

**СРАВНЕНИЕ ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ МЕТОДОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ВЕРНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА
ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ зданий и
объектов инфраструктуры в сейсмоопасных зонах
Российской Федерации**

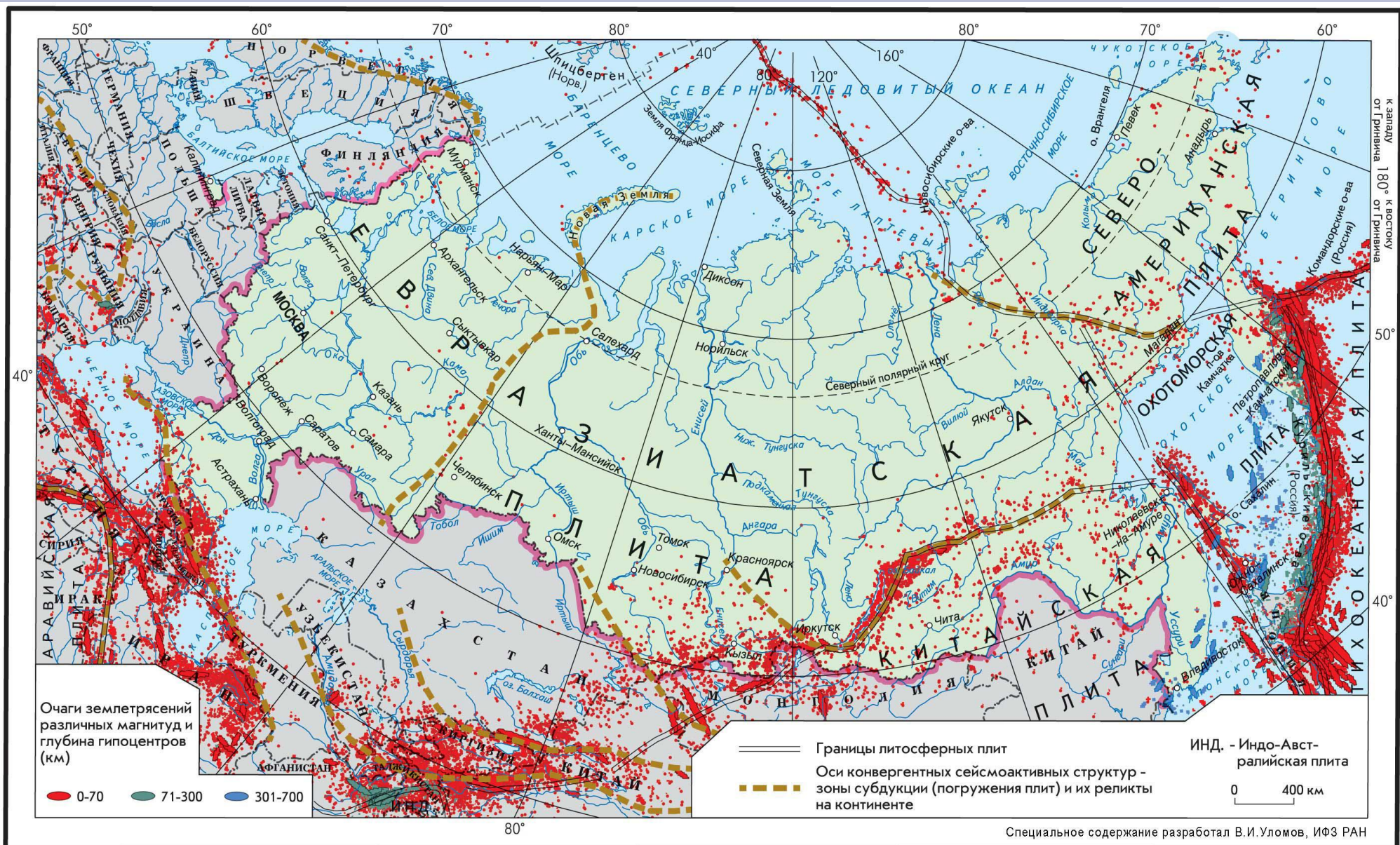
Ильинский Д.А.

Научно-практическая конференция СЕЙСМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ. ИФЗ РАН
23 апреля 2013 г.

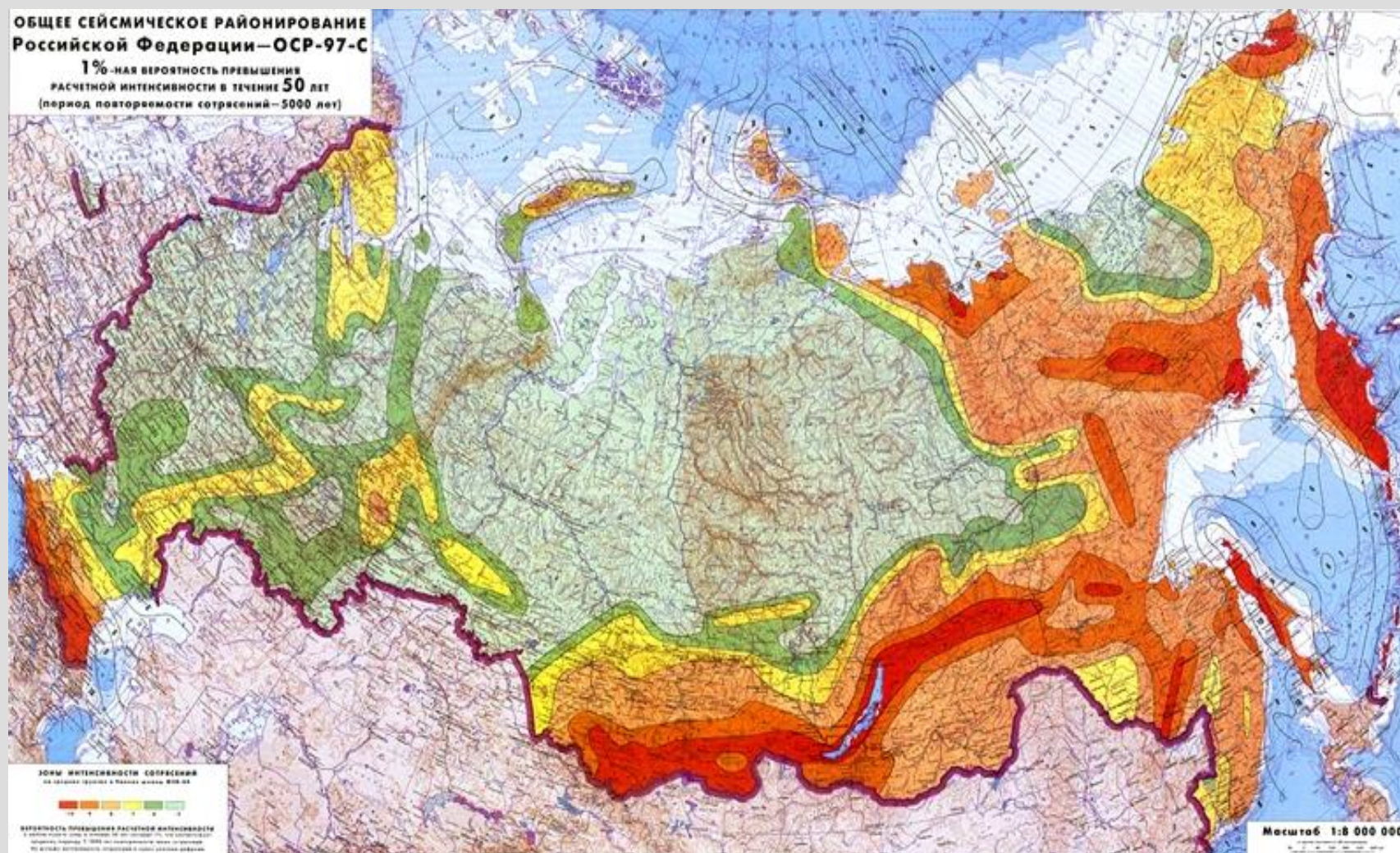
Содержание доклада

- Необходимость исследования свойств грунтов для уточнение локальной сейсмической опасности
- Методы используемые для исследования верхней части разреза
- Примеры оценки сейсмической опасности на различных объектах в сейсмоопасных зонах

Сейсмическая опасность в Российской Федерации. Распределение землетрясений



Карта сейсмического районирования территории РФ представляет собой комплект из трех карт (масштаб 1: 2 500 000), которые позволяют оценивать сейсмическую опасность территории в зависимости от категории ответственности и срока службы объектов строительства и отражают расчетную интенсивность I_T сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64



Уточнение возможного сейсмического воздействия на площадку существующего или проектируемого искусственного сооружения

Цель

- Расчет акселерограмм ожидаемых сейсмических воздействий.

Методология

- Выбор нескольких сценарных землетрясения с периодом повторяемости 1000 лет, что соответствует карте ОСР-97В
- Для выбранных землетрясений рассчитываются синтетические акселерограммы, по которым оцениваются средние значения максимальных ускорений, максимальных скоростей, средние спектры колебаний
- По пиковым ускорениям определяется бальность сейсмической интенсивности в данном исследуемом месте

Результат

Уточненная бальность является одной из основных характеристик при проектировании и строительстве новых сооружений

Влияние локальных поверхностных условий

Факторы влияющие на интенсивность сейсмических колебаний

- Энергии сценарного землетрясения
- Близость очага к объекту исследований
- Глубина очага
- Строение верхней части разреза

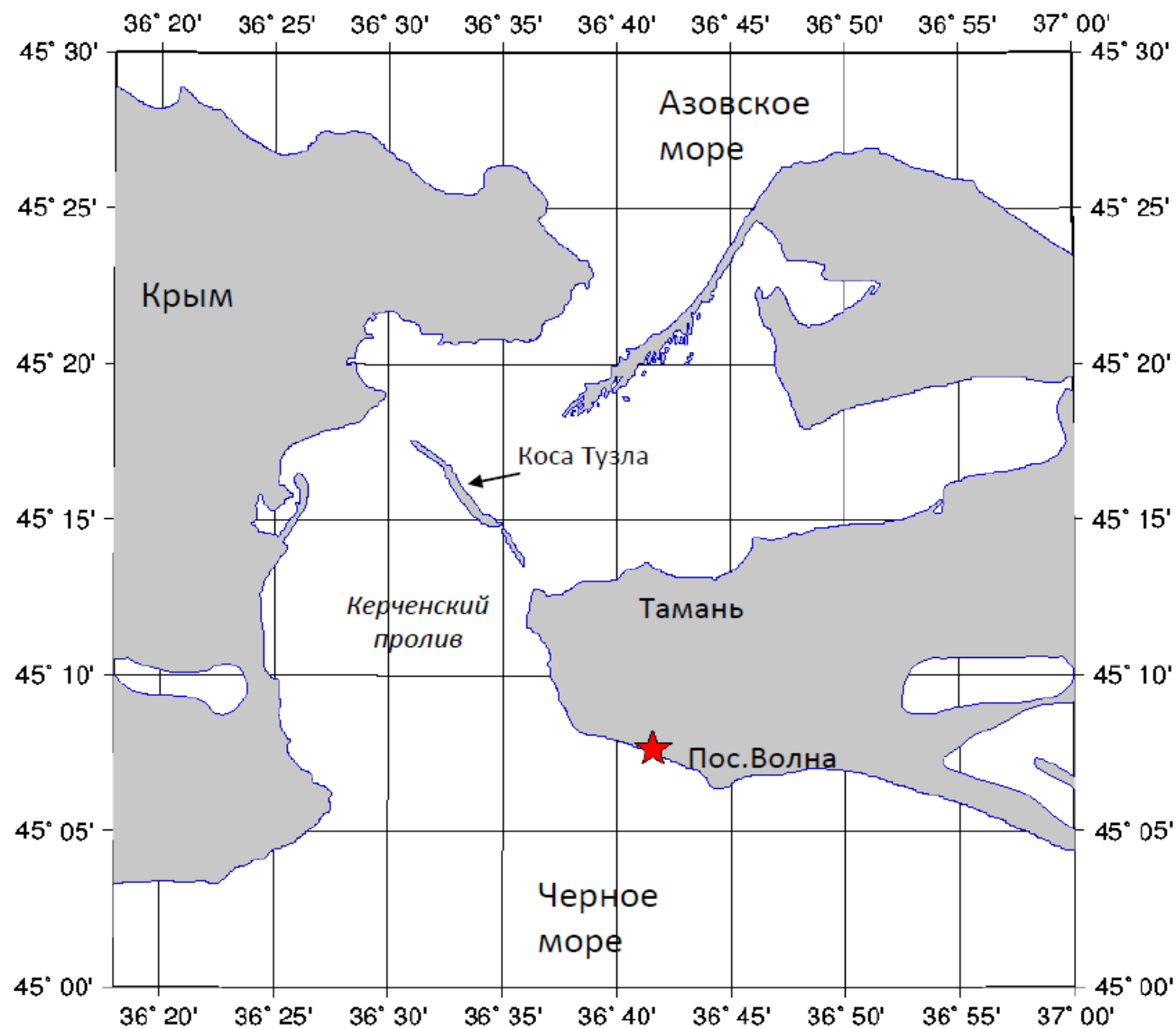
Одно и то же землетрясение разрушает здания и сооружения стоящие на слабых грунтах и почти не причиняет вреда для объектов находящихся на скальном основании

Яркий пример – Афинское землетрясение 7 сентября 1999 года, когда целые кварталы домов расположенных на мягких грунтах были разрушены, в то время как Афинский акрополь стоящий на скале не получил заметных разрушений.

Методы исследования верхней части разреза

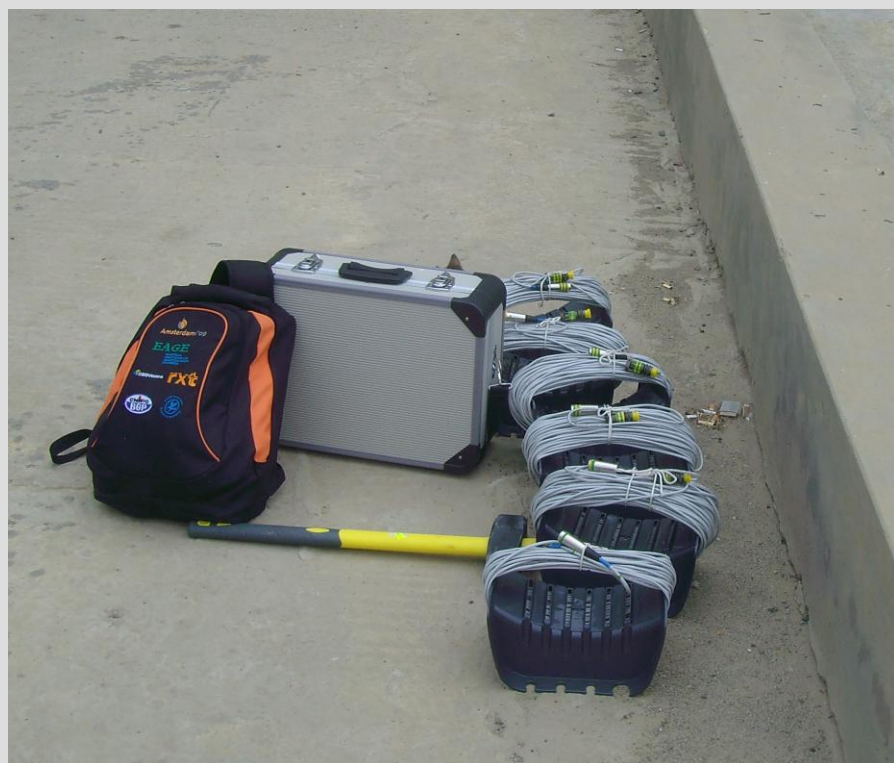
- Активная расстановка сейсмоприемников на линии 50 - 100 м с
 - Источник излучений – 5кг кувалда
 - Получение разрезов Р и S волн
-
- Пассивный автокорреляционный метод – круговая расстановка сейсмоприемников с несколькими радиусами –
 - получение разрезов S волн с большей глубиной

Определение сейсмических скоростей верхней части разреза для оценки сейсмического риска в районе строительства Таманского порта

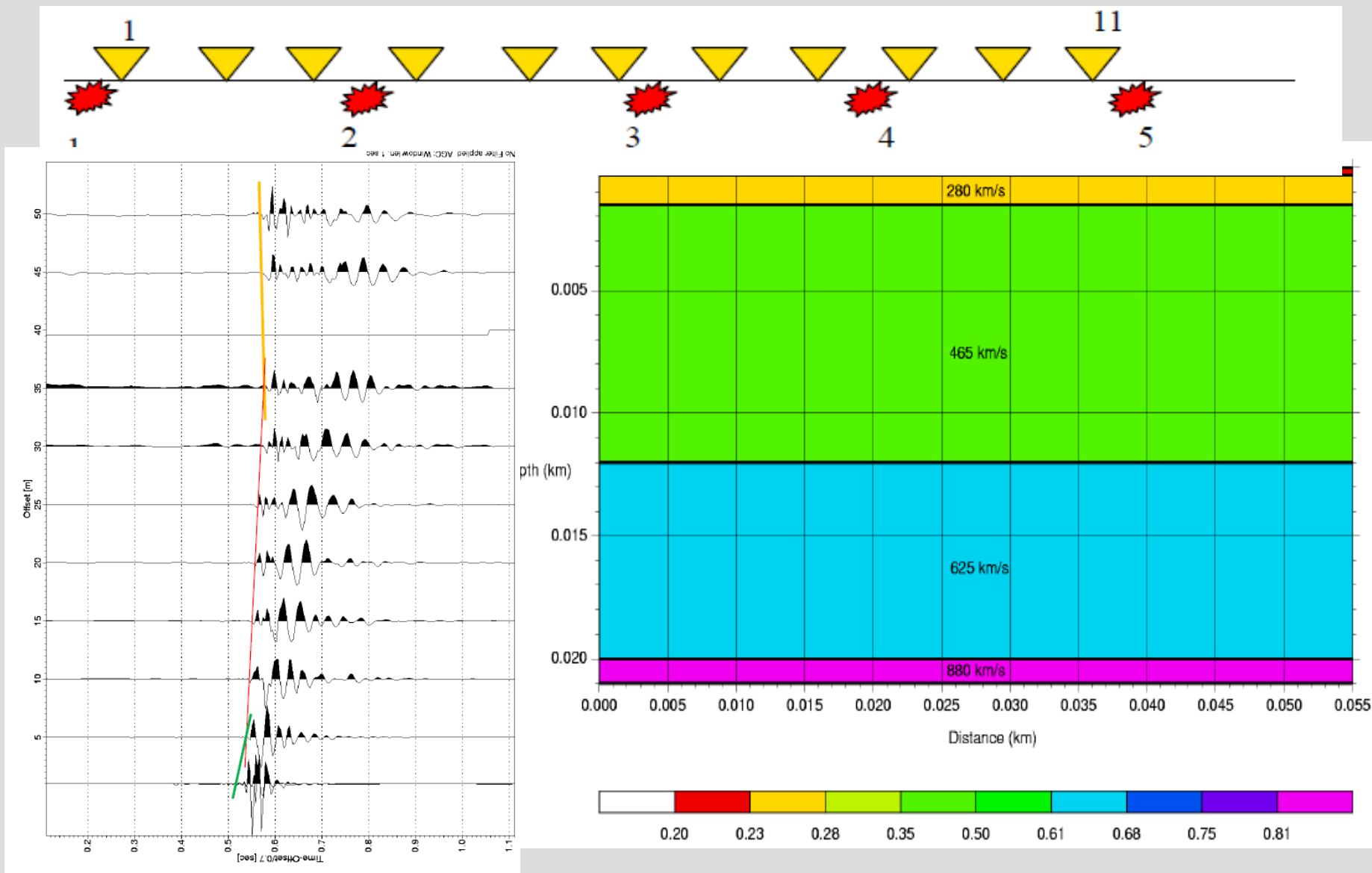


Измерительный комплекс

Базируется на 6-ти канальной автономном регистраторе, вертикальные 4,5 Гц геофоны, активный источник 5 кг кувалда



Определений скоростей продольных волн с активным источником



Пассивный автокорреляционный метод определения скоростей поперечных волн

Метод основан на работах Аки (1957) , Окада (1998) развил этот метод и сейчас в англоязычной литературе он называется SPAC

Рассмотрим микросейсмический шум как прохождение плоской волны определенной частоты через круговую расстановку вертикальных геофонов. Сигналы $u(0,0,\omega, t)$ и $u(r,\theta, \omega, t)$ полученные в центре расстановки $C(0,0)$ и в точке на ее окружности $X(r,\theta)$. Пространственная автокорреляционная функция определяется как

$$\phi(r,\theta, \omega) = u(0,0,\omega,t) \cdot u(r,\theta, \omega,t) \quad (1)$$

где $u(t)$ осредненная скорость колебаний в некотором временном. Пространственная автокорреляционная функция определяется как осреднение пространственной автокорреляции $\phi(r,\theta, \omega)$ по круговой расстановке геофонов:

$$\rho(r, \omega) = 1/[2\pi \phi(0, \omega)] \int_0^{2\pi} \phi(r, \theta, \omega) d\theta \quad (2)$$

где $\phi(0, \omega)$ - это SPAC функция $C(0,0)$ в центре круговой расстановки. Рассматривая простую модель для одной фундаментальной моды Рэлеевских волн распространяющихся в направлении p : $\phi = A \exp(i\omega r/c(\omega) \cos(p))$. Интегрируя выражения (2) приходим к

$$\rho(r, \omega) = J_0(\omega r / c(\omega)) \quad (3)$$

где $J_0(x)$ Функция Бесселя нулевого порядка $c(\omega)$ фазовая скорость Рэлеевских волн на частоте ω . SPAC коэффициент $\rho(r, \omega)$ можно так же получить в частотной области с помощью преобразования Фурье записанных микросейсмических шумов :

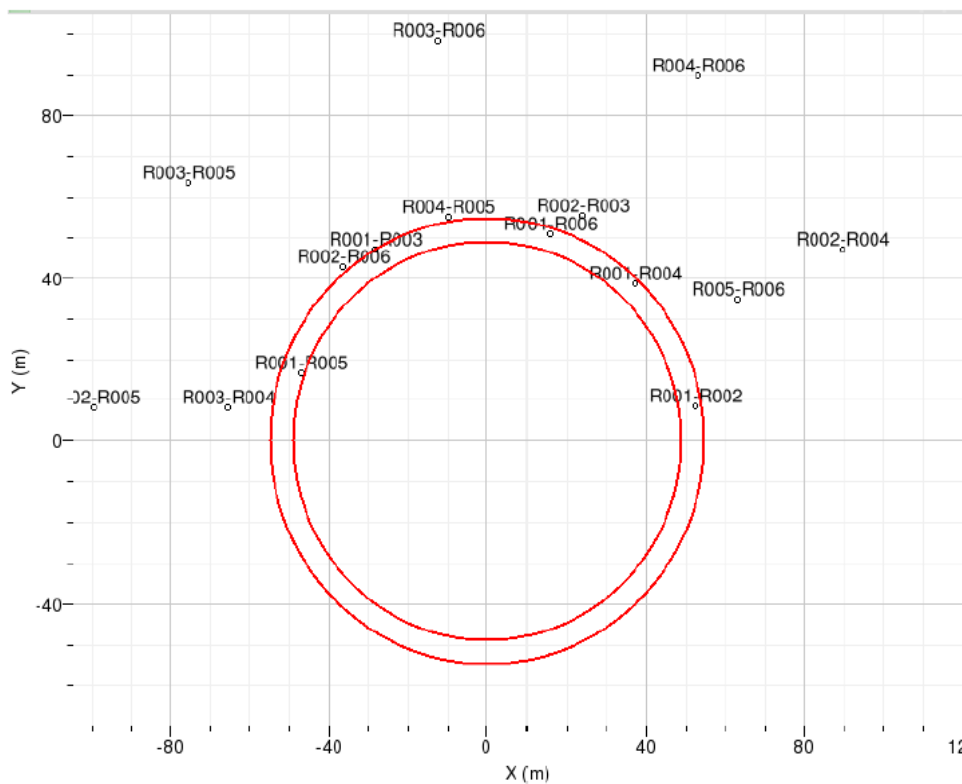
$$\rho(r, \omega) = 1/2\pi \int_0^{2\pi} \text{Re}[S_{CX}(\omega, r, \theta)] / [S_C(\omega)S_X(\omega, r, \theta)]^{0.5} d\theta \quad (4)$$

где $S_C(\omega)$ и $S_X(\omega, r, \theta)$ плотность спектра мощности микросейсмического шума в в точках С и X соответственно, а $S_{CX}(\omega, r, \theta)$ взаимный спектр между колебаниями записанными в этих двух точках. Таким образом, SPAC коэффициент может быть получен осреднением нормализованной функции когерентности определенной как ко-спектр между точками С и X в направлении θ . По SPAC коэффициенту $\rho(r, \omega)$ определяется фазовая скорость поверхностных волн согласно уравнению (3) для каждой частоты из аргумента функции Бесселя, а затем фазовая скорость обращается в разрез поперечных волн.

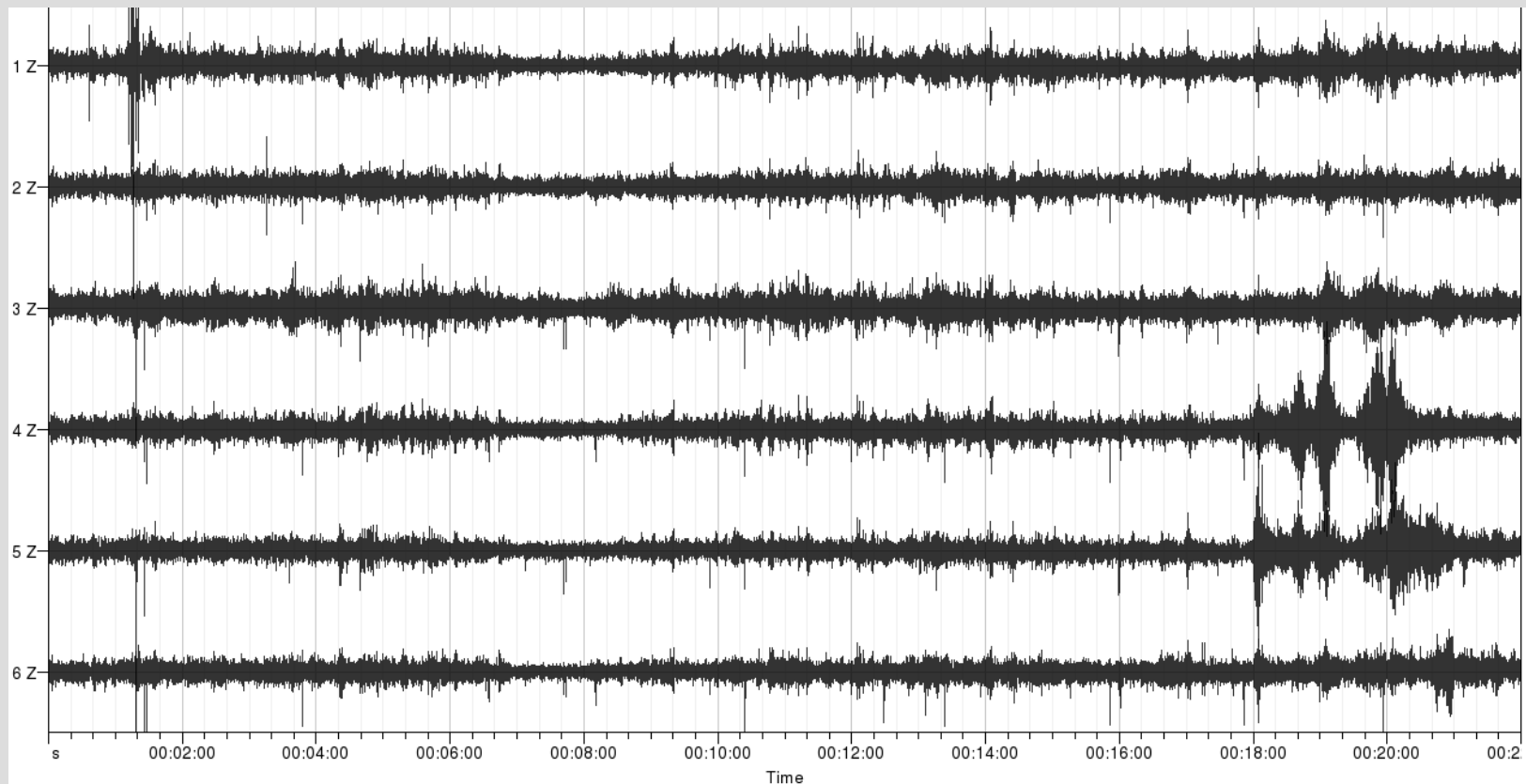
Круговая расстановка геофонов по методу SPAC. Положение вертикального геофона отмечено вертикально стоящей деревянной палкой. Кабеля от центрального регистратора идут к оставшимся 5 ти геофонам равномерно распределенным по кругу



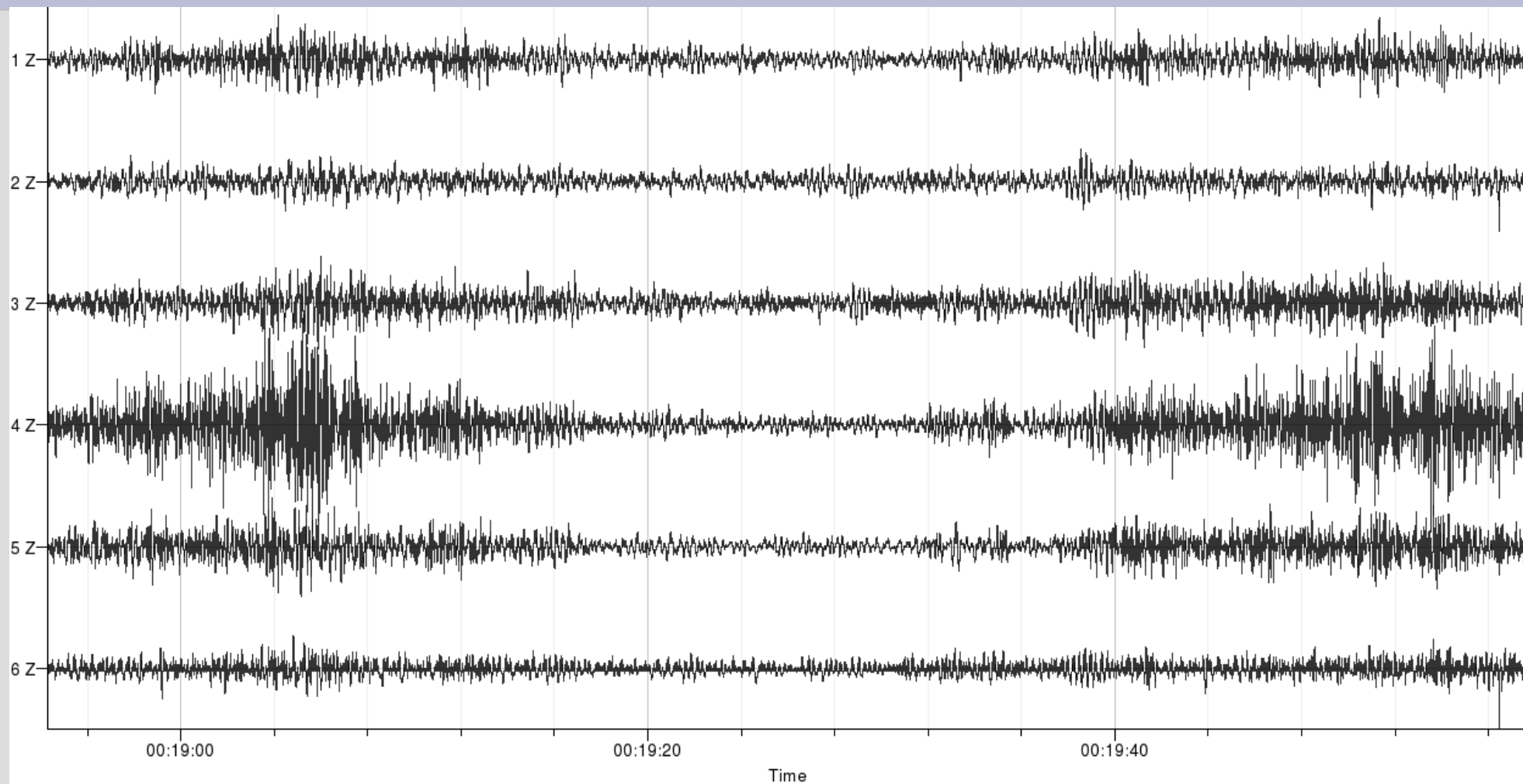
Выбор взаимных пар для вычисления коэффициента SPAC. Карта распределения азимутов и расстояний между парами для одной из круговых расстановок. Пары попадающие в кольцо показанное красным цветом выбраны для вычисления SPAC коэффициента.



Пример 6-ти канальной регистрации данных в круглой расстановке по методу SPAC. Первый канал соответствует центральной станции расстановки.

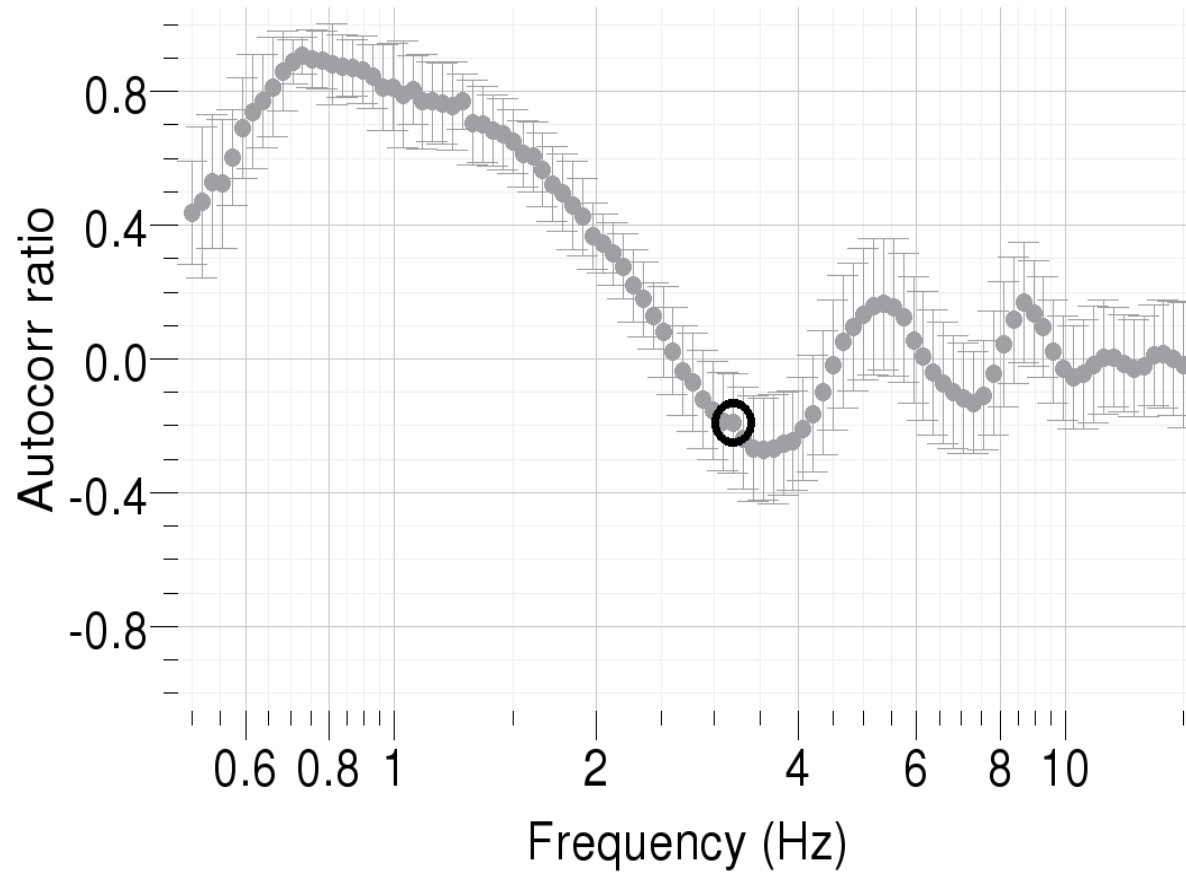


Пример 6-ти канальной регистрации данных в круглой расстановке по методу SPAC. Первый канал соответствует центральной станции расстановки. Увеличенная версия предыдущего рисунка. Временное окно данных 1 минута



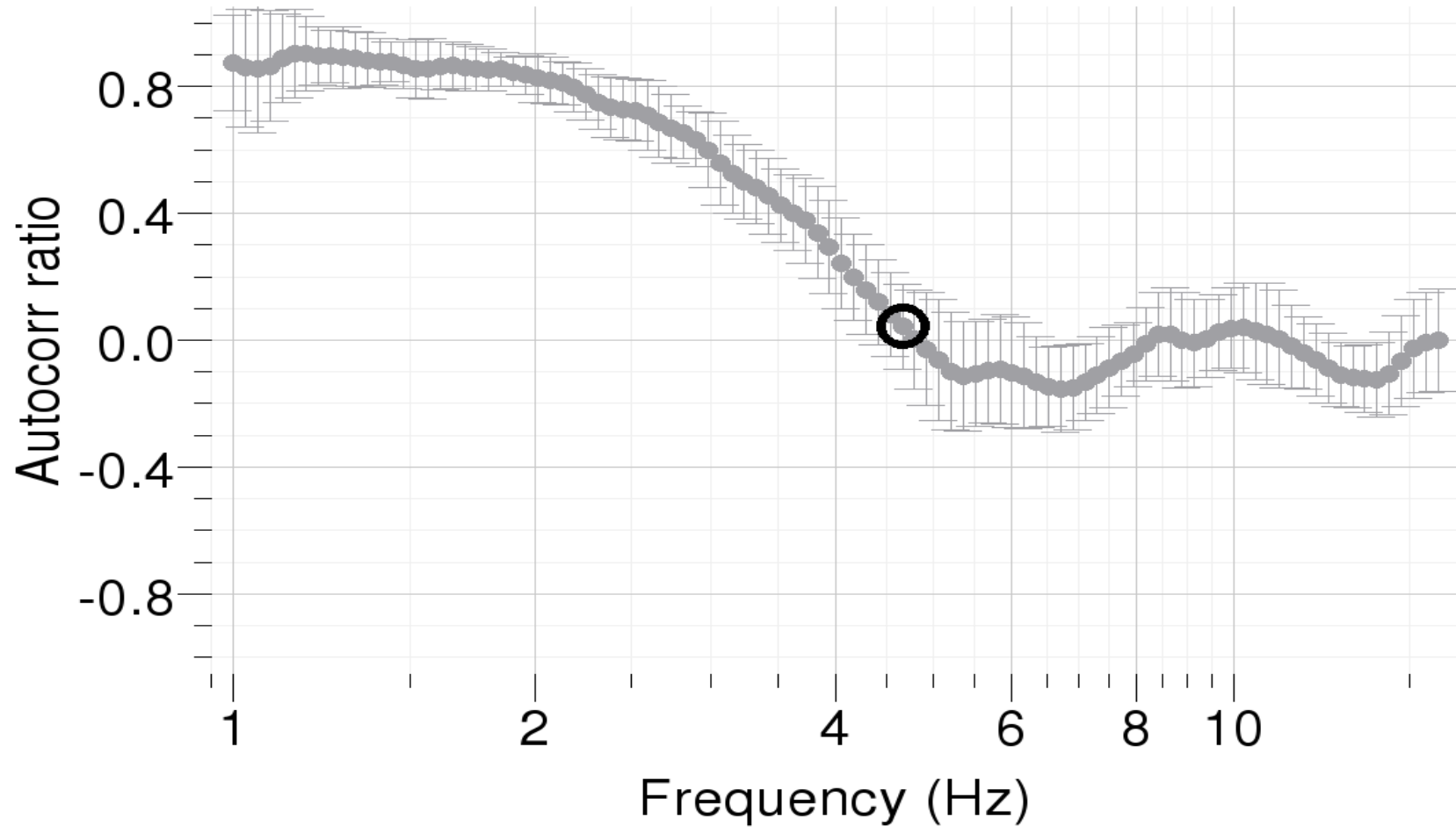
SPAC коэффициент для расстановки с радиусом 50 метров

Ring 1 from 42.62 m to 55.84 m

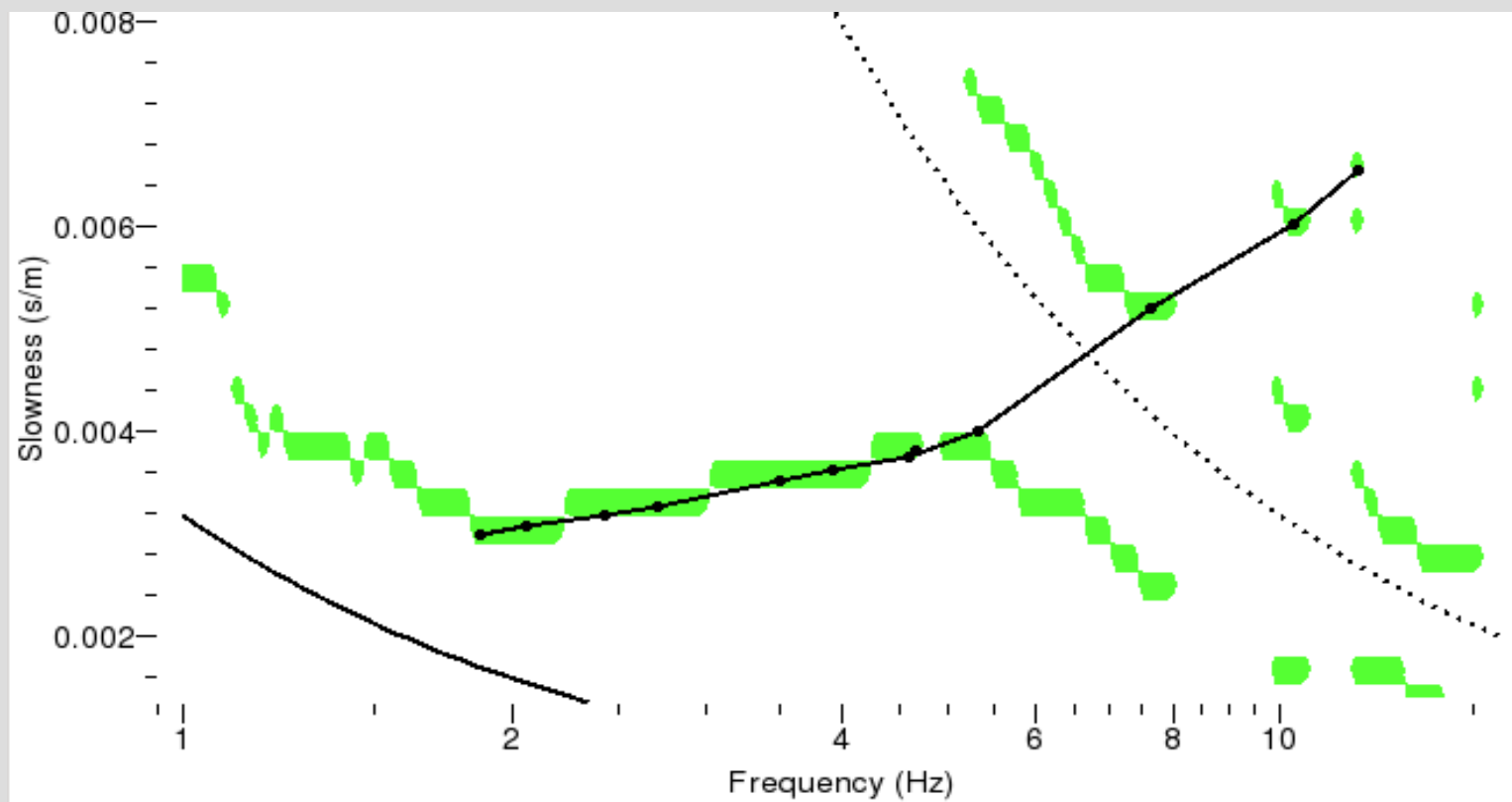


SPAC коэффициент для расстановки с радиусом 20 метров

Ring 1 from 15 m to 26 m

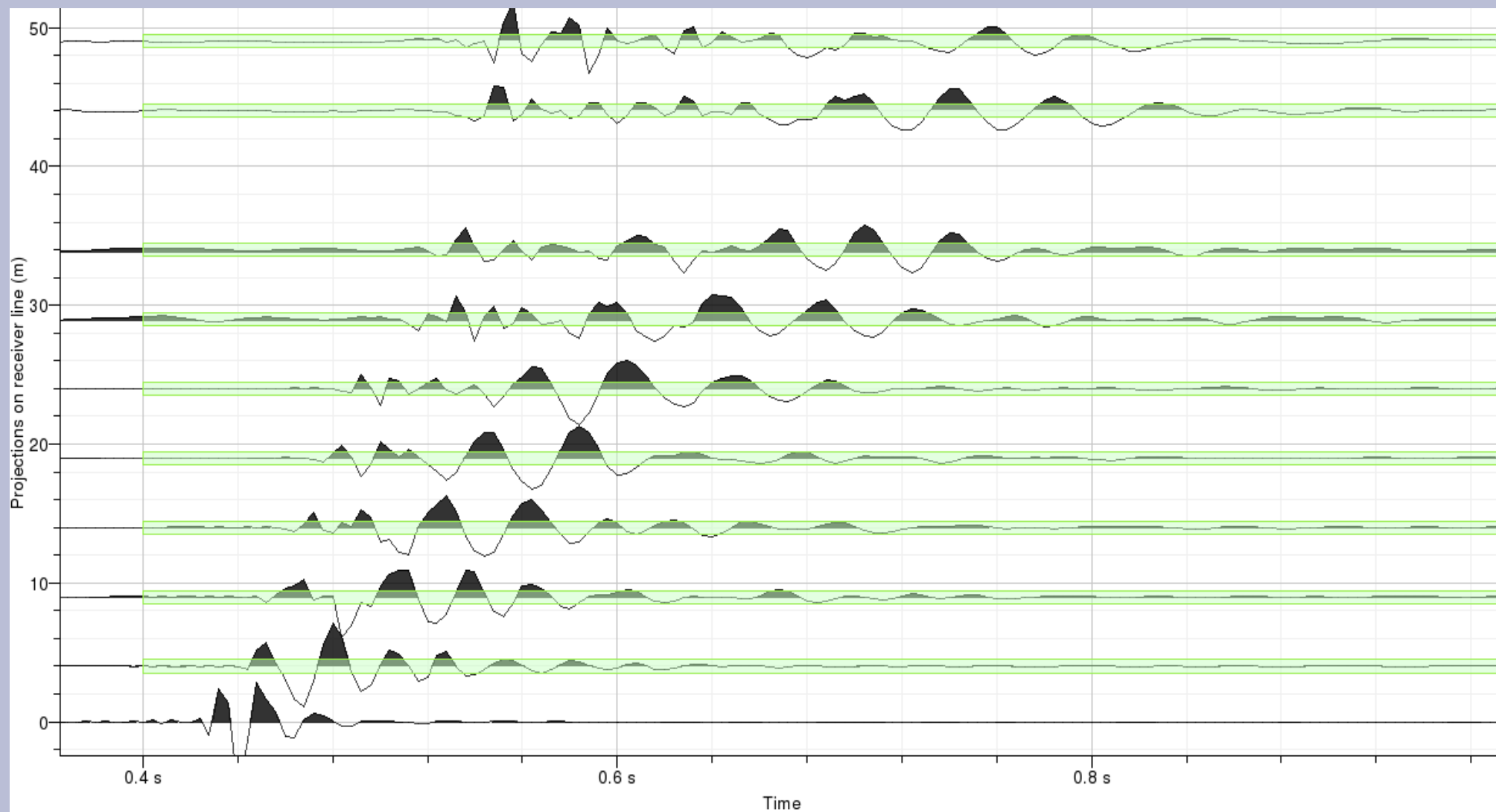


Пикирование дисперсионной кривой по решению полученному на основе SPAC коэффициента показанного на предыдущем слайде



k min V min Cells Frequency
k max V max 24 Radius (m)

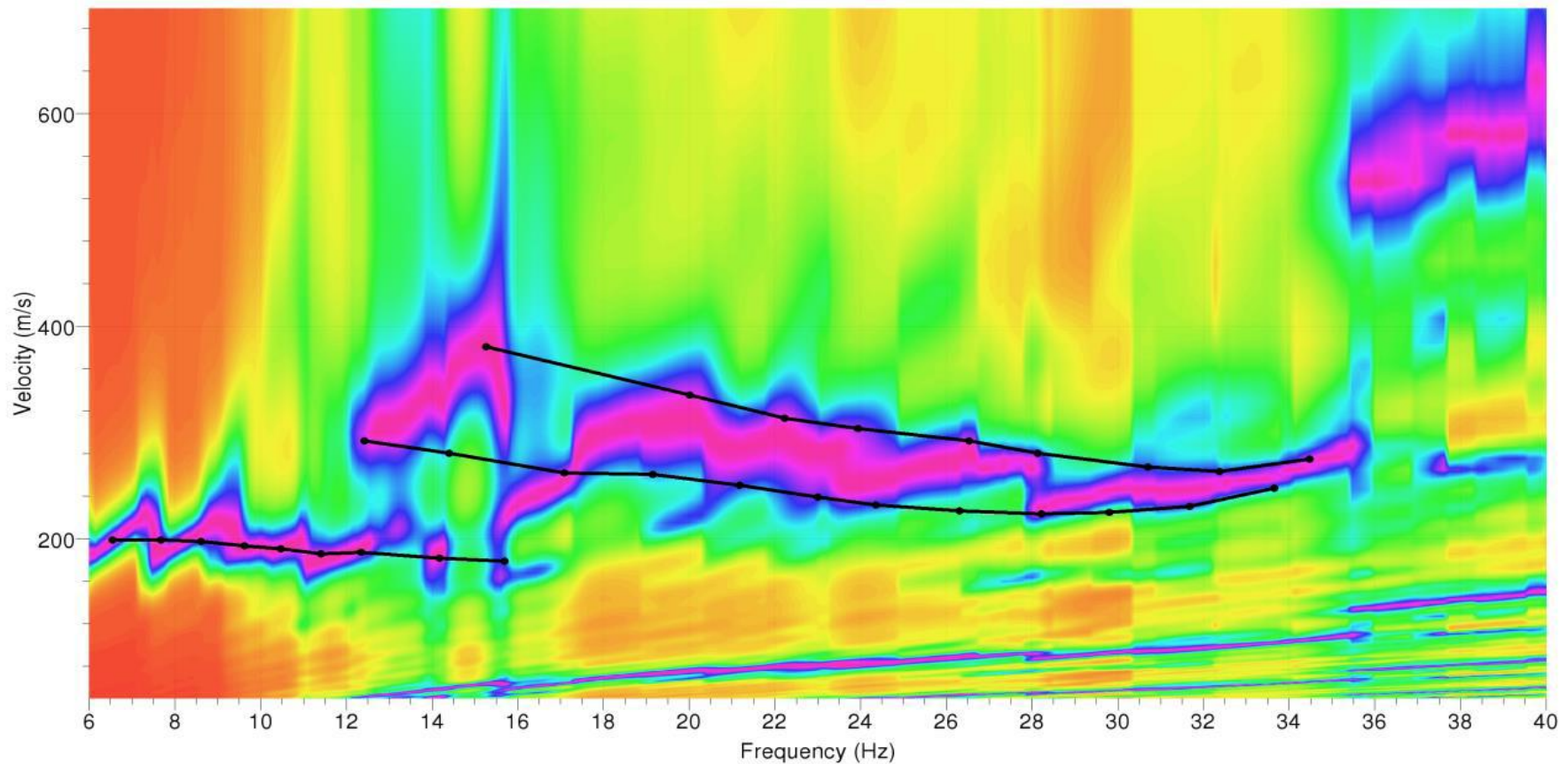
Результаты для поперечных волн для активного эксперимента и их интеграция с результатами пассивных работ



Пространственно-временные окна выбранные для вычисления пространственно спектра для линейной активной расстановки

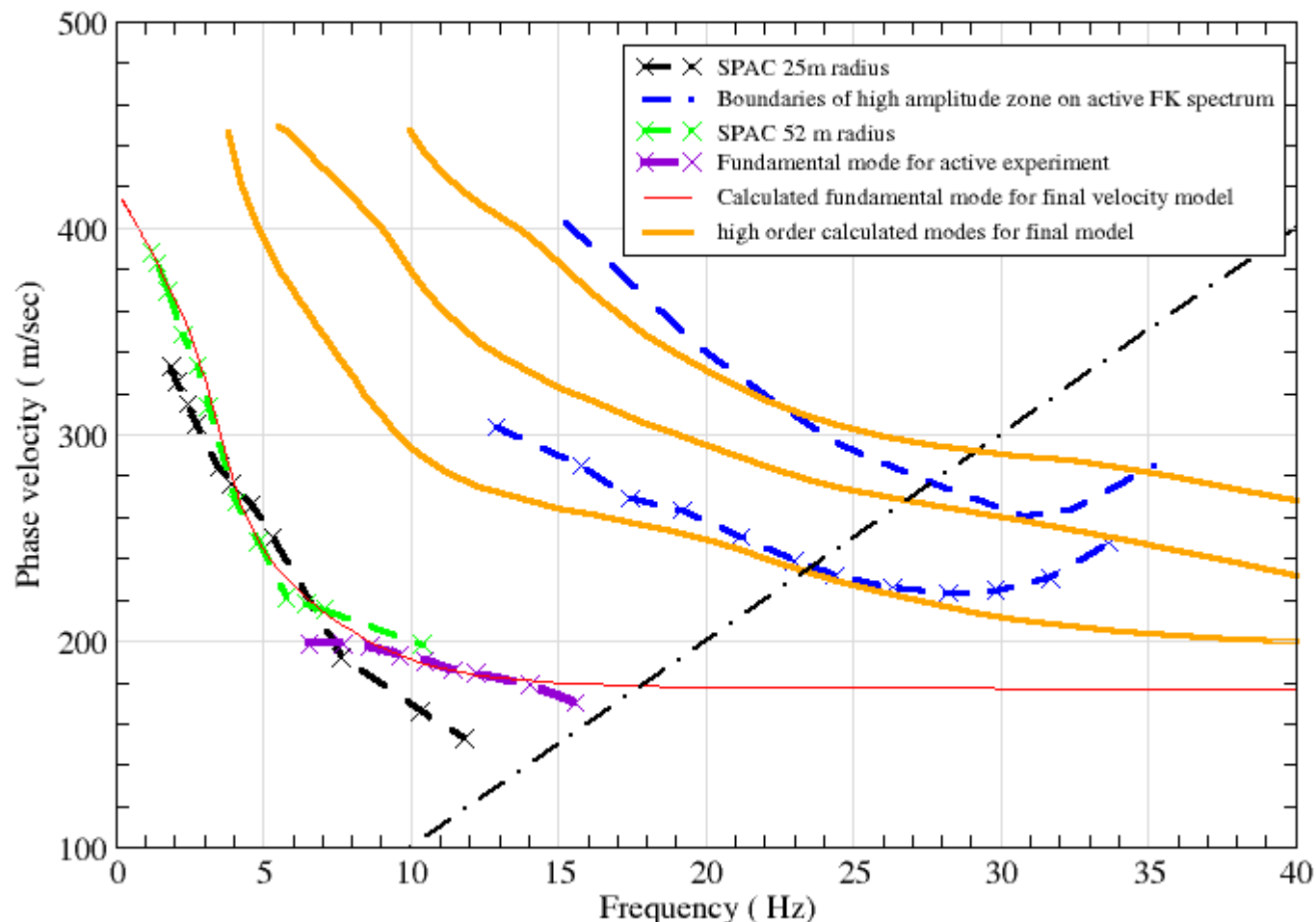
Пространственный спектр данных показанных на рисунке 16 с пикированными дисперсионными кривыми основной и высших Рэлеевских волн

Hammer source. Linear array. Velocity- Frequency Spectrum



Левая черная линия для частотного диапазона 6 -16 Герц показывает фундаментальную моду Рэлеевских волн. Дисперсионные кривые соответствующие модам более высокого порядка находятся в более высокочастотном диапазоне . Отметим, что из-за ограниченности апертуры наблюдений (50 метров) не удастся разделить высшие моды на спектре и они вместе дают область высоких амплитуд в диапазоне 14-28 Герц

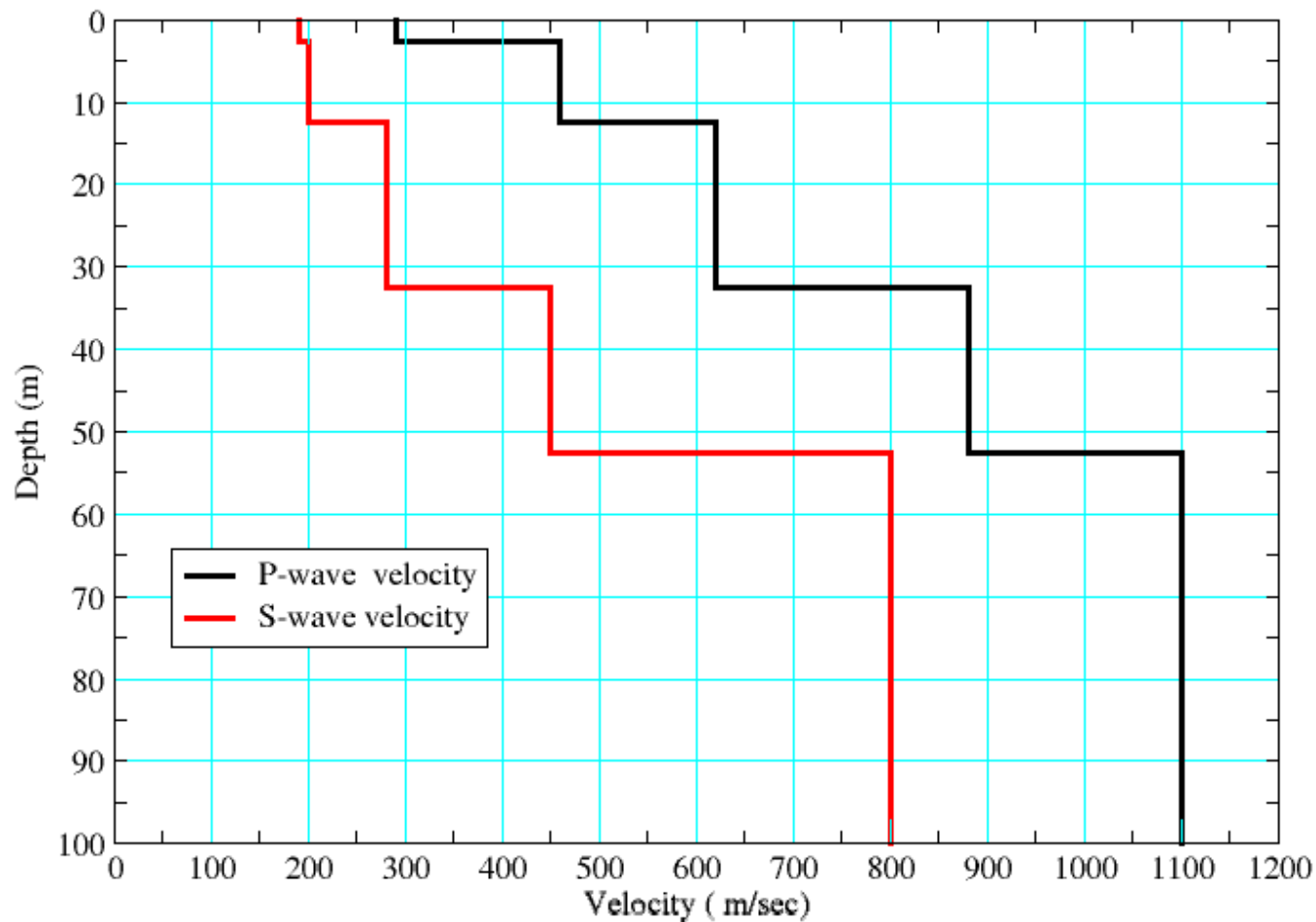
Эспериментальные дисперсионные кривые полученные по пассивным и активным данным и синтетические кривые для финанльной модели среды



Экспериментальные и вычисленные для финальной модели среды дисперсионные кривые. Экспериментальные кривые были получены для пассивных наблюдений SPAC с различными радиусами корреляции и для активной линейной расстановки геофонов. Область высшие мод Рэлеевских волн показана синим пунктиром и взята с двумерного спектра для активного эксперимента (рисунок 17). В эту зону хорошо ложатся 3 обертона Рэлеевских волн соответствующих финальной модели среды полученной по фундаментальной моде. Шрих-пунктирная линия показывает границу области спектра для активного эксперимента без наложения частот в соответствии с теоремой Котельникова (интервал наблюдений с геофонами = 5 метров)

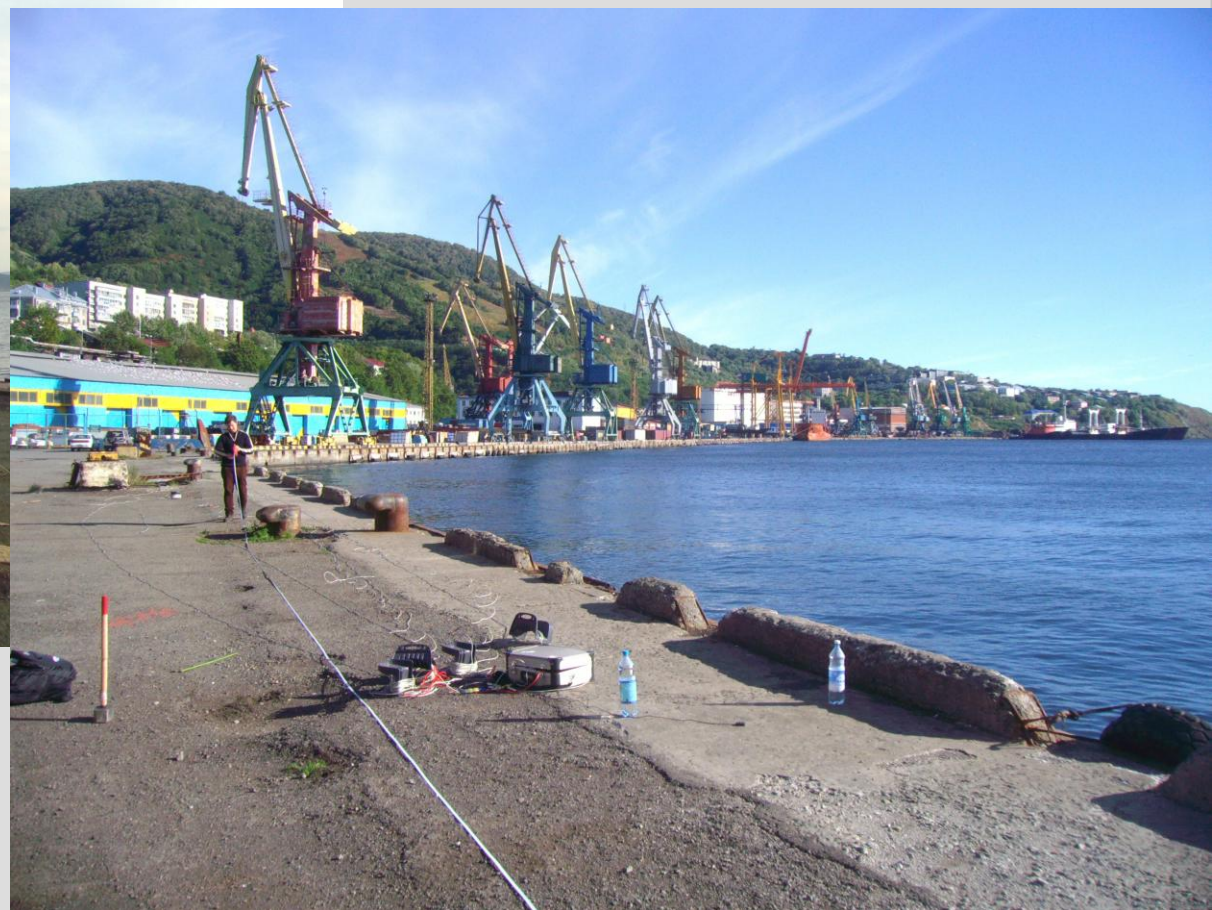
Профиль скоростей продольных и поперечных волн для финальной модели строения верхней части среды

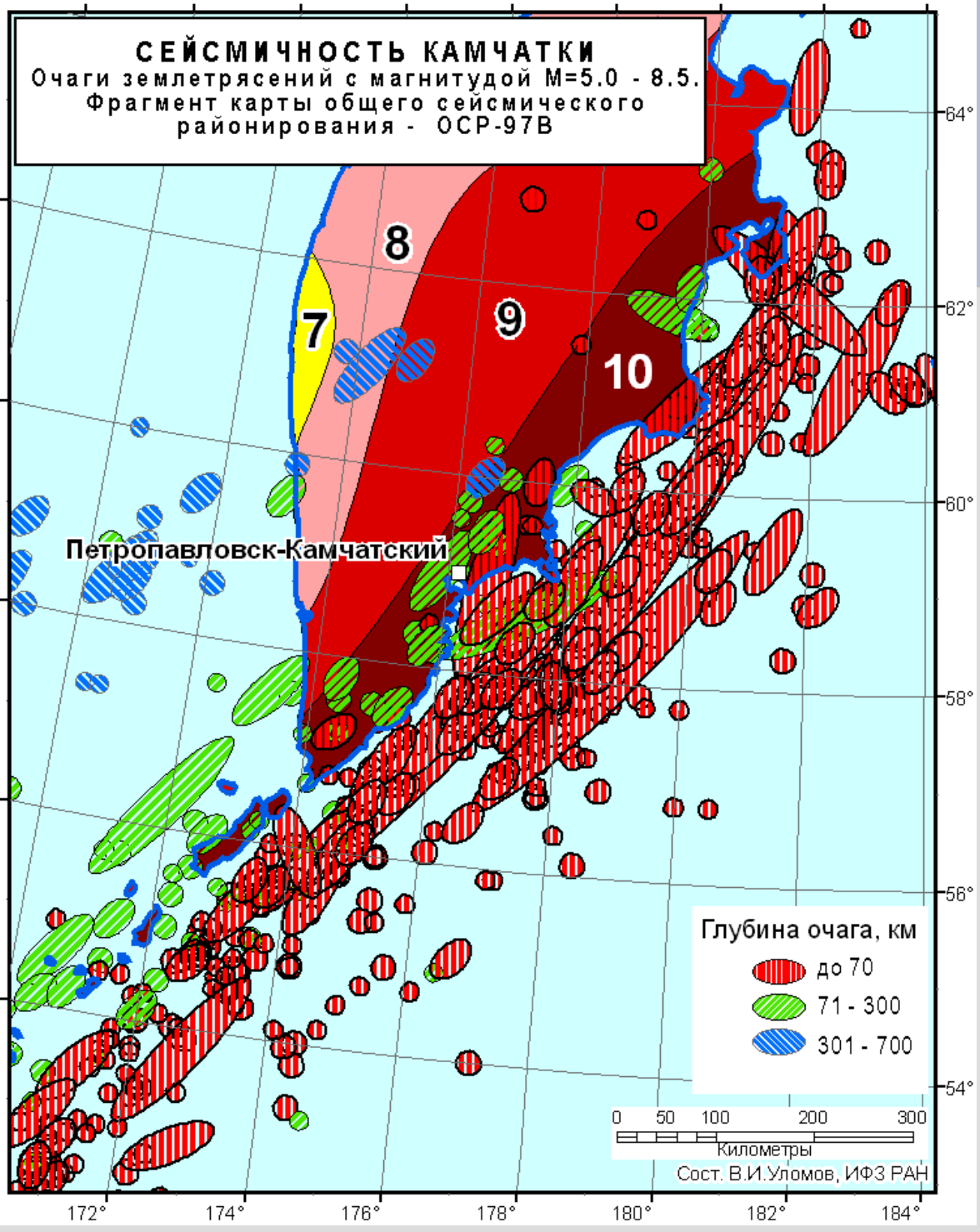
P and S wave velocity profile



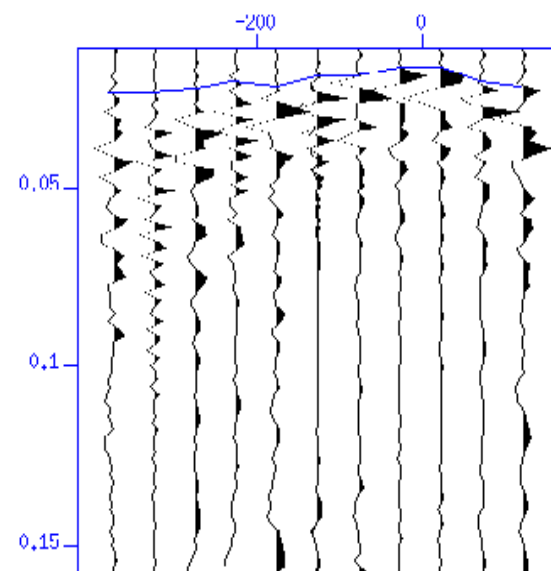
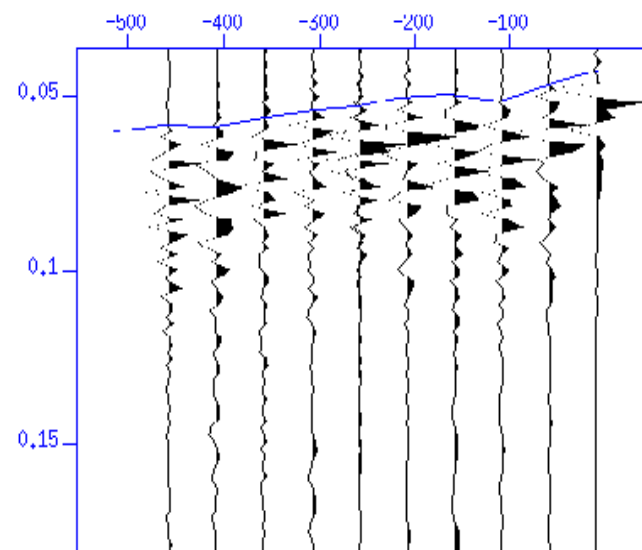
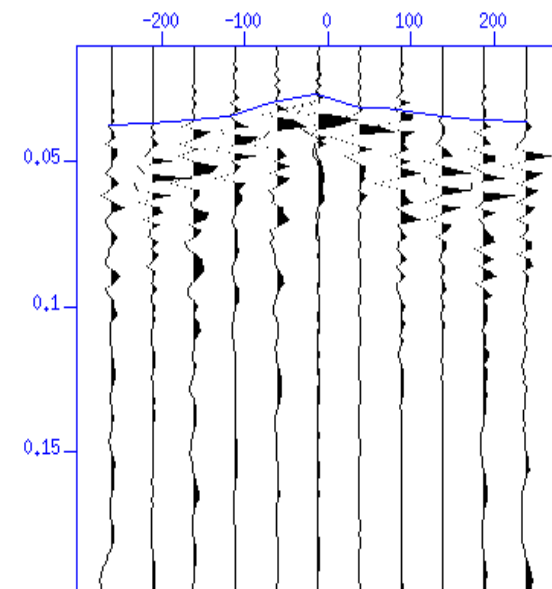
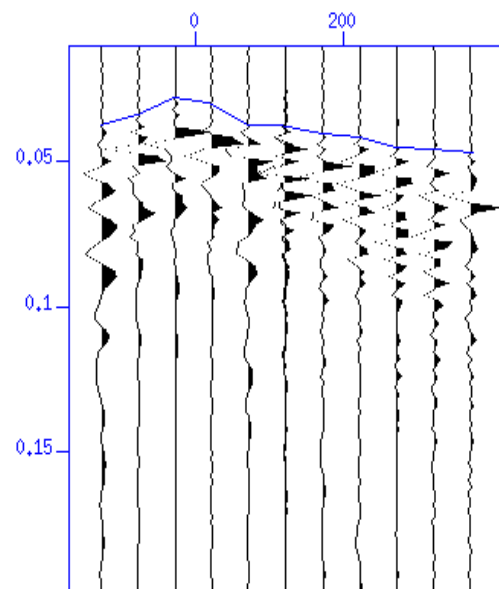
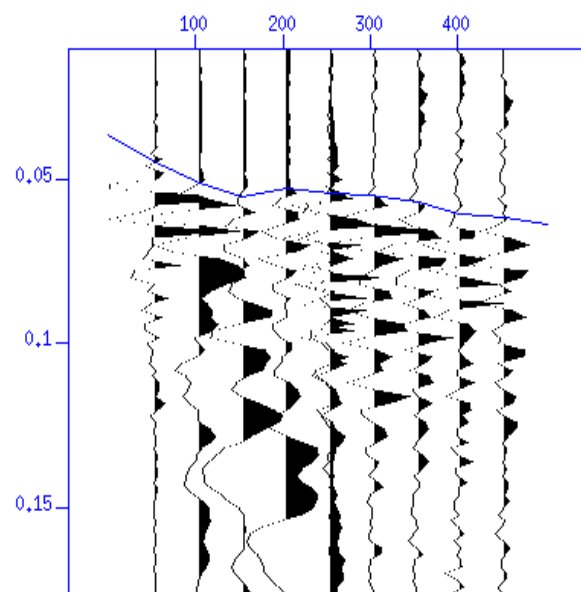
- Активный метод с линейной расстановкой и пассивный метод пространственной автокорреляцией с различными радиусами круговой расстановки использовались для определения структуры P и S-волн до глубины 100 м.
- В результате исследований были получены профили скоростей P и S-волн первых 100 метров разреза исследуемого района
- Результаты пассивного и активного эксперимента подтверждают результаты друг друга и позволяют получить надежную скоростную модель P и S волн для первых 100 метров разреза.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ МОРСКОГО ПОРТА Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ

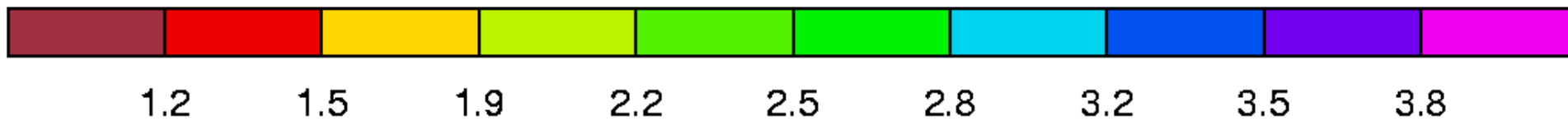
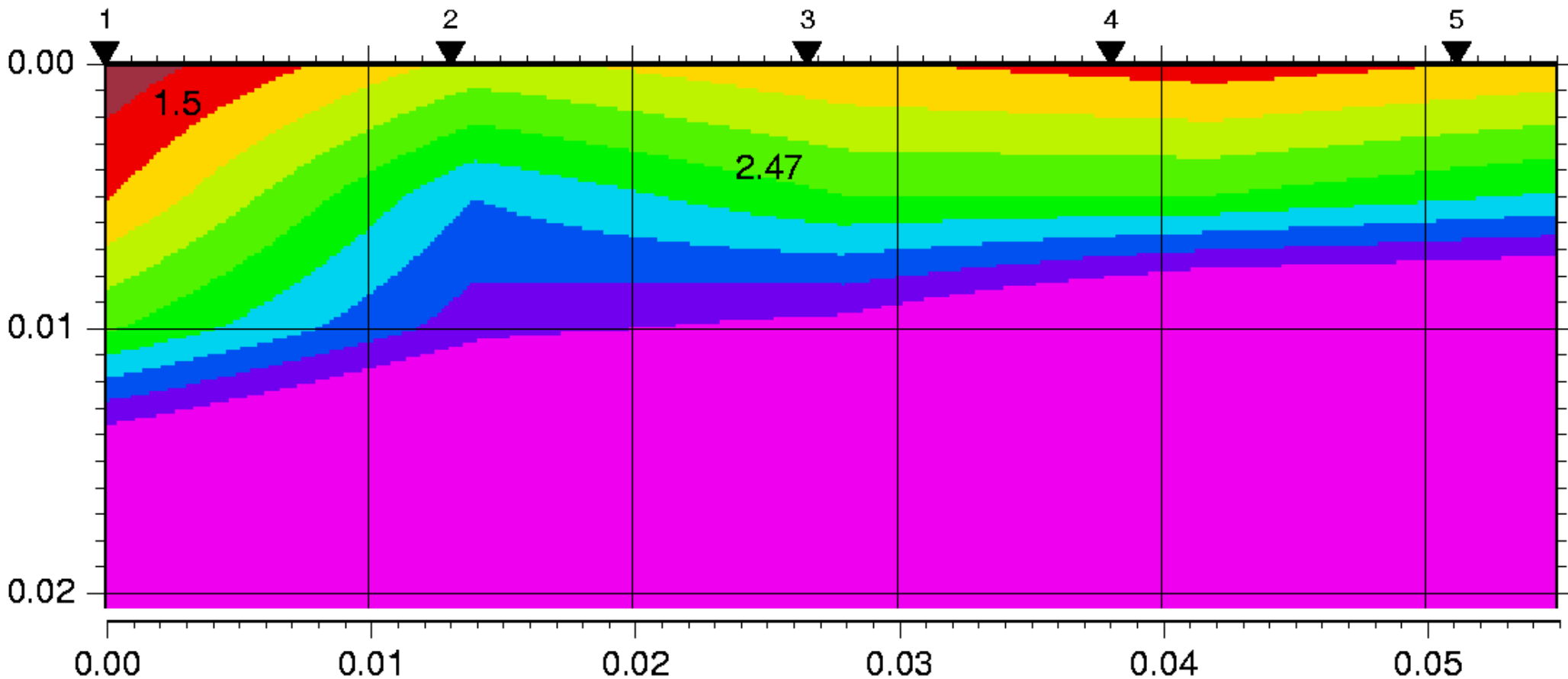




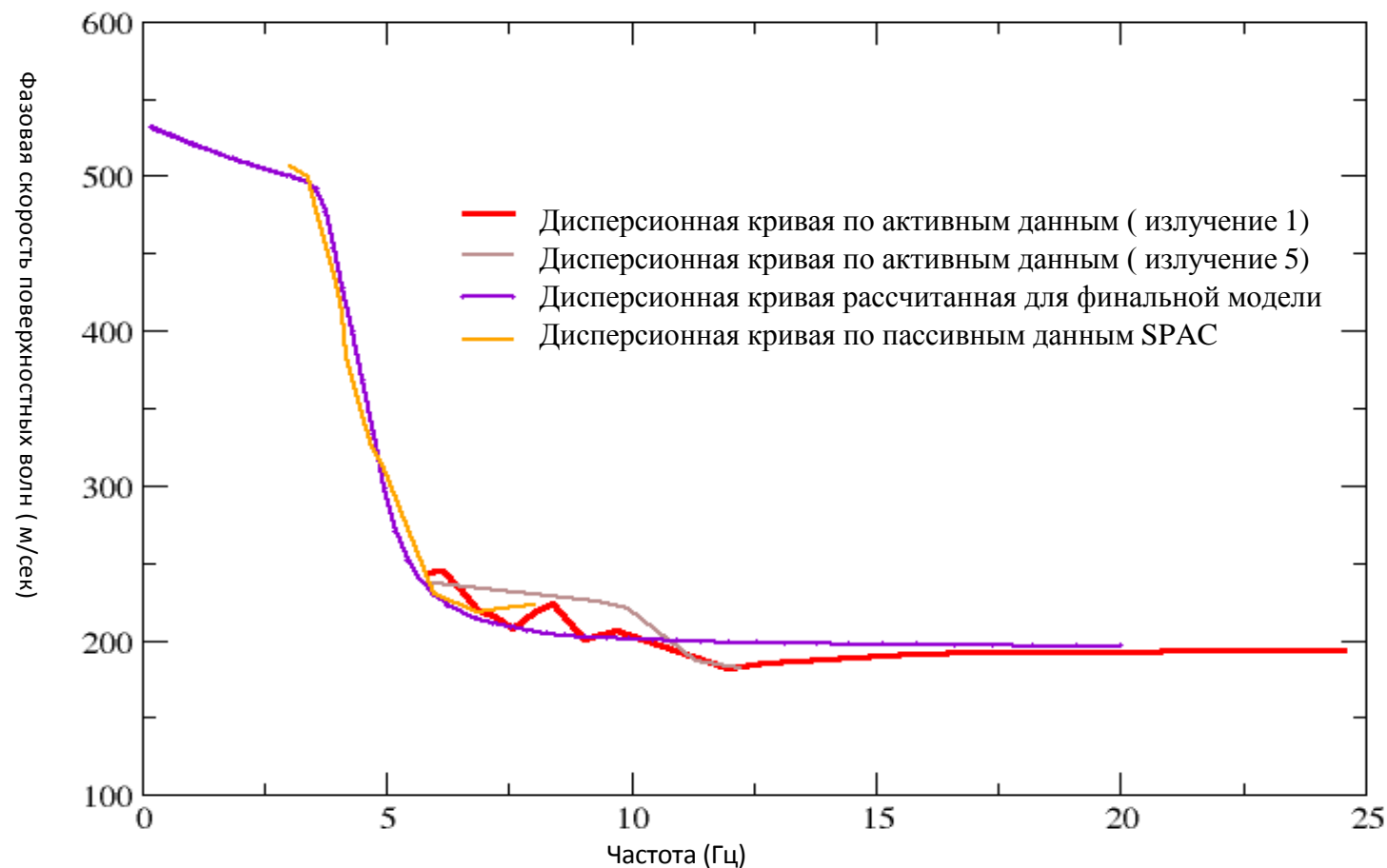
Сейсмограммы общей точки взрыва полученные на линейной расстановке на причале 12



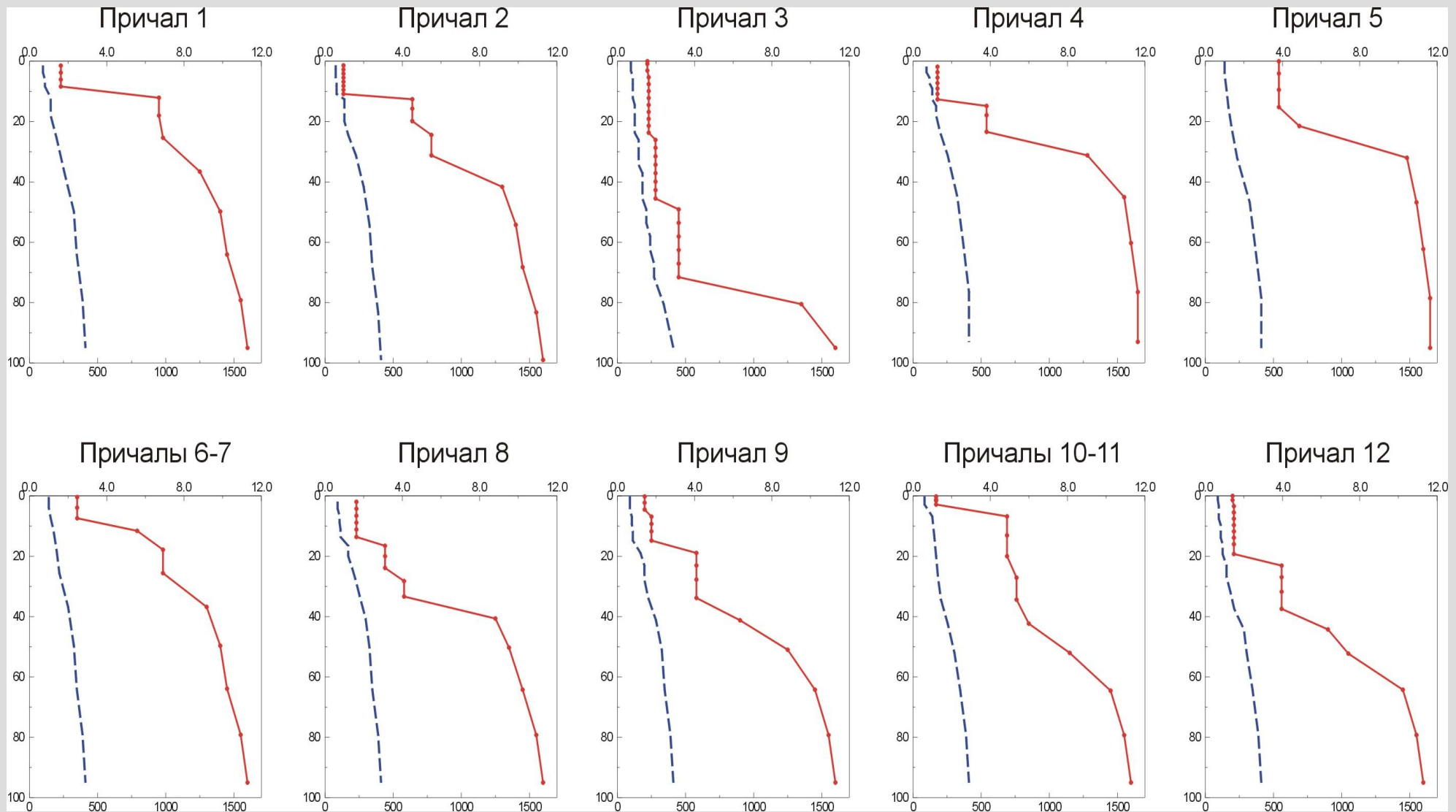
Томографический разрез скоростей продольных волн на причале 12 .
Черными обращенными треугольниками обозначены места излучений
сигналов



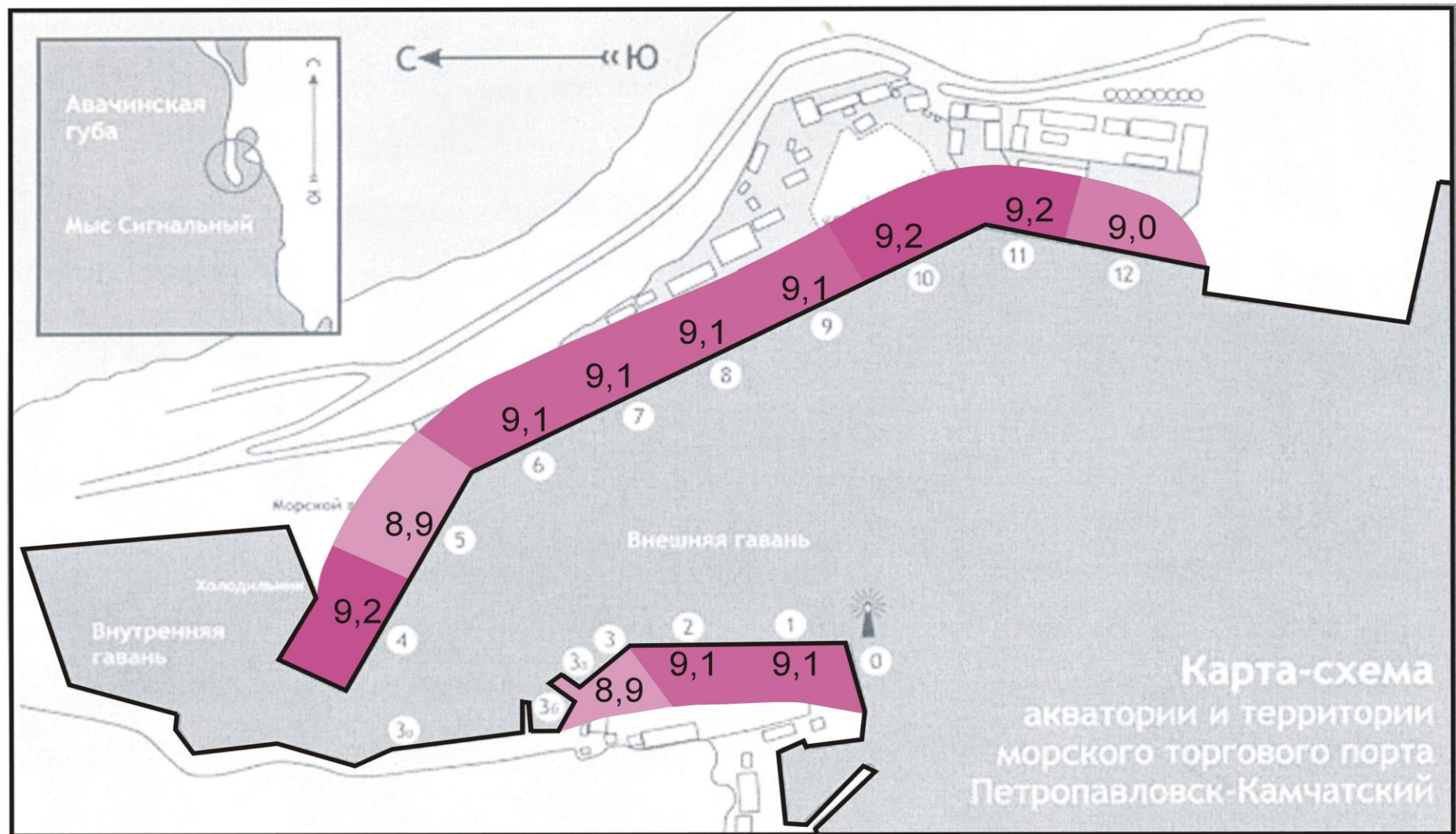
Экспериментальные и вычисленная для финальной модели дисперсионные кривые. Терминал 12



профили, полученные измерениями на 12-ти причалах и использованные в расчетах. По вертикальным осям – глубина в метрах; красные линии – скорость поперечных волн в м/с (шкалы на нижних горизонтальных осях); синие пунктирные линии – предельные сдвиговые напряжения в барах (шкалы на верхних горизонтальных осях).



Сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64 на территории морского порта г. Петропавловск-Камчатский, полученная по результатам исследований верхней части разреза



Заключение

- Измерения скоростей поперечных волн в верхней части геологического разреза в районе 12 причалов морского порта города Петропавловск-Камчатский были проведены активным и пассивным методами поверхностных волн.
- Профиль активного эксперимента для исследования самых верхних слоев разреза удалось расположить на участке вдоль береговой кромки причалов, в то же время группа геофонов для пассивного эксперимента использовала всю доступную для исследования площадь
- Результаты пассивного и активного эксперимента подтверждают друг друга и позволяют получить надежную скоростную модель P и S волн для первых 70 метров разреза.