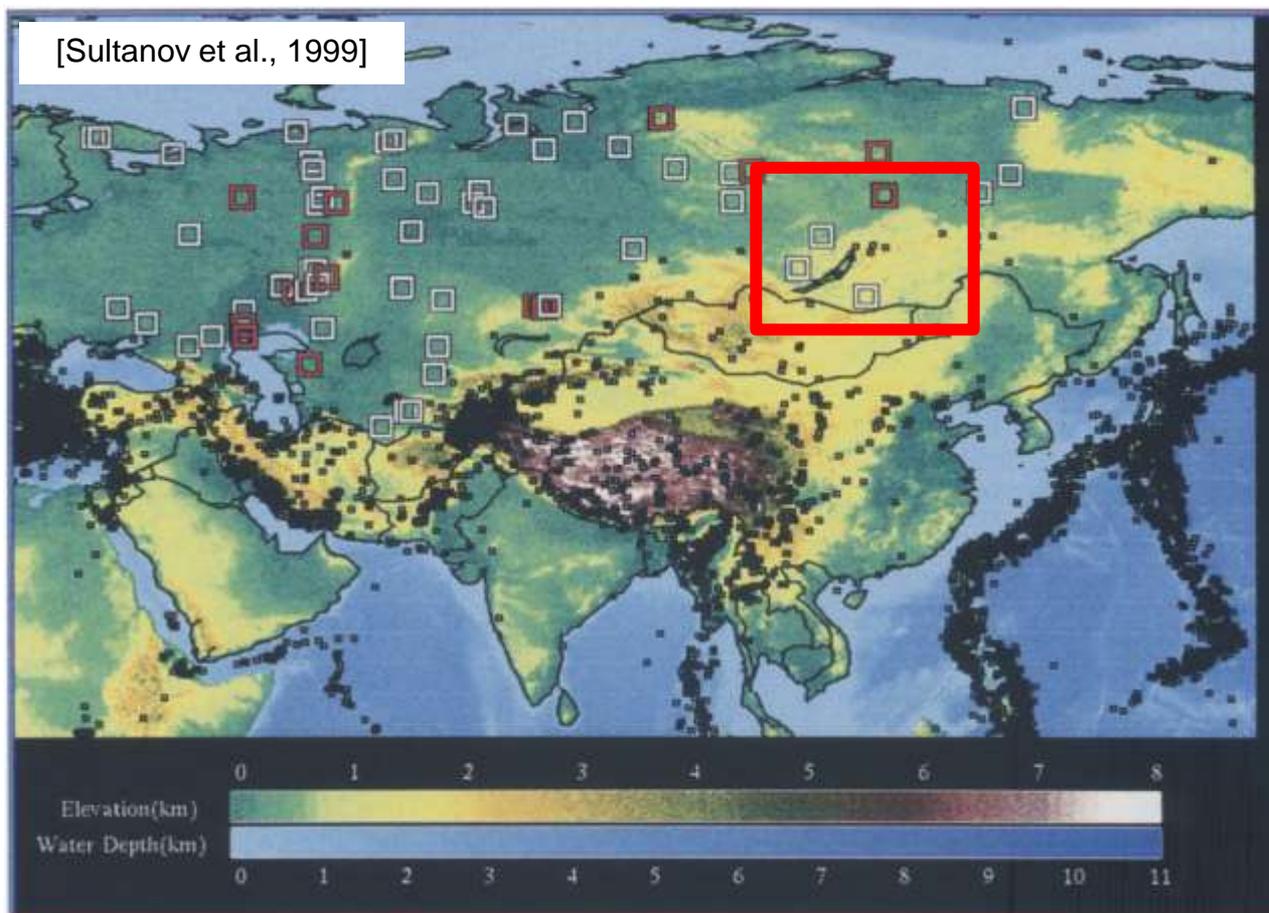
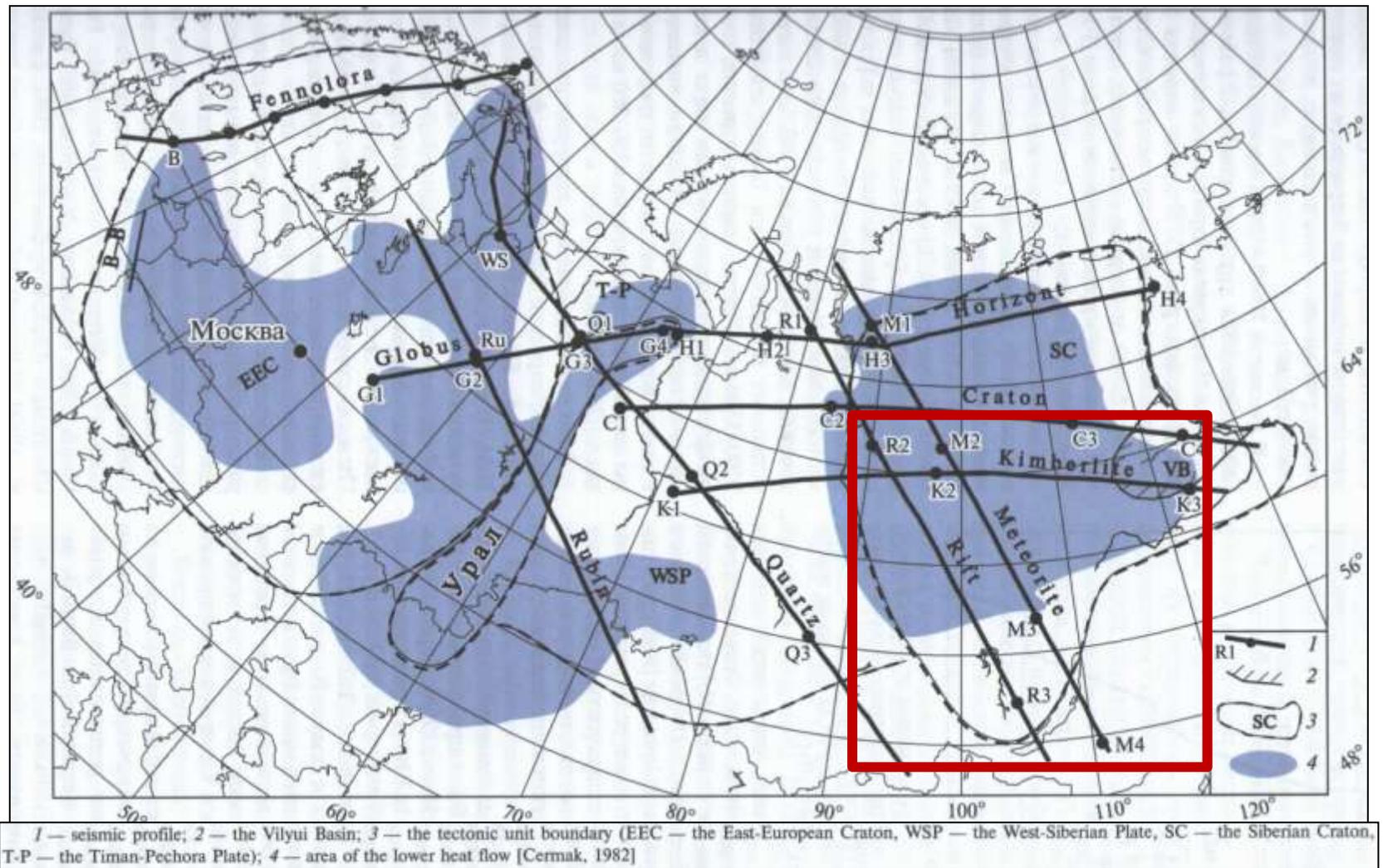
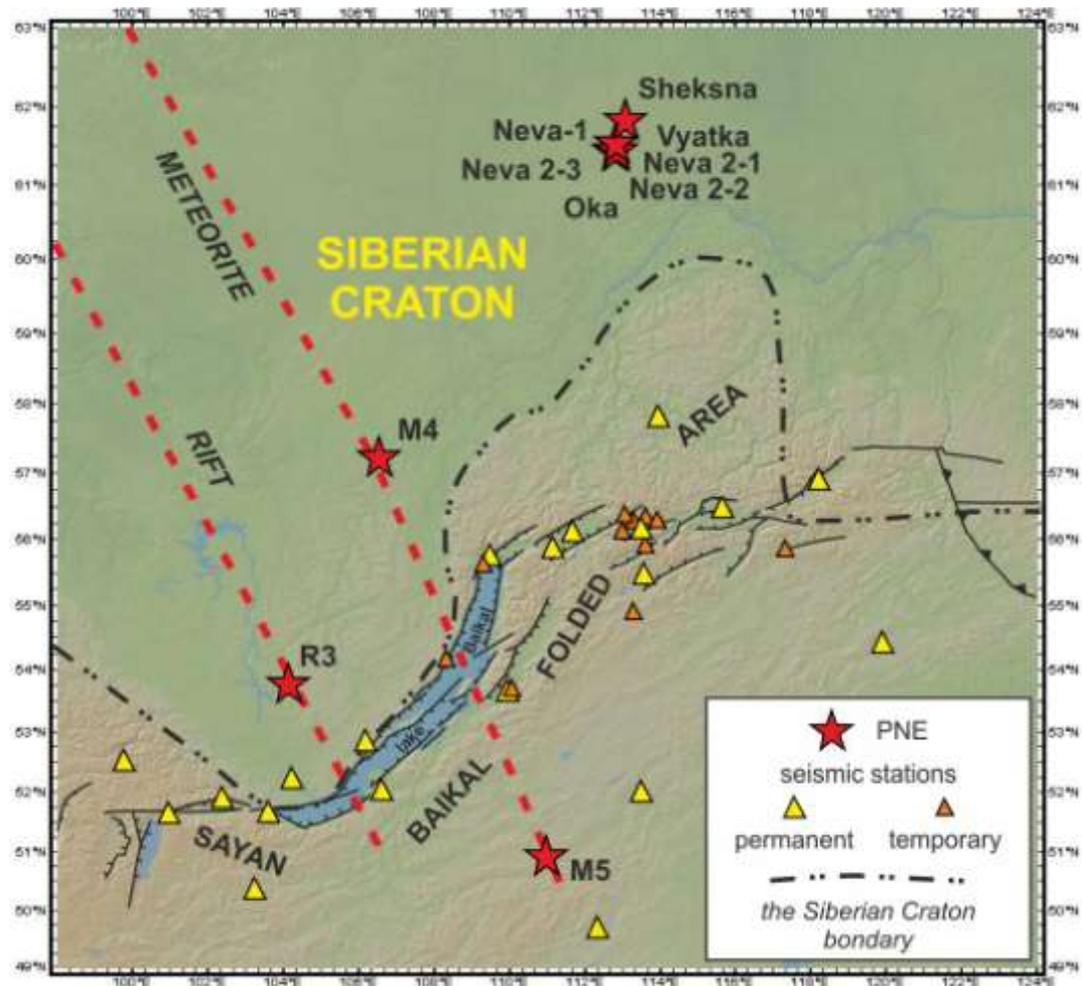


Схема сверхдлинных профилей сейсмического зондирования



Мирные ядерные взрывы в Восточной Сибири и Якутии



Irkutsk region

"Meteorite-4, 5". Deep seismic sounding.
 «Rift-3». Deep seismic sounding.

МОЩНОСТЬ ОТ 3.2 ДО 15 кТ TNT
 (1 кТ of TNT equivalent = $4.184 \cdot 10^{12}$ J)

месяц/день/год время	M	с.ш.	в.д.
Month/Day/Year Time		LAT	LON
11/05/76 04:00:00.0	5.3	61.4580	112.8600
08/10/77 22:00:00.1	5.0	50.9550	110.9820
09/10/77 16:00:00.2	4.8	57.2510	106.5510
10/08/78 00:00:00.0	5.2	61.5500	112.8500
10/07/79 21:00:00.2	5.0	61.8500	113.1000
07/30/82 21:00:00.0	5.0	53.8000	104.1500
10/10/82 05:00:00.2	5.3	61.5500	112.8500
07/07/87 00:00:00.0	5.1	61.5000	112.8500
07/24/87 02:00:00.0	5.1	61.4500	112.8000
08/12/87 01:30:00.5	5.0	61.4500	112.8000

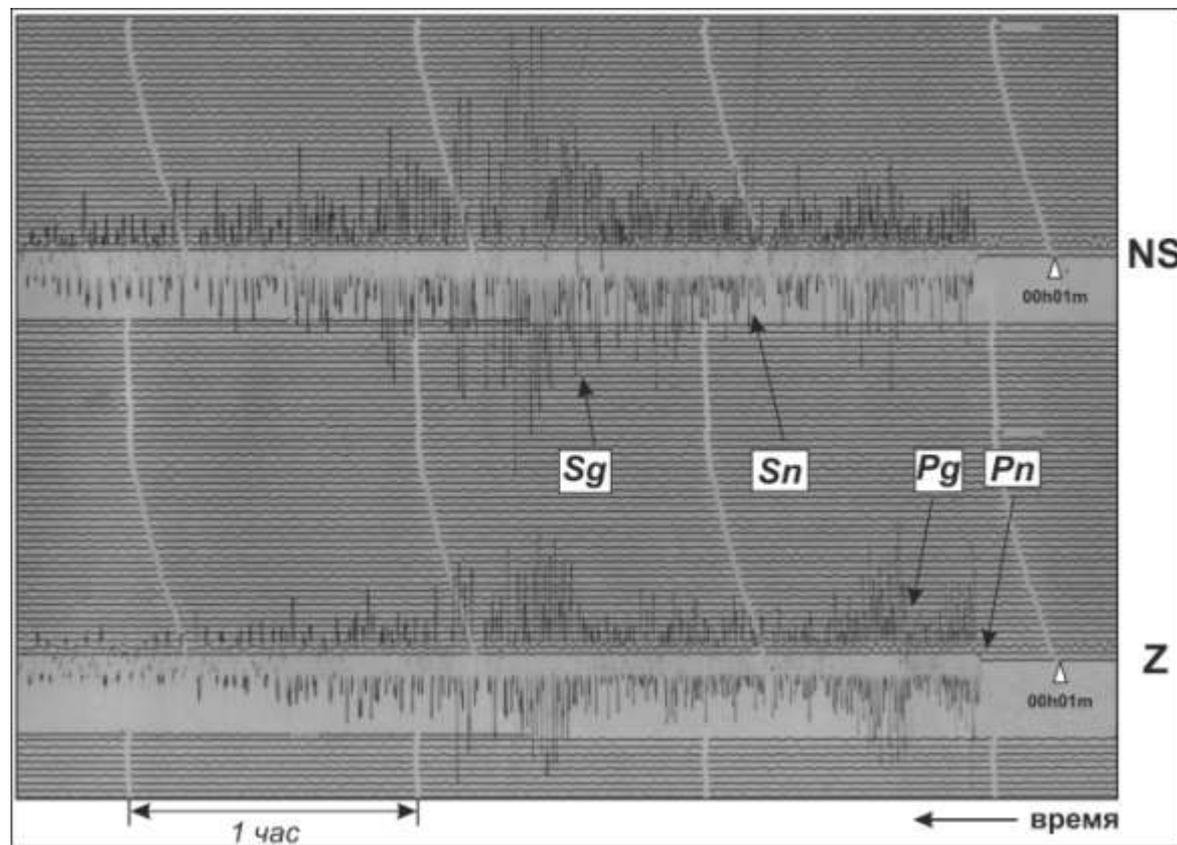
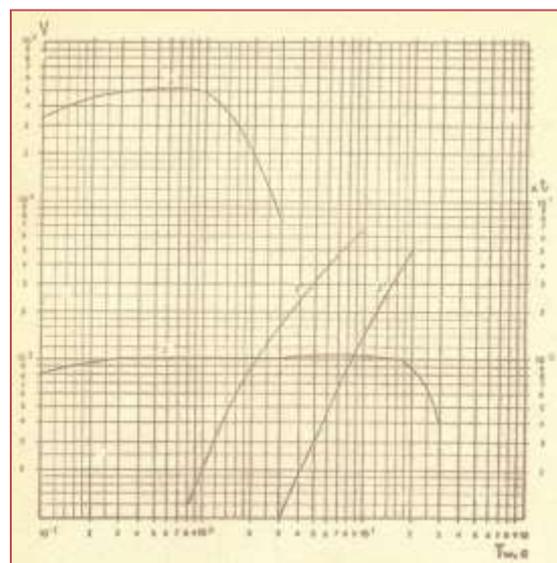
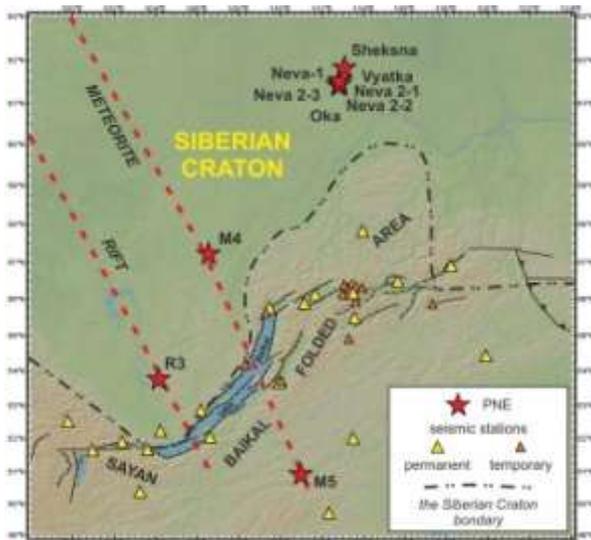
Yakutia

A series of explosions "Oka",
 "Sheksna", "Neva" at
 Srednebotuobinsky oil field.
 Intensification of oil production.
 Deep seismic sounding.
 "Vyatka". Intensification of oil and
 gas production.

Регистрация взрывов

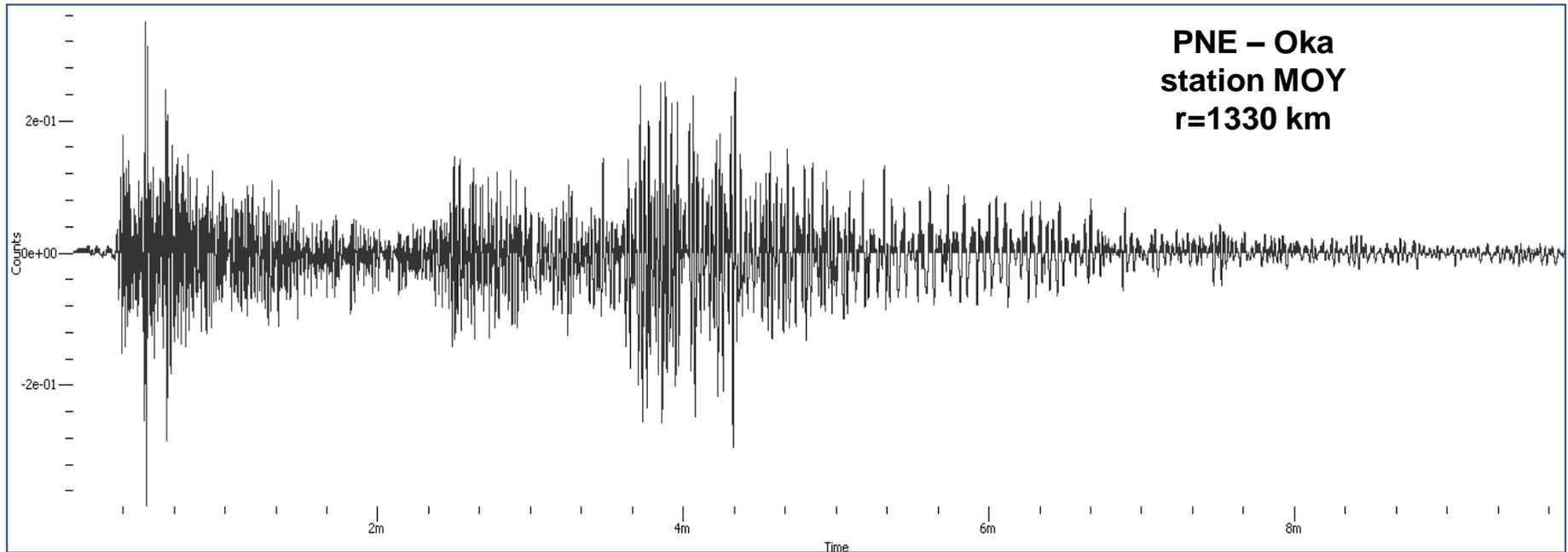
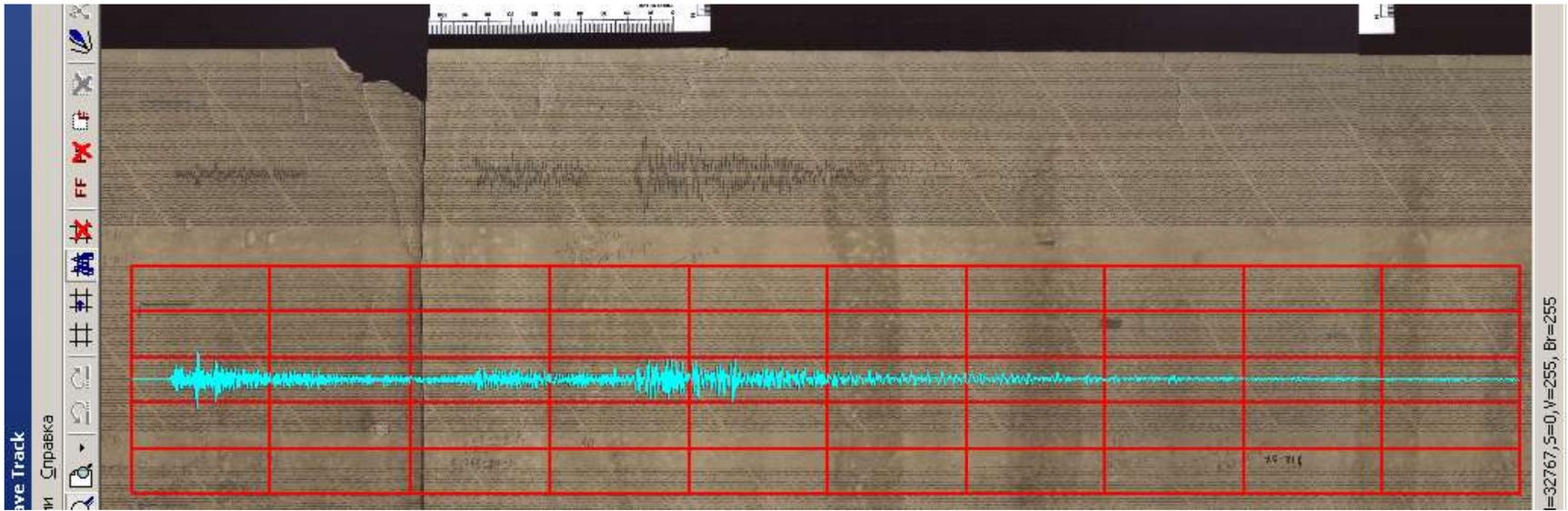
20 permanent and 12 temporary stations
(SCM-3, SKD, VGEK)

distances from 173 to 1407 km



Оцифровка аналоговых сейсмограмм

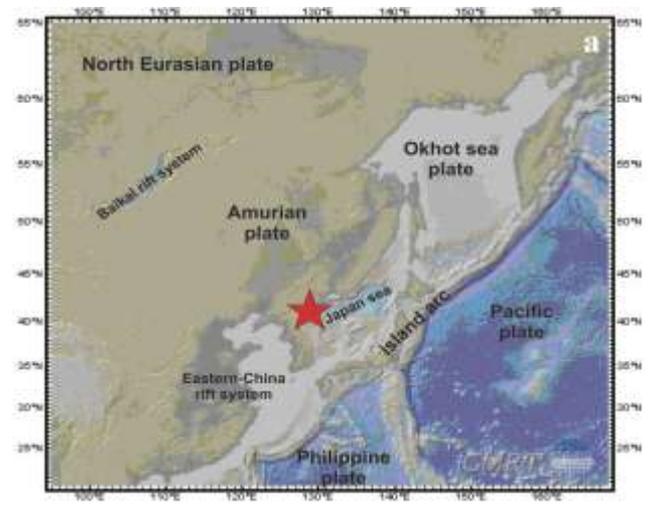
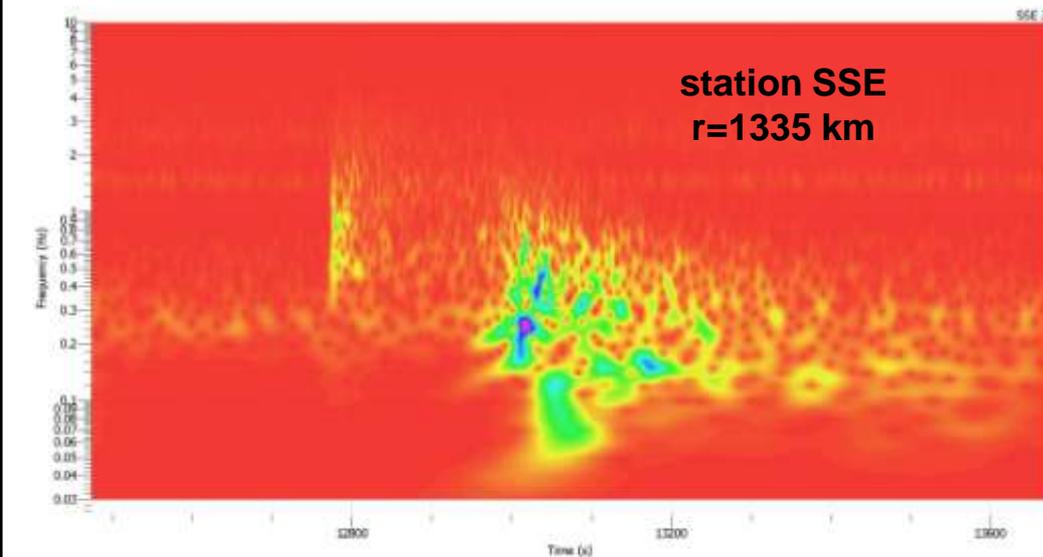
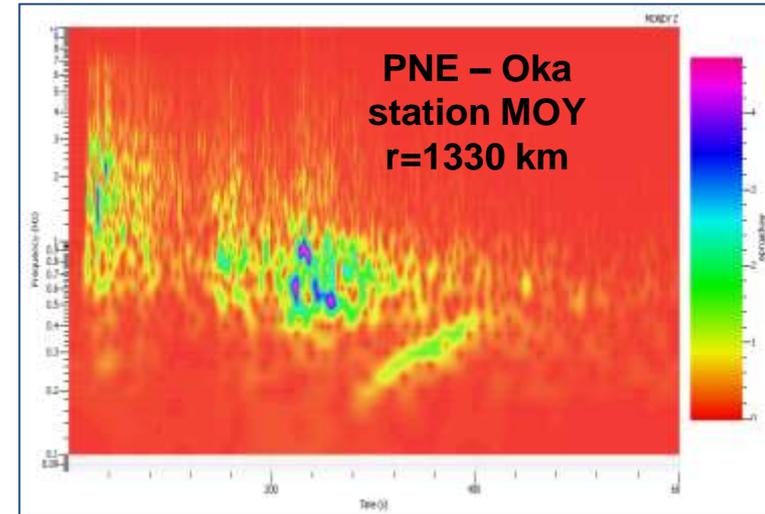
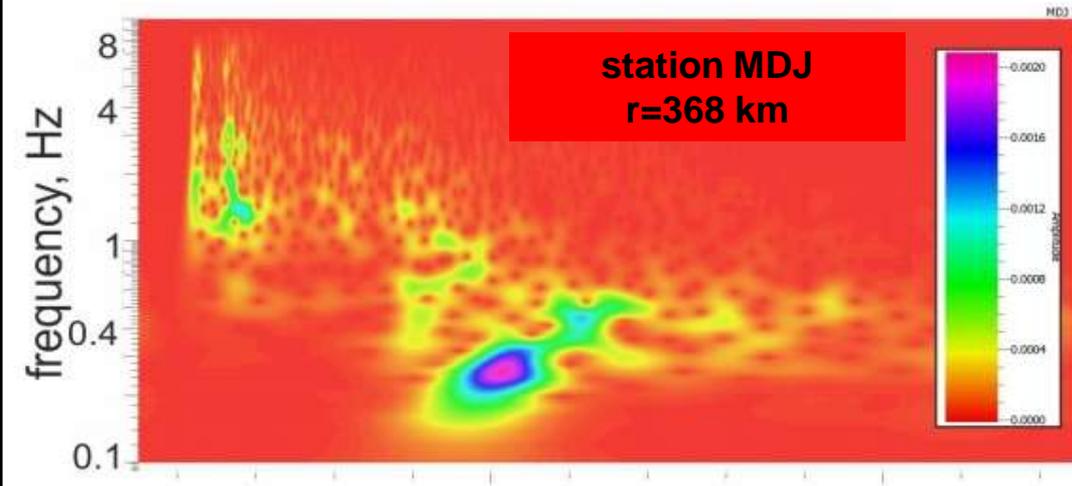
Digitization of the seismic records – program *Wave Track 1.0* by Novosibirsk GIS technology regional center



Якутский и Корейский ядерные взрывы

Digitization of the seismic records – program *Wave Track 1.0* by Novosibirsk GIS technology regional center

North Korean nuclear explosion
03 September, 2017



Оцифрованные сейсмограммы

Неляты ($\Delta=579$ км)

Чара ($\Delta=596$ км)

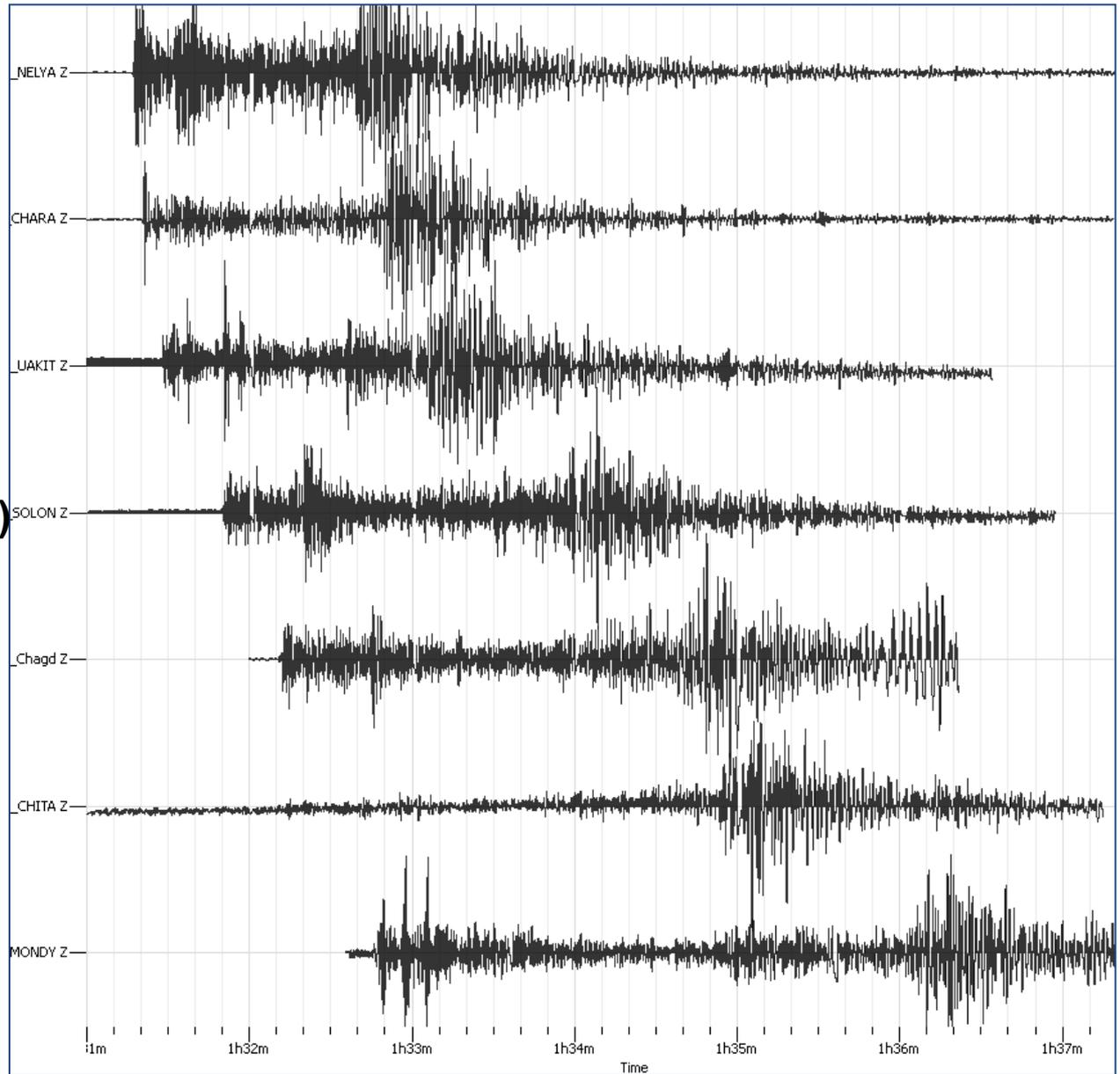
Уакит ($\Delta=669$ км)

Солонцовая ($\Delta=855$ км)

Чагда ($\Delta=1024$ км)

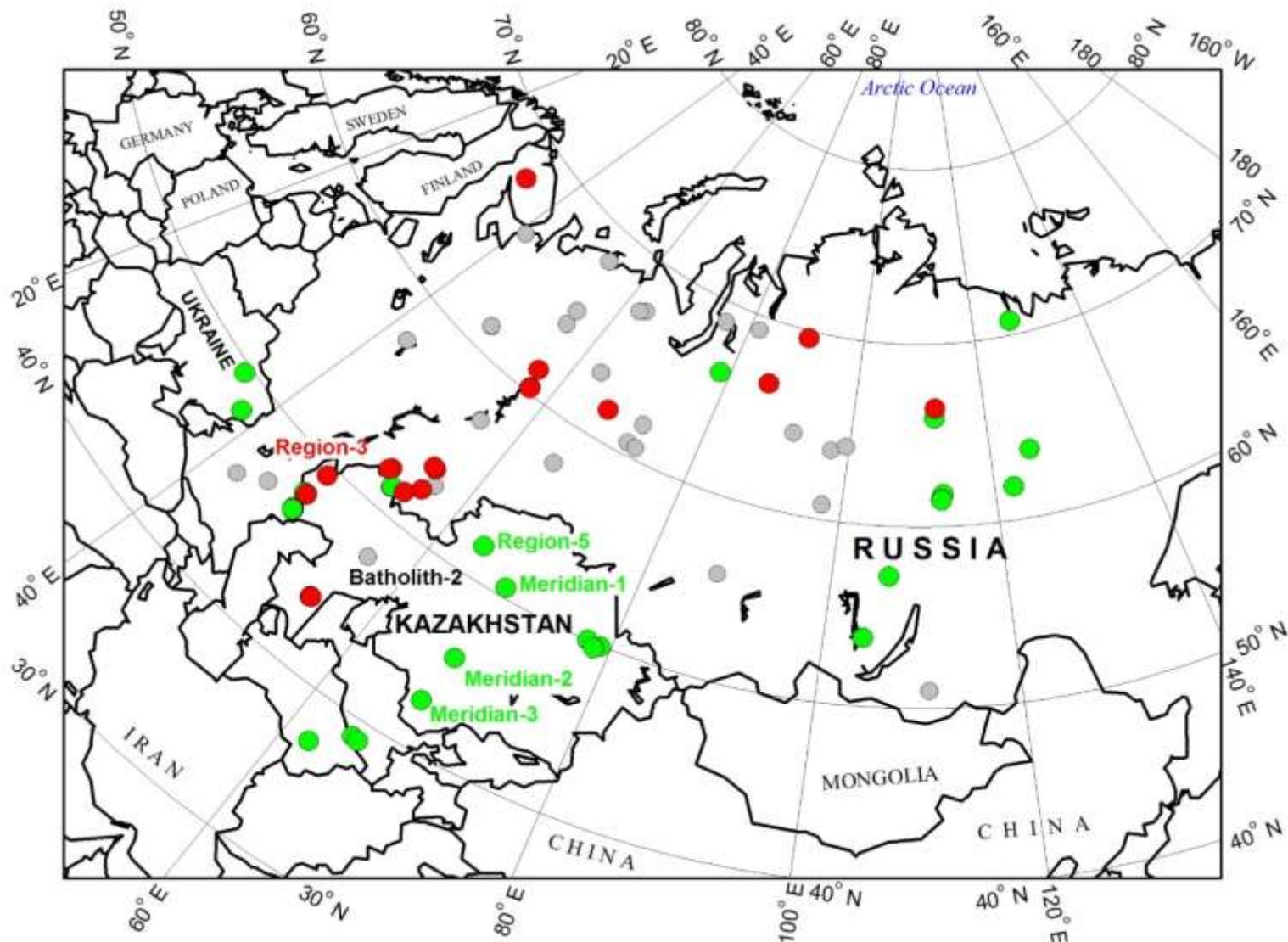
Чита ($\Delta=1053$ км)

Монды ($\Delta=1306$ км)



Уточнение положения эпицентров МЯВ

- Для большинства событий в списке Sultanov et al. (1999) ошибки в отклонении положения эпицентра могут достигать нескольких десятков км.



● [Mackey et al., 2016]

Положение взрыва «РИФТ-3»



Rift-3 Borehole Location

53.7696°N, 104.1048°E

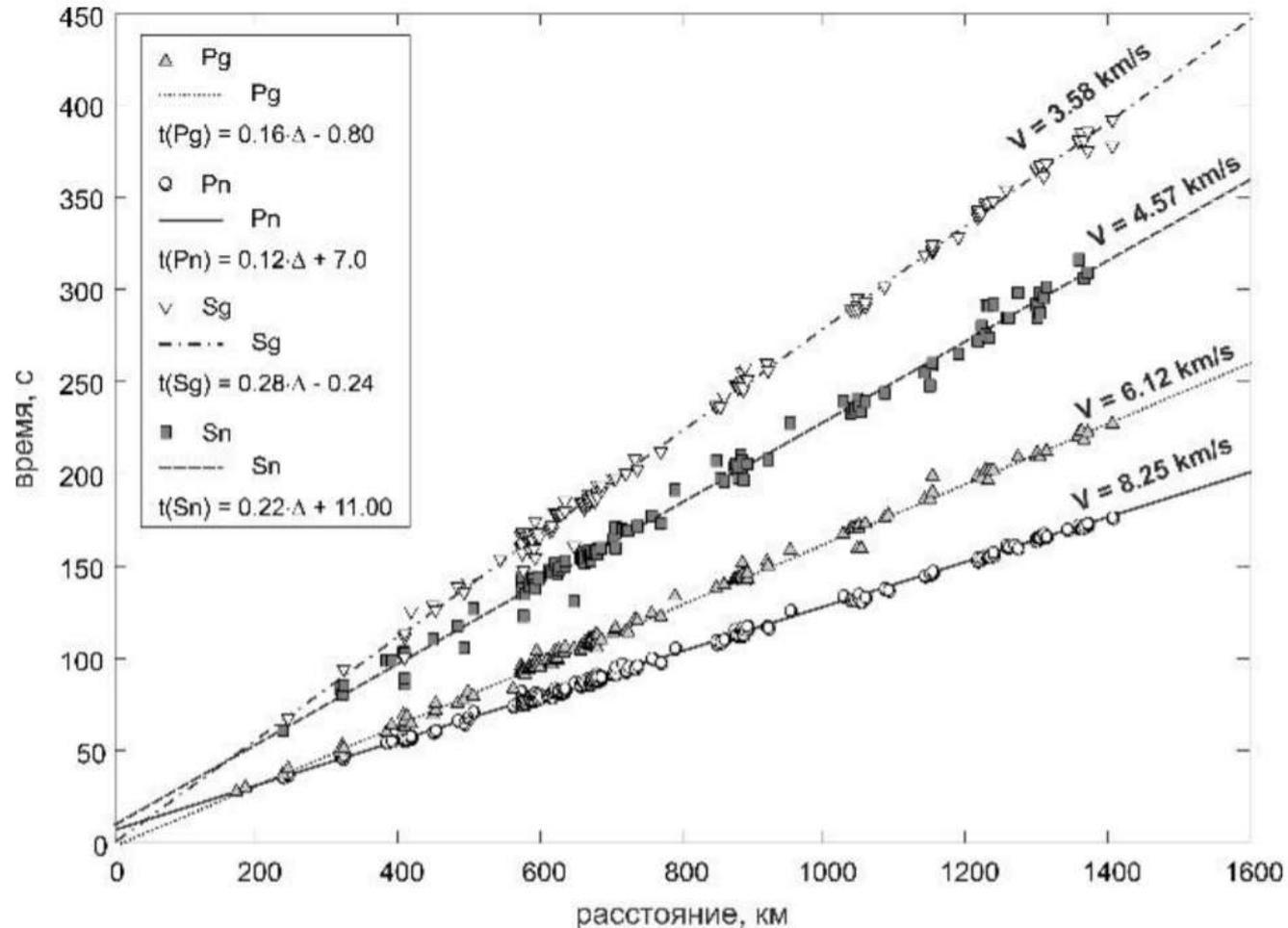
4.52 km from Sultanov's location.

[информация и фотографии из доклада К. Маккея]



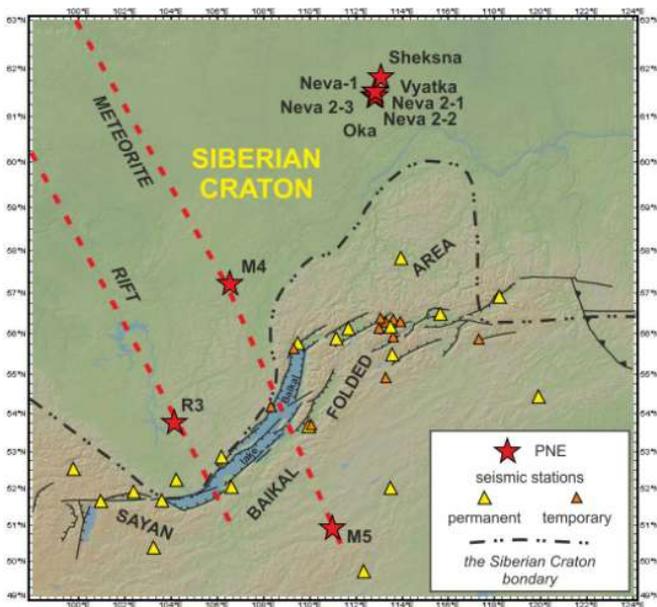
Годографы по волнам от МЯВ

Всего по 10 взрывам было обработано 213 сейсмограмм и получено 582 значения времен прихода сейсмических волн: 154 – Pg, 175 – Pn, 132 – Sg и 121 – Sn.



Velocity of seismic waves in the crust are: $V_{Pg} = 6.12 \pm 0.03 \text{ km/s}$ and $V_{Sg} = 3.58 \pm 0.02 \text{ km/s}$ and in the upper mantle - $V_{Pn} = 8.25 \pm 0.03 \text{ km/s}$, $V_{Sn} = 4.57 \pm 0.03 \text{ km/s}$.

СРЕДНИЕ СКОРОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В КОРЕ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ



$VPg=6.09$ km/s
 $VPn=8.21$ km/s
 $VSg=3.54$ km/s
 $VSn=4.71$ km/s

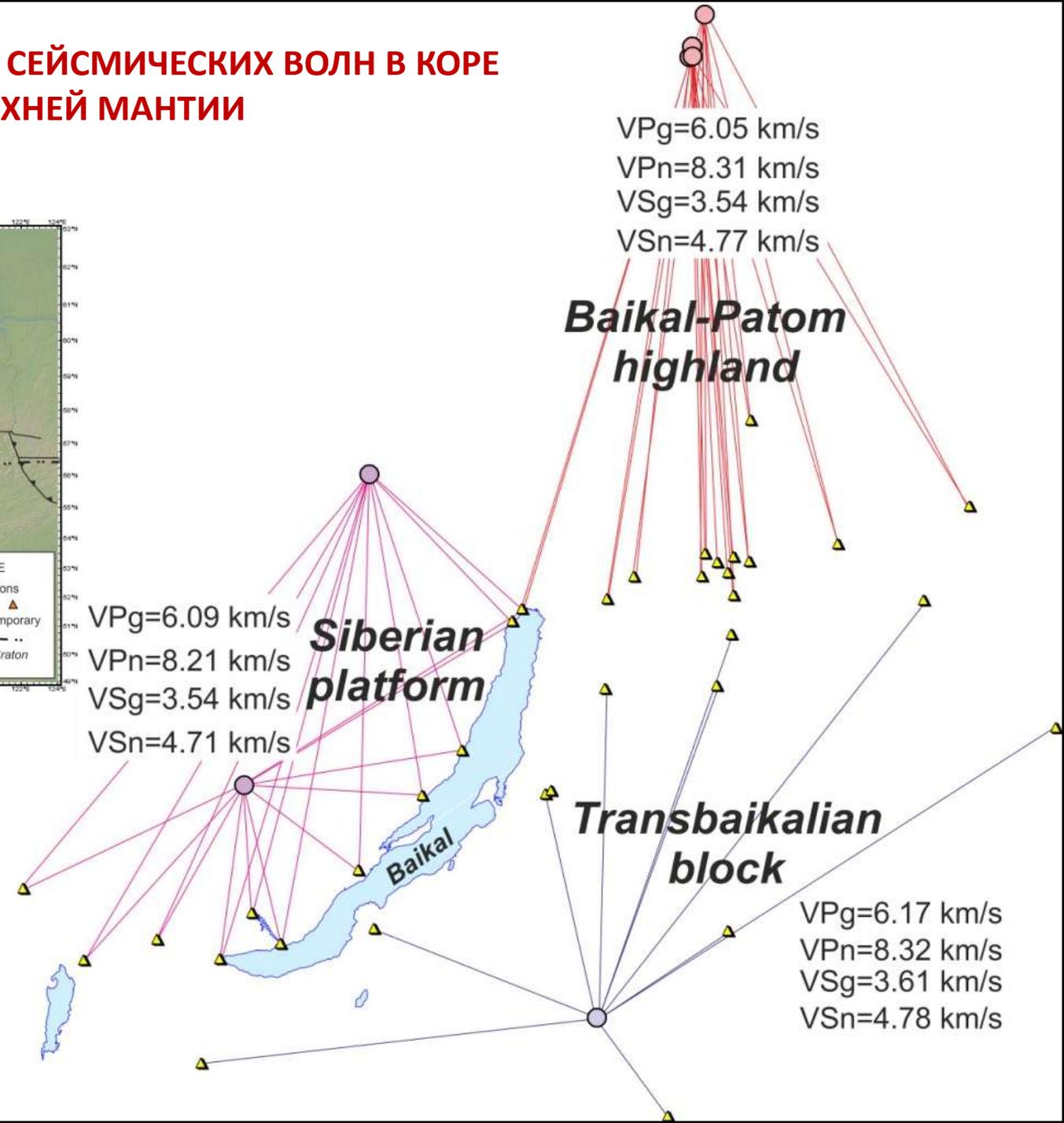
Siberian platform

$VPg=6.05$ km/s
 $VPn=8.31$ km/s
 $VSg=3.54$ km/s
 $VSn=4.77$ km/s

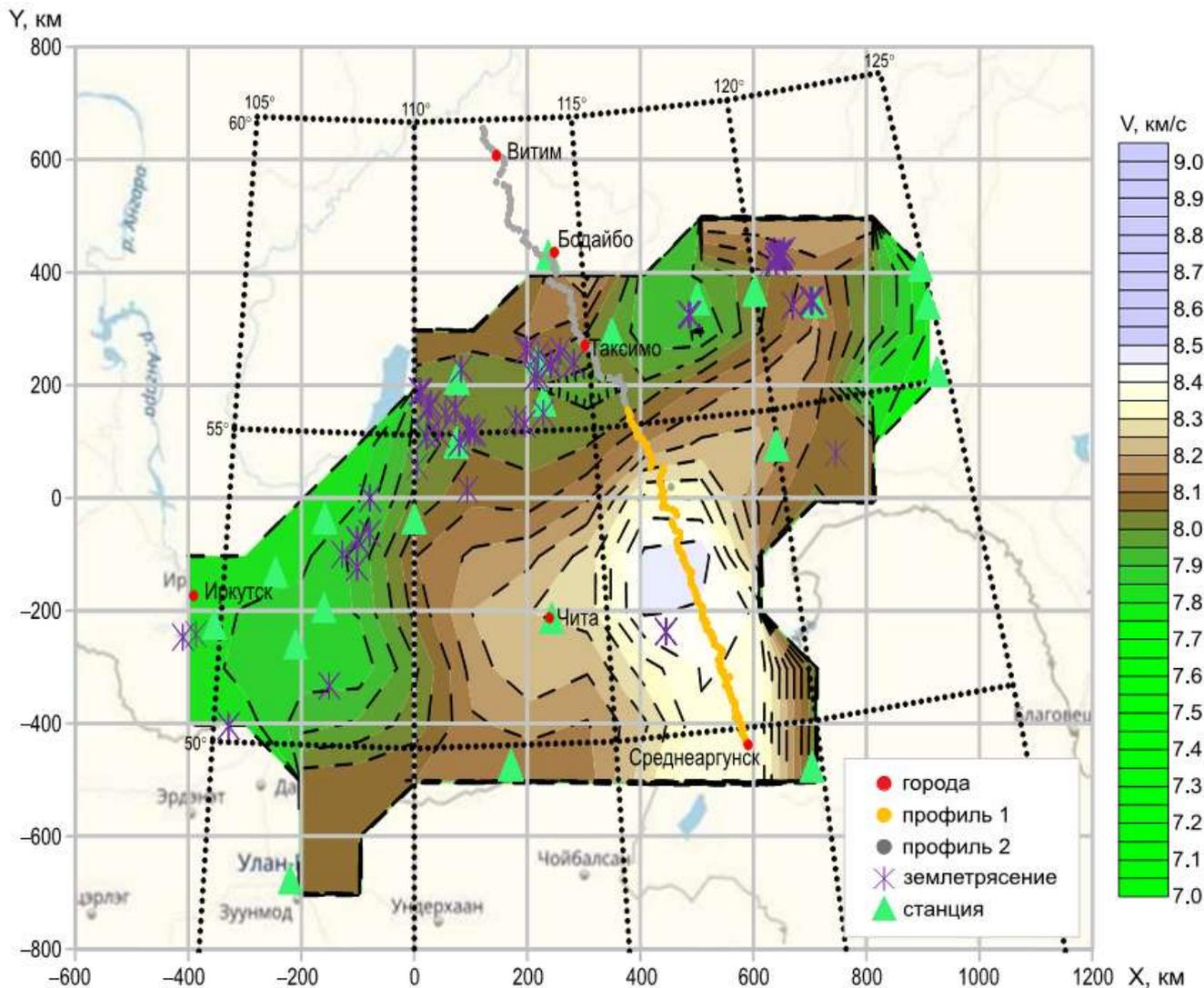
Baikal-Patom highland

Transbaikalian block

$VPg=6.17$ km/s
 $VPn=8.32$ km/s
 $VSg=3.61$ km/s
 $VSn=4.78$ km/s



Средние скорости сейсмических волн в коре и верхней мантии



Siberian platform:

$P_g = 6.09 \pm 0.06$ km/s
 $P_n = 8.21 \pm 0.15$ km/s
 $S_g = 3.54 \pm 0.11$ km/s
 $S_n = 4.71 \pm 0.10$ km/s

Transbaikalian block:

$P_g = 6.17 \pm 0.16$ km/s ,
 $P_n = 8.32 \pm 0.17$ km/s
 $S_g = 3.61 \pm 0.07$ km/s
 $S_n = 4.78 \pm 0.14$ km/s

Baikal-Patom highland and the southern part of the Siberian platform:

$P_g = 6.05 \pm 0.10$ km/s
 $P_n = 8.31 \pm 0.10$ km/s
 $S_g = 3.54 \pm 0.08$ km/s
 $S_n = 4.77 \pm 0.13$ km/s

Средние скорости сейсмических волн в коре и верхней мантии

The P and S wave velocities in the crust and upper mantle of the Siberian craton are

$P_n = 8.313 \text{ km / s}$,

$P_g = 6.158 \text{ km / s}$,

$S_n = 4.695 \text{ km / s}$ and

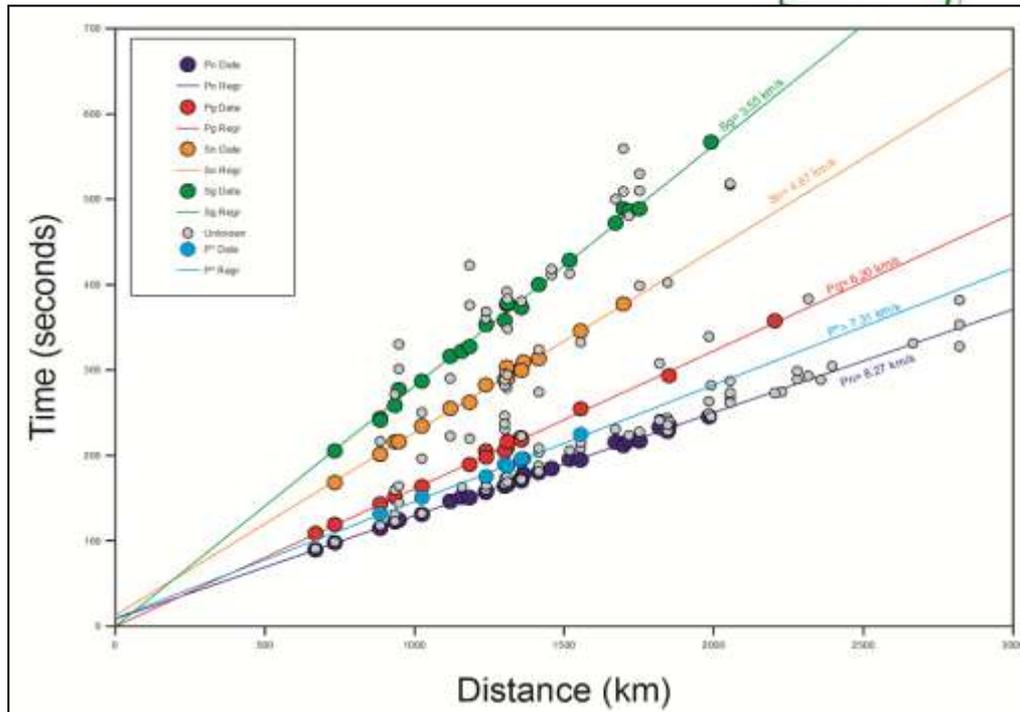
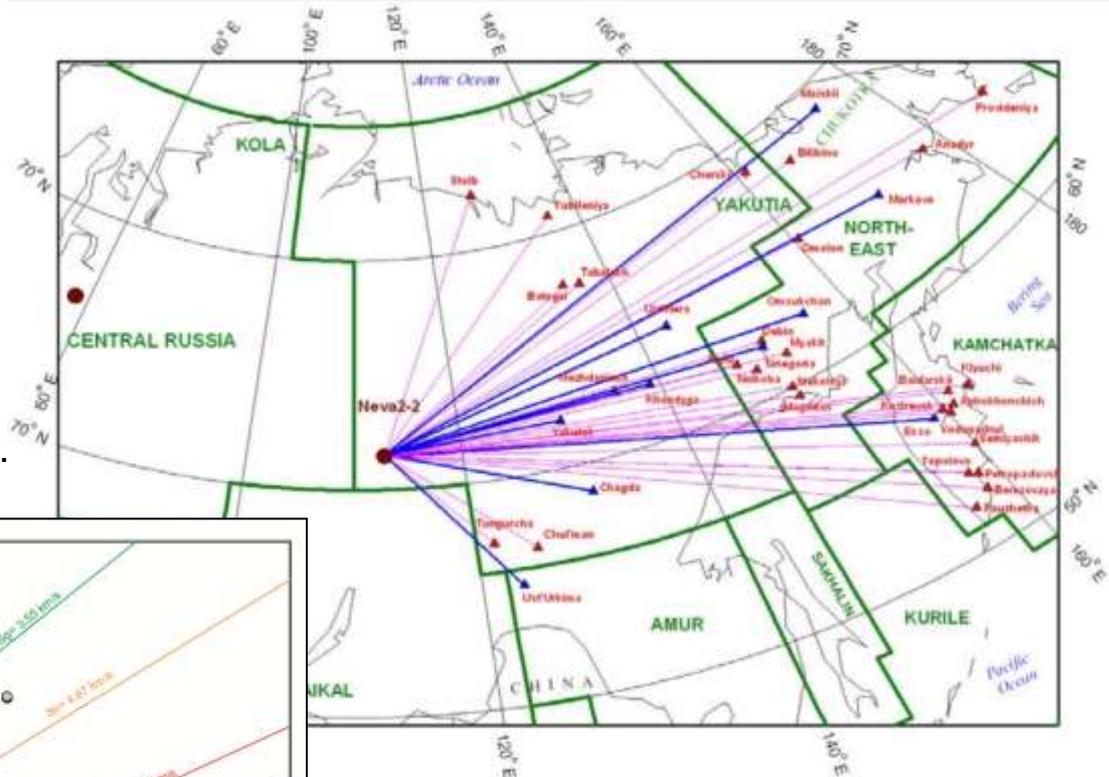
$S_g = 3.594 \text{ km / s}$ [Mackey et al., 2005] and

$P_n = 8.27 \text{ km / s}$,

$P_g = 6.20 \text{ km / s}$,

$S_n = 4.67 \text{ km / s}$

and $S_g = 3.55 \text{ km / s}$ [Burkhard et al., 2016].



The velocities in the upper mantle along the stations of the Baikal region are lower by $\sim 0.2\text{-}0.8\%$ for P waves and by $\sim 0.4\text{-}2.7\%$ for the S waves, in the crust $\sim 0.6\text{-}1.3\%$.

Средние скорости сейсмических волн в коре и верхней мантии

Siberian platform:

$P_g=6.09\pm 0.06$ km/s

$P_n=8.21\pm 0.15$ km/s

Transbaikalian block:

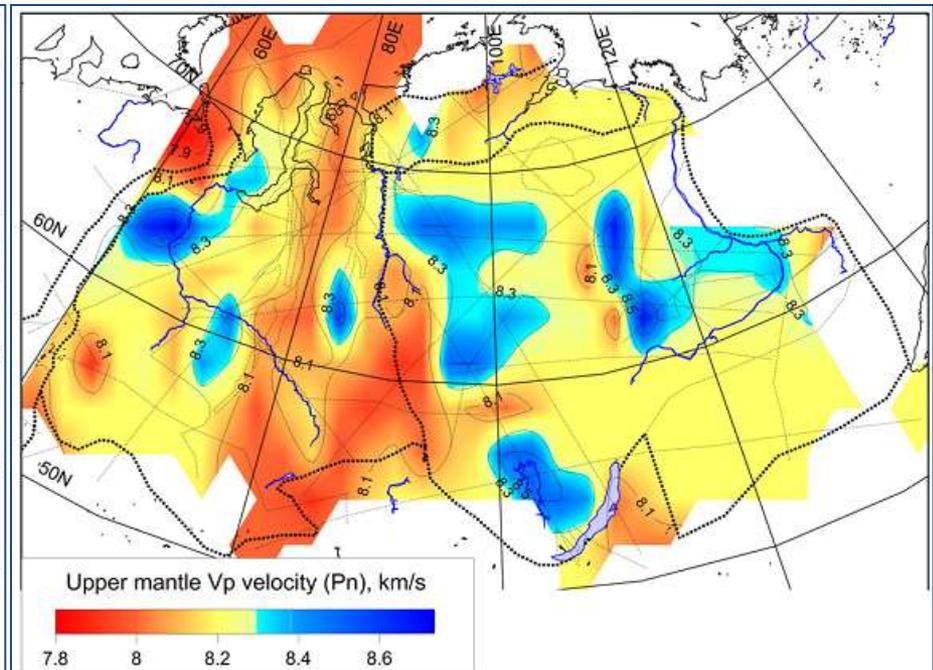
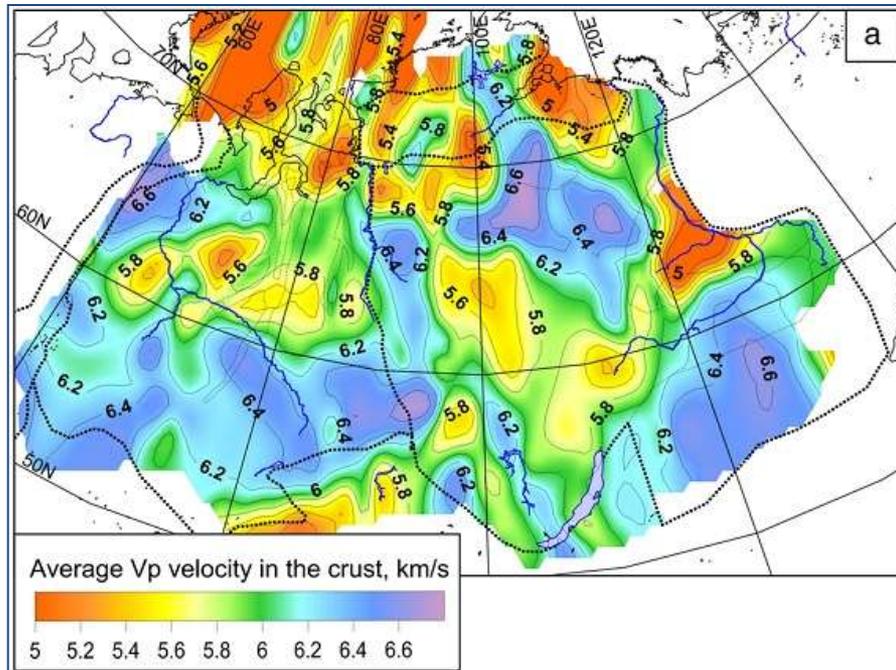
$P_g=6.17\pm 0.16$ km/s ,

$P_n=8.32\pm 0.17$ km/s

Baikal-Patom highland and the southern part of the Siberian platform:

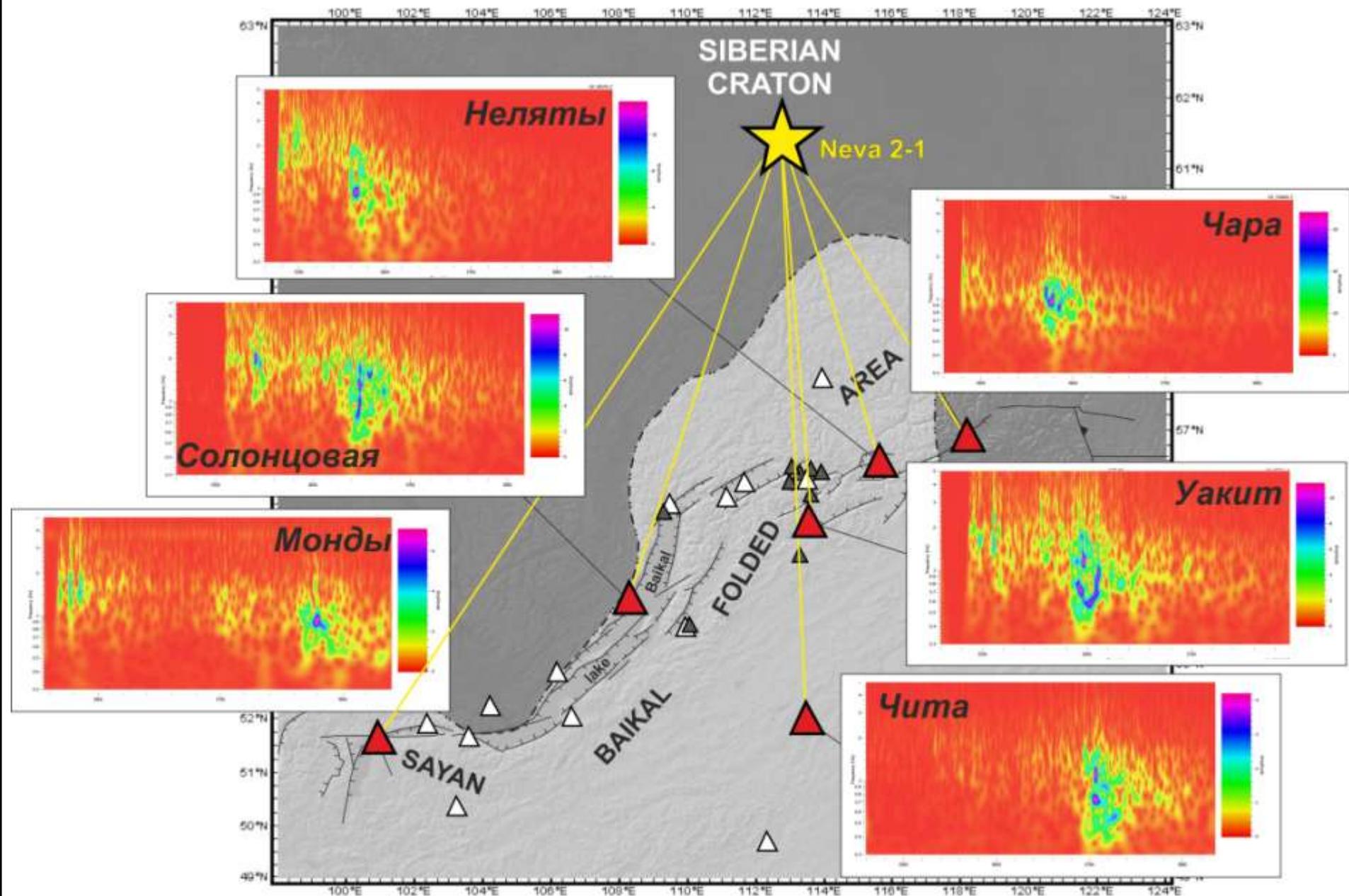
$P_g=6.05\pm 0.10$ km/s

$P_n=8.31\pm 0.10$ km/s

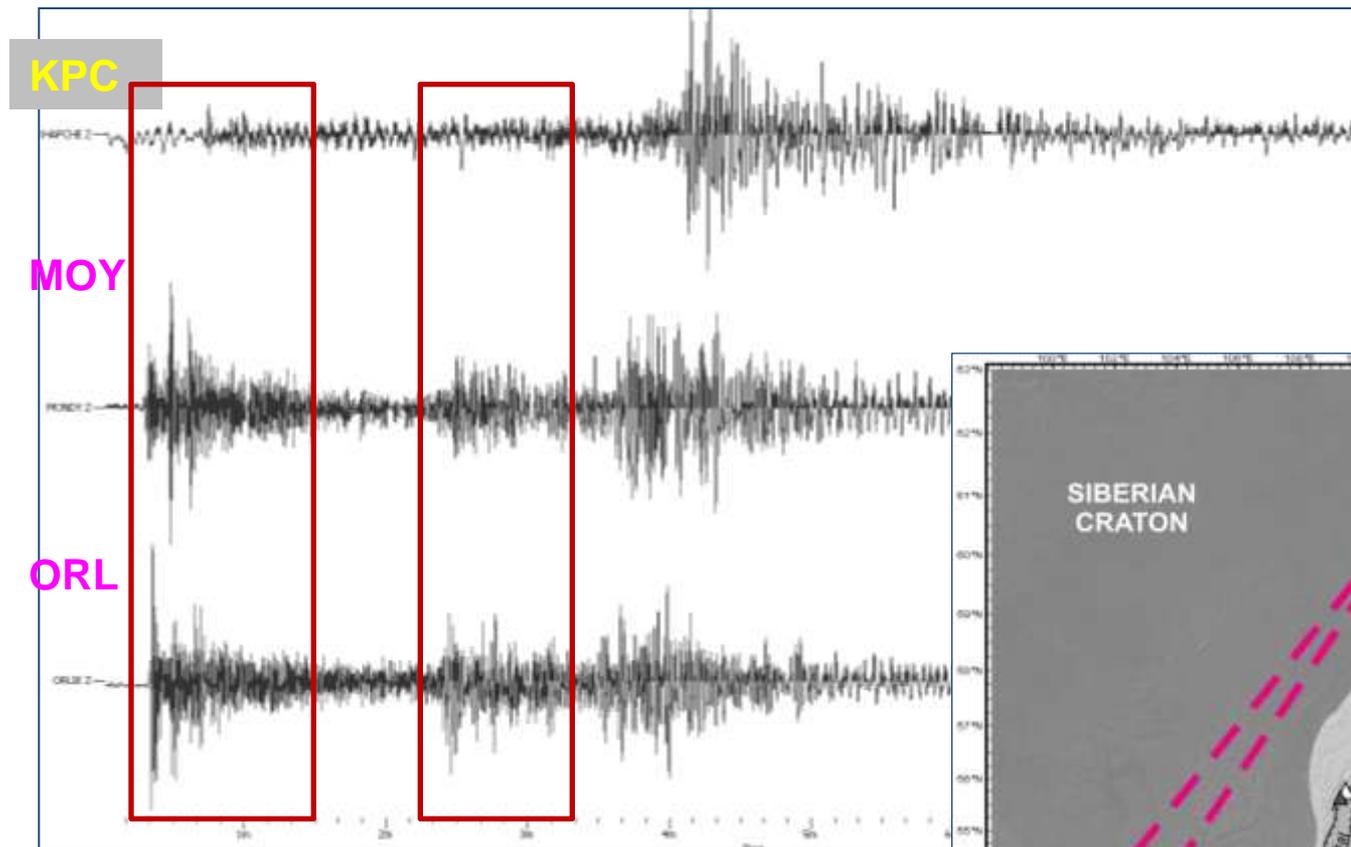


Model SibCrust [Cherepanova et al., 2013]

Зависимость формы сигнала от трассы прохождения

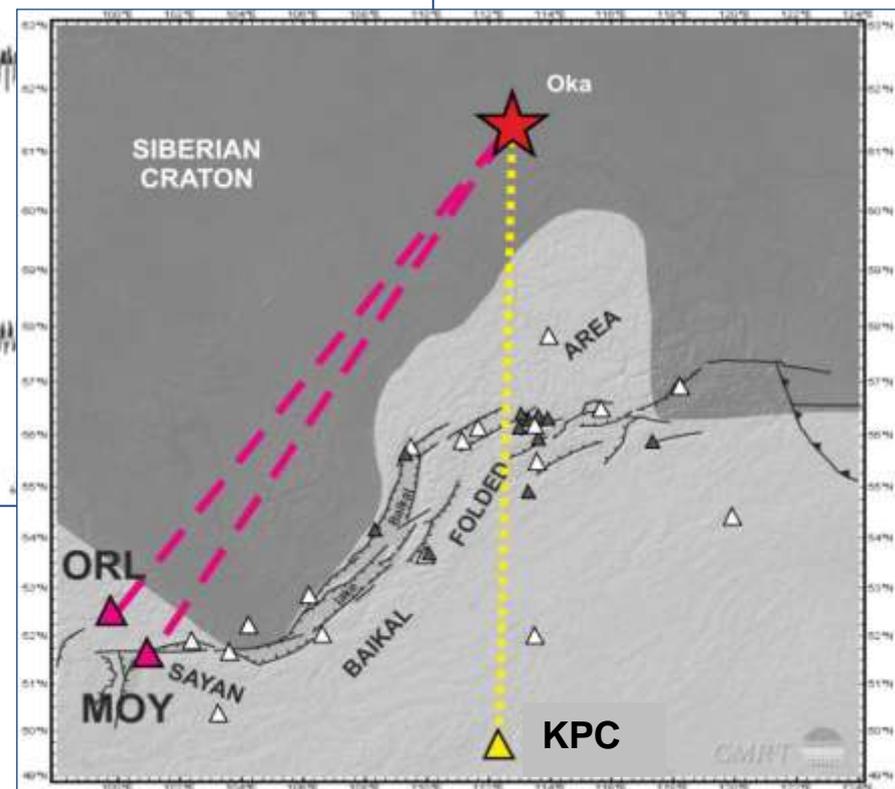


Зависимость формы сигнала от трассы прохождения



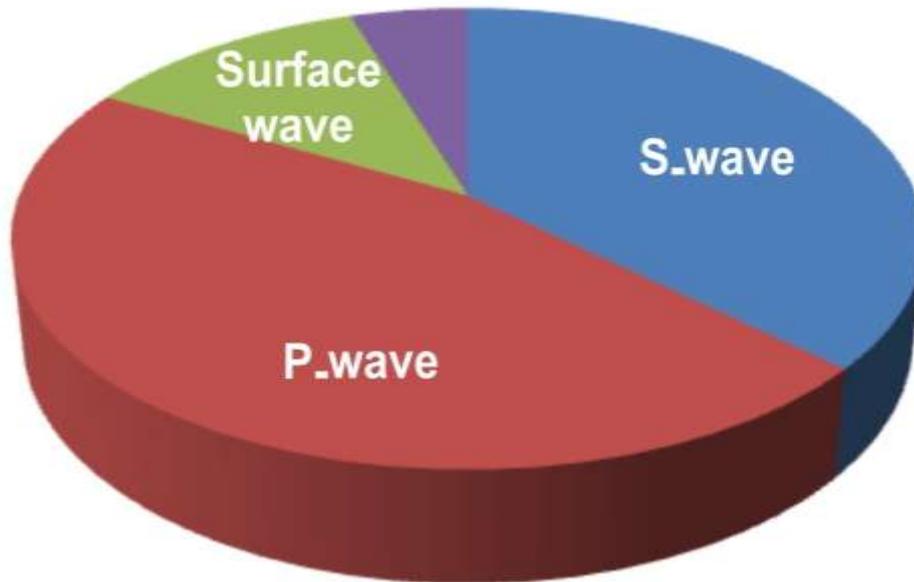
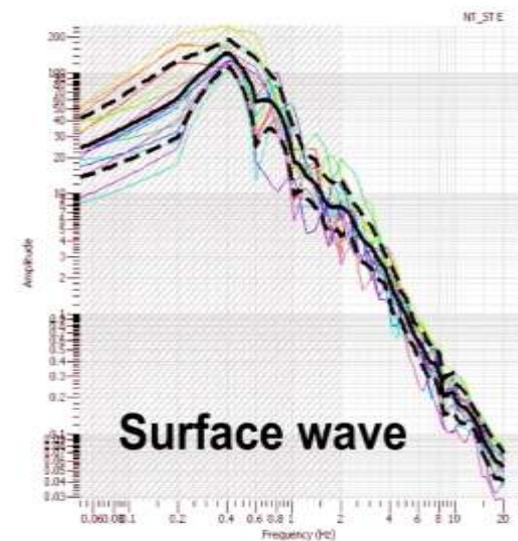
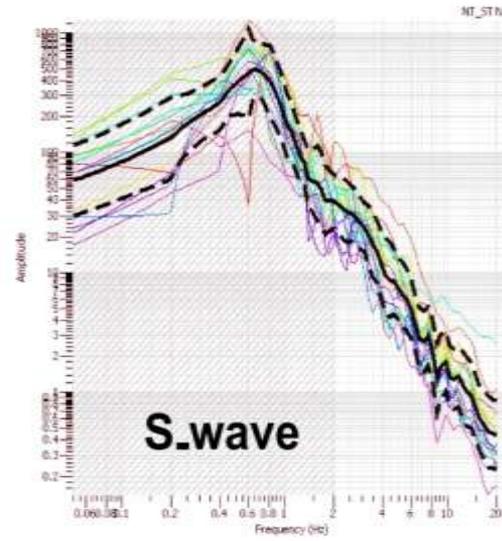
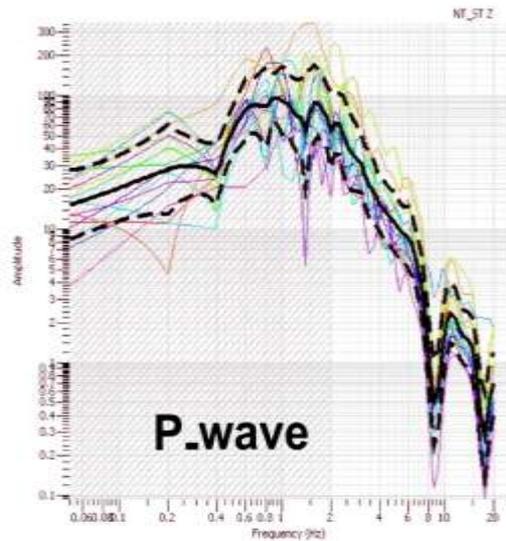
P-waves

S-waves



Сейсмическая энергия и магнитуды взрывов

ядерный взрыв «Ока», мощность 15 кт, M=5.3



Общая сейсмическая энергия
 $E_s = 8.4 \cdot 10^{16}$ Дж

Сейсмический момент:

P: $3.10 \cdot 10^{23}$ дин·см

S: $3.87 \cdot 10^{23}$ дин·см

Surface wave: $1.01 \cdot 10^{23}$ дин·см

Моментная магнитуда:

Mw(P)=4.9

Mw(S)=5.0

Mw(surf)=4.6

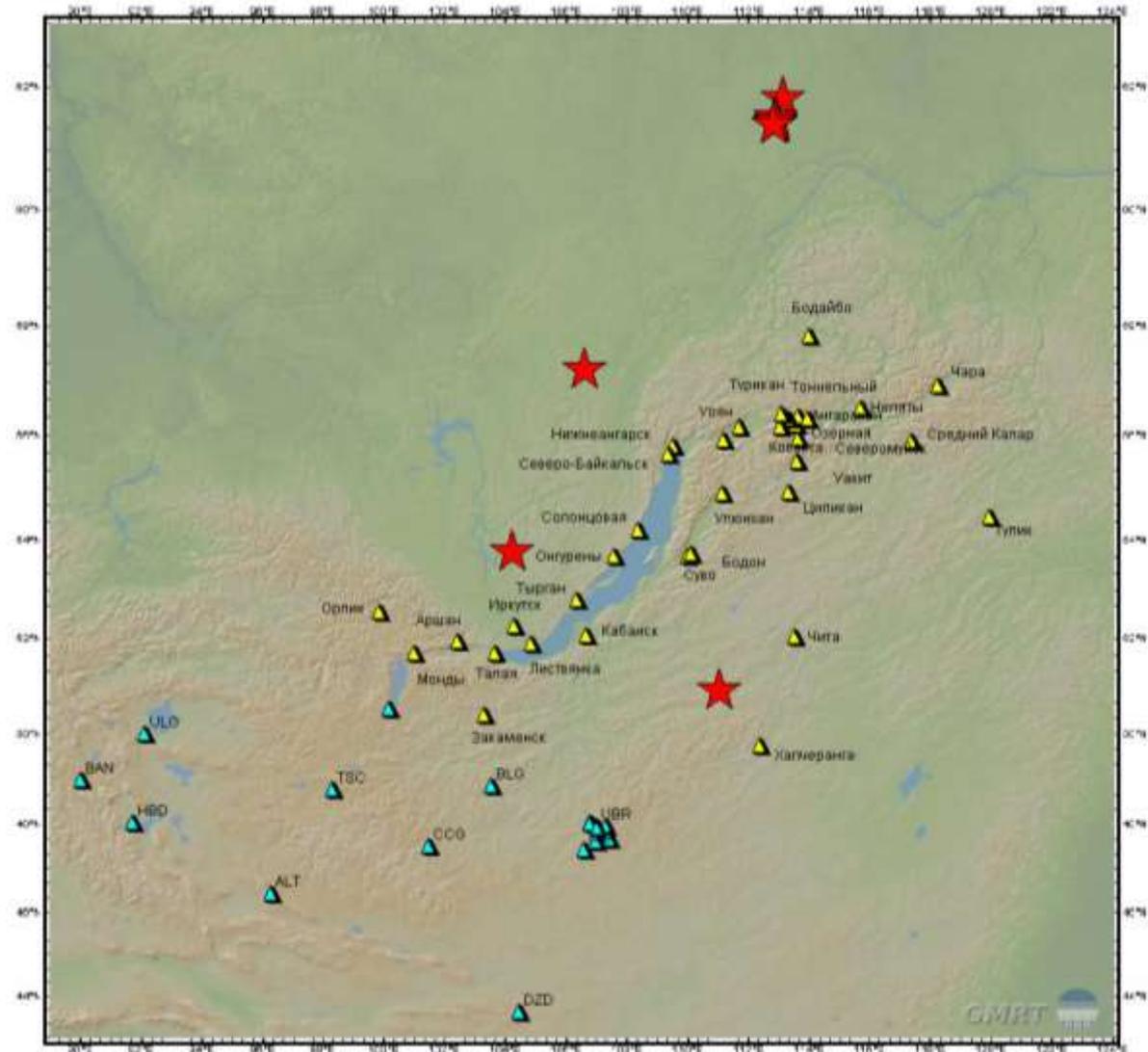
Перспективы дальнейших исследований

Mongolian seismic network:

18 stations (blue triangles)
distance – from 430 km

Future work

- *arrival times*
- relocation of explosion M-5
- velocity of seismic waves
- *seismogram digitization*
- spectral analysis
- seismic energy and magnitudes
- attenuation



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В результате обработки аналоговых сейсмограмм МЯВ, зарегистрированных Байкальской сетью сейсмических станций на расстояниях от 173 до 1407 км, получены данные о временах прихода сейсмических волн Pn, Pg, Sn and Sg.
- Выполнена релокализация эпицентров ядерных взрывов с использованием региональных скоростных моделей.
- Построены региональные годографы прямых и отраженных от границы Мохо продольных и поперечных волн, которые могут быть использованы в дальнейшем для локализации региональных землетрясений и промышленных взрывов.
- Определены скорости сейсмических волн в коре и мантии. По полученным данным хорошо фиксируются пониженные скорости в верхней мантии и высокие – в коре.
- Проводится оцифровка и анализ сейсмограмм взрывов. На основе оцифрованных сейсмограмм будут получены значения магнитуд и общей сейсмической энергии взрывов, оценен их частотный состав.



Спасибо за внимание!