

УДК 539.5

К ПРОБЛЕМЕ ПАСПОРТИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС¹***Бабешко В. А.², Бабешко О. М.³, Евдокимова О. В.⁴, Лозовой В. В.⁵,
Мухин А. С.⁶, Чмыхалов С. П.⁷*****ON THE PROBLEM OF SEISMIC TRACES CLASSIFICATION****Babeshko V. A., Babeshko O. M., Evdokimova O. V., Lozovoy V. V., Mukhin A. S., Chmykhalov S. P.**

The work gives mathematical framework for the investigation of seismic traces. Under the term seismic traces we refer to passing steady-state waves of different physical fields (elastic, electromagnetic, thermal, etc.) of a wide range of frequencies in block structures and their exposure on the surface. Classification is obtaining experimental characteristics of wave fields, their correlation with theoretical ones to conduct further monitoring of field changes and reveal the causes that have led to the latter. From a practical point of view, classification of seismic traces is primarily aimed to identify the conditions of lithosphere plates strain and lies in the study of the latter with the application of various sources of physical fields, i. e. vibroresimic, electromagnetic, gravity, and thermal ones.

Сложное строение литосферных плит, наличие неоднородностей, различных размерностей, разломов и включений [1] в значительной степени трансформирует вибросейсмические сигналы, доходящие от источников до удалённых приёмников. В тех случаях, когда литосферные плиты имеют слоистое строение, их состояние на предмет напряжённости можно оценивать по скоростям прохождения основных типов волн — продольных, поперечных, поверхностных, рефрагированных и т.д. Теория прохождения этих типов волн в слоистых структурах достаточно хорошо разработана [2–4], проведены многочисленные эксперименты, связанные с возбуждением и приёмом волн в таких структурах.

Если же строение литосферной плиты представляет сложную блочную структуру,

указанных данных оказывается недостаточно. В работе развивается теория паспортизации сейсмических трасс в литосферных плитах, имеющих блочную структуру и неоднородности типа разломов.

Под сейсмическими трассами понимается прохождение установившихся волн различных физических полей (упругих, электромагнитных, тепловых и др.) широкого спектра частот в блочных структурах и их проявление на поверхности. Паспортизация — это получение экспериментальных характеристик волновых полей, их сопоставление с теоретическими для дальнейшего мониторинга изменений полей и выявления причин, к ним приведшим. С практической точки зрения паспортизация сейсмических трасс направлена, прежде всего, на выявление признаков напряжённости литосфер-

¹Отдельные фрагменты работы выполнены при поддержке РФФИ, (06-01-00295, 06-01-08017, 06-08-00671), программы Юг России (06-01-96802 – 06-01-96805, 06-05-96806, (06-01-96634 – 06-01-96638), гранта Президента РФ (НШ-4839.2006.1), программ отделения ЭММПУ и Президиума РАН, выполняемых Южным научным центром РАН.

²Бабешко Владимир Андреевич, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, директор НИИ проблем механики и геоэкологии, ректор Кубанского государственного университета.

³Бабешко Ольга Мефодиевна, д-р физ.-мат. наук, гл. научный сотрудник Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета.

⁴Евдокимова Ольга Владимировна, канд. физ.-мат. наук, заведующая кафедрой художественного проектирования костюма Кубанского государственного университета.

⁵Лозовой Виктор Викторович, научный сотрудник отдела проблем математики и механики ЮНЦ РАН.

⁶Мухин Алексей Сергеевич, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения техногенных катастроф Кубанского государственного университета.

⁷Чмыхалов Сергей Петрович, заведующий геофизическим полигоном Кубанского государственного университета.

ных плит и состоит в исследовании последних с применением различных источников физических полей — вибросейсмических, электромагнитных, гравитационных, тепловых.

Не останавливаясь на деталях, изложим теоретические основы паспортизации сейсмических трасс. Исследование включает в себя как теоретическую, так и экспериментальную составляющие.

Сюда относятся построение математических моделей поведения связанных физических полей различной природы, воздействующих на сложные структуры литосферных плит блочного строения. Изучение лишь отдельной части литосферной плиты недостаточно для того, чтобы на основании этого делать заключения о состоянии сейсмичности. Ответ на вопрос о количестве трасс и их расположении можно дать только проведя вибросейсмическое изучение строения литосферной плиты, ее блочной структуры. После этого теоретическое исследование характера распространения волновых полей в этих структурах даст информацию о выборе сейсмических трасс.

В настоящей работе излагается математическая основа исследования сейсмических трасс, опирающаяся на результаты работ [5–7].

1. Рассматривается неограниченная область $\Omega = \cup \Omega_k$ блочного строения.

Предполагается, что область Ω формируется конечным числом блоков, аналог которых представлен на рис. 1 в [1]. Каждый блок Ω_k имеет составную, дважды непрерывно дифференцируемой границу $\partial\Omega_k$, разделяемую на внешнюю часть Γ_{k1} и внутреннюю Γ_{k2} [6]. Под внешней составляющей границы Γ_{k1} понимается множество тех ее точек, с которыми может соприкоснуться плоскость, не пересекая тело в других точках, при всевозможных перекатываниях тела по плоскости. Сюда относятся и возможные множества уплощений поверхности границы с условием, что соприкасающаяся плоскость по-прежнему не пересекает границу в других зонах, касание — допустимо. К внутренней части Γ_{k2} отнесем все остальное множество границы тела, в том числе границы внутренних полостей, границы пронизывающих тело туннелей и отверстий, даже, если они имеют выпуклости. Сюда же относятся зоны границы, имеющие хотя бы одну отрицательную главную кривизну. Предполагается, что к каждой точке описанной выше части границы тела Γ_{k2} можно прикоснуться

сферой, пусть малого, но конечного радиуса, которая не пересекает тело в других точках (может только касаться).

Полости-трещины с нулевой толщиной между берегами, формирующие вирусы вибропрочности, также могут рассматриваться в данной задаче.

В указанной области для каждого отдельно взятого блока, имеющего номер p , ставится краевая задача для достаточно общей системы дифференциальных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами, описывающая связанные физические поля термоэлектростатического состояния [4]

$$\mathbf{K}_p(\partial x_n, \partial x_k) \varphi_p = 0, \quad \mathbf{x} \in \Omega_p(R^3), \quad (1)$$

$$\mathbf{R}_p(\partial x_k) \varphi_p = \mathbf{f}_p, \quad \mathbf{x} \in \Gamma_p = \partial\Omega_p. \quad (2)$$

Оператор $\mathbf{K}_p$ представим матрицей вида

$$\mathbf{K}_p(\partial x_n, \partial x_k) = \|a_{pmrnk} \partial x_n \partial x_k + b_{pmrk} \partial x_k + c_{pmr}\|.$$

Здесь приняты следующие обозначения (суммирование по повторяющимся индексам):

$$a_{pmrnk} f_n f_k = \sum_{n=1}^3 \sum_{k=1}^3 a_{pmrnk} f_n f_k,$$

$$\mathbf{R}_p(\partial x_k) = \|h_{pmrk} \partial x_k + p_{pmr}\|,$$

$$\partial x = \partial/\partial x, \quad h_{pmrk} = h_{pmrk}(\Gamma_p).$$

$$\varphi_p = \{\varphi_{pr}\},$$

$$r = 1, 2, \dots, M, \quad m = 1, 2, \dots, M,$$

$$\mathbf{f}_p = \{f_{pr}\}, \quad \varphi_p(\mathbf{x}) = \varphi_p(x_1, x_2, x_3),$$

$$\mathbf{K}_p(\alpha) \equiv -\mathbf{K}_p(-i\alpha_n, -i\alpha_k), \quad (3)$$

$$n, k = 1, 2, 3,$$

$$K_p(\alpha) = \det \mathbf{K}_p(\alpha).$$

Для вещественных α_k

$$\det \|a_{pmrnk} \alpha_n \alpha_k\| \neq 0.$$

Так же, как и в [6], здесь нет ограничений на операторы $\mathbf{R}_p(\partial x_k)$, а также на принадлежность граничных условий к классу естественных, они удовлетворяют лишь условию дополненности для эллиптических систем. Заметим, что в число блоков, составляющих неограниченную область, могут также войти следующие два типа неограниченных областей с гладкими границами.

Первый тип области представляет собой все пространство с исключенной группой ограниченных полостей, имеющих гладкие границы, к которым могут быть прикреплены торообразные «ручки».

Второй тип областей представляют собой множества, которые вкладываются в любой из типов гиперблоидов, в цилиндр, конус или слой. Разумеется, их границы в общем случае являются рельефными.

Сделаем ради простоты постановки задачи предположение о сильной эллиптичности операторов $\mathbf{K}_p$ краевой задачи. Последнее означает, что для всех α определитель $K_p(\alpha)$ имеет равное количество нулей $\alpha_3^\pm$ в верхней и нижней полуплоскостях.

Краевая задача исследуется в пространствах медленно растущих обобщенных функций $\mathbf{H}_s(\Omega)$, описанных в [5–7], содержащих также классические, вводимых нормами

$$\begin{aligned} \|\varphi\|_s^2 &= \sum \|\varphi_r\|_s^2, \|\varphi_r\|_s^2 = \\ &= \iint \int_{-\infty}^{\infty} |F\varphi_r|^2 (1 + |\alpha|)^{2s} d\alpha, \\ &\quad r = 1, 2, \dots, M, \\ &\quad |\alpha|^2 = \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2, \\ &\quad d\alpha = d\alpha_1 d\alpha_2 d\alpha_3, \quad d\mathbf{x} = dx_1 dx_2 dx_3, \\ &\quad F\varphi_r = \int_{-\infty}^{\infty} \iint \varphi_r(\mathbf{x}) e^{i\langle \alpha, \mathbf{x} \rangle} d\mathbf{x}, \\ &\quad \varphi_r = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \iint F\varphi_r e^{-i\langle \alpha, \mathbf{x} \rangle} d\alpha, \\ &\quad \langle \alpha, \mathbf{x} \rangle = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3, \\ &\quad \mathbf{f} \in \mathbf{H}_\lambda(\Gamma), \quad \lambda > s + 0, 5. \end{aligned} \quad (4)$$

Для исследования краевой задачи в отдельном выпуклом блоке применим дифференциальный метод факторизации [5]. Выписывая функциональные уравнения для каждого блока, приходим к соотношениям вида

$$\mathbf{K}_p(\alpha) \Phi_p = \int_{\partial\Omega} \omega_p, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_p(\alpha) &\equiv -\mathbf{K}_p(-i\alpha_1, -i\alpha_2, -i\alpha_3) = \\ &= \|k_{pnm}(\alpha)\|. \end{aligned}$$

Векторные внешние формы $\omega_p(\alpha, \mathbf{x})$ имеют компоненты ω_{pm} вида

$$\begin{aligned} P_{pm} &= \sum_r e^{i\langle \alpha, \mathbf{x} \rangle} \left[a_{pmr11}(\partial x_1 \varphi_r - i\alpha_1 \varphi_r) - \right. \\ &\quad \left. - a_{pmr12} i\alpha_2 \varphi_r + a_{pmr13} \partial x_3 \varphi_r + b_{pmr1} \varphi_r \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{pm} &= - \sum_r e^{i\langle \alpha, \mathbf{x} \rangle} \left[a_{pmr22}(\partial x_2 \varphi_r - i\alpha_2 \varphi_r) - \right. \\ &\quad \left. - a_{pmr23} i\alpha_3 \varphi_r + a_{pmr12} \partial x_1 \varphi_r + b_{pmr2} \varphi_r \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{pm} &= \sum_r e^{i\langle \alpha, \mathbf{x} \rangle} \left[a_{pmr33}(\partial x_3 \varphi_r - i\alpha_3 \varphi_r) - \right. \\ &\quad \left. - a_{pmr13} i\alpha_1 \varphi_r - a_{pmr23} i\alpha_2 \varphi_r + b_{pmr3} \varphi_r \right]. \end{aligned}$$

Граничные условия (4), в соответствии с алгоритмом применения дифференциального метода факторизации, в случаях неконтактирующих границ используются в соответствии с правилами, оговоренными в [5]. В случаях контакта блоков, на таких границах принимается условие совпадения соответствующих компонент физических полей, продиктованные физическими законами, принятыми в термоэлектростатике [4].

2. В соответствии с правилами дифференциального метода факторизации дальнейшее исследование задачи предполагает факторизацию матрицы-функции $\mathbf{K}(\alpha_3^v)$, описываемой формулой (3), по определенным правилам [5].

Опуская здесь и в дальнейшем индекс p , выберем матрицу-функцию $\mathbf{K}^*(\alpha_3^v, m)$ порядка $p-1$, получающуюся вычеркиванием строки и столбца под номером m у матрицы-функции $\mathbf{K}^*(\alpha_3^v)$, такую, что нули ξ_n^v ее определителя $Q(\alpha_3^v) = \det \mathbf{K}(\alpha_3^v, m)$ не совпадают с нулями z_{s+}^v, z_{s-}^v [5].

Обозначим элементы обратной матрицы-функции в виде

$$[\mathbf{K}^*(\alpha_3^v, m)]^{-1} = \|Q^{-1}Q_{ps}\|.$$

Тогда элементы матрицы-функции $\mathbf{K}^{-1}(\alpha_3^v, -)$, имеющей вид

$$\begin{aligned} \mathbf{K}^{-1}(\alpha_3^v, -) &= \\ &= \begin{pmatrix} 1 & & & & & 0 \\ & 1 & & & & \\ & & \ddots & & & \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mm} & \dots & S_{mN} \\ & & & & \ddots & \\ 0 & & & & & 1 \end{pmatrix}, \quad (6) \end{aligned}$$

допускают интегральное представление в форме

$$S_{mp}(\alpha_3^\nu) = \frac{1}{2\pi i} \oint_{\Gamma_\mp} \sum_{s=1}^N \frac{Q_{ps}(u_3) M_{sm}(u_3) du_3}{Q(u_3) K(u_3) (u_3 - \alpha_3^\nu)} - \left(\frac{1}{2} \mp \frac{1}{2} \right) \frac{R_{mp}(\alpha_3^\nu)}{K(\alpha_3^\nu)},$$

$m \neq p,$

$$\frac{R_{mp}(\alpha_3^\nu)}{K(\alpha_3^\nu)} = \frac{Z_{mp}(\alpha_3^\nu)}{Q(\alpha_3^\nu) K(\alpha_3^\nu)} + \sum_n \frac{Z_{mp}(\xi_n^\nu)}{Q'(\xi_n^\nu) K(\xi_n^\nu) (\xi_n^\nu - \alpha_3^\nu)}, \quad (7)$$

$$S_{mm}(\alpha_3^\nu) = K^{-1}(\alpha_3^\nu), \quad \alpha_3^\nu \in \lambda_\mp,$$

$$Z_{mp}(\alpha_3^\nu) = \sum_{s=1}^{N'} Q_{ps}(\alpha_3^\nu) M_{sm}(\alpha_3^\nu)$$

Здесь замкнутый контур Γ_+ занимает положение, при котором область λ_+ содержит только нули z_{s+}^ν, z_{s-}^ν , а область λ_- — только нули ξ_n^ν . Замкнутый контур Γ_- охватывает область, содержащую все нули $z_{s+}^\nu, z_{s-}^\nu, \xi_n^\nu$.

Из этого представления следует, что элементы матрицы-функции $\mathbf{K}^{-1}(\alpha_3^\nu, -)$ являются рациональными функциями, единственными особенностями которых являются нули z_{s+}^ν, z_{s-}^ν , причем член $\mathbf{K}^{-1}(\alpha_3^\nu)$, содержащий особенности явно выделен.

Опуская дальнейшие рассуждения, изложенные в [5], получаем в случае блоков, представляющих выпуклые области, представление решения в виде

$$\varphi(\mathbf{x}^\nu) = \frac{1}{8\pi^3} \iiint_{-\infty}^{\infty} \mathbf{K}_r^{-1}(\alpha_3^\nu) \mathbf{K}^{-1}(\alpha_3^\nu, -) \times \times \iint_{\partial\Omega} \omega e^{-i(\alpha_3^\nu x_3^\nu)} d\alpha_1^\nu d\alpha_2^\nu d\alpha_3^\nu, \\ \mathbf{x}^\nu \in \Omega.$$

Благодаря формулам (7), решение можно сделать более наглядным, вычислив интеграл по параметру α_3^ν по теории форм-вычетов Лере.

В результате имеем

$$\varphi(\mathbf{x}^\nu) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int \sum_s e^{-i(\alpha_1^\nu x_1^\nu + \alpha_2^\nu x_2^\nu)} \times \times \left[\mathbf{K}_r^{-1} \left(i \frac{\partial}{\partial x_3^\nu} \right) \mathbf{T}_+(\alpha_1^\nu u, \alpha_2^\nu, z_{s+}^\nu) e^{-iz_{s+}^\nu x_3^\nu} - \right. \\ \left. - \mathbf{K}_r^{-1} \left(i \frac{\partial}{\partial x_3^\nu u} \right) \mathbf{T}_-(\alpha_1^\nu u, \alpha_2^\nu, z_{s-}^\nu) e^{-iz_{s-}^\nu x_3^\nu} \right] \times \\ \times d\alpha_1^\nu d\alpha_2^\nu, \quad (8)$$

$$t_{m\pm}(\alpha_1^\nu, \alpha_2^\nu, z_{s\pm}^\nu) = - \sum_{p=1}^P \iint_{\partial\Omega_\pm} \frac{\omega_p Z_{mp}(z_{s\pm}^\nu)}{Q(z_{s\pm}^\nu) K'(z_{s\pm}^\nu)},$$

$$\mathbf{T}_\pm = \{0, 0, \dots, 0, t_{m\pm}, 0, \dots, 0\}.$$

В этой формуле граница $\partial\Omega$ для выбранного $x_3^\nu < 0$, $\mathbf{x}^\nu \in \Omega$ разбита по следующему правилу:

$$\iint_{\partial\Omega} \omega = \iint_{\partial\Omega_+} \omega + \iint_{\partial\Omega_-} \omega,$$

$$\iint_{\partial\Omega_+} \omega \exp(-i\alpha_3^\nu x_3^\nu) \rightarrow 0, \quad \text{Im } \alpha_3^\nu \rightarrow \infty,$$

$$\iint_{\partial\Omega_-} \omega \exp(-i\alpha_3^\nu x_3^\nu) \rightarrow 0, \quad \text{Im } \alpha_3^\nu \rightarrow -\infty.$$

В случае, если блок вырождается в полупространство или слоистую среду, псевдодифференциальные уравнения, появляющиеся в процессе решения краевой задачи, вырождаются в алгебраические, после обращения которых решение строится в конечном виде.

В том случае, если рассматриваемый блок не является выпуклым телом, для исследования краевой задачи применяется метод обобщенной факторизации, например, в форме, изложенной в работах [6, 7]. В этом случае решение представимо в виде

$$\varphi(x) = \frac{1}{8\pi^3} \int \iint_{\sigma} \mathbf{K}^{-1}(\alpha) \mathbf{D}(\alpha) \times \times \iint_{\Gamma} e^{-i(\alpha, \mathbf{x})} \omega(\alpha, \xi) d\alpha_1 \Lambda d\alpha_2 \Lambda d\alpha_3,$$

$$\mathbf{K}^{-1}(\alpha) = \mathbf{K}^{-1}(\alpha) \mathbf{D}(\alpha),$$

$$\mathbf{D}(\alpha) = \mathbf{D}(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3),$$

$$\xi = \{\xi_1, \xi_2, \xi_3\}.$$

Не повторяя достаточно емкие преобразования, приведенные в [6, 7], выпишем псевдодифференциальные уравнения, решения которых обеспечивают недостающие функции в этой формуле

$$\int_{\Gamma} \mathbf{D}_k^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_{3r}^+) \{e^{i\langle \alpha(\gamma), \xi(\eta) \rangle}\}_k^+ \times \\ \times \omega^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_{3r}^+, \eta) = 0,$$

$$r = 1, 2, \dots, M, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \\ \gamma_3 = \gamma_{3r}^+(\gamma_1, \gamma_2), \quad \text{Im } \gamma_{3r}^+(\gamma_1, \gamma_2) > 0.$$

$$\mathbf{D}_{2k}^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = \\ = \mathbf{D}^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) Q^0(\gamma_1, \gamma_2, -\gamma_3) + \\ + \mathbf{D}^0(\gamma_1, \gamma_2, -\gamma_3) Q^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3), \quad (9)$$

$$\mathbf{D}_{2k+1}^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = \\ = \mathbf{D}^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) Q^0(\gamma_1, \gamma_2, -\gamma_3) - \\ - \mathbf{D}^0(\gamma_1, \gamma_2, -\gamma_3) Q^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3).$$

$\gamma_3 = \gamma_{3r}^+(\gamma_1, \gamma_2)$, $\gamma_3 = \gamma_{3r}^-(\gamma_1, \gamma_2)$ — нулевые множества функции $Q^0(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) Q^0(\gamma_1, \gamma_2, -\gamma_3)$ в новых координатах.

Здесь в соответствии с техникой применения обобщенной факторизации использовано [6, 7]

$$\{e^{i\langle \alpha(\gamma), \xi(\eta) \rangle}\}_k^+ = \\ = \left(\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty + i0}^{\infty + i0} \frac{e^{i\langle \alpha(\gamma), \xi(\eta) \rangle}}{\gamma_3 - \gamma_3^+} d\gamma_3 \right)_k, \quad (10) \\ \text{Im } \gamma_3^+ > 0.$$

Вопрос «сшивания» решений, получаемых в каждом блоке, в методе факторизации осуществляется автоматически при удовлетворении граничных условий. При наличии трещин, разломов или включений меньших размерностей, последние следует рассматривать как границы блоков. В результате получается единый алгоритм исследования блочных структур с неоднородностями.

Замечание 1. Построенные решения представляют собой совокупность векторов физических полей, описываемых краевой задачей. Компоненты векторов несут информацию о характере полей в каждом блоке литосферной блочной структуры. Достоинство метода

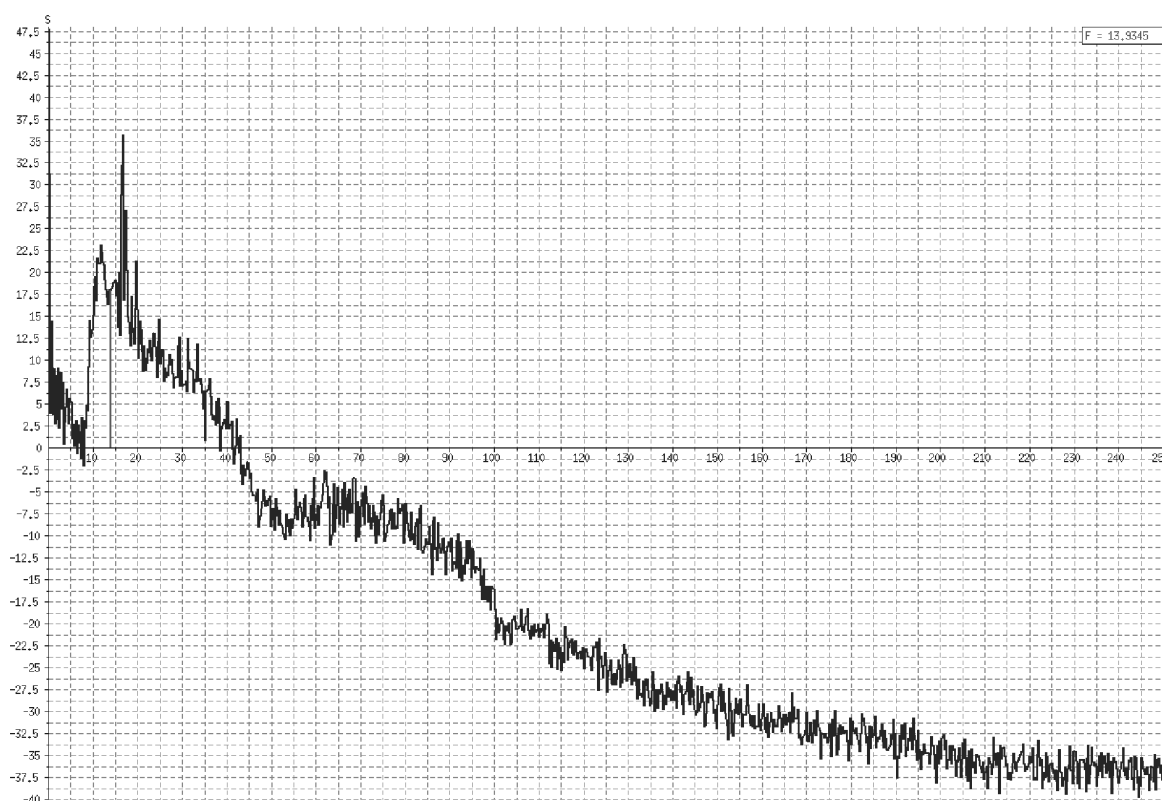
факторизации состоит в построении при решении псевдодифференциальных уравнений значений решений на границе, тем самым облегчая общее решение проблемы. Построенные интегральные представления решения допускают дальнейший численный анализ. Применение дискретизации интегралов, их сходимость обеспечиваются быстрым убыванием подынтегральной функции, даваемое выносом дифференциальных операторов за знак интеграла.

Для приближенных оценок решений приемлема дискретизация с сравнительно небольшим числом точек, позволяющая осуществлять в том числе и аналитическое построение приближенных решений. Однако при выполнении этой задачи необходимо иметь определенные навыки, чтобы не упустить важные составляющие свойств решений.

Замечание 2. Эксперименты по паспортизации сейсмических трасс включают в себя комплекс инструментальных исследований, состоящих в проведении на определенных участках вибросейсмического, магнитотеллурического и гравитационного изучения строения литосферных плит по всей ее толщине, а также характеристик параметров блоков в этой зоне. Указанные данные являются эталонными для последующего мониторинга трассы.

На рисунке приводится пример одной из характеристик упругого волнового поля, полученной в блочных структурах сейсмической трассы.

Идея изучения сейсмических трасс с учетом блочного строения литосферных плит впервые была выдвинута Кубанским государственным университетом. После научной экспертизы, одобренная Законодательным Собранием Краснодарского края тема включена в поддержанную губернатором краевую целевую программу «Академические прикладные научные проблемы Краснодарского края на 2004–2008 годы» от 14.07.2004 г. № 952-П. Для ее реализации создан новый специальный математический аппарат — дифференциальный метод факторизации [5]. Кроме этого, для проведения экспериментальных работ был сформирован исследовательский комплекс, включающий отечественные и зарубежные приборы и оборудование последнего поколения. Некоторое из этого оборудования имеется в России в единственном числе. В частности, в комплекс входят тяжелые передвижные и ста-



ционарные вибросейсмоисточники для исследования литосферной плиты по всей толщине.

Паспортизированные сейсмические трассы, их последующий мониторинг являются не только дополнительным предвестником роста сейсмичности, но будут служить целям верификации модели оценки напряженно-деформированного состояния литосферных плит, создаваемой в Кубанском государственном университете.

Литература

1. Попков В. И. Чешуйчато-надвиговое строение Северо-Западного Кавказа // ДАН. 2006. Т. 411. № 2. С. 223–225.
2. Ворович И. И., Бабешко В. А. Динамические смешанные задачи теории упругости для неклассических областей. М.: Наука, 1979. 320 с.
3. Бабешко В. А., Глушков Е. В., Зинченко Ж. Ф. Динамика неоднородных линейно-упругих сред. М.: Наука, 1989. 344 с.
4. Ворович И. И., Бабешко В. А., Прякина О. Д. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах. М.: Научный мир, 1999. 248 с.
5. Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В. Об интегральном и дифференциальном методах факторизации // ДАН. Т. 410. № 2. 2006. С. 168–172.
6. Бабешко В. А., Бабешко О. М. Метод факторизации в краевых задачах в неограниченных областях // ДАН. 2003. Т. 392. № 6. С. 767–770.
7. Бабешко В. А. Обобщенный метод факторизации в пространственных динамических смешанных задачах теории упругости. М.: Наука, 1984. 256 с.

Статья поступила 12 декабря 2006 г.

Кубанский государственный университет

© Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В., Лозовой В. В., Мухин А. С., Чмыхалов С. П., 2006