

УДК 539.3

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ОДНОГО ТИПА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М.

TOPOLOGICAL METHODS IN THE PROBLEM OF THE ONE TYPE OF EARTHQUAKES PREDICTION

Babeshko V. A. *, Evdokimova O. V. **, Babeshko O. M. *

* Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

** Southern Scientific Center RAS, Rostov-on-Don, 344006, Russia
e-mail: babeshko41@mail.ru

Abstract. A boundary value problem about the aggregate behavior of lithospheric plates, located on a deformable substrate, while changing their relative position is considered. On the example of two semi-infinite lithospheres' plates with straight boundaries, which are able to approach, we clarify the behavior properties of such block structures that can conduct to earthquakes. The boundary value problem was reduced to functional equations transformed to pseudo differential equations applying the topological method. The factorization of the matrix-functions were made and the exterior forms were used to calculate the Lere residue. The solving of the Wiener and Hopf equations were performed and the asymptotic behavior of the solutions were received. Domestic and foreign seismologists did not previously note them. The properties of such earthquakes are described.

Keywords: localization, stress-strain state, factorization, topology, boundary-value problems, differential equations, exterior forms

1. Разработанные ранее топологические методы исследования и решения граничных задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных позволили построить строгую теорию блочных элементов и блочных структур [1]. Теория нашла ряд приложений в области не решенных ранее проблем. Среди них можно выделить разработку условий локализации решений некоторых граничных задач в заданных зонах [2], теорию скрытых дефектов в телах с покрытиями [3]. Ее применение к гидрометеорологическим явлениям позволило приблизиться к выявлению причин некоторых аномальных природных явлений, связанных со слабой локализацией. В частности, строгое обоснование дано такому широко известному яв-

лению как «бабье лето», ранее не имевшему объяснения [4]. В настоящей работе впервые строится модель одного типа землетрясений от подготовки до совершения события. Описанный математически на основе законов механики и физики новый тип землетрясений не имеет упоминаний ни в одной отечественной или зарубежной публикации по сейсмологии. Эти землетрясения названы «стартовыми», поскольку они возникают при сближении литосферных плит, причем еще до взаимодействия их между собой.

Найдены аналоги физического объяснений таких событий, на которые ранее не обращали внимания.

Исследованиям землетрясений посвящено огромное количество работ отечественных

Бабешко Владимир Андреевич, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой математического моделирования Кубанского государственного университета, директор Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета, заведующий лабораторией Южного федерального университета; e-mail: babeshko41@mail.ru.

Евдокимова Ольга Владимировна, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Южного научного центра РАН; e-mail: evdokimova.olga@mail.ru.

Бабешко Ольга Мефодьевна, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета; e-mail: babeshko49@mail.ru.

Отдельные фрагменты работы выполнены при поддержке грантов РФФИ (14-08-00404, 13-01-12003-м, 13-01-96502, 13-01-96505, 13-01-96508, 13-01-96509, 15-01-01379, 15-08-01377), гранта Президента РФ НШ-1245.2014.1, Программы Президиума РАН № 3 и № 43.

и зарубежных ученых. Важные результаты, определявшие направления исследований на разных этапах, получены в работах [5–11].

В этих работах хорошо изучены процессы протекания землетрясений и их последствия для окружающей среды. Однако так и не удалось решить проблему их предвестников — ожидаемых мест землетрясений, времен и интенсивностей событий. Наиболее глубокие идеи для построения прогноза землетрясений принадлежат академикам А. Г. Гамбурцеву и М. А. Садовскому, возглавлявшим в разное время Институт Физики Земли АН СССР. Их гипотезы, по мнению авторов, являются руководством в исследовании предвестников на современном этапе. А. Г. Гамбурцев имел следующую позицию [9]: «Изыскание методов прогноза времени землетрясений следует направить в первую очередь в сторону поиска механических предвестников землетрясений. Такие поиски могут быть успешными только в том случае, если они будут основываться на глубоком изучении всех деталей механизма быстрых и медленных движений блоков земной коры сейсмоактивных районов». М. А. Садовскому [10] принадлежит утверждение о невозможности прогноза землетрясений, основываясь лишь на слоистом строении коры Земли, и необходимости учитывать реально существующие блочные модели.

Ниже используется физико-механический подход [12] для выявления землетрясения, опирающийся на поиск условий такой концентрации напряжений в литосферных плитах, которые заведомо обеспечивали бы их разрушение.

2. Выявление условий свершения землетрясений связано с изучением поведения контактных напряжений в задачах, исследованию которых большое внимание уделял академик И. И. Ворович [13, 14] со своими учениками. Проводимое исследование опирается на теорию скрытых дефектов, разработанную в [3] и других публикациях авторов.

Воспользуемся построениями, выполненными для описания скрытых дефектов в средах с покрытиями [3], считая, что покрытия представляют полуплоскости с параллельными границами, удаленные друг от друга на расстояние 2θ и находятся на некотором линейно деформируемом основании. Литосферные плиты моделируются пластинами Кирхгофа. Считаем, что пространство меж-

ду разнотипными плитами является пустым, а на торцах плит действуют внешние силы, направленные по правилу внешних векторов.

Введем локальную систему координат $x_1x_2x_3$ с началом в точке o , плоскостью x_1x_2 , совпадающей со срединной плоскостью пластины, осью ox_3 , направленной вверх по нормали к пластине, осью ox_1 , направленной по касательной к границе разлома, осью ox_2 — по нормали к его границе. Область, занятая левой плитой, обозначается Ω_λ , и описывается соотношениями $|x_1| \leq \infty$, $x_2 \leq -\theta$, а занятая правой — Ω_r и описывается координатами $|x_1| \leq \infty$, $\theta \leq x_2$. Будем исходить из того, что по показаниям высокоточных GPS-приемников литосферные плиты движутся пренебрежимо медленно, на несколько сантиметров в год. Поэтому граничную задачу можно рассматривать в статическом варианте. Уравнение Кирхгофа для фрагментов b покрытия, $b = \lambda, r$, занимающих области Ω_b с границами $\partial\Omega_b$, при вертикальных статических воздействиях напряжением t_{3b} сверху и g_{3b} снизу имеет вид

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_b(\partial x_1, \partial x_2)u_{3b} + \varepsilon_{53b}(t_{3b} - g_{3b}) &\equiv \\ &\equiv \left(\frac{\partial^4}{\partial x_1^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^4}{\partial x_2^4} \right) u_{3b} + \\ &+ \varepsilon_{53b}(t_{3b} - g_{3b}) = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_b(-i\alpha_1, -i\alpha_2)U_{3b} &\equiv \\ &\equiv R_b(-i\alpha_1, -i\alpha_2)U_{3b} \equiv (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)^2 U_{3b}, \\ U_{3b} = \mathbf{F}_2 u_{3b}, \quad G_{3b} = \mathbf{F}_2 g_{3b}, \quad T_{3b} = \mathbf{F}_2 t_{3b}, \\ b = \lambda, r, \end{aligned}$$

$$M_b = -D_{b1} \left(\frac{\partial^2 u_{3b}}{\partial x_2^2} + \nu_b \frac{\partial^2 u_{3b}}{\partial x_1^2} \right),$$

$$D_{b1} = \frac{D_b}{H^2}, \quad D_{b2} = \frac{D_b}{H^3},$$

$$\begin{aligned} Q_b = -D_{b2} \left(\frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_2^3} + (2 - \nu_b) \frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_1^2 \partial x_2} \right) &= \\ = f_{4b}(\partial\Omega_b), \end{aligned}$$

$$u_{3b} = f_{1b}(\partial\Omega_b), \quad \frac{\partial u_{3b}}{H \partial x_2} = f_{2b}(\partial\Omega_b),$$

$$D_b = \frac{E_b h_b^3}{12(1 - \nu_b^2)},$$

$$\varepsilon_{53b} = \frac{(1 - \nu_b^2) 12 H^4}{E_b h_b^3}, \quad \varepsilon_6^{-1} = \frac{(1 - \nu) H}{\mu}.$$

Связь между граничными напряжениями и перемещениями на поверхности упругой среды, на которой находятся плиты, имеет вид

$$u_{3m}(x_1, x_2) = \varepsilon_6^{-1} \sum_{n=1}^2 \iint_{\Omega_n} k(x_1 - \xi_1, x_2 - \xi_2) g_{3n}(\xi_1, \xi_2) d\xi_1 d\xi_2,$$

$$x_1, x_2 \in \Omega_m, \quad m = \lambda, r, \theta,$$

$$\Omega_1 = \Omega_\lambda (|x_1| \leq \infty; x_2 \leq -\theta),$$

$$\Omega_2 = \Omega_r (|x_1| \leq \infty; \theta \leq x_2),$$

$$\Omega_2 = \Omega_\theta (|x_1| \leq \infty; -\theta \leq x_2 \leq \theta),$$

$$n = \lambda, r,$$

где M_b и Q_b — изгибающий момент и перерезывающая сила в системе координат $x_1 o x_2$; h_b — толщины пластин, H — размерный параметр подложки, например, толщина слоя. Обозначения заимствованы из [3]. $\mathbf{F}_2 \equiv \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_2)$ и $\mathbf{F}_1 \equiv \mathbf{F}_1(\alpha_1)$ — двумерный и одномерный операторы преобразования Фурье соответственно. Функциональные уравнения граничной задачи можно представить в виде [3]

$$R_b(-i\alpha_1, -i\alpha_2)U_{3b} \equiv (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)^2 U_{3b} = - \int_{\partial\Omega_b} \omega_b - \varepsilon_{53b} S_{3b}(\alpha_1, \alpha_2), \quad (1)$$

$$S_{3b}(\alpha_1, \alpha_2) = \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_2)(t_{3b} - g_{3b}), \quad b = \lambda, r.$$

Здесь ω_b — участвующие в представлении внешние формы, имеющие вид

$$\omega_b = e^{i\langle \alpha, x \rangle} \left\{ - \left[\frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_2^3} - i\alpha_2 \frac{\partial^2 u_{3b}}{\partial x_2^2} - \alpha_2^2 \frac{\partial u_{3b}}{\partial x_2} + i\alpha_2^3 u_{3b} + 2 \frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_1^2 \partial x_2} - 2i\alpha_2 \frac{\partial^2 u_{3b}}{\partial x_1^2} \right] dx_1 + \left[\frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_1^3} - i\alpha_1 \frac{\partial^2 u_{3b}}{\partial x_1^2} - \alpha_1^2 \frac{\partial u_{3b}}{\partial x_1} + i\alpha_1^3 u_{3b} \right] dx_2 \right\},$$

$$b = \lambda, r.$$

Вычислив формы-вычеты Лере, в том числе двукратные, псевдодифференциальные

уравнения граничной задачи с учетом принятых обозначений можем представить для пластин $b = \lambda, r$ в виде

$$\mathbf{F}_1^{-1}(\xi_1^\lambda) \left\langle - \int_{\partial\Omega_\lambda} \left\{ i\alpha_{2-} D_{\lambda 1}^{-1} M_\lambda - D_{\lambda 2}^{-1} Q_{\lambda-} - (\alpha_{2-}^2 + \nu_\lambda \alpha_1^2) \frac{\partial u_{3\lambda}}{\partial x_2} + i\alpha_{2-} [\alpha_{2-}^2 + (2 - \nu_\lambda) \alpha_1^2] u_{3\lambda} \right\} e^{i\alpha_1 x_1} dx_1 + \varepsilon_{53\lambda} S_{3\lambda}(\alpha_1, \alpha_{2+}) \right\rangle = 0, \quad (2)$$

$$\alpha_{2-} = -i\sqrt{\alpha_1^2}, \quad \xi_1^\lambda \in \partial\Omega_\lambda,$$

$$\mathbf{F}_1^{-1}(\xi_1^\lambda) \left\langle - \int_{\partial\Omega_\lambda} \left\{ iD_{\lambda 1}^{-1} M_\lambda - 2\alpha_{2-} \frac{\partial u_{3\lambda}}{\partial x_2} + i [3\alpha_{2-}^2 + (2 - \nu_\lambda) \alpha_1^2] u_{3\lambda} \right\} e^{i\alpha_1 x_1} dx_1 + \varepsilon_{53\lambda} S'_{3\lambda}(\alpha_1, \alpha_{2-}) \right\rangle = 0,$$

$$\xi_1^\lambda \in \partial\Omega_\lambda, \quad \partial\Omega_\lambda = \{-\infty \leq x_1 \leq \infty, x_2 = -\theta\};$$

$$\mathbf{F}_1^{-1}(\xi_1^r) \left\langle - \int_{\partial\Omega_r} \left\{ i\alpha_{2+} D_{r 1}^{-1} M_r - D_{r 2}^{-1} Q_{r-} - (\alpha_{2+}^2 + \nu_r \alpha_1^2) \frac{\partial u_{3r}}{\partial x_2} + i\alpha_{2+} [\alpha_{2+}^2 + (2 - \nu_r) \alpha_1^2] u_{3r} \right\} e^{i\alpha_1 x_1} dx_1 + \varepsilon_{53r} S_{3r}(\alpha_1, \alpha_{2+}) \right\rangle = 0, \quad (3)$$

$$\alpha_{2+} = i\sqrt{\alpha_1^2}, \quad \xi_1^r \in \partial\Omega_r,$$

$$\mathbf{F}_1^{-1}(\xi_1^r) \left\langle - \int_{\partial\Omega_r} \left\{ iD_{r 1}^{-1} M_r - 2\alpha_{2+} \frac{\partial u_{3r}}{\partial x_2} + i [3\alpha_{2+}^2 + (2 - \nu_r) \alpha_1^2] u_{3r} \right\} e^{i\alpha_1 x_1} dx_1 + \varepsilon_{53r} S'_{3r}(\alpha_1, \alpha_{2+}) \right\rangle = 0,$$

$$\xi_1^r \in \partial\Omega_r, \quad \partial\Omega_r = \{-\infty \leq x_1 \leq \infty, x_2 = \theta\}.$$

Производная вычисляется по параметру α_2 . Введем следующую систему обозначений, основываясь на (2) и (3):

$$\mathbf{Y}_\lambda = \{y_{1\lambda}, y_{2\lambda}\}, \quad \mathbf{Z}_\lambda = \{z_{1\lambda}, z_{2\lambda}\},$$

$$\mathbf{Y}_r = \{y_{1r}, y_{2r}\}, \quad \mathbf{Z}_r = \{z_{1r}, z_{2r}\},$$

$$\mathbf{F}_1 g = \mathbf{F}_1(\alpha_1)g, \quad \mathbf{F}_2 g = \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_2)g,$$

$$y_{1\lambda} = D_\lambda^{-1} \mathbf{F}_1 M_\lambda, \quad y_{2\lambda} = D_\lambda^{-1} \mathbf{F}_1 Q_\lambda,$$

$$y_{1r} = D_r^{-1} \mathbf{F}_1 M_r, \quad y_{2r} = D_r^{-1} \mathbf{F}_1 Q_r,$$

$$z_{1\lambda} = \mathbf{F}_1 \frac{\partial u_\lambda}{\partial x_2}, \quad z_{2\lambda} = \mathbf{F}_1 u_\lambda,$$

$$z_{1r} = \mathbf{F}_1 \frac{\partial u_r}{\partial x_2}, \quad z_{2r} = \mathbf{F}_1 u_r,$$

$$\mathbf{K}_\lambda = \{k_{1\lambda}, k_{2\lambda}\},$$

$$\mathbf{K}_r = \{k_{1r}, k_{2r}\},$$

$$k_{1\lambda} = \varepsilon_{53\lambda} \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_{2-})(t_\lambda - g_\lambda) = \\ = \varepsilon_{53\lambda} S_{3\lambda}(\alpha_1, \alpha_{2-}),$$

$$k_{2\lambda} = \varepsilon_{53\lambda} S'_{3\lambda}(\alpha_1, \alpha_{2-}),$$

$$k_{1r} = \varepsilon_{53r} \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_{2+})(t_\lambda - g_\lambda) = \\ = \varepsilon_{53r} S_{3r}(\alpha_1, \alpha_{2+}),$$

$$k_{2r} = \varepsilon_{53r} S'_{3r}(\alpha_1, \alpha_{2+}).$$

В результате псевдодифференциальные уравнения для этого случая можно переписать в виде матричной системы алгебраических уравнений

$$\mathbf{A}_\lambda \mathbf{Y}_\lambda + \mathbf{B}_\lambda \mathbf{Z}_\lambda + \mathbf{K}_\lambda = 0,$$

$$\mathbf{A}_r \mathbf{Y}_r + \mathbf{B}_r \mathbf{Z}_r + \mathbf{K}_r = 0.$$

Ради простоты рассмотрим тот случай, когда изгибающий момент и перерезывающая сила равны нулю, то есть $\mathbf{Y}_\lambda = 0$, $\mathbf{Y}_r = 0$.

Решения получившихся уравнений легко находится

$$\mathbf{Z}_\lambda = -\mathbf{B}_\lambda^{-1} \mathbf{K}_\lambda, \quad \mathbf{Z}_r = -\mathbf{B}_r^{-1} \mathbf{K}_r$$

Внеся найденные соотношения в выражения для внешних форм в (2), (3), будем иметь

два уравнения для $\theta > 0$ и $\theta = 0$, положив $G_{3r} = G^+$, $G_{3\lambda} = G^-$. Первое — обобщенное функциональных уравнения Винера-Хопфа. Оно решается изложенным в [13] обращением системы двух интегральных уравнений второго рода с вполне непрерывными операторами вида

$$X^+ - \left\{ -\frac{M_1^+}{M_2^-} Y^- e^{-i2\alpha_2\theta} \right\}^+ = \left\{ \frac{1}{M_2^-} \Phi e^{-i\alpha_2\theta} \right\}^+,$$

$$Y^- + \left\{ \frac{M_2^-}{M_1^+} X^+ e^{i2\alpha_2\theta} \right\}^- = \left\{ \frac{1}{M_1^+} \Phi e^{i\alpha_2\theta} \right\}^-,$$

$$M_1 = M_1^+ M_1^-, \quad M_2 = M_2^+ M_2^-,$$

$$M_2^+ G^+ = X^+, \quad M_1^- G^- = Y^-.$$

Здесь приняты обозначения работы [13], Φ — функция, формируемая из некоторых составляющих векторов $\mathbf{K}_b$, $b = \lambda, r$.

3. При исследовании решения первого уравнения доказано, что для $\theta > 0$ имеют место следующие свойства контактных напряжений между пластинами и подложкой:

$$g_{3\lambda}(x_1, x_2) = \sigma_{1\lambda}(x_1, x_2)(-x_2 - \theta)^{-1/2},$$

$$x_2 < -\theta,$$

$$g_{3r}(x_1, x_2) = \sigma_{1r}(x_1, x_2)(x_2 - \theta)^{-1/2},$$

$$x_2 > \theta.$$

Здесь $\sigma_{1b}(x_1, x_2)$, $b = \lambda, r$ — непрерывные по обоим координатам функции для достаточно гладких t_{3b} , $b = \lambda, r$ [13].

Обращение второго уравнения при $\theta = 0$ строится традиционным методом Винера-Хопфа [13] и приводит при $x_2 \rightarrow 0$ к следующим свойствам решений:

$$g_{3\lambda}(x_1, x_2) \rightarrow \sigma_{2\lambda}(x_1, x_2)x_2^{-1}(1 + o(1)), \\ g_{3r}(x_1, x_2) \rightarrow \sigma_{2r}(x_1, x_2)x_2^{-1}(1 + o(1)). \quad (4)$$

Функции $\sigma_{nb}(x_1, x_2)$, $b = \lambda, r$, $n = 2, 3$ непрерывны по обоим параметрам.

Если исходить из того, что соотношения (4) доказывают обнаружение нового типа землетрясения, то необходимо дать описание его закономерностей.

Справедливо следующее:

1) при $\theta > 0$ плиты воздействуют на подложку, как обычные штампы с прямыми у границ углами [13]. Если края обламываются, то особенности по краям исчезают. Это может вызывать слабое землетрясение.

2) когда плиты сблизилась ($\theta = 0$), но не слились, сохраняя заданные на торцах граничные условия, третий закон Ньютона между ними еще не имеет места, то в зоне между ними возникают особенности x_2^{-1} . Для механиков это совершенно понятная ситуация, описанная во многих работах, встречающаяся, например, при изучении прочности металлического уголка, приваренного к основанию. При некоторых значениях углового раствора имеет место рост особенности напряжений в окрестности угла. Он предвещает быстрое разрушение соединения при внешних воздействиях, когда особенность оказывается несуммируемой. Когда плиты не слились, до выполнения третьего закона Ньютона, они могут вертикально скользить торцами друг относительно друга и при разных внешних воздействиях, как ножницы, могут вертикально вспарывать подложку либо разрушаться сами. Такой пример поведения плит хорошо известен рыбакам. Когда лед тонкий, лучше не сближаться, вместе можно провалиться под лед.

3) академики Б.Б. Голицын, Г.А. Гамбурцев [6, 15] и другие ученые высказывались о возможности «слипания» границ литосферных плит на разломах при их сближении, при последующих подвижках, приводящего к землетрясениям. В рассматриваемом случае при одинаковых свойствах литосферных плит и совпадении торцов равенство перемещений и напряжений в зоне контакта плит, то есть выполнение третьего закона Ньютона, приводит к исчезновению особенностей, две плиты превращаются в единое покрытие.

4) чтобы использовать этот результат в практических целях для паспортизации состояния зон разломов можно применять тяжелые тридцатитонные вибросейсмоисточники [12], производимые в США, например, Y-3000, компании Failing, снабдив такие вибросейсмогибриды программами обработки информации, которые позволяют осуществлять мониторинг положения плит и рассчитывать место и время события.

В работе рассмотрен простейший скалярный вариант взаимодействия литосферных плит. Более сложные, векторные случаи требуют использования решений проблемы Гильберта–Винера, недавно опубликованной авторами [16].

Литература

1. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. О блочных элементах в приложениях // Физическая мезомеханика. 2012. Т. 15. № 1. С. 95–103.
2. Бабешко В. А., Ритцер Д., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. О локализации энергии природных процессов и природные вирусы // ДАН. 2013. Т. 448. № 4. С. 406–409.
3. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. О разнотипных покрытиях с дефектами в статических задачах сейсмологии и наноматериалах // ДАН. 2014. Т. 459. № 6. С. 41–45.
4. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. Об одной модели некоторых природных явлений // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2014. № 3. С. 15–23.
5. Reid N. F. The Mechanism of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906. Rep. of the State Investigation Commiss. Vol. 2. Pt. 1. Washington, 1910. 56 p.
6. Голицын Б. Б. Избранные труды. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 465 с.
7. Gutenberg B., Richter C. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press, 1954. 310 p.
8. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 670 с.
9. Гамбурцев Г. А. Перспективный план исследований по проблеме «Изыскание и развитие прогноза землетрясений». В сб. Развитие идей Г. А. Гамбурцева в геофизике. М., Наука, 1982. С. 304–311.
10. Садовский М. А., Болховитинов Л. Г., Писаренко В. Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 104 с.
11. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
12. Babeshko V. A. Russian national joint used centers for seismology (Net). EPOS preparatory phase regional conference, 19–21 March 2012, Prague. Режим доступа: http://rp7.ffg.at/eu-russian_opendays (дата обращения 31.05.2015).
13. Ворович И. И., Бабешко В. А. Динамические смешанные задачи теории упругости для неклассических областей. М., Наука, 1979. 320 с.
14. Ворович И. И., Бабешко В. А., Прякина О. Д. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах. М., Наука, 1999. 246 с.
15. Гамбурцев Г. А. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 451 с.
16. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. Об одной факторизационной задаче

Гильберта–Винера и методе блочного элемента // ДАН. 2014. Т. 459. № 5. С. 557–561.

References

1. Babeshko V. A., Evdokimova O. V., Babeshko O. M. O blochnykh elementakh v prilozheniyakh [About a block element in applications]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 2012, vol. 15, no. 1, pp. 95–103. (In Russian)
2. Babeshko V. A., Rittser D., Evdokimova O. V., Babeshko O. M. O lokalizatsii energii prirodnnykh protsessov i prirodnye virusy [On the localization energy of natural processes and natural viruses]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of Academy of Sciences], 2013, vol. 448, vol. 4, pp. 406–409. (In Russian)
3. Babeshko V. A., Evdokimova O. V., Babeshko O. M. O raznotipnykh pokrytiyakh s defektami v staticheskikh zadachakh seysmologii i nanomaterialakh [About different types of coatings with defects in static problems of seismology and nanomaterials]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of Academy of Sciences], 2014, vol. 459, no. 6, pp. 41–45.
4. Babeshko V. A., Evdokimova O. V., Babeshko O. M. Ob odnoy modeli nekotorykh prirodnnykh yavleniy [About one model some natural phenomena]. *Ekologicheskii vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2014, no. 3, pp. 15–23. (In Russian)
5. Reid N. F. The Mechanism of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906. *Rep. of the State Investigation Commiss. Vol. 2. Pt. 1.* Washington, 1910. 56 p.
6. Golitsyn B. B. *Izbrannye trudy. tom 2* [Selected Works. Vol. 2]. Moscow, Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR Publ., 1960. 465 p. (In Russian)
7. Gutenberg B., Richter C. *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Princeton Univ. Press, 1954, 310 p.
8. Rikhter Ch. *Elementarnaya seysmologiya*. Moscow, Izd-vo inostrannoi literaturi Publ., 1963, 670 p. (In Russian)
9. Gamburtsev G. A. Perspektivnyy plan issledovaniy po probleme “Izyskanie i razvitie prognoza zemletryaseniy” [Perspective plan of research on “Finding and development of earthquake prediction”]. In *Razvitie idey G. A. Gamburtseva v geofizike* [Development of ideas D. A. Gamburtseva in geophysics]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 304–311. (In Russian)
10. Sadovskiy M. A., Bolkhovitinov L. G., Pisarenko V. F. *Deformirovaniye geofizicheskoy sredy i seysmicheskiiy protsess* [The deformation of the geophysical medium and the seismic process]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 104 p. (In Russian)
11. Sobolev G. A. *Osnovy prognoza zemletryaseniy* [Fundamentals of earthquake prediction]. Moscow, Nauka Publ., 1993, 313 p. (In Russian)
12. Babeshko V. A. Russian national joint used centers for seismology (Net). In *EPOS Preparatory phase regional conference, 19–21 March 2012, Prague*. Available at: http://rp7.ffg.at/eu-russian_opendays (accessed 31.05.2015).
13. Vorovich I. I., Babeshko V. A. *Dinamicheskies smeshannye zadachi teorii uprugosti dlya neklassicheskikh oblastey* [Dynamic mixed problems of elasticity theory for nonclassical domains]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 320 p. (In Russian)
14. Vorovich I. I., Babeshko V. A., Pryakhina O. D. *Dinamika massivnykh tel i rezonansnye yavleniya v deformiruemyykh sredakh* [Dynamics of massive bodies and resonance phenomena in deformable environments]. Moscow, Nauka Publ., 1999, 246 p. (In Russian)
15. Gamburtsev G. A. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Moscow, Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR Publ., 1960, 451 p. (In Russian)
16. Babeshko V. A., Evdokimova O. V., Babeshko O. M. *Ob odnoy faktorizatsionnoy zadache Gil’berta–Vinera i metode blochnogo elementa* [About one factorization problem of Hilbert–Wiener method and block element]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of Academy of Sciences], 2014, vol. 459, no. 5, pp. 557–561. (In Russian)