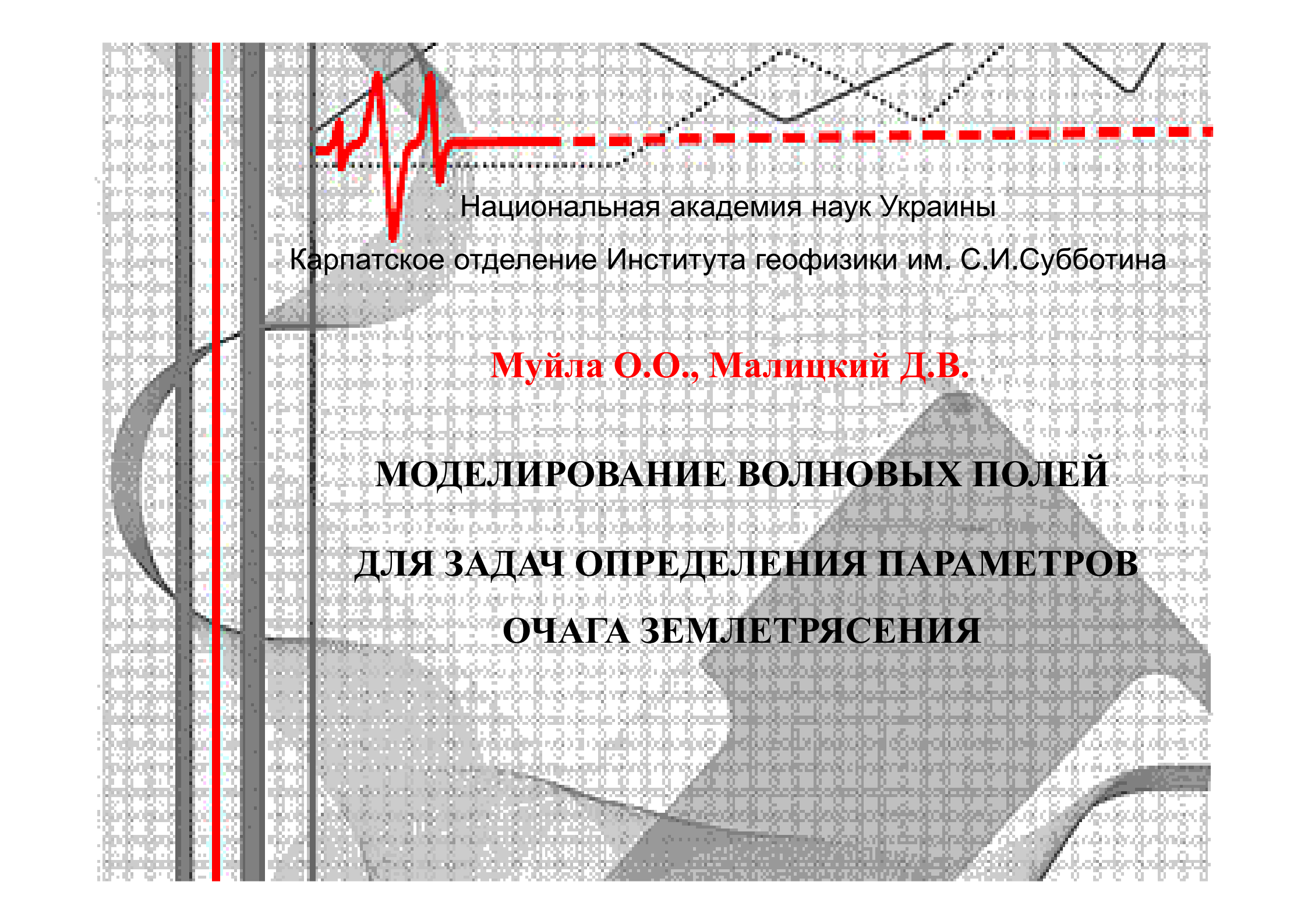


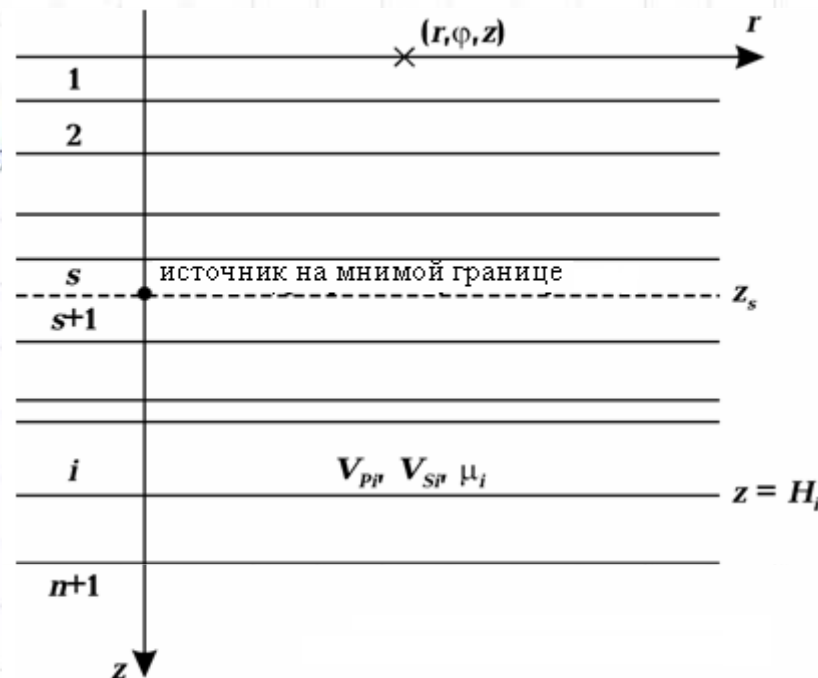


Национальная академия наук Украины
Карпатское отделение Института геофизики им. С.И.Субботина

Муйла О.О., Малицкий Д.В.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ
ДЛЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

Математическая постановка прямой задачи



Вертикально неоднородная среда

Модель среды

Каждый слой характеризуется:
 h_i – толщина; μ_i – модуль сдвига;
 V_{pi} – скорость продольных волн;
 V_{si} – скорость поперечных волн.

На границе между слоями выполняется условие жесткого контакта.

Источник сейсмических волн находится на мнимой границе s на глубине h_s

Уравнения движения в i -ом слое: $\rho_i \ddot{\mathbf{u}}_i = (\lambda_i + 2\mu_i) \nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}_i) - \mu_i \nabla \times (\nabla \times \mathbf{u}_i)$

Начальные условия: $\mathbf{u}_i(\mathbf{r}, 0) = 0; \dot{\mathbf{u}}_i(\mathbf{r}, 0) = 0; \mathbf{r} = (0, 0, z_s)$

Граничные условия: $\mathbf{u}_i(\mathbf{r}, t) = \mathbf{u}_{i+1}(\mathbf{r}, t); \tau_{zm_i}(\mathbf{r}, t) = \tau_{zm_{i+1}}(\mathbf{r}, t), \mathbf{r} \neq (0, 0, z_s)$

Значения потенциалов волн в i -том слое

$$\begin{aligned}
 \varphi_i(r, \varphi_a, z, t) = & \cos \varphi_a \int_0^\infty \frac{k J_1(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{xz_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{xz_i}^- e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta + \\
 & + \sin \varphi_a \int_0^\infty \frac{k J_1(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{yz_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{yz_i}^- e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta + \cos^2 \varphi_a \int_0^\infty \frac{k J_0(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{xx_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{xx_i}^- e^{-k(z-H_{i-1})\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta + \\
 & + \sin^2 \varphi_a \int_0^\infty \frac{k J_0(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{yy_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{yy_i}^- e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta + \sin 2\varphi_a \int_0^\infty \frac{k J_0(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{xy_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{xy_i}^- e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta + \\
 & + \frac{\cos^2 \varphi_a}{r} \int_0^\infty \frac{J_1(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[(X_{yy_i}^+ - X_{xx_i}^+) e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + (X_{yy_i}^- - X_{xx_i}^-) e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta - \\
 & - \frac{2 \sin 2\varphi_a}{r} \int_0^\infty \frac{J_1(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{xy_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{xy_i}^- e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta + \int_0^\infty \frac{k J_0(kr) dk}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \left[X_{zz_i}^+ e^{k(z-H_{i-1})\alpha_i} + X_{zz_i}^- e^{k(H_{i-1}-z)\alpha_i} \right] e^{kt\eta} d\eta;
 \end{aligned}$$

где $X_{xz_i}^+$, $X_{xz_i}^-$ — описывают волны, которые распространяются в направлении роста z и убывания z в i -том слое;

k — волновое число; φ_a — азимут; η — переменная Меллина; J_0 , J_1 — функции Бесселя.

Смещения и напряжения через потенциалы

Смещение в i -том слое: $\mathbf{u} = \nabla \varphi + \nabla \times (\nabla \times \mathbf{k} \psi) + \nabla \times \mathbf{k} \chi$

$$\tau_{zr} = \mu(u_{z,r} + u_{r,z}), \quad \tau_{z\varphi} = \mu\left(u_{\varphi,z} + \frac{1}{r}u_{z,\varphi}\right), \quad \tau_{zz} = \lambda \cdot \operatorname{div} \mathbf{u} + 2\mu \cdot u_{z,z}.$$

φ, ψ, χ — потенциалы поля смещений, которые описывают распространение продольной P , поперечных SV та SH волн соответственно

$$u_r = \varphi_{,r} + \psi_{,rz} + \frac{1}{r}\chi_{,\varphi} \quad u_z = \varphi_{,z} + \psi_{,zz} - \frac{1}{V_s^2}\psi_{,tt} \quad u_\varphi = \frac{1}{r}\varphi_{,\varphi} + \frac{1}{r}\psi_{,z\varphi} - \chi_{,r}$$

$$\tau_{rz} = \mu \left[2\varphi_{,rz} + 2\psi_{,zzr} + \frac{1}{r}\chi_{,\varphi z} - \frac{1}{V_s^2}\psi_{,ttr} \right] \quad \tau_{z\varphi} = \frac{\mu}{r} \left[2\varphi_{,\varphi z} + 2\psi_{,zz\varphi} - r\chi_{,rz} - \frac{1}{V_s^2}\psi_{,tt\varphi} \right]$$

$$\tau_{zz} = \frac{\lambda}{V_p^2}\varphi_{,tt} + 2\mu \left[\varphi_{,zz} + \psi_{,zzz} - \frac{1}{V_s^2}\psi_{,ttz} \right]$$

Матричные уравнения

$$\mathbf{W}_{j_i}(H_i) = \mathbf{A}_i \mathbf{L}_i \mathbf{Z}_{j_i}$$

$$\mathbf{W}_{l_i}^*(H_i) = \mathbf{A}_i^* \mathbf{L}_i^* \mathbf{Z}_{l_i}^*$$

$$\mathbf{A}_i = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -\beta_i & \beta_i \\ \alpha_i & -\alpha_i & -1 & -1 \\ 2\mu_i\alpha_i & -2\mu_i\alpha_i & -\mu_i g_i & -\mu_i g_i \\ \mu_i g_i & \mu_i g_i & -2\mu_i\beta_i & 2\mu_i\beta_i \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_i^* = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ \mu_i\beta_i & -\mu_i\beta_i \end{pmatrix}; \quad \mathbf{W}_{x_i} = (U_{r_i}, U_{z_i}, T_{rz_i}, T_{zz_i})^T,$$

$$\mathbf{L}_i^* = [e^{kh_i\beta_i}, e^{-kh_i\beta_i}]; \quad \mathbf{L}_i = [e^{kh_i\alpha_i}, e^{-kh_i\alpha_i}, e^{kh_i\beta_i}, e^{-kh_i\beta_i}]$$

$$\mathbf{Z}_{n+1} = \mathbf{D}\mathbf{W}_1(0) + \mathbf{D} \cdot \mathbf{D}_{s,1}^{-1} \cdot \mathbf{F} = \mathbf{D}(\mathbf{W}_1(0) + \mathbf{Q}),$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{W}_{s+1}(H_s) - \mathbf{W}_s(H_s),$$

Скачек смещений и напряжений:

$$U_{r0} = -Q_1 + \frac{N}{B}Q_3 + \frac{A}{B}Q_4$$

$$U_{z0} = -Q_2 + \frac{A}{B}Q_3 + \frac{M}{B}Q_4$$

$$U_{\varphi 0} = -Q_1^* + \frac{R}{T}Q_2^*$$

$$\mathbf{Q} = \mathbf{D}_{s,1}^{-1} \cdot \mathbf{F} = (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)^T.$$

Характеристическая матрица над источником:

$$\mathbf{D}_{s,1} = \mathbf{A}_s \mathbf{L}_s \mathbf{A}_s^{-1} \dots \mathbf{A}_1 \mathbf{L}_1 \mathbf{A}_1^{-1}.$$

Характеристическая матрица среды:

$$\mathbf{D} = \mathbf{A}_{n+1}^{-1} \mathbf{A}_n \mathbf{L}_n \mathbf{A}_n^{-1} \dots \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{A}_1 \mathbf{L}_1 \mathbf{A}_1^{-1}.$$

Компоненты поля смещений на свободной поверхности

$$u_z^{(0)}(r, z, \varphi, t) = \cos \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{z0}^{(5)} e^{kt\eta} d\eta + \sin \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{z0}^{(6)} e^{kt\eta} d\eta + \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{z0}^{(4)} e^{kt\eta} d\eta +$$

$$+ \cos^2 \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{z0}^{(1)} e^{kt\eta} d\eta + \sin^2 \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{z0}^{(2)} e^{kt\eta} d\eta + \sin 2\varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{z0}^{(3)} e^{kt\eta} d\eta$$

$$u_r^{(0)}(r, z, \varphi, t) = \cos \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{r0}^{(5)} e^{kt\eta} d\eta + \sin \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{r0}^{(6)} e^{kt\eta} d\eta - \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{r0}^{(4)} e^{kt\eta} d\eta - \cos^2 \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{r0}^{(1)} e^{kt\eta} d\eta -$$

$$- \sin^2 \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{r0}^{(2)} e^{kt\eta} d\eta - \sin 2\varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{r0}^{(3)} e^{kt\eta} d\eta$$

$$u_\varphi^{(0)}(r, z, \varphi, t) = -\sin \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{\varphi 0}^{(4)} e^{kt\eta} d\eta - \cos \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{\varphi 0}^{(5)} e^{kt\eta} d\eta + \sin 2\varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} (U_{\varphi 0}^{(1)} - U_{\varphi 0}^{(2)}) e^{kt\eta} d\eta +$$

$$+ \cos 2\varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} U_{\varphi 0}^{(3)} e^{kt\eta} d\eta$$

Компоненты поля перемещений на свободной поверхности

$$\begin{pmatrix} u_z^{(0)} \\ u_r^{(0)} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^3 \int_0^\infty k^2 I_i L^{-1} [M_i G_i] dk; \quad u_\varphi^{(0)} = \sum_{i=5}^6 \int_0^\infty k^2 I_i L^{-1} [M_i G_{i\varphi}] dk;$$

$$I_1 = \begin{pmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_0 \end{pmatrix}; \quad I_2 = \begin{pmatrix} J_0 & 0 \\ 0 & J_1 \end{pmatrix}; \quad I_3 = I_2; \quad G_i = \begin{pmatrix} g_{iz} \\ g_{ir} \end{pmatrix}; \quad I_5 = J_0; \quad I_6 = J_1.$$

$$M_1 = M_{xz} \cos \varphi_a + M_{yz} \sin \varphi_a; \quad M_2 = M_{zz}; \quad M_3 = \cos^2 \varphi_a \cdot M_{xx} + \sin^2 \varphi_a \cdot M_{yy} + \sin 2\varphi_a \cdot M_{xy};$$

$$M_4 = -\cos 2\varphi_a \cdot M_{xx} + \cos 2\varphi_a \cdot M_{yy} - 2 \sin 2\varphi_a \cdot M_{xy}; \quad M_5 = M_{yz} \cos \varphi_a - M_{xz} \sin \varphi_a;$$

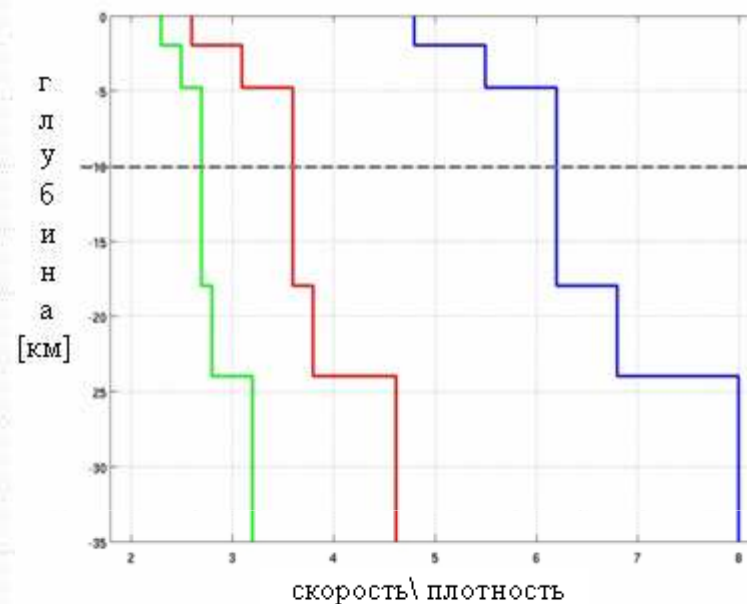
$$M_6 = \sin 2\varphi_a \cdot M_{xx} - \sin 2\varphi_a \cdot M_{yy} - 2 \cos 2\varphi_a \cdot M_{xy};$$

$$g_{1z} = \left(-d_{21}'' + \frac{A}{B} d_{31}'' + \frac{M}{B} d_{41}'' \right) \cdot \frac{1}{2\pi\mu_s}; \quad g_{5\varphi} = \left(-d_{11}^{*'} - \frac{d_{12}^{*'}}{d_{11}^{*'}} d_{21}^{*'} \right) \cdot \frac{1}{2\pi\mu_s};$$

$$g_{1r} = \frac{1}{2\pi\mu_s} \cdot \left(-d_{11}'' + \frac{N}{B} d_{31}'' + \frac{A}{B} d_{41}'' \right);$$

Модель среды для проекта SIV

Глубина [км]	V_p [км/с]	V_s [км/с]	плотность [г/см ³]
0.0	4.8	2.6	2.3
-2.0	4.8	2.6	2.3
-2.0	5.5	3.1	2.5
-4.8	5.5	3.1	2.5
-4.8	6.2	3.6	2.7
-18.0	6.2	3.6	2.7
-18.0	6.8	3.8	2.8
-24.0	6.8	3.8	2.8
-24.0	8.0	4.62	3.2
-45.0	8.0	4.62	3.2

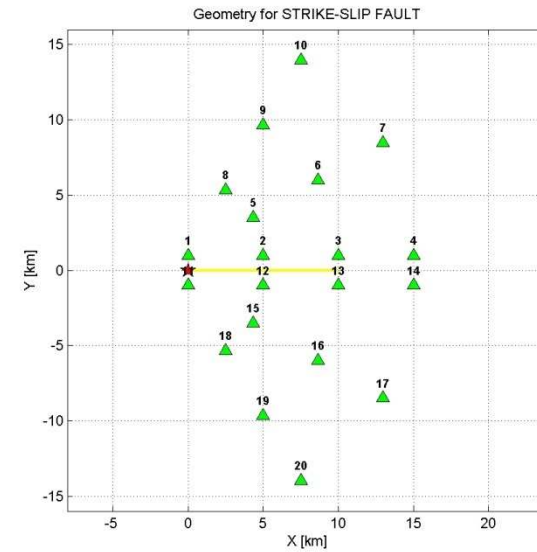
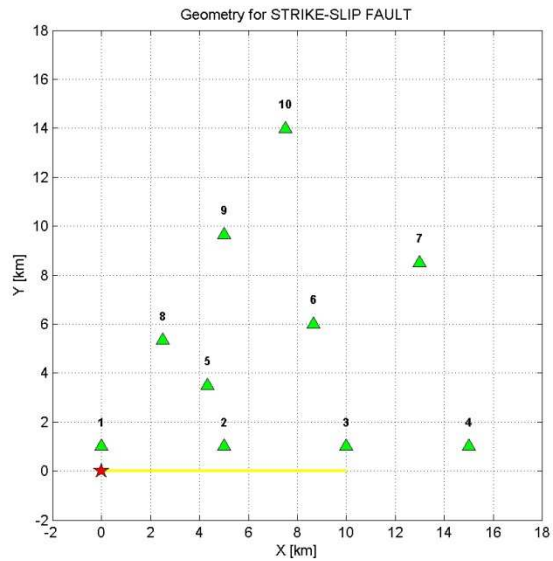


Точечный источник на глубине 10 км
размер разрыва $1 \times 1 \text{ км}^2$

Временная функция П-импульс $T = 0.2 \text{ с}$

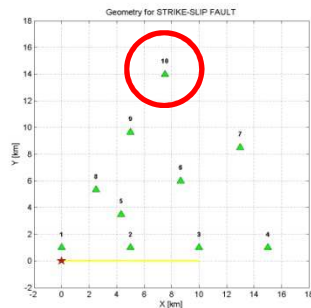
$M_w = 4.992$, $M_0 = 3.4992 \times 10^{16} \text{ Н*м}$

Размещение станций относительно разлома

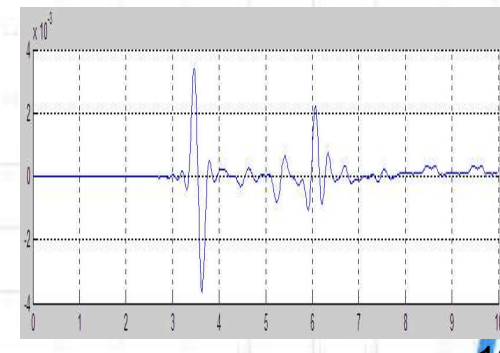
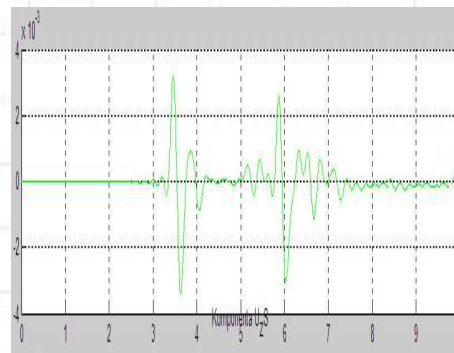
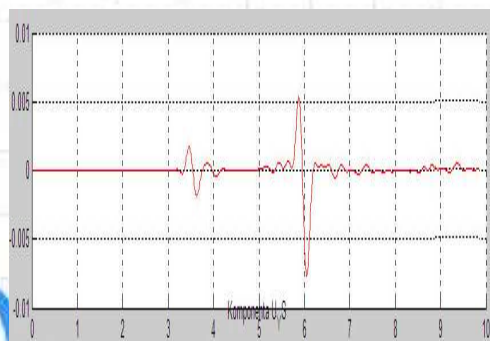
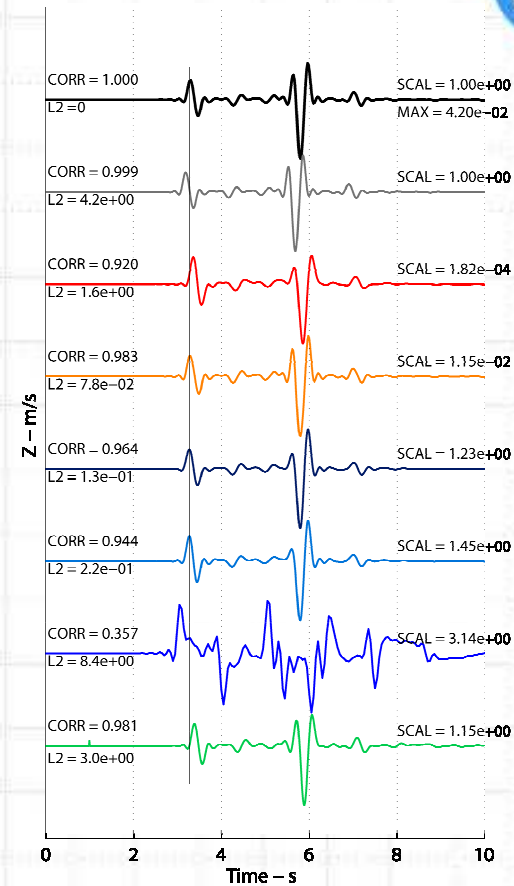
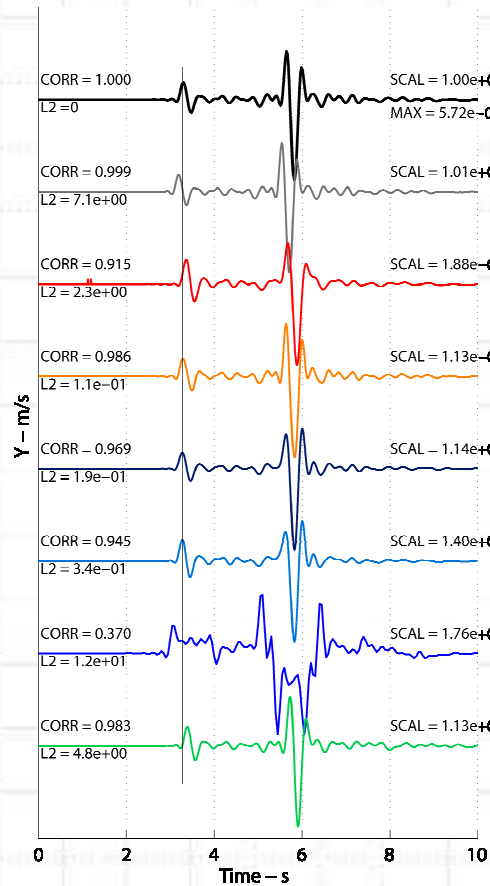
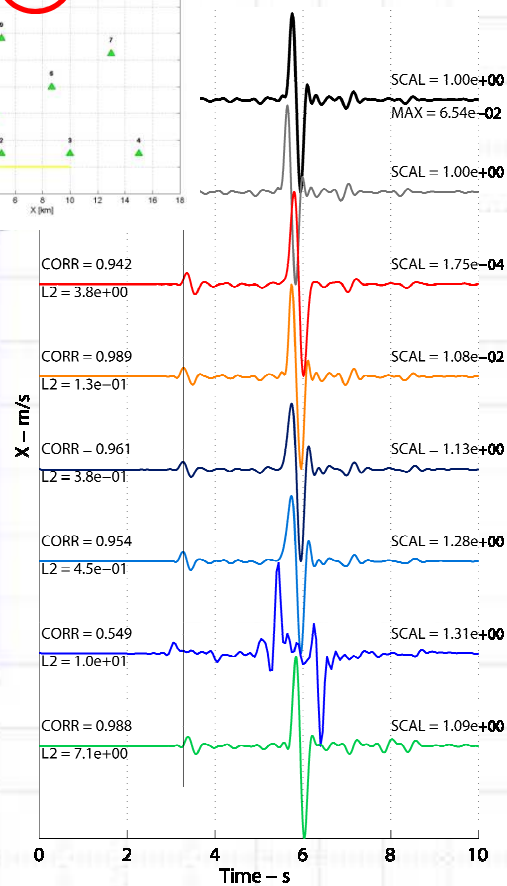


станція	X [km]	Y [km]
1	0.00	1.00
2	5.00	1.00
3	10.00	1.00
4	15.00	1.00
5	4.33	3.50
6	8.66	6.00
7	12.99	8.50
8	2.50	5.33
9	5.00	9.66
10	7.50	13.99

станція	X [km]	Y [km]
11	0.00	-1.00
12	5.00	-1.00
13	10.00	-1.00
14	15.00	-1.00
15	4.33	-3.50
16	8.66	-6.00
17	12.99	-8.50
18	2.50	-5.33
19	5.00	-9.66
20	7.50	-13.99

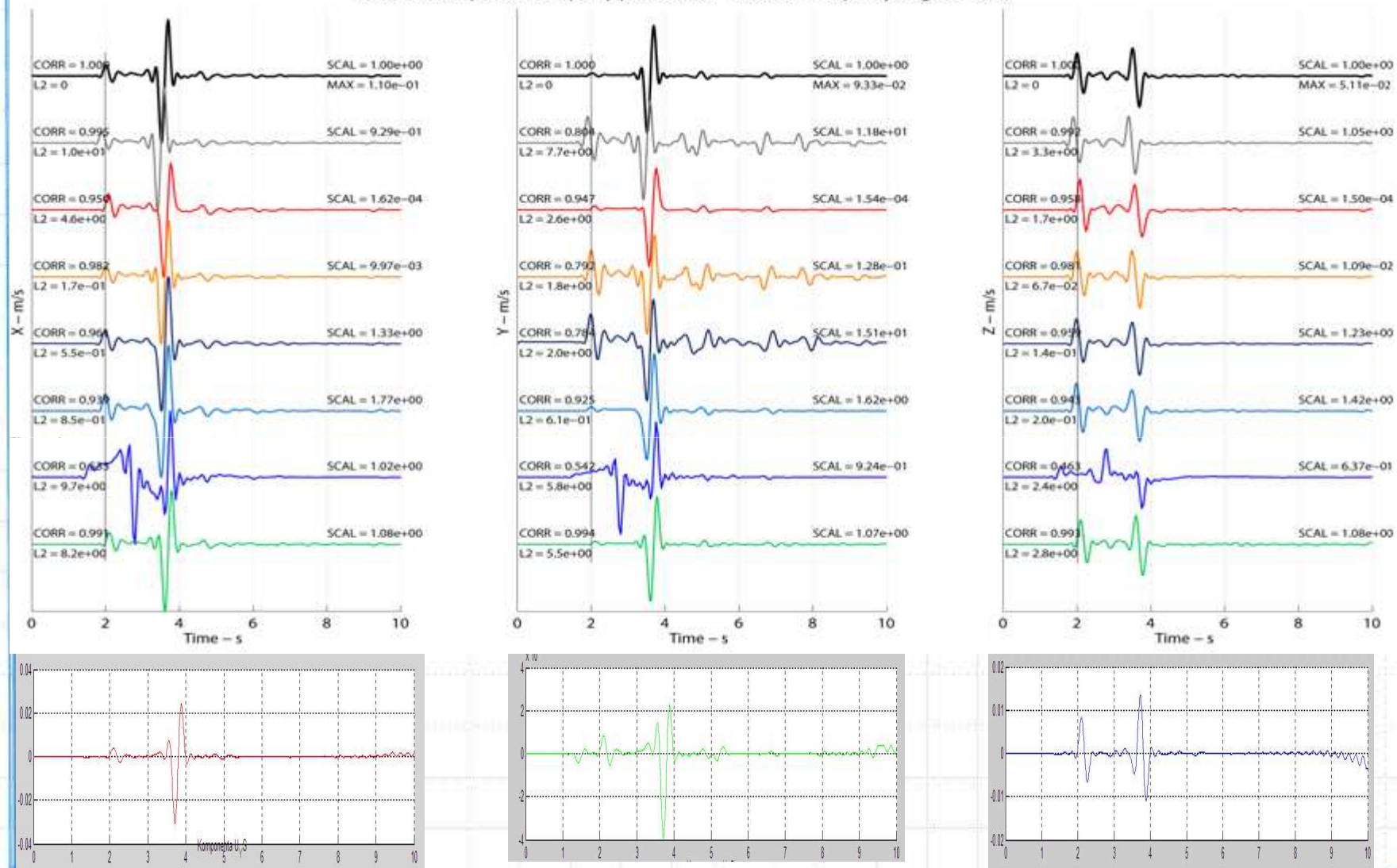


Waveform Comparison for strike-slip point source – Station10 – Frequency range [0 – 5Hz]



Компоненты скоростей перемещений на свободной поверхности, построенные различными методами (проект SIV) и с помощью предложенной модификацией матричного метода

Waveform Comparison for dip-slip point source – Station2 – Frequency range [0 – 5Hz]



$$u_z^{(0)p} = \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} M_1 \cdot g_{1z}^p \cdot e^{kt\eta} d\eta + \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} M_2(k, \eta, \varphi_a) \cdot g_{2z}^p \cdot e^{kt\eta} d\eta +$$

$$+ \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} M_3 \cdot g_{3z}^p \cdot e^{kt\eta} d\eta$$

$$g_{1z}^p = \frac{1}{2\pi\mu_s} a_z, \quad g_{2z}^p = -\frac{1}{2\pi} \frac{\alpha_s}{2\mu_s} a_z, \quad g_{3z}^p = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{2\mu_s \alpha_s} a_z,$$

$$a_z = \frac{1}{g_1 - 2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{g_s - 2} \left[\left(x_1^2 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} x_1^2 \right) \cdot \dots \cdot \left(x_1^s + \frac{\alpha_s}{\alpha_{s-1}} x_2^s \right) e^{-kh\alpha_1 \dots kh\alpha_s} \cdot \alpha_1 \right]$$

$$u_r^{(0)p}(r, \varphi_a, t) = \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} M_1(k, \eta, \varphi_a) \cdot g_{1r}^p \cdot e^{kt\eta} d\eta + \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} M_3(k, \eta, \varphi_a) \cdot g_{3r}^p \cdot e^{kt\eta} d\eta$$

$$+ \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} dk \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} M_2(k, \eta, \varphi_a) \cdot g_{2r}^p \cdot e^{kt\eta} d\eta$$

$$g_{1r}^p = \frac{1}{2\pi\mu_s} a_r, \quad g_{2r}^p = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha_s}{2\mu_s} a_r, \quad g_{3r}^p = -\frac{1}{2\pi} \frac{1}{2\mu_s \alpha_s} a_r,$$

$$a_r = \frac{1}{g_1 - 2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{g_s - 2} \left[\left(x_1^2 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} x_2^2 \right) \cdot \dots \cdot \left(x_1^2 + \frac{\alpha_s}{\alpha_{s-1}} x_2^s \right) e^{-kh\alpha_1 \dots kh\alpha_s} \right]$$

$$\mathbf{U}_s^{(0)p} = \left(U_x^{(0)p}, U_y^{(0)p}, U_z^{(0)p} \right)^T = T^p \cdot \mathbf{M}$$

$$\mathbf{U}_s^{(0)s} = \left(U_x^{(0)s}, U_y^{(0)s}, U_z^{(0)s} \right)^T = T^s \cdot \mathbf{M}$$

$$\mathbf{M} = \left(M_{xz}, M_{yz}, M_{zz}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy} \right)^T$$

$$T^p = \begin{pmatrix} T_{11}^p & T_{12}^p & T_{13}^p & T_{14}^p & T_{15}^p & T_{16}^p \\ T_{21}^p & T_{22}^p & T_{23}^p & T_{24}^p & T_{25}^p & T_{26}^p \\ T_{31}^p & T_{32}^p & T_{33}^p & T_{34}^p & T_{35}^p & T_{36}^p \end{pmatrix}$$

$$T^s = \begin{pmatrix} T_{11}^s & T_{12}^s & T_{13}^s & T_{14}^s & T_{15}^s & T_{16}^s \\ T_{21}^s & T_{22}^s & T_{23}^s & T_{24}^s & T_{25}^s & T_{26}^s \\ T_{31}^s & T_{32}^s & T_{33}^s & T_{34}^s & T_{35}^s & T_{36}^s \end{pmatrix}$$

$$T_{21}^p = \sin \varphi \cos \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} g_{1r}^p dk$$

$$T_{31}^p = \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} \cos \varphi g_{1z}^p dk$$

$$T_{22}^p = \sin^2 \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} g_{1r}^p dk$$

$$T_{32}^p = \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} \sin \varphi g_{1z}^p dk$$

$$T_{23}^p = \sin \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} g_{2r}^p dk$$

$$T_{33}^p = \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} g_{2z}^p dk$$

$$T_{24}^p = \cos^2 \varphi \cdot \sin \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} g_{3r}^p dk$$

$$T_{34}^p = \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} \cos^2 \varphi g_{3z}^p dk$$

$$T_{25}^p = \sin^3 \varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} g_{3r}^p dk$$

$$T_{35}^p = \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} \sin^2 \varphi g_{3z}^p dk$$

$$T_{26}^p = \sin \varphi \cdot \sin 2\varphi \int_0^\infty \frac{k^2 J_1(kr)}{2\pi j} g_{3r}^p dk$$

$$T_{36}^p = \int_0^\infty \frac{k^2 J_0(kr)}{2\pi j} \sin 2\varphi g_{3z}^p dk$$

Решение обобщенной обратной задачи

$$T_1 \mathbf{M} = \mathbf{U}_{S1}^{(0)}$$

$$T_2 \mathbf{M} = \mathbf{U}_{S2}^{(0)}$$

...

$$T_N \mathbf{M} = \mathbf{U}_{SN}^{(0)}$$

Для случая N станций:

Система есть переопределена и её запишем:

$$\mathbf{W} \mathbf{M} = \mathbf{U}_S^{(0)}$$

Вектор $\mathbf{U}_S^{(0)}$ имеет размерность $1 \times 3N$;

матрица

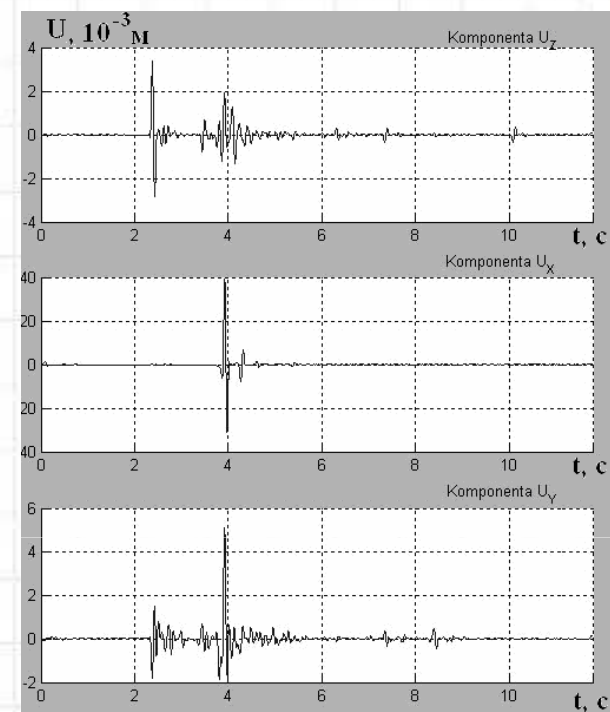
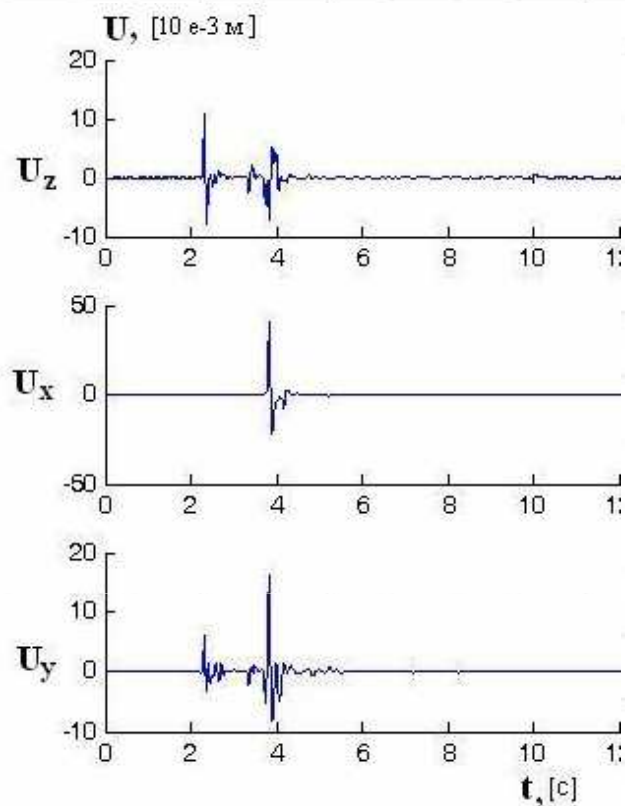
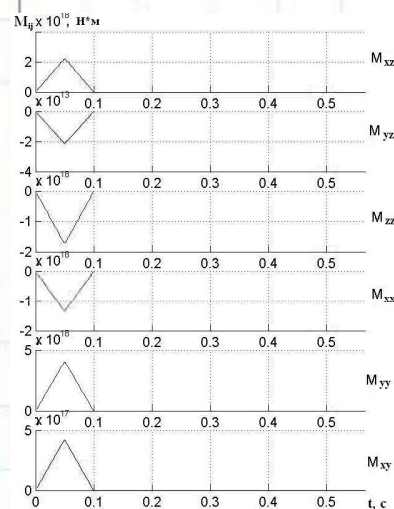
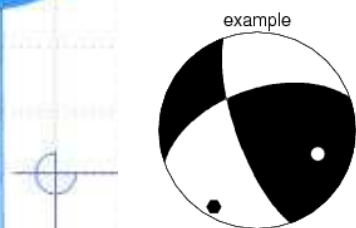
$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_N \end{pmatrix}$$

размерность $6 \times 3N$

$$\tilde{\mathbf{W}}^{*p} \mathbf{W}^p \mathbf{M} = \tilde{\mathbf{W}}^{*p} \mathbf{U}_S^{(0)p} \quad - \text{нормальное уравнение}$$

$$\hat{\mathbf{M}} = (\tilde{\mathbf{W}}^{*p} \mathbf{W}^p)^{-1} \tilde{\mathbf{W}}^{*p} \mathbf{U}_S^{(0)p}$$

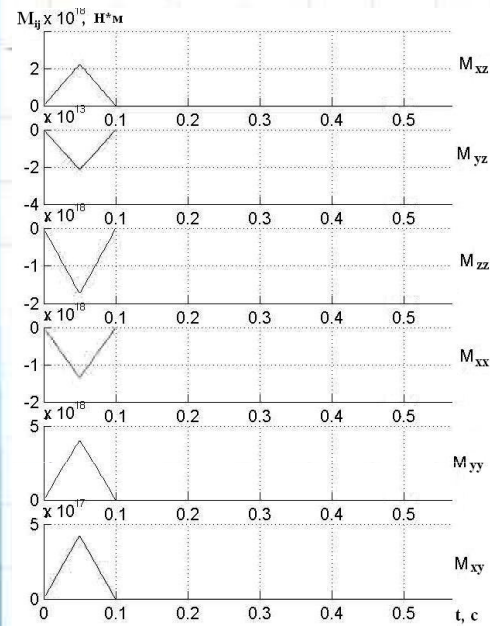
Модельный пример решения обратной задачи



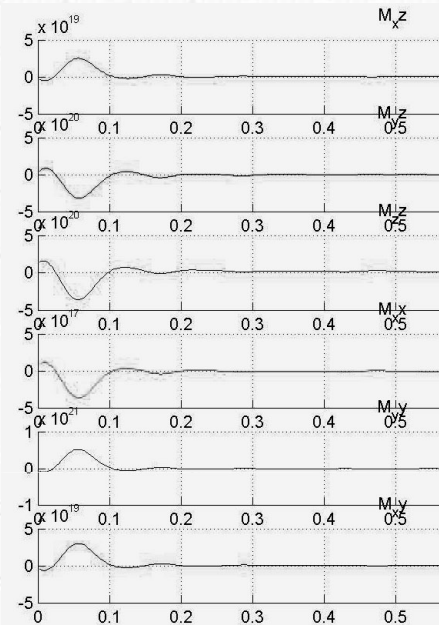
$$M_{ij} = \begin{pmatrix} 1.30988 & 1.58617 & 0.12550 \\ 1.58617 & -1.27400 & -1.52481 \\ 0.12550 & -1.52481 & -0.81619 \end{pmatrix}$$

шар	$V_p, \text{ м/с}$	$V_s, \text{ м/с}$	$H, \text{ м}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$
1	3700	2180	410	$2.04 \cdot 10^3$
2	5370	3160	2460	$2.5 \cdot 10^3$
3	5810	3570	8410	$2.58 \cdot 10^3$
4	6100	3580	10090	$2.9 \cdot 10^3$
5	6100	3580	35000	$2.9 \cdot 10^3$
6	8100	4550	∞	$3.29 \cdot 10^3$

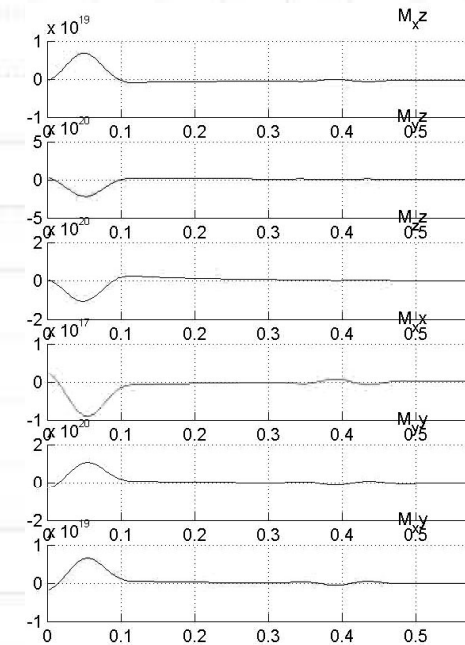
Решение обратной задачи



тест



P+S



P

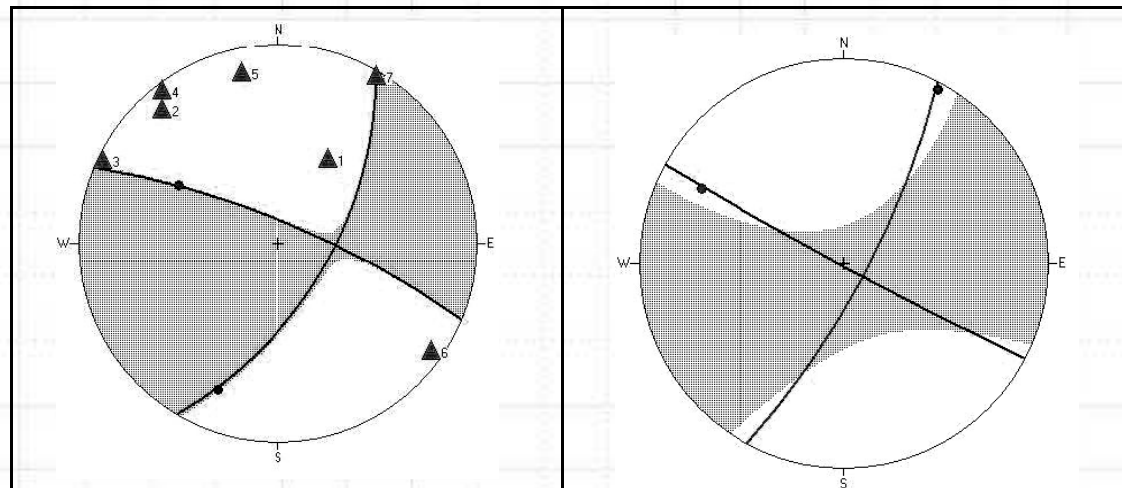
Компоненты тензора сейсмического момента

№ станц	расстояние (м)	азимут (rad)
1	1722	0.543785
2	1628	5.562626
3	1925	5.149446
4	1078	5.624819
5	334	6.065956
6	769	2.195356
7	1192	0.5341579

$H_s = 2537,8$ м. $V_p = 6000$ м/с,

$V_s = 3500$ м/с, $\rho = 2700$ кг/м³.

$$M_{ij} = \begin{pmatrix} -3.82 & 2.56 & -1.77 \\ 2.56 & 2.9 & -1.78 \\ -1.77 & -1.78 & 1.22 \end{pmatrix} * 10^{11} \text{ H} * \text{M}$$

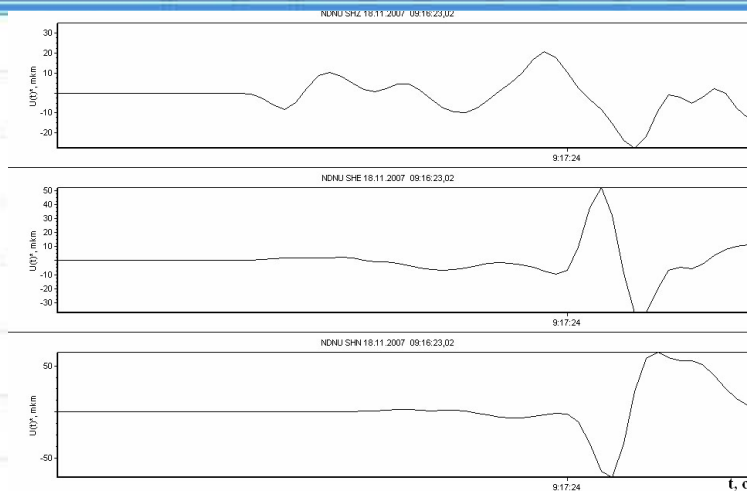


Обратная задача: а - гибридный МТГ метод;

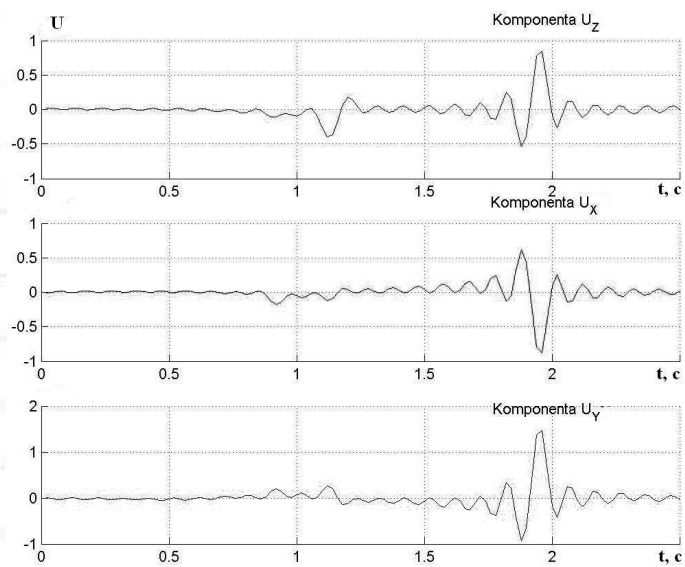
б – данная методика

№	V_p , м/с	V_s , м/с	h , м	ρ , кг/м ³
1	4500	2598	4000	$2,10 \cdot 10^3$
2	5900	3250	640	$2,4 \cdot 10^3$
3	5900	3250	23360	$2,4 \cdot 10^3$
4	8000	3984	25000	$2,75 \cdot 10^3$
ПОЛ- ВО	8100	4620	∞	$3,10 \cdot 10^3$

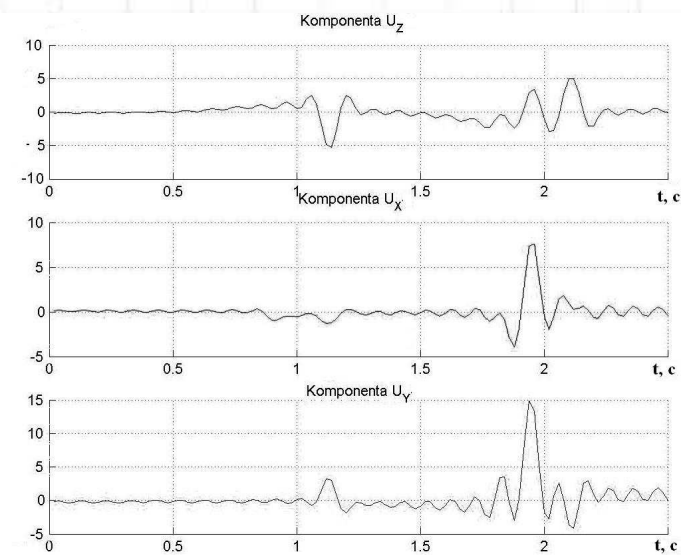
$H_s = 4640$ м.
 $t_p = 9:17:23.36$,
 $t_s = 9:17:23.96$.
 $\varphi = 110^\circ$.
 $r = 2350$ м.



а)



б)

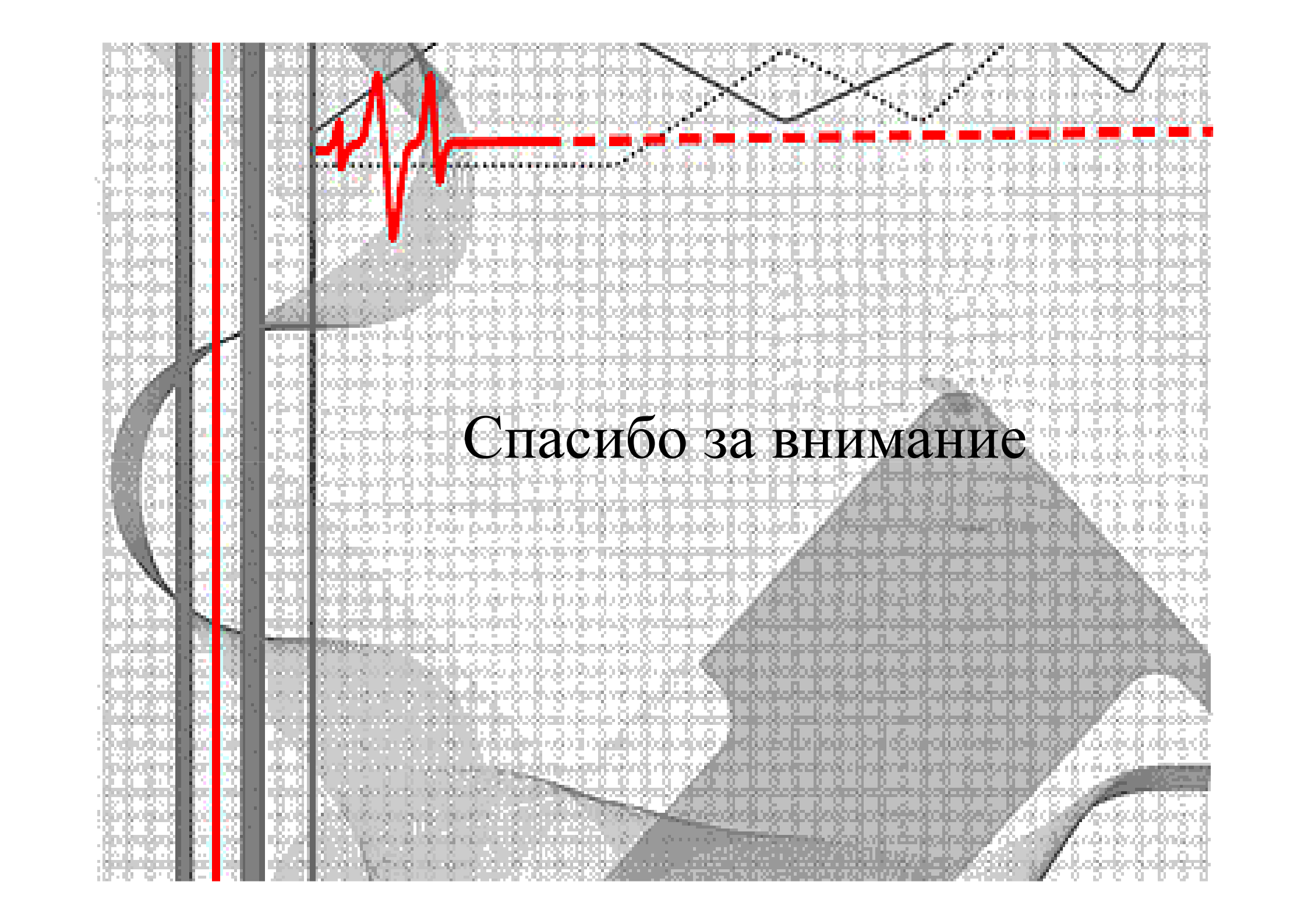


в)

а) запись события, 18.11. 2007 р. в районе Новоднестровска ;
 прямых P+S волн б); только прямой S волны в).

Выводы

- Предложено методику построения поля смещений на свободной поверхности слоистого полупространства, сгенерированного распространением прямых Р- и S-волн с использованием матричного метода Томпсона–Хаскелла.
- Разработано методику определения тензора сейсмического момента для слоистой среды, когда поле смещений вызвано распространения только прямой Р-волны и прямой S-волны.
- Введено временную функцию источника как характеристику процессов в очаге землетрясения.

The background is a complex abstract composition. It features a light gray grid pattern. Overlaid on this are several geometric elements: a large, dark gray, semi-transparent shape on the left side; a series of vertical lines of varying thicknesses in dark gray and red on the far left; a red line that starts as a solid line, then becomes dashed, and finally dotted as it moves across the top; and various other solid and dotted lines in black and red that create a sense of movement and depth.

Спасибо за внимание