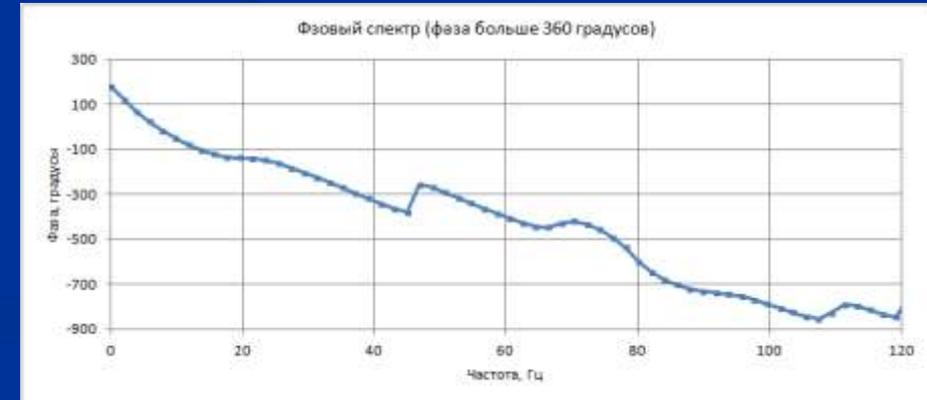
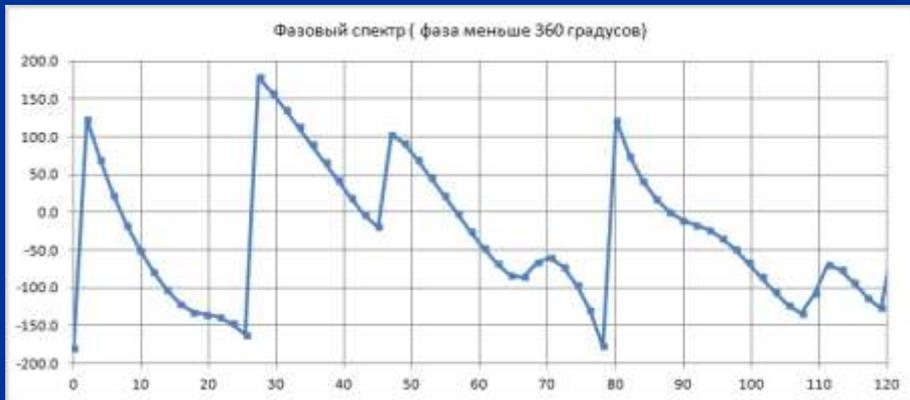
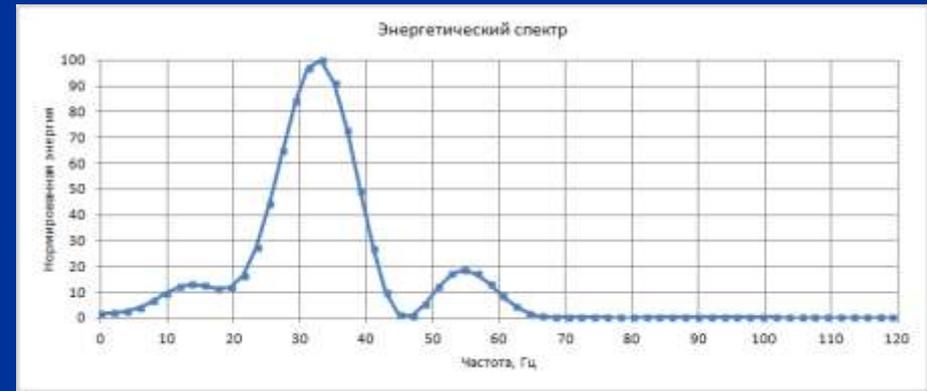
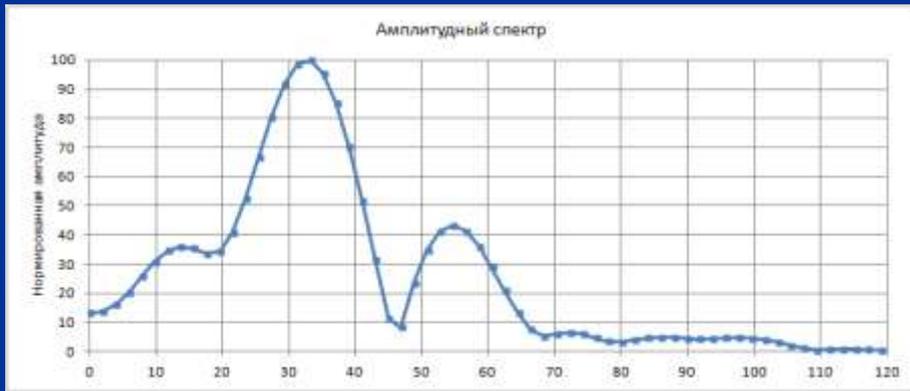
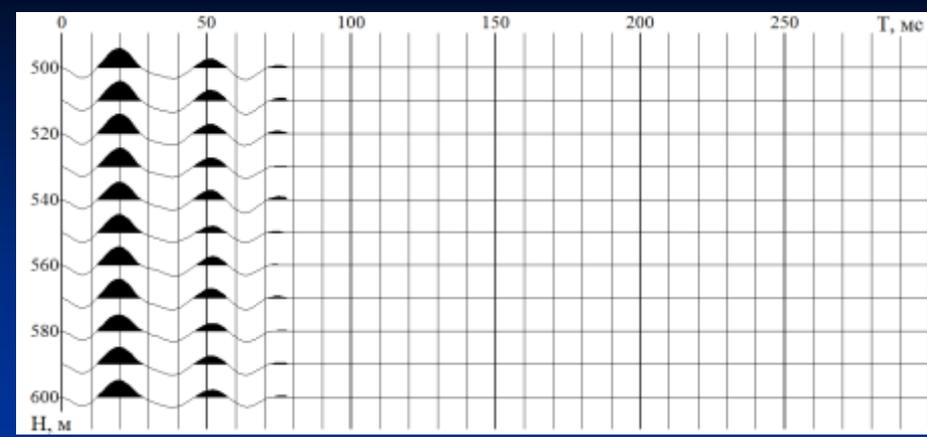
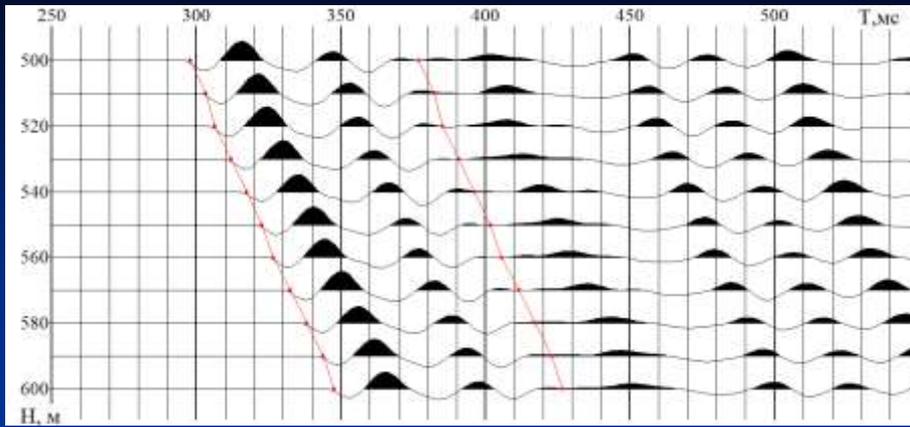


ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ P и S ВОЛН ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ НВСП
ПОСРЕДСТВОМ РАЗЛОЖЕНИЯ СИГНАЛА НА ОЧЕНЬ КОРОТКИЕ
РЯДЫ ФУРЬЕ (3-5 ГАРМОНИК)

Вениамин Андреевич Редекон
(ООО «ВимСейс Технологии»)

«ВСП – метод экспериментального изучения процесса распространения сейсмических волн в реальных средах, основанный на наблюдениях во внутренних точках среды (скважинах).» Е.И.Гальперин.

Импульсы и спектры прямой волны



Эквивалентные формы ряда Фурье

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k \cos \frac{2\pi kt}{T} + b_k \sin \frac{2\pi kt}{T} ; \quad 1)$$

$$f(t) = \sum_{k=-n}^n c_k e^{i \frac{2\pi kt}{T}} ; \quad 2)$$
$$|c_k| = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2} ;$$

$$\text{Arg}(c_k) = -\text{arctg}(b/a); \quad k \geq 0;$$

$$\text{Arg}(c_k) = \text{arctg}(b/a); \quad k < 0;$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n A_k \sin \left(\frac{2\pi kt}{T} + \alpha \right); \quad 3)$$
$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad \alpha = \text{arctg}(a/b);$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n A_k \cos \left(\frac{2\pi kt}{T} - \varphi \right); \quad 4)$$
$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad \varphi = \text{arctg}(b/a);$$

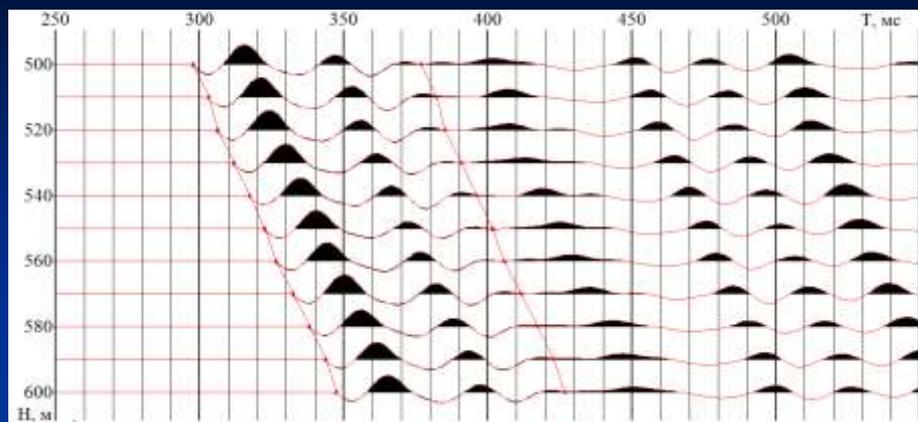
Число коэффициентов разложения (n) обычно велико.

При $T=1\text{с}$, $f_{\Delta}=1000\text{Гц}$, $n=500$.

Даже в полосе частот полезного сигнала до $50\text{-}100\text{Гц}$, $n > 50$ – все равно много. Трудно анализировать.

Возникает вопрос, а сколько всего коэффициентов разложения n взять, чтобы при аппроксимации сигнала НВСП рядом в нем была сосредоточена большая часть энергии сигнала.

Исходные трассы и результат разложения в ряд (красная линия)



Сопоставление амплитудных спектров.

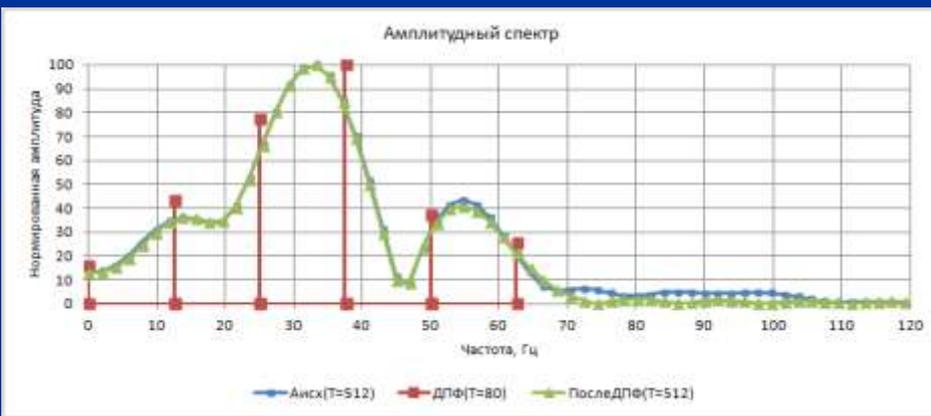
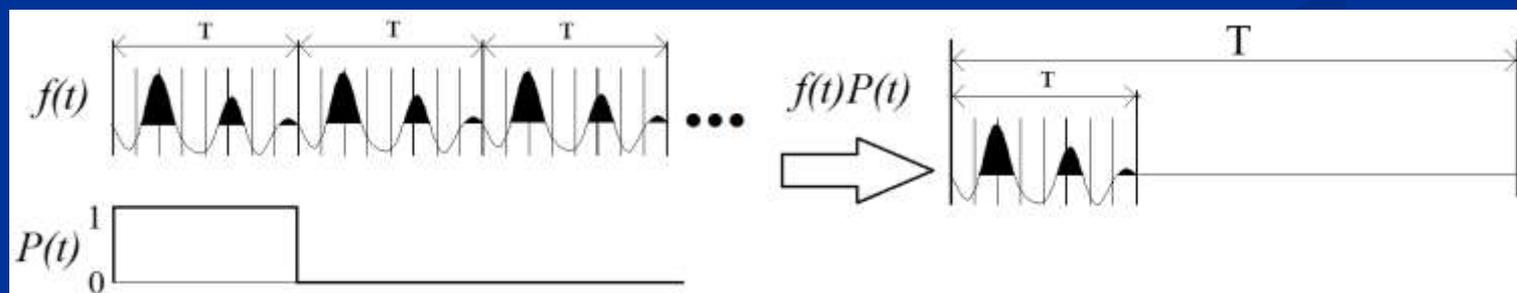
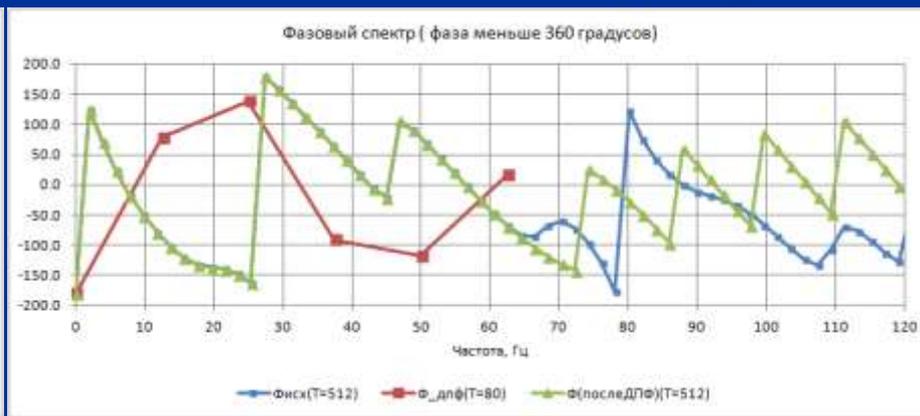


Таблица разложения в ряд

Глубина (м)	A0	F=12.5 Гц		...	F=62.5 Гц		Энергия (%)
		Ампл.	Фаза		Ампл.	Фаза	
540	-0.43	1.41	0.15	...	0.66	0.93	99.7
550	-0.43	1.39	0.21	...	0.65	1.14	99.5
560	-0.47	1.29	0.2	...	0.77	1.26	99.3
570	-0.42	1.26	0.25	...	0.68	1.24	99.5
580	-0.47	1.32	0.1	...	0.53	1.22	99.5
590	-0.44	1.32	0.23	...	0.56	1.36	99.5

Сопоставление фазовых спектров.

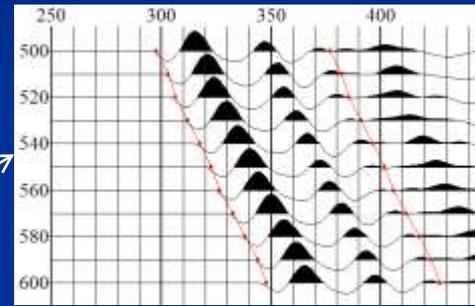
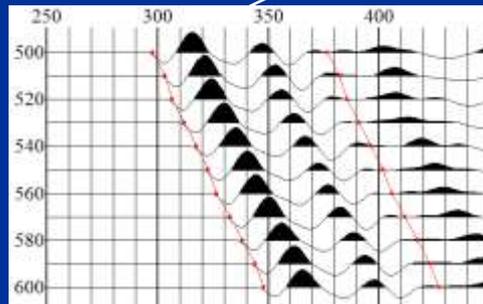


Формы представления разложения исходного импульса на гармоники

Глубина (м)	A0	F=12.5 Гц		...	F=62.5 Гц		Энергия (%)
		Ампл.	Фаза		Ампл.	Фаза	
540	-0.43	1.41	0.15	...	0.66	0.93	99.7
550	-0.43	1.39	0.21	...	0.65	1.14	99.5
560	-0.47	1.29	0.2	...	0.77	1.26	99.3
570	-0.42	1.26	0.25	...	0.68	1.24	99.5
580	-0.47	1.32	0.1	...	0.53	1.22	99.5
590	-0.44	1.32	0.23	...	0.56	1.36	99.5

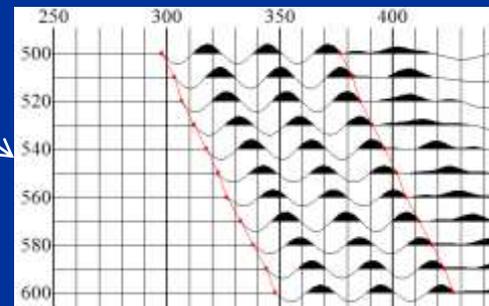
Таблица

Изучение изменения амплитуд и фаз гармоник



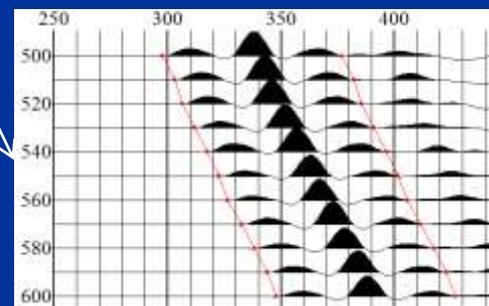
Суммарный импульс

Упрощение формы импульса.



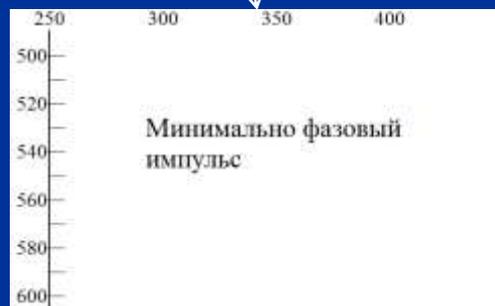
Отдельные гармоники

Получение фазового годографа. Изучение поляризации.



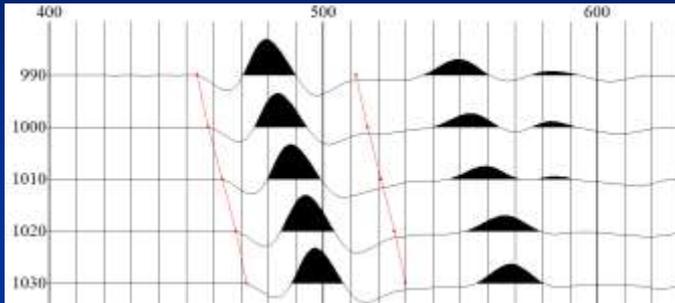
Симметричный импульс

Оценка нульфазовой деконволюции.

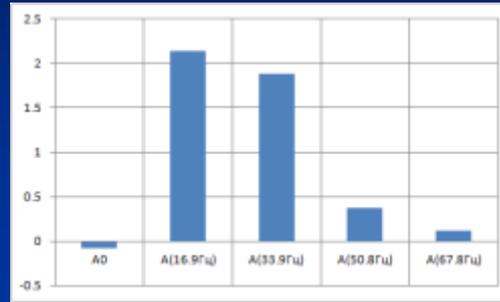


Оценка формы импульса после деконволюции

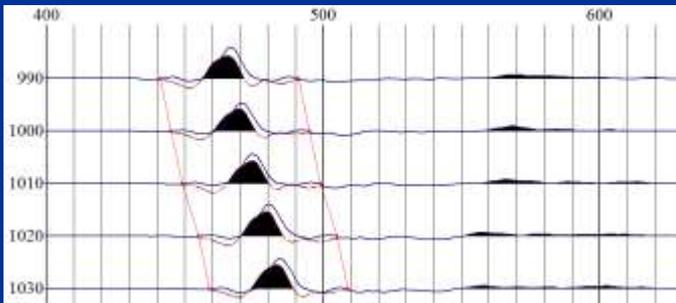
Исходный импульс в
первых вступлениях



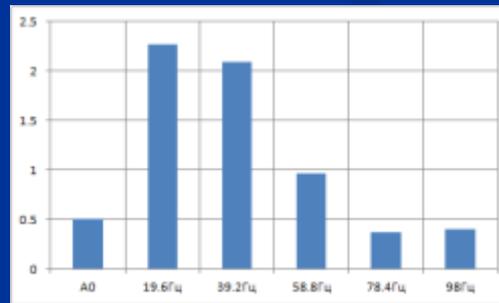
Амплитуды первых
четырех гармоник



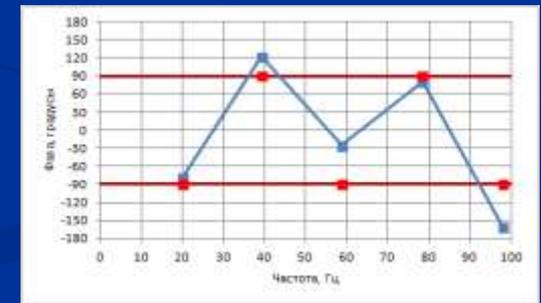
Импульс в первых вступлениях
после деконволюции
Синим цветом – нульфазовый



Амплитуды первых пяти
гармоник

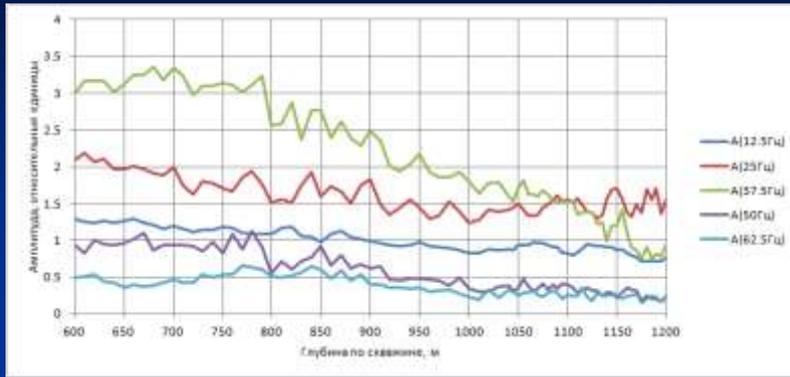


Фазы первых пяти
гармоник
Красным цветом –
гармоники нульфазового
импульса

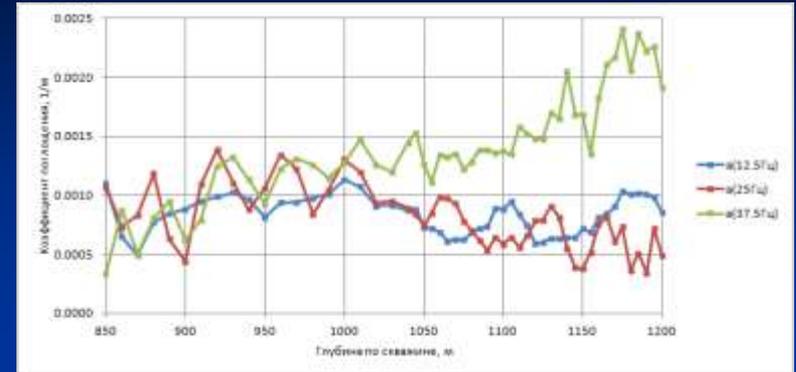


Работа с таблицей параметров (амплитуд и фаз) гармоник

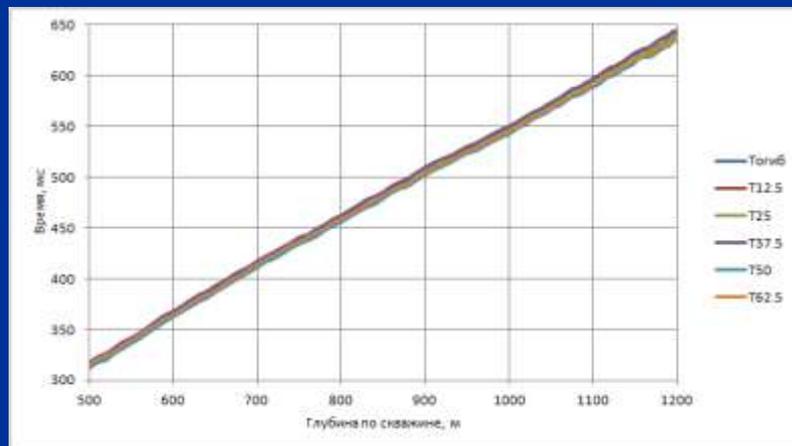
Амплитуды отдельных гармоник



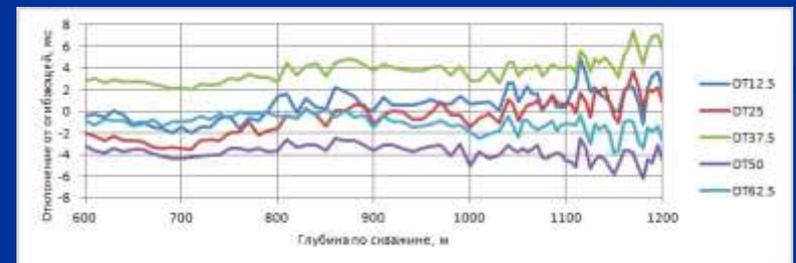
Коэффициенты поглощения



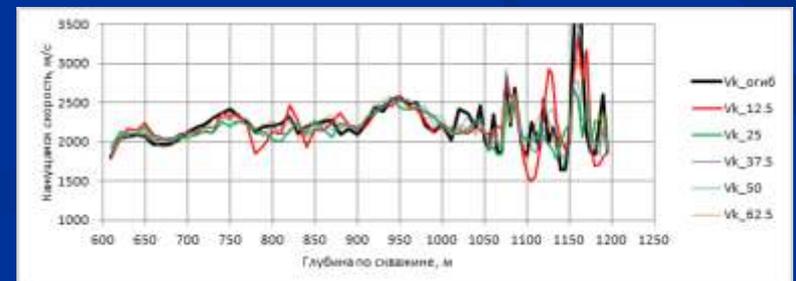
Фазовые годографы отдельных гармоник и годограф их огибающей

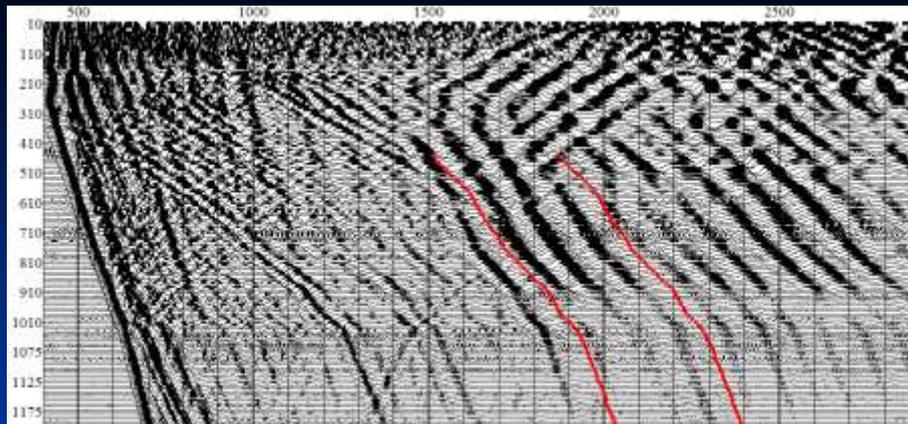


Отклонения фазовых годографов от огибающей

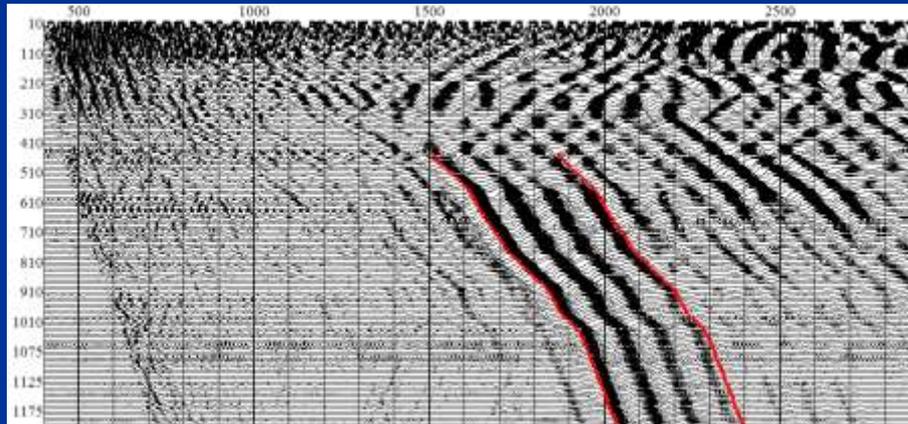


Кажущаяся скорость гармоник

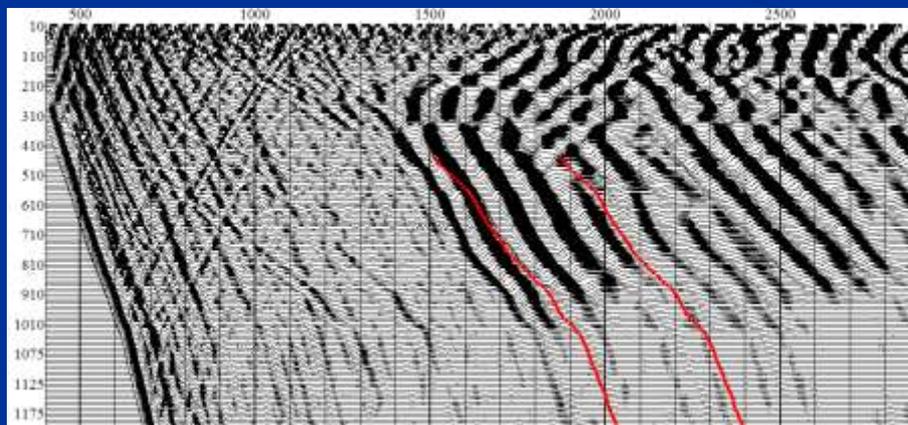




X

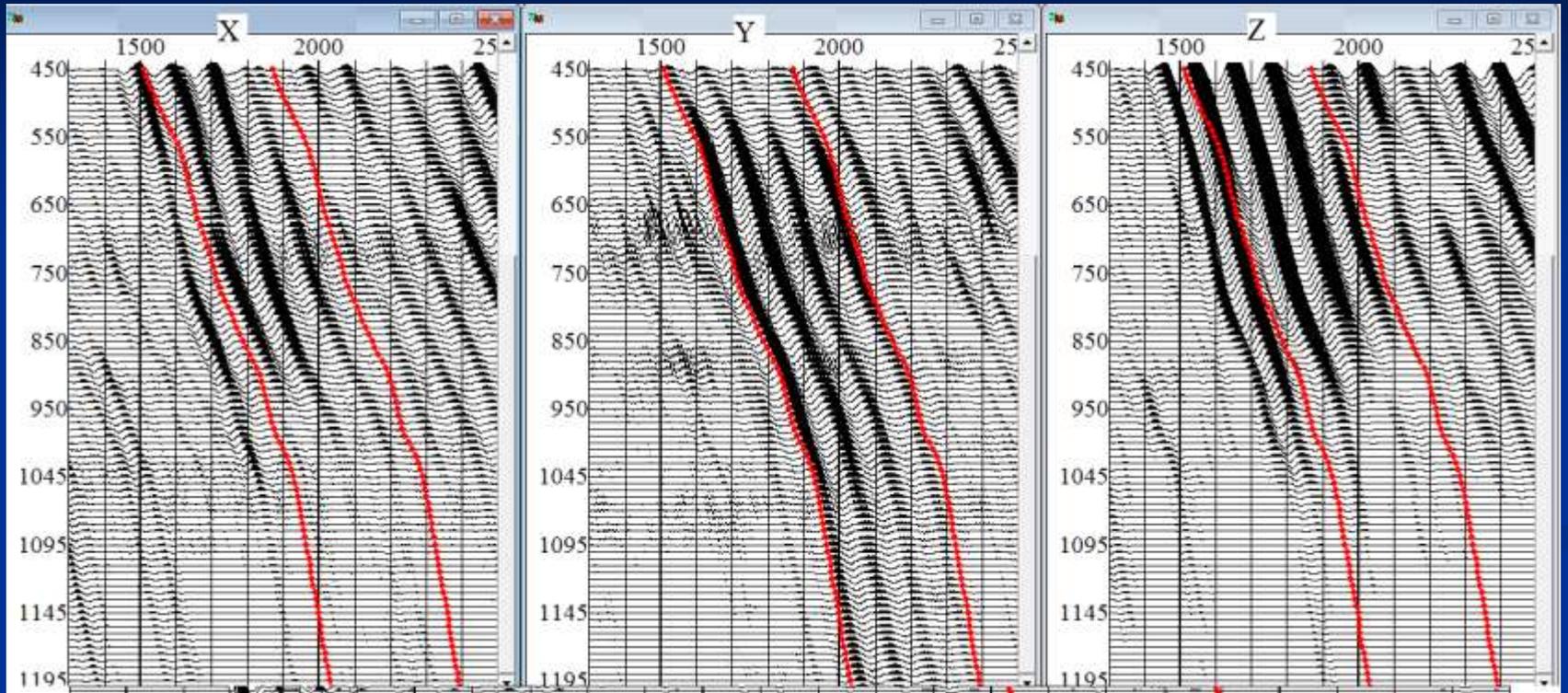


Y

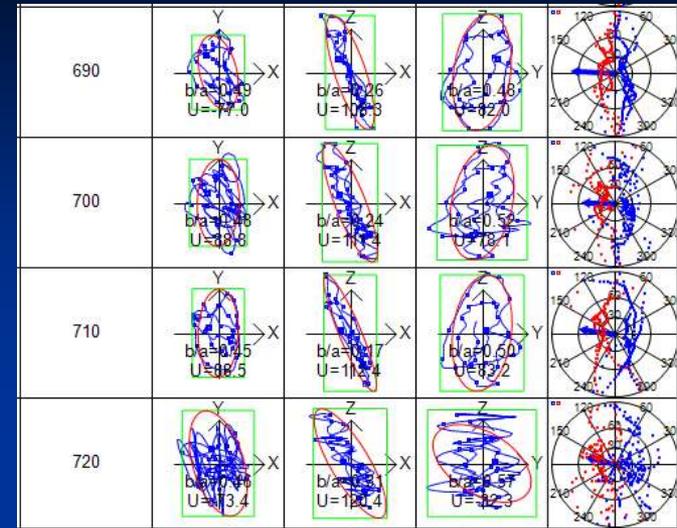
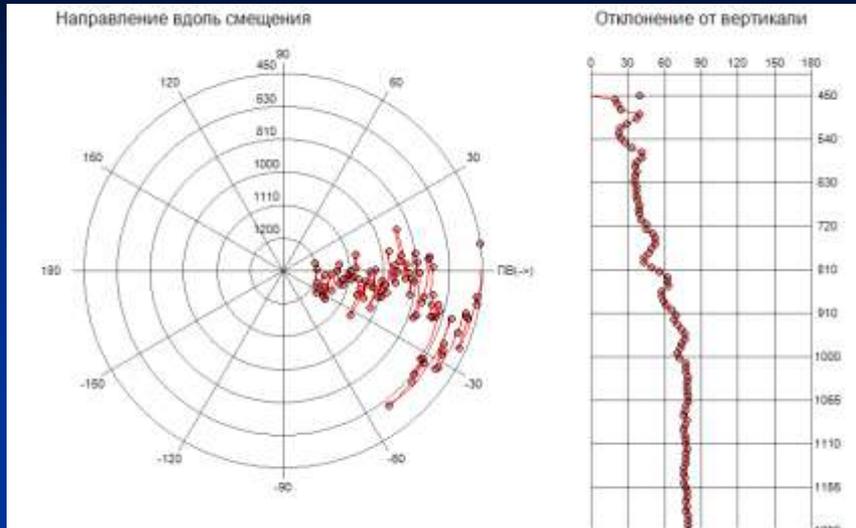


Z

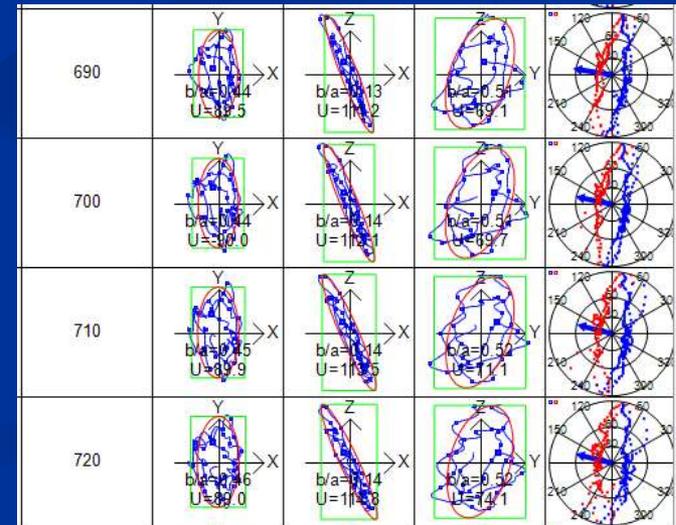
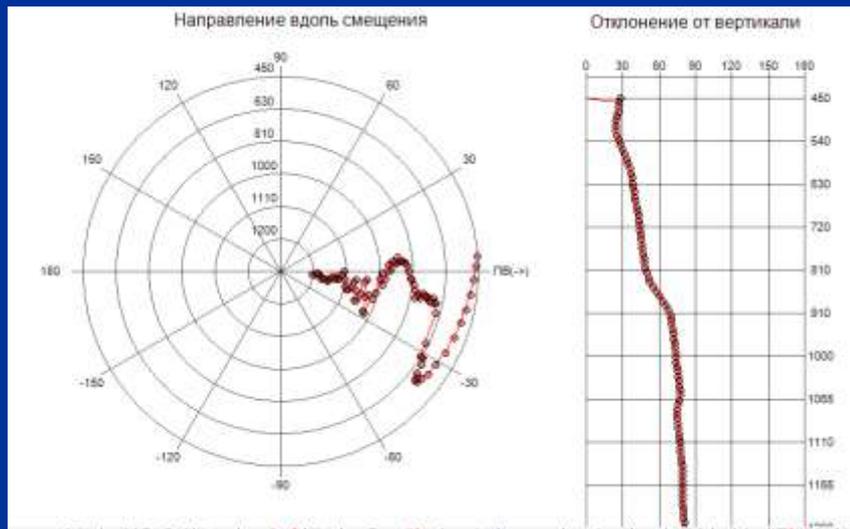
Выделение падающих S волн.



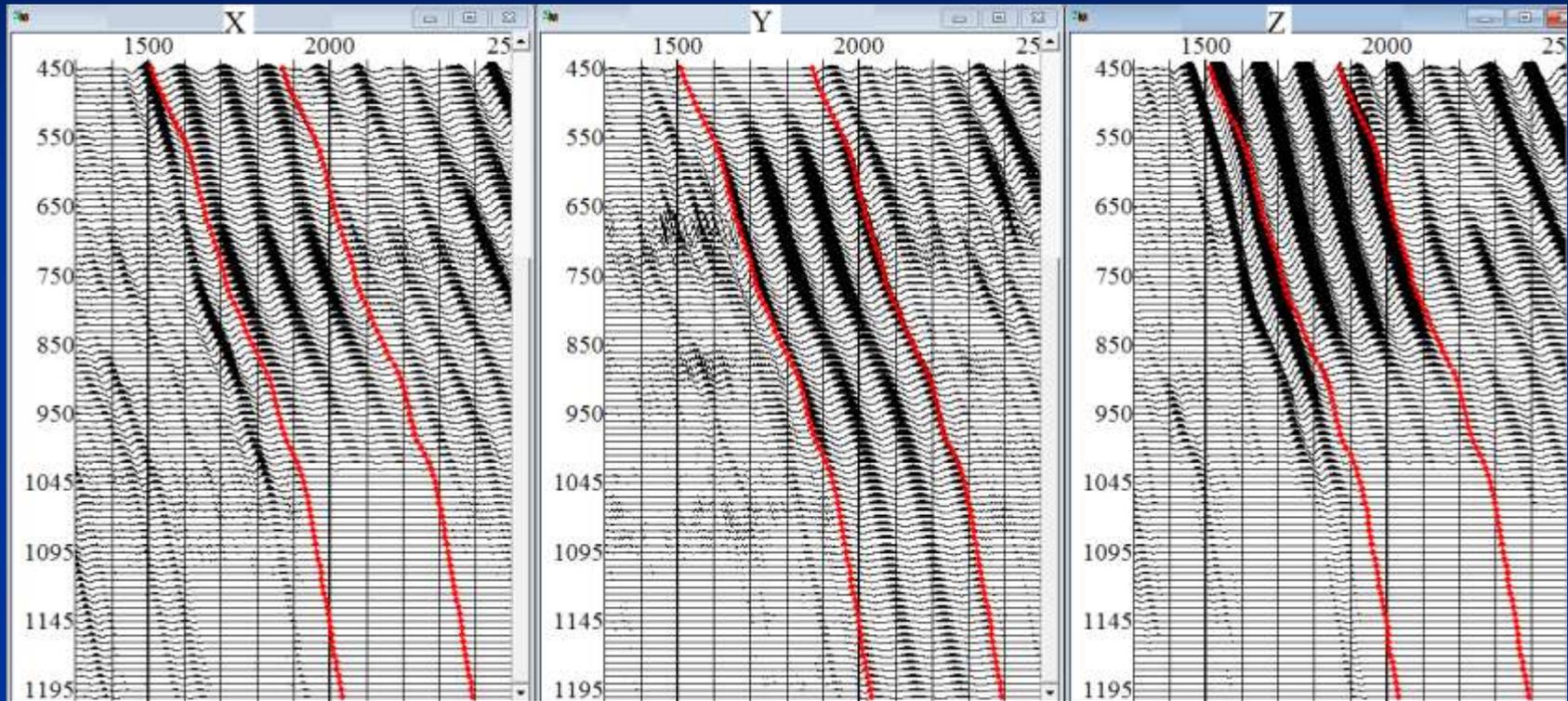
Поляризация до фильтрации



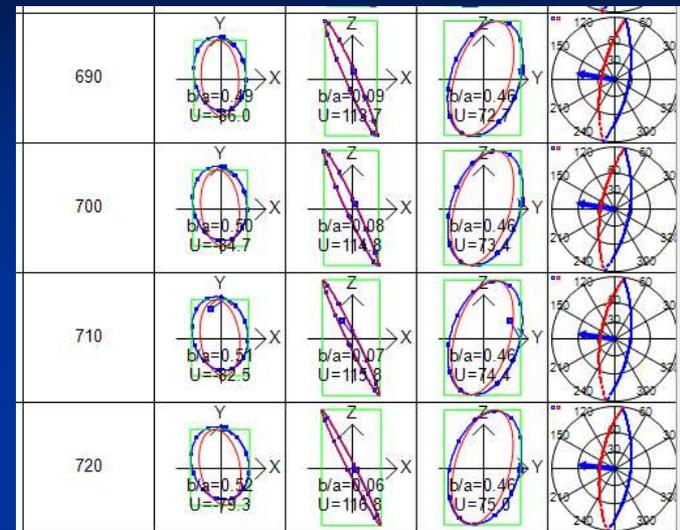
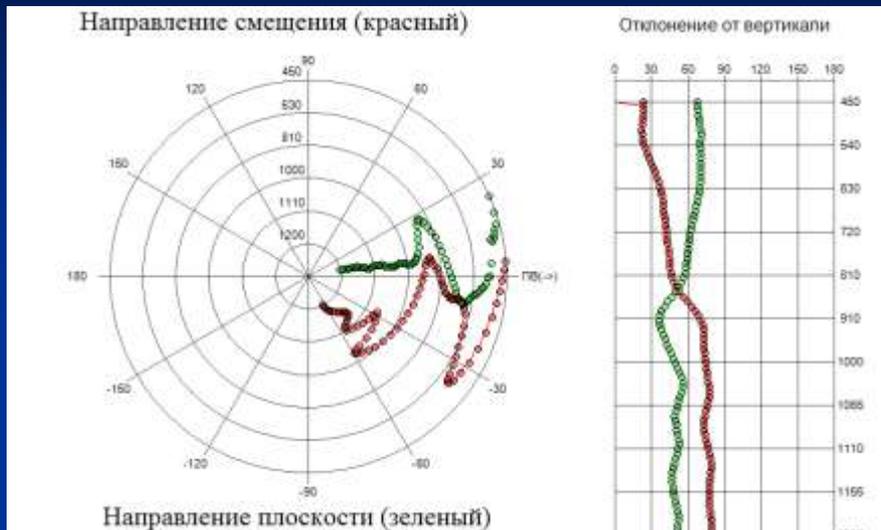
Поляризация после выделения падающих волн



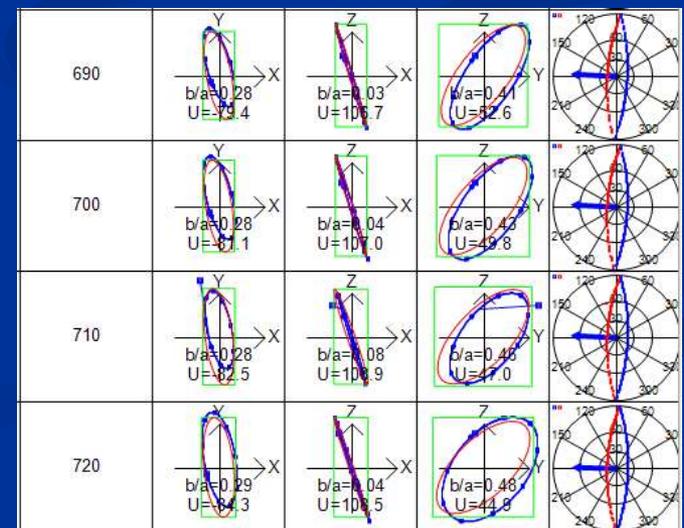
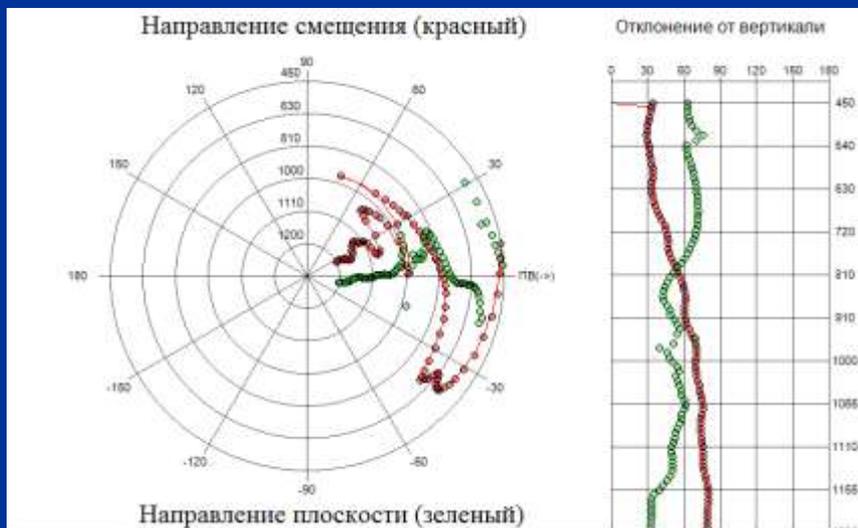
Выделение спектральной составляющей 8.3Гц



Поляризация S волны гармоника 8.3Гц



Поляризация S волны гармоника 11.1Гц



Закон Гука

Уравнения движения

Плоская волна

$$\sigma_{ij} = \sum_k \sum_l C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

$$\rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2} = \sum_j \frac{\partial \sigma_{ji}}{\partial x_j}$$

$$u_i = k_i f\left(t - \frac{(\vec{n}\vec{r})}{V}\right)$$

Уравнение Кристоффеля

$$\rho V^2 k_i = \sum_j \sum_k \sum_l C_{ijkl} n_j n_k k_l$$

$$\rho V^2 k_i = \sum_l \Gamma_{il} k_l; \quad \Gamma_{il} = \sum_j \sum_k C_{ijkl} n_j n_k$$

$$\rho V^2 \ddot{u} = A \ddot{u} + H \ddot{v} + G \ddot{w}$$

$$\rho V^2 \ddot{v} = H \ddot{u} + B \ddot{v} + F \ddot{w}$$

$$\rho V^2 \ddot{w} = G \ddot{u} + F \ddot{v} + C \ddot{w}$$

$$\ddot{u} = \frac{\partial^2 U_x}{\partial t^2}, \quad \ddot{v} = \frac{\partial^2 U_y}{\partial t^2}, \quad \ddot{w} = \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2},$$

Виды симметрии

Триклинная

$$\begin{array}{cccccc}
 C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\
 & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\
 & & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\
 & & & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\
 & & & & C_{55} & C_{56} \\
 & & & & & C_{66}
 \end{array}$$

Моноклинная

$$\begin{array}{cccccc}
 C_{11} & C_{12} & C_{13} & & & C_{16} \\
 & C_{22} & C_{23} & & & C_{26} \\
 & & C_{33} & & & C_{36} \\
 & & & C_{44} & C_{45} & \\
 & & & & C_{55} & \\
 & & & & & C_{66}
 \end{array}$$

Орторомбическая

$$\begin{array}{cccccc}
 C_{11} & C_{12} & C_{13} & & & \\
 & C_{22} & C_{23} & & & \\
 & & C_{33} & & & \\
 & & & C_{44} & & \\
 & & & & C_{55} & \\
 & & & & & C_{66}
 \end{array}$$

Тетрагональная

$$\begin{array}{cccccc}
 C_{11} & C_{12} & C_{13} & & & \\
 & C_{11} & C_{13} & & & \\
 & & C_{33} & & & \\
 & & & C_{44} & & \\
 & & & & C_{44} & \\
 & & & & & C_{66}
 \end{array}$$

Гексагональная (VTI, HTI, TTI)

$$\begin{array}{cccccc}
 C_{11} & C_{13} & C_{13} & & & \\
 & C_{33} & (C_{33} - 2C_{44}) & & & \\
 & & C_{33} & & & \\
 & & & C_{44} & & \\
 & & & & C_{66} & \\
 & & & & & C_{66}
 \end{array}$$

Кубическая

$$\begin{array}{cccccc}
 C_{11} & C_{13} & C_{13} & & & \\
 & C_{11} & C_{13} & & & \\
 & & C_{11} & & & \\
 & & & C_{66} & & \\
 & & & & C_{66} & \\
 & & & & & C_{66}
 \end{array}$$

Изотропная среда.

$$\begin{array}{cccccc}
 (\lambda + 2\mu) & \lambda & \lambda & & & \\
 & (\lambda + 2\mu) & \lambda & & & \\
 & & (\lambda + 2\mu) & & & \\
 & & & \mu & & \\
 & & & & \mu & \\
 & & & & & \mu
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 (\lambda + 2\mu) &= \rho V_p^2; \\
 \mu &= \rho V_s^2
 \end{aligned}$$

Возможный расчет упругих постоянных в случае орторомбической симметрии

$$\rho V^2 \ddot{u} = A\ddot{u} + H\ddot{v} + G\ddot{w};$$

$$\rho V^2 \ddot{v} = H\ddot{u} + B\ddot{v} + F\ddot{w};$$

$$\rho V^2 \ddot{w} = G\ddot{u} + F\ddot{v} + C\ddot{w};$$

A, B, C, F, G, H – коэффициенты зависящие от C_{ij} и \mathbf{n} .

$\ddot{u}, \ddot{v}, \ddot{w}$ – вторые производные смещений по времени.

При орторомбической симметрии имеется 9 упругих постоянных:

$C_{11}, C_{22}, C_{33}, C_{44}, C_{55}, C_{66}, C_{12}, C_{13}, C_{23}$, остальные равны нулю.

$$\begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & 0 & 0 & 0 & A_{17} & A_{18} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & A_{24} & A_{25} & 0 & A_{27} & 0 & A_{29} \\ 0 & 0 & A_{33} & 0 & A_{35} & A_{36} & 0 & A_{38} & A_{39} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & 0 & 0 & 0 & A_{47} & A_{48} & 0 \\ 0 & A_{52} & 0 & A_{54} & A_{55} & 0 & A_{57} & 0 & A_{59} \\ 0 & 0 & A_{63} & 0 & A_{65} & A_{66} & 0 & A_{68} & A_{69} \\ A_{71} & A_{72} & A_{73} & 0 & 0 & 0 & A_{77} & A_{78} & 0 \\ 0 & A_{82} & 0 & A_{84} & A_{85} & 0 & A_{87} & 0 & A_{89} \\ 0 & 0 & A_{93} & 0 & A_{95} & A_{96} & 0 & A_{98} & A_{99} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} C_{11} \\ C_{12} \\ C_{13} \\ C_{22} \\ C_{23} \\ C_{33} \\ C_{44} \\ C_{55} \\ C_{66} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V_1 \ddot{u} \\ V_1 \ddot{v} \\ V_1 \ddot{w} \\ V_2 \ddot{u} \\ V_2 \ddot{v} \\ V_2 \ddot{w} \\ V_3 \ddot{u} \\ V_3 \ddot{v} \\ V_3 \ddot{w} \end{vmatrix}$$

$$A_{11} = n_x n_x \ddot{u};$$

$$A_{12} = n_x n_y \ddot{v};$$

$$A_{13} = n_x n_z \ddot{w};$$

$$A_{17} = n_y^2 \ddot{u} + n_x n_y \ddot{v};$$

$$A_{18} = n_z^2 \ddot{u} + n_y n_z \ddot{w};$$

$$A_{22} = n_x n_y \ddot{u};$$

$$A_{24} = n_y n_y \ddot{v};$$

$$A_{25} = n_y n_z \ddot{w};$$

$$A_{27} = n_x^2 \ddot{v} + n_x n_y \ddot{u};$$

$$A_{29} = n_z^2 \ddot{v} + n_y n_z \ddot{w};$$

$$A_{33} = n_x n_z \ddot{u};$$

$$A_{35} = n_y n_z \ddot{v};$$

$$A_{36} = n_z n_z \ddot{w};$$

$$A_{38} = n_x^2 \ddot{w} + n_x n_z \ddot{u};$$

$$A_{39} = n_y^2 \ddot{w} + n_y n_z \ddot{v};$$

$$A_{ij} = n_l n_k m; \quad l, k = \{x, y, z\}; \quad m = \{\ddot{u}, \ddot{v}, \ddot{w}\}.$$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ.