



Восстановление скоростных неоднородностей среды с использованием метода обратимой волны

Нумалов А.С.

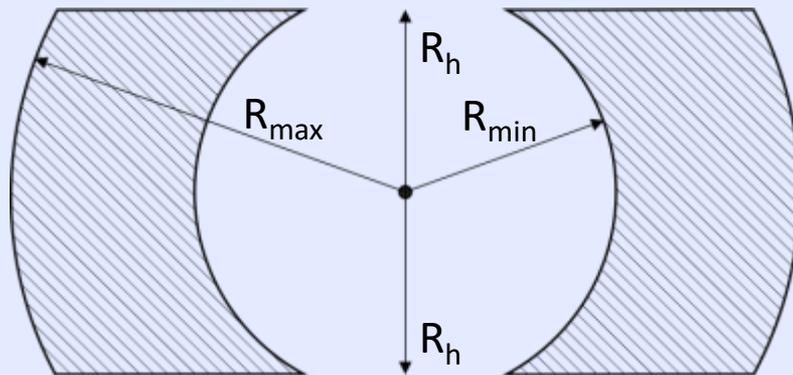
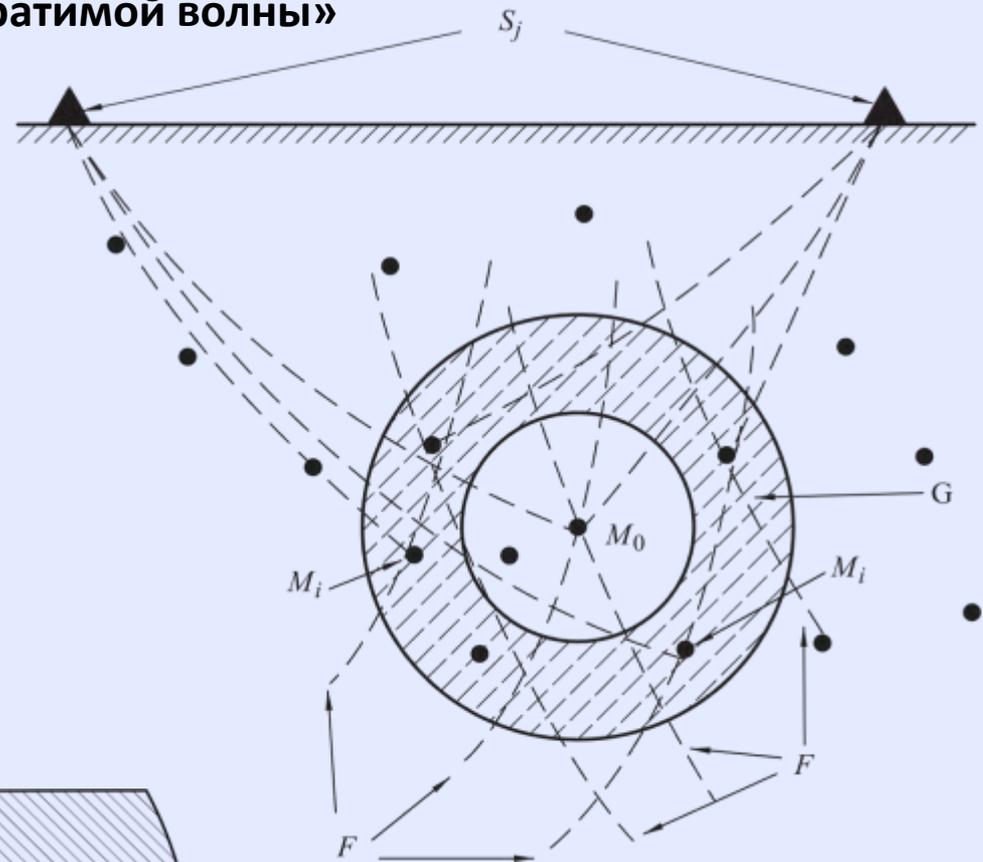
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук



Метод «обратимой волны»

Исходные данные:

- Координаты сейсмических станций
- координаты гипоцентров землетрясений $M_i(X_i, Y_i, Z_i)$
- времена пробега сейсмической волны от i -го очага до j -й станции





Уравнение фронта обратимой волны, проходящего через точку M_0 : $T_j(X,Y,Z)=t_{0j}$
Описывается уравнением «эйконала»:

$$\left(\frac{\partial T_j(X,Y,Z)}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_j(X,Y,Z)}{\partial Y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_j(X,Y,Z)}{\partial Z}\right)^2 = \frac{1}{V_j^2(X,Y,Z)}$$

обозначим:

$$A_j = \frac{\partial T_j(X,Y,Z)}{\partial X} \Big|_{M=M_0}, \quad B_j = \frac{\partial T_j(X,Y,Z)}{\partial Y} \Big|_{M=M_0}, \quad C_j = \frac{\partial T_j(X,Y,Z)}{\partial Z} \Big|_{M=M_0}$$

тогда:
$$V_j = \frac{1}{\sqrt{A_j^2 + B_j^2 + C_j^2}}$$

Для случая аппроксимации реального фронта волны плоским фронтом в рассматриваемой области задача определения скорости V_j , т.е. коэффициентов A_j, B_j, C_j , сводится к минимизации системы уравнений:

$$t_{0j} + A_j(X_i - X_0) + B_j(Y_i - Y_0) + C_j(Z_i - Z_0) = t_{ij}, \quad i = 1, \dots, n$$



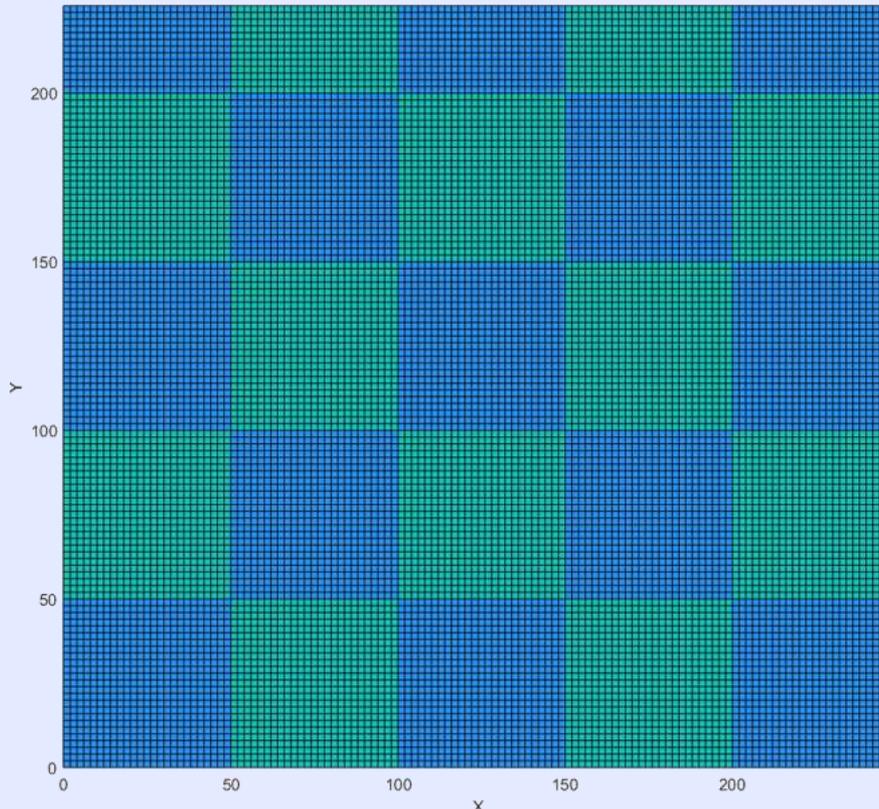
Основные отличия методов сейсмической томографии и обратимой волны

Характеристики	Метод сейсмической томографии	Метод обратимой волны
Метод определения скорости	Минимизируется суммарная невязка для всех лучей	Строится положение фронта обратной сейсмической волны в области G
Место определения скорости	Область сейсмических лучей	Область очагов
Исходная информация	Времена пробега и координаты очагов	Разность времен пробега и координат близких очагов
Влияние особенностей среды под станциями	Может влиять	Практически не влияет
Систематическая ошибка в исходной информации	Может влиять	Практически не влияет

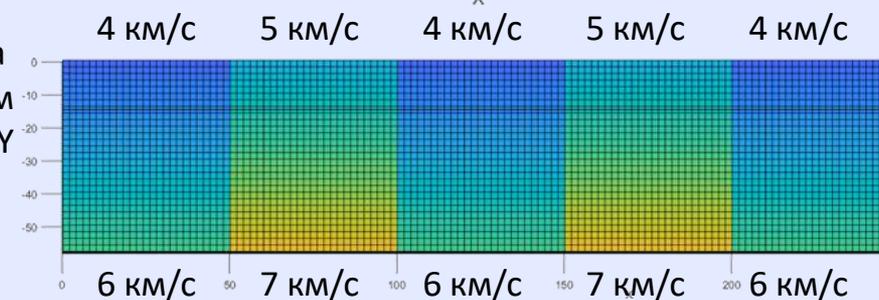
[Славина, Пивоварова, 2009]



Заданное поле скоростей



Срез на глубине 15 км



Разрез на расстоянии 50 км по оси Y

км/с



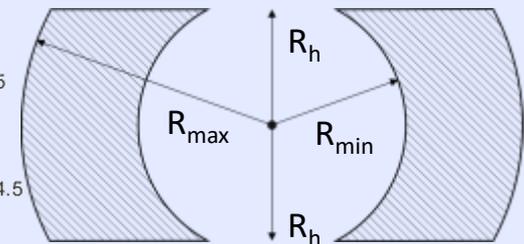
Параметры расчета:

$R_{\min} = 5 \text{ км}$

$R_{\max} = 15 \text{ км}$

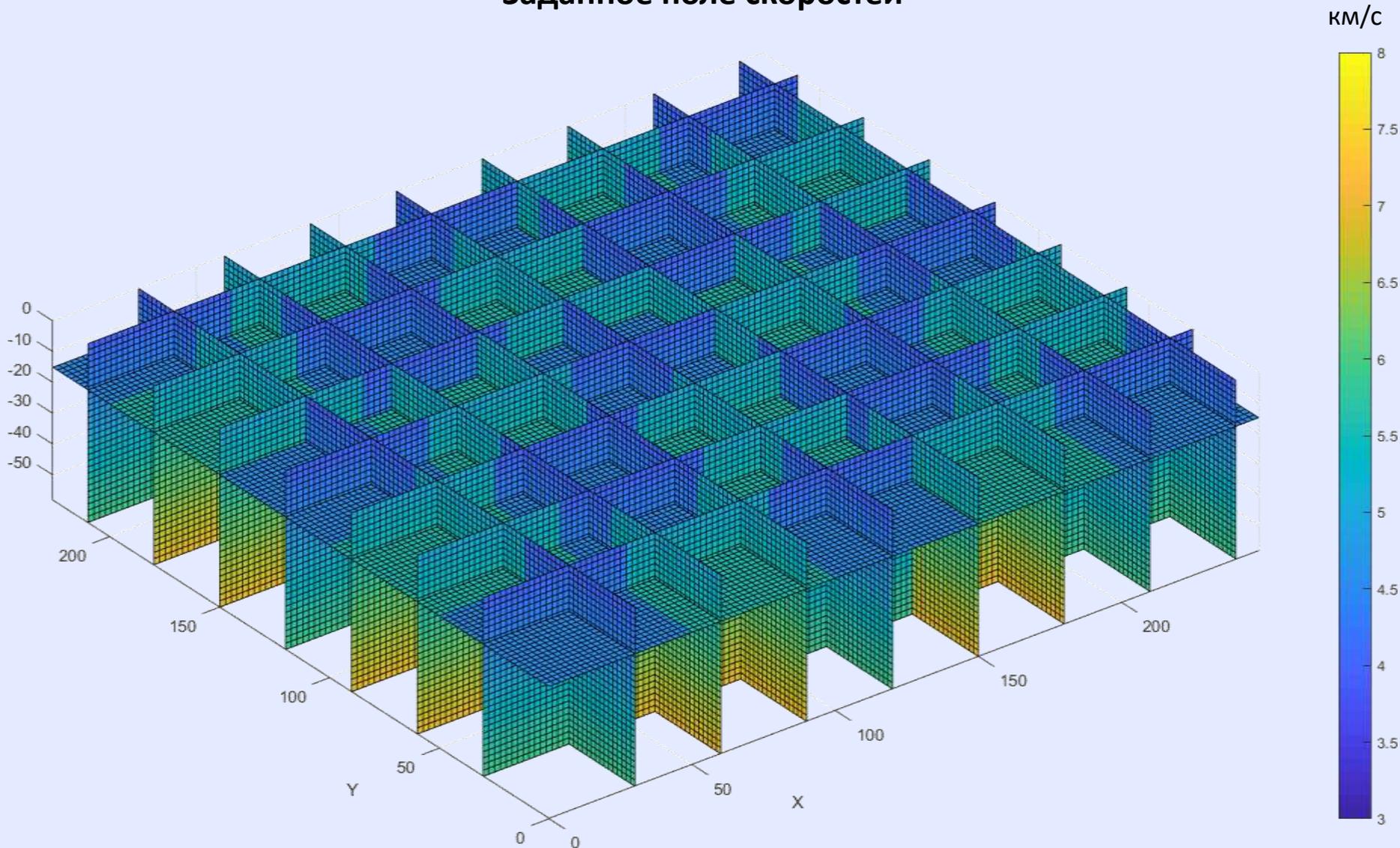
$R_h = 5 \text{ км}$

Минимальное количество эпицентров в области – 5



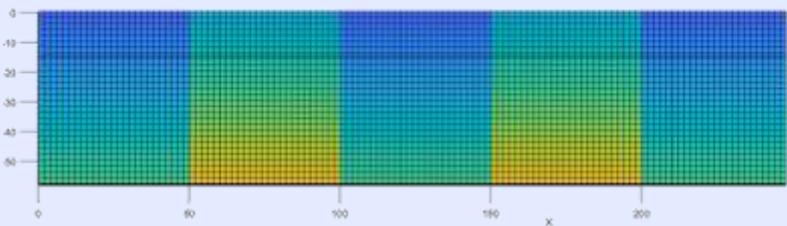
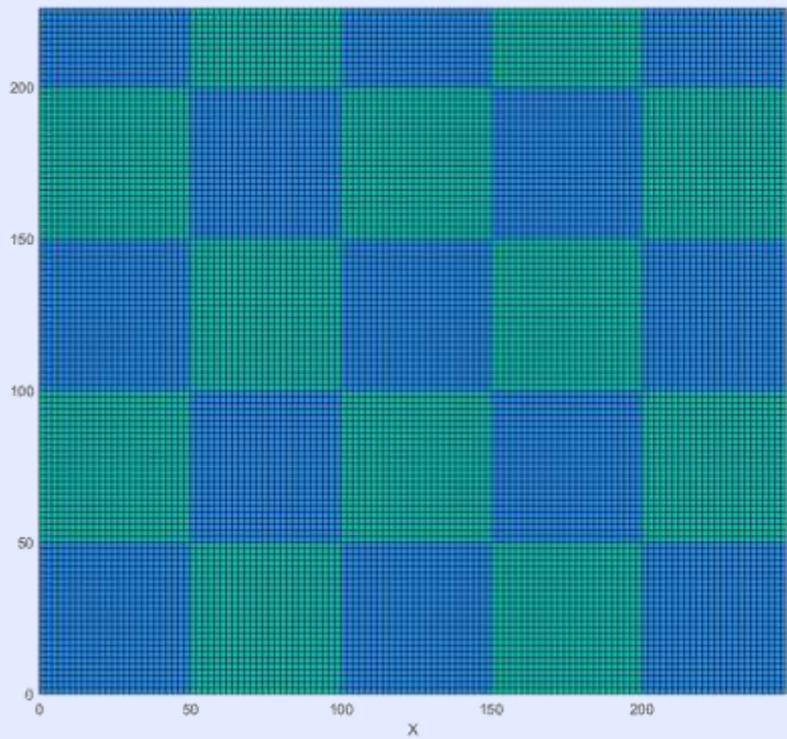


Заданное поле скоростей

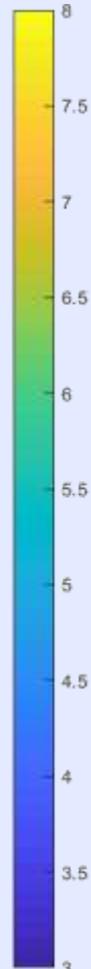




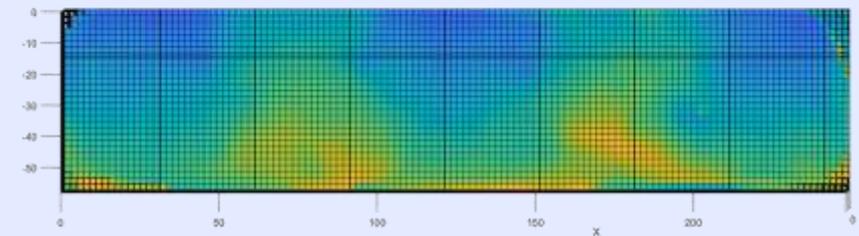
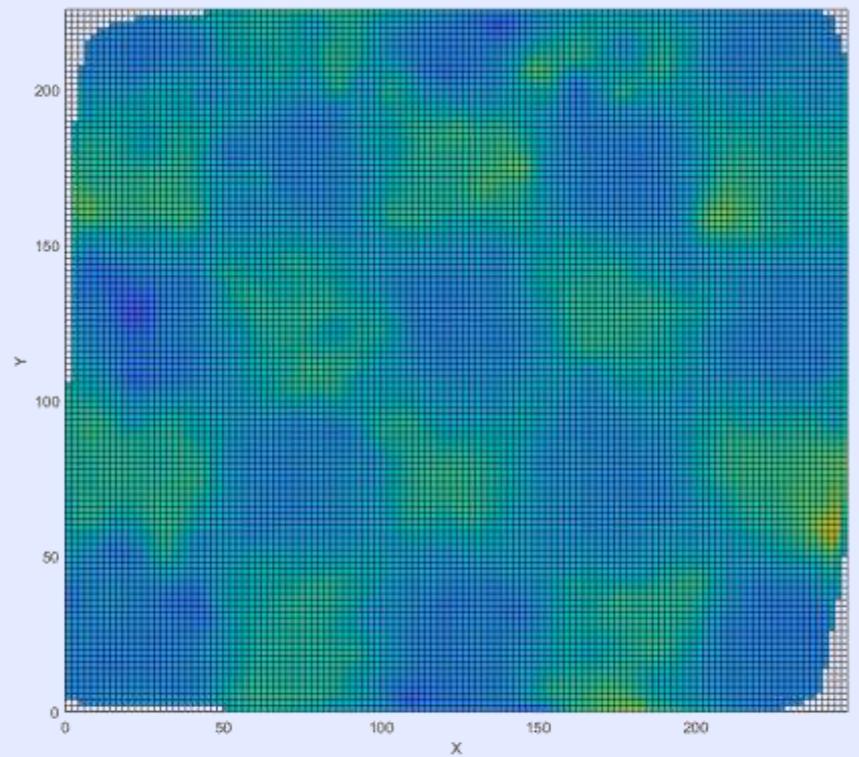
Исходное распределение скоростей



км/с



Результат восстановления по 5 000 гипоцентров

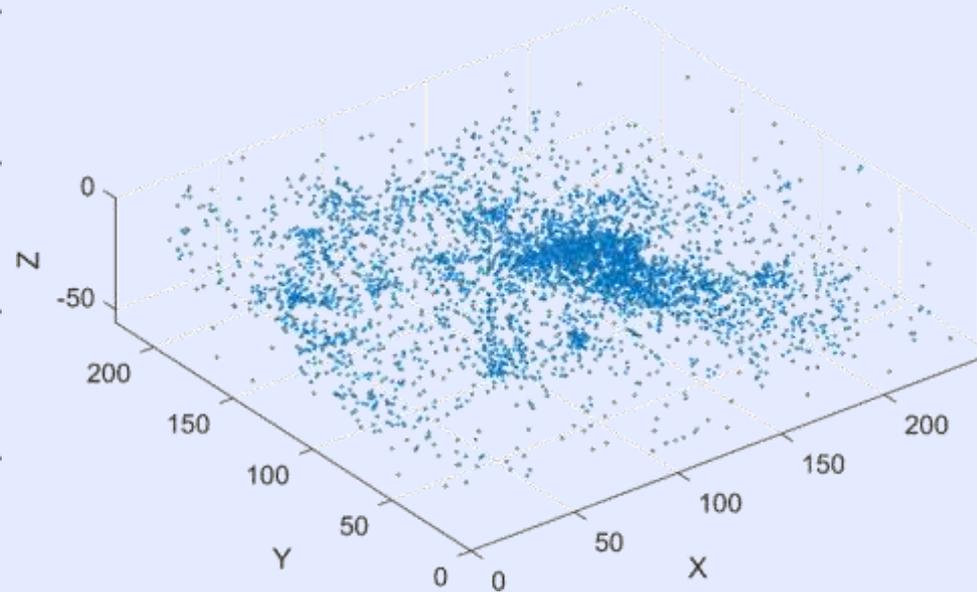




Моделирование с использованием реальных гипоцентров землетрясений Азербайджана

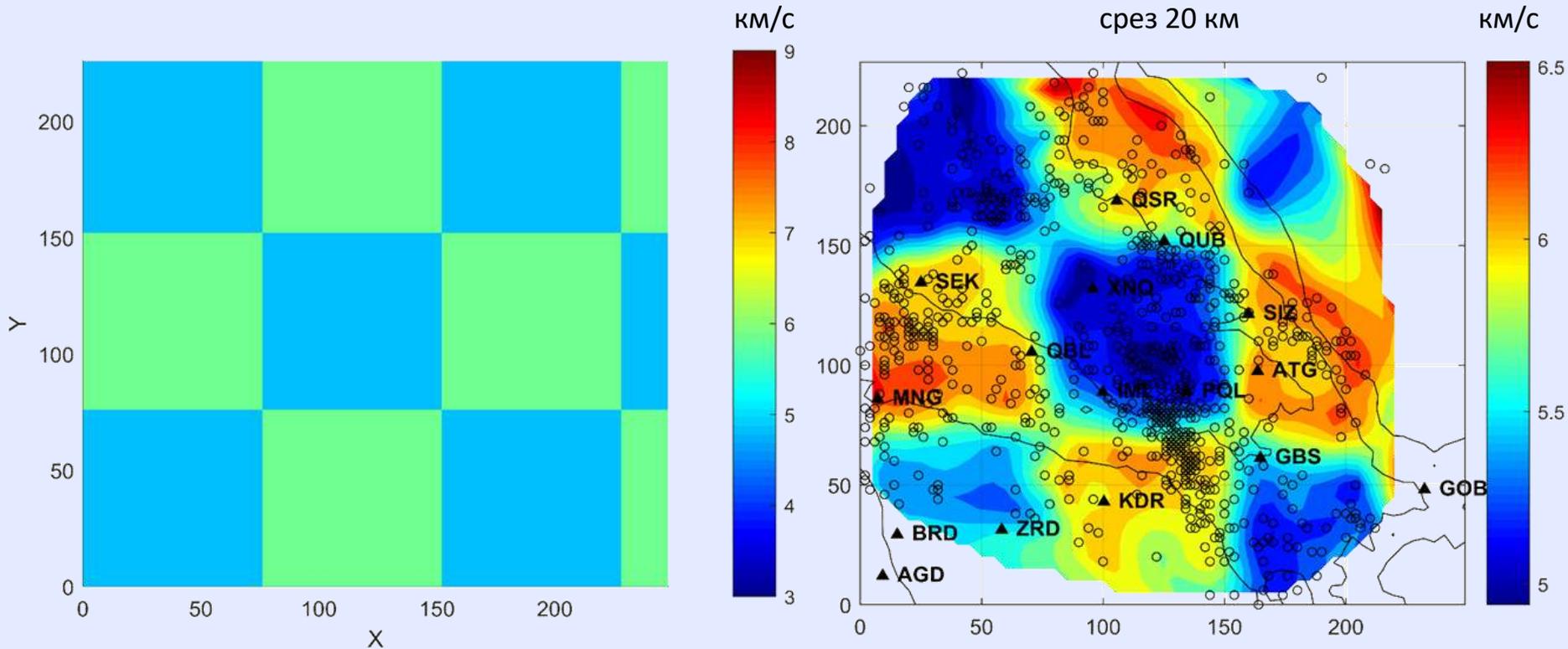


распределение источников,
использовавшихся в расчёте





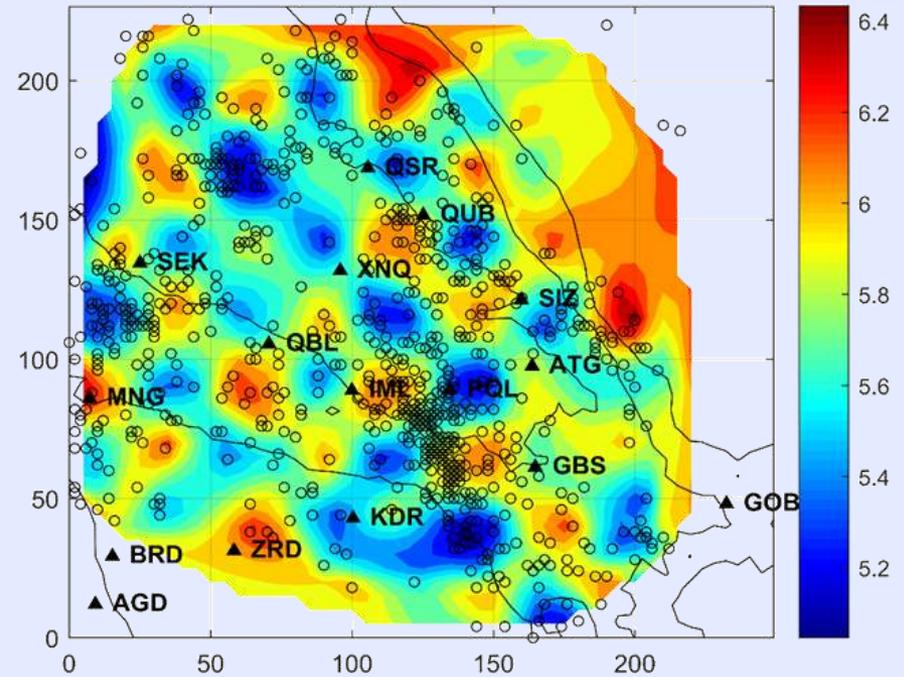
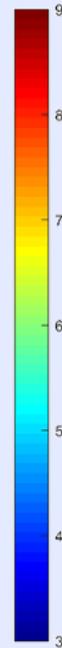
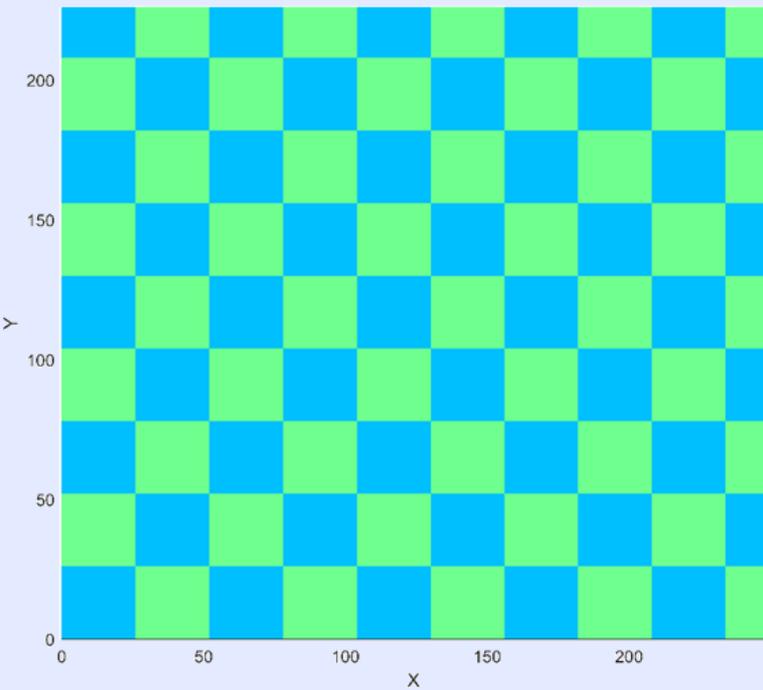
Неоднородность в виде шахматной клетки 76x76 км





Неоднородность в виде шахматной клетки 26x26 км

срез 20 км

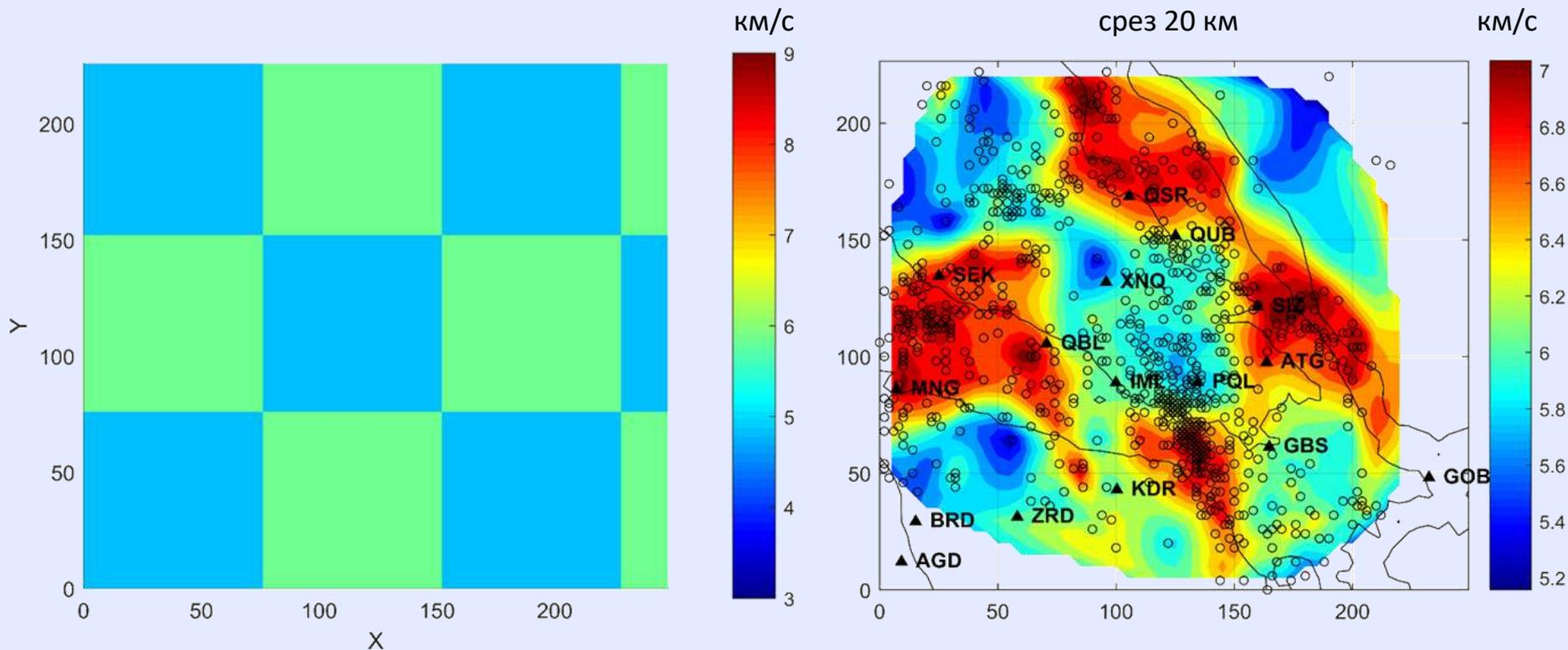




Неоднородность в виде шахматной клетки 76x76 км

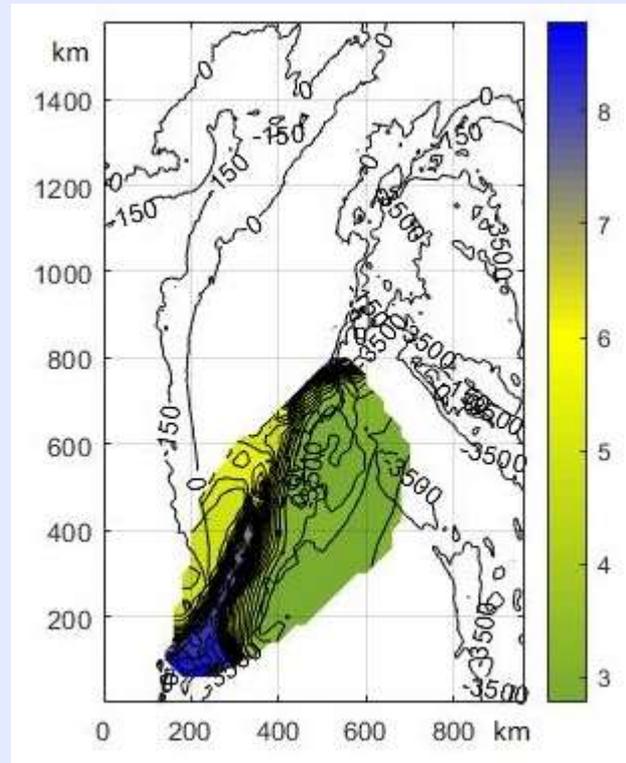
+

ошибка в данных $\sigma_t=0,5$ с; $\sigma_r=4$ км



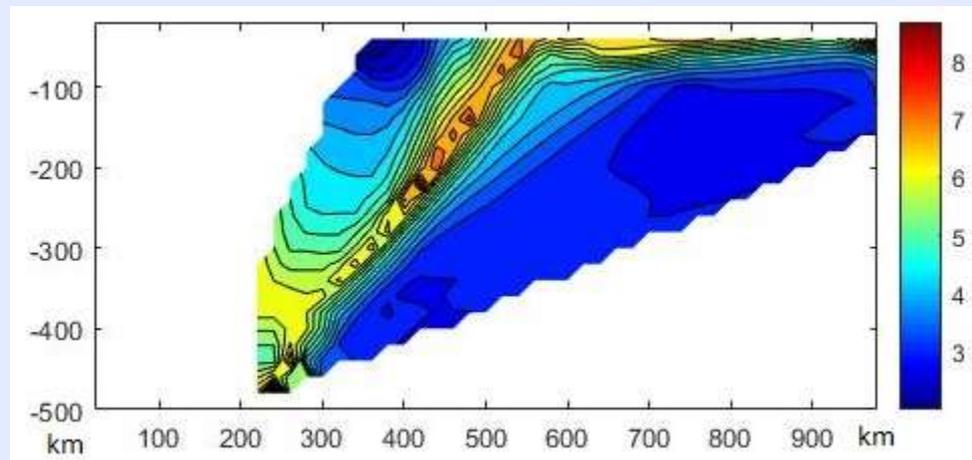


Распределение скоростей Р волн по экспериментальным данным сейсмологической сети (срез на глубине 300 км)



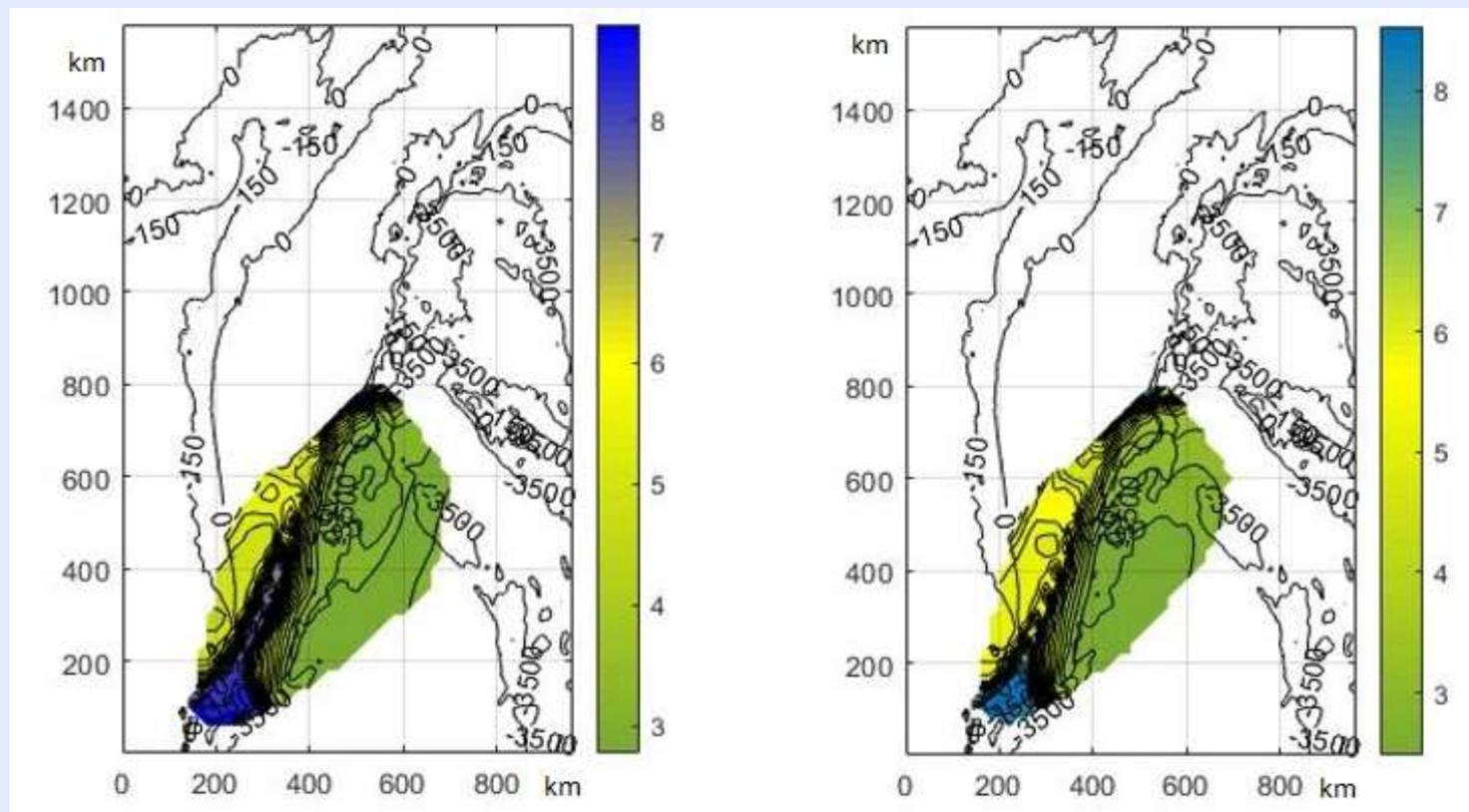


Распределение скоростей Р волн по экспериментальным данным сейсмологической сети (разрез по 54 параллели, Кроноцкий залив)





Устойчивость распределения скоростей Р-волн по экспериментальным данным

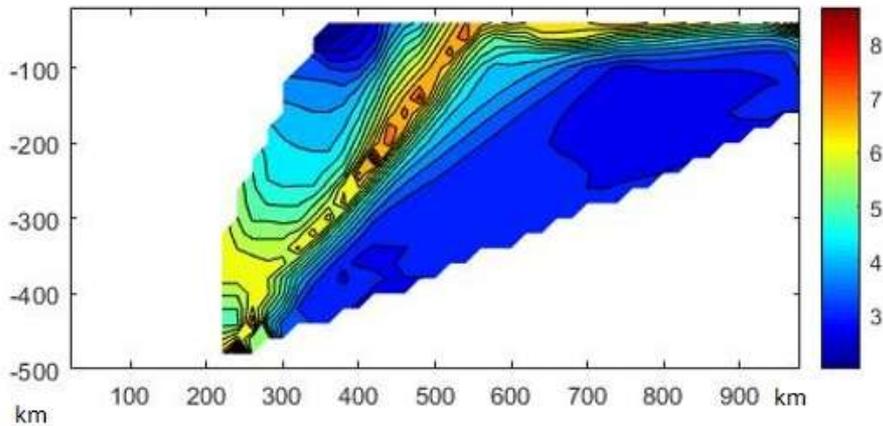


Срез по данным за 2017-2019 годы

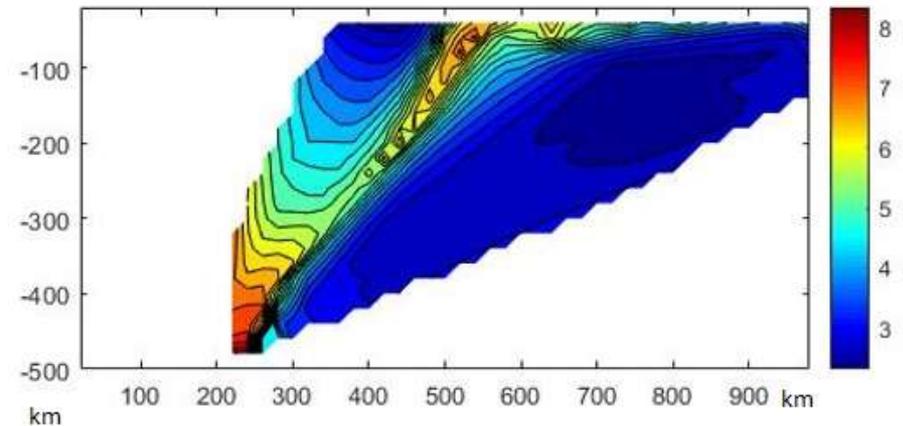
Срез по данным за 2015-2017 годы



Устойчивость распределения скоростей Р-волн по экспериментальным данным



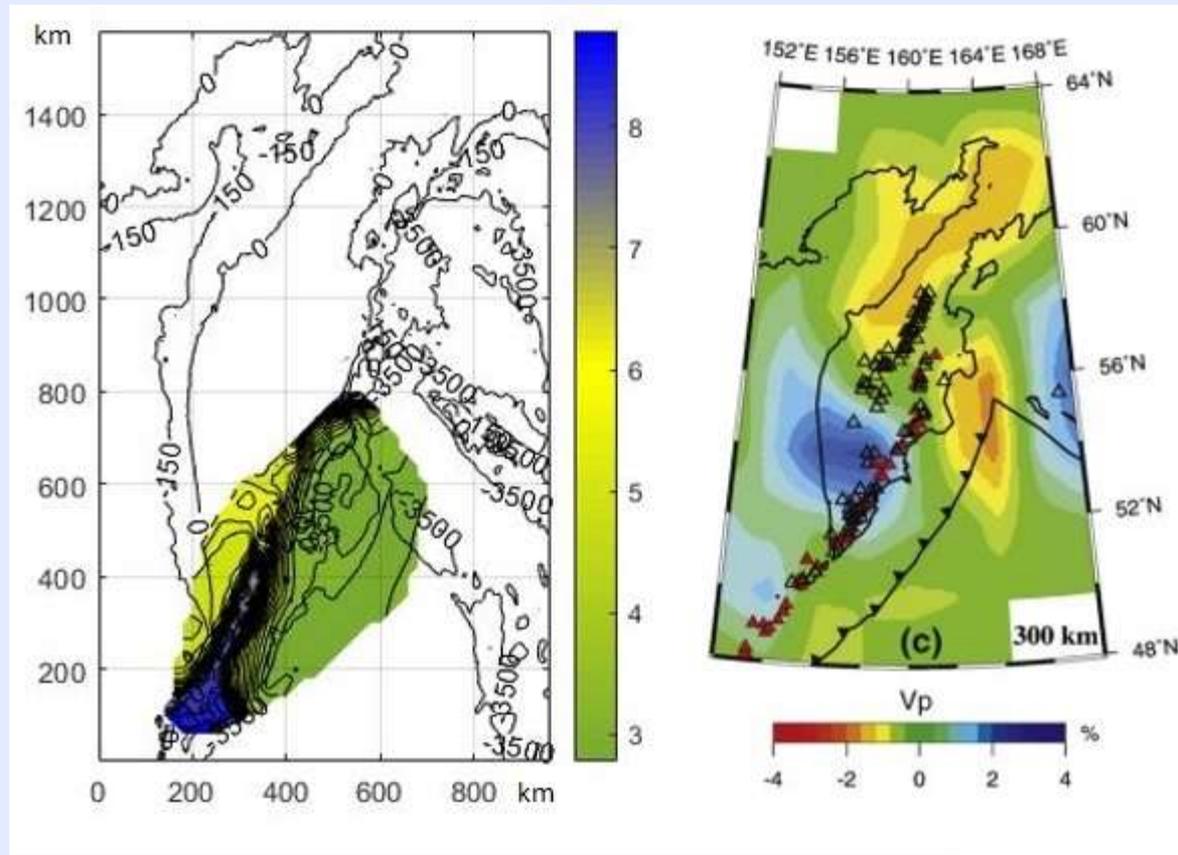
Разрез по данным за 2017-2019 годы



Разрез по данным за 2015-2017 годы



Сравнение распределения скоростей Р-волн

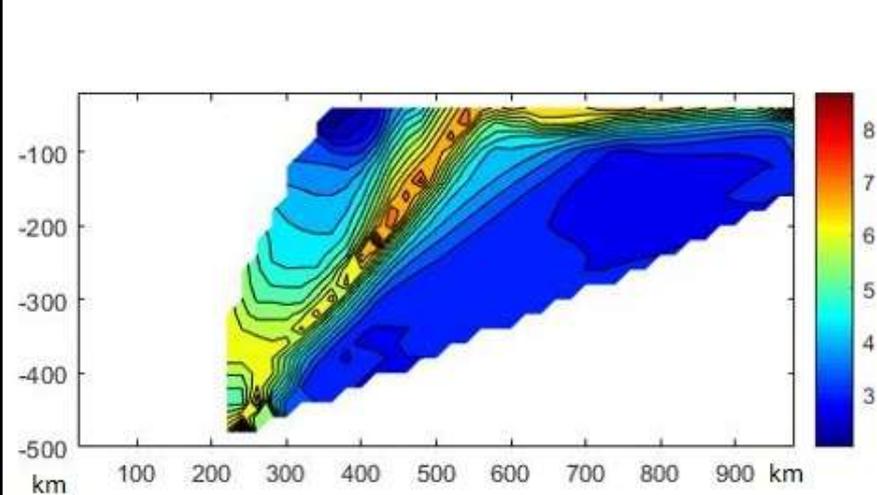


По результатам обработки
модификацией метода

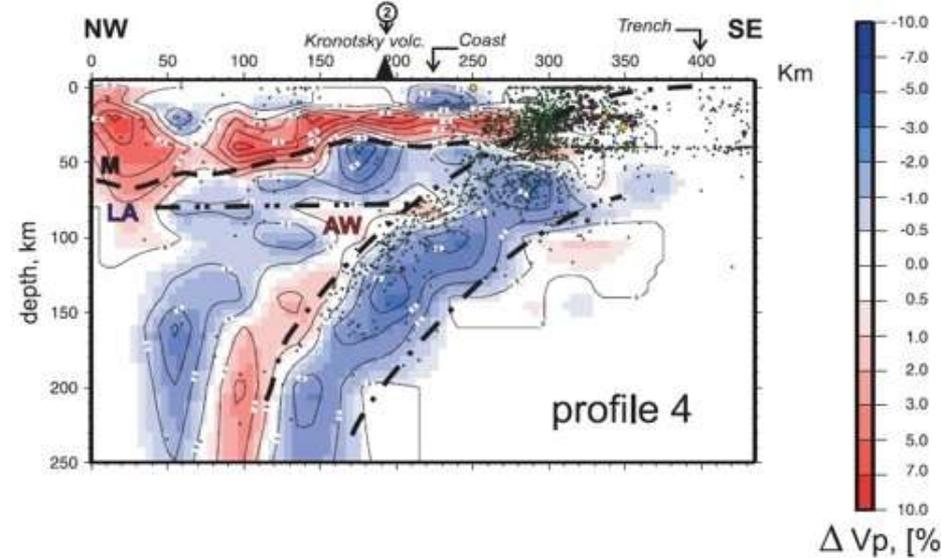
Результаты Guoming
Jiang и Dapeng Zhao



Сравнение осредненного распределения скоростей Р волн и аномалий Буге



По результатам обработки
модификацией метода



Результаты Гонтовой и Низкоус



ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ ИМ. О.Ю. ШМИДТА РАН

Москва, ул. Большая Грузинская, 10 | <http://ifz.ru>

Спасибо за внимание!