ISSN 1729-5459. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ ЧЭС. 2019. Т. 16. № 1. С. 16–20

Механика

УДК 539.3 DOI: 10.31429/vestnik-16-1-16-20

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТАРТОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ

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

FEATURES STARTING EARTHQUAKES IN THE AREAS OF SUBDUCTION

O. M. Babeshko[1], V. A. Babeshko[1,2], O. V. Evdokimova[2], D. A. Khripkov[1]

[1] Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia
[2] Southern Scientific Center, Russian Academy of Science, Rostov-on-Don, 344006, Russia
e-mail: babeshko49@mail.ru

Abstract. Subduction is the phenomenon of movement of one lithospheric plate under another, arising in connection with the heterogeneity of both geometrical and physical parameters of the lithospheric plates approaching each other. Such phenomena can occur in land, ocean and coastal areas. Active boundaries of the plates are divided into two types – subduction and collision ones. Collision processes are peculiar to the interaction of continental lithospheric plates and lead mainly to the twisting and generation of new mountains, while the subduction ones tend to cause earthquakes. By subduction, a part of the ocean floor sinks beneath the land plate. At great depth this part melts and due to the spreading it spreads and forms new crust both under the land and under the ocean. Subduction zones were discovered and described by the seismologist Benioff. Earthquakes occur most frequently in these zones. Benioff called them seismic focal zones, now they are called Benioff zones. There are attempts to explain the reasons for such properties of the Benioff zones, but they are not based on rigorous mechanical and mathematical approaches and are not convincing. The starting earthquakes are studied in the sone of subduction.

Keywords: block element, lithospheric plates, topology, differential factorization methods, exterior forms, block structures, boundary problems, starting earthquakes, subduction.

1. Считаем, что литосферные плиты представляют собой полубесконечные пластины Кирхгофа в форме полуплоскостей, границы которых параллельны и находятся на дистанции 2θ, $\theta \geqslant 0$, друг от друга, причем каждая обладает индивидуальными механическими свойствами. Примем оси координат x_1ox_2 лежащими в плоскости пластин, а ось x_3 — направленной по внешней нормали к подложке. Рассмотрим случай статических воздействий на поверхность пластин, из которых левая контактирует с основанием без трения, а правая — с пренебрежимо малым вертикальным воздействием по сравнению с касательными контактными напряжениями. Тогда уравнения граничных задач для пластин представимы в виде

$$\mathbf{R}_b\left(\partial x_1, \partial x_2\right)\mathbf{u}_b - \mathbf{s}_b(x_1, x_2) = 0, \quad b = \lambda, r. \tag{1}$$

Здесь каждая пластина рассматривается как многообразие с краем, где $\mathbf{u}_b = \{u_{1b}, u_{2b}, u_{3b}\}$ — вектор перемещения точек пластин по горизонтальным u_{1b}, u_{2b} и вертикальным u_{3b} направлениям срединной плоскости, а $b = \lambda$ для левой плиты и $b = r$ —

Бабешко Ольга Мефодиевна, 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.

Бабешко Владимир Андреевич, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, заведующий 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.

Хрипков Дмитрий Александрович, научный сотрудник Кубанского государственного университета; e-mail: vestnik@fpm.kubsu.ru.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания Минобрнауки на 2019 г. (проекты 9.8753.2017/8.9), ЮНЦ РАН на 2019 г. (проект 00-18-04) № госрег. 01201354241, программ президиума РАН I-16 (проект 00-18-21) и I-52 (проект 00-18-29), и при поддержке грантов РФФИ (проекты 19-41-230003, 19-41-230004, 19-48-230014, 17-08-00323, 18-08-00465, 18-01-00384, 18-05-80008).

для правой. Введем обозначения

$$\mathbf{s}_b(x_1,x_2) = \begin{Vmatrix} \psi_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \psi_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \psi_{33} \end{Vmatrix}, \qquad (2)$$

$$\psi_{11} = -\varepsilon_{5b}s_{1b}(x_1,x_2), \quad \psi_{22} = -\varepsilon_{5b}s_{2b}(x_1,x_2),$$
$$\psi_{33} = \varepsilon_{53b}s_{3b}(x_1,x_2),$$
$$s_{nb}(x_1,x_2) = (t_{nb} + g_{nb}),$$

$$\mathbf{R}_b\left(\partial x_1, \partial x_2\right)\mathbf{u}_b = \begin{Vmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & 0 \\ \xi_{21} & \xi_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \xi_{33} \end{Vmatrix}. \qquad (3)$$

$$\xi_{11} = \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \varepsilon_{1b}\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\right)u_{1b},$$

$$\xi_{22} = \left(\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \varepsilon_{1b}\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\right)u_{2b},$$

$$\xi_{12} = \left(\varepsilon_{2b}\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2}\right)u_{2b},$$

$$\xi_{21} = \left(\varepsilon_{2b}\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2}\right)u_{1b},$$

$$\xi_{33} = \left(\frac{\partial^4}{\partial x_1^4} + 2\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^4}{\partial x_2^4}\right)u_{3b}.$$

Учитывая характер взаимодействия литосферных плит с основанием, в формулах (2) и (3) принято при $b = \lambda$

$$s_{nb}(x_1,x_2) = 0, \quad u_{nb} = 0, \quad n = 1,2.$$

Для случая $b = r$ должно выполняться условие

$$s_{nb}(x_1,x_2) = 0, \quad u_{nb} = 0, \quad n = 3.$$

Здесь для $b = \lambda$ нормальные напряжения t_{3b} действует на плиту сверху и g_{3b} — снизу. Аналогично для $b = r$ напряжения g_{1b}, g_{2b} и t_{1b}, t_{2b} действуют в касательной плоскости в области контакта с основанием, причем g_{1b} и t_{1b} — в направлении касательной к торцу литосферной плиты, а g_{2b} и t_{2b} — в направлении нормали. Имеют место следующие соотношения, принятые в [1,2],

$$\mathbf{U}_b = \mathbf{F_2}\mathbf{u}_b, \quad \mathbf{G}_b = \mathbf{F_2}\mathbf{g}_b, \quad \mathbf{T}_b = \mathbf{F_2}\mathbf{t}_b,$$
$$b = \lambda, r,$$

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

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

$$Q_b = -D_{b2}\left(\frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_2^3} + (2-\nu_b)\frac{\partial^3 u_{3b}}{\partial x_1^2 \partial x_2}\right),$$

$$u_{3b}, \quad \frac{\partial u_{3b}}{\mathrm{H}\partial x_2},$$

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

$$\varepsilon_{1b} = 0{,}5(1-\nu_b), \quad \varepsilon_{2b} = 0{,}5(1+\nu_b),$$

$$\varepsilon_{5b} = \frac{1-\nu_b^2}{E_b h_b}\varepsilon_{1b} = 0{,}5(1-\nu_b), \quad \varepsilon_{2b} = 0{,}5(1+\nu_b),$$

$$\varepsilon_{5b} = \frac{1-\nu_b^2}{E_b h_b},$$

$$g_{1b} = \mu_{0b}\left(\frac{\partial u_{1b}}{\partial x_3} + \frac{\partial u_{3b}}{\partial x_1}\right),$$

$$g_{2b} = \mu_{0b}\left(\frac{\partial u_{2b}}{\partial x_3} + \frac{\partial u_{3b}}{\partial x_2}\right),$$

$$\mu_{0b} = \frac{\mu_b}{\mathrm{H}}, \quad x_3 = 0, \quad \mathbf{g} = \{g_{1b}, g_{2b}\}.$$

Выше использованы следующие обозначения: μ_b — модуль сдвига, ν_b — коэффициент Пуассона, E_b — модуль Юнга, h_b — толщина, $\mathbf{g}_b$, $\mathbf{t}_b$ — векторы контактных напряжений и внешних горизонтальных, g_{1b}, g_{2b}, t_{1b}, t_{2b} и вертикальных, g_{3b}, t_{3b} воздействий соответственно, действующих по касательной к границе основания и по нормали к ней в областях Ω_b. $\mathbf{F}_2 \equiv \mathbf{F}_2(\alpha_1,\alpha_2)$, $\mathbf{F}_2 \equiv \mathbf{F}_1(\alpha_1)$ — двумерный и одномерный операторы преобразования Фурье соответственно. Описанные в [2] граничные условия здесь сохраняются. Выражения для нормальной N_{x2} и касательной $T_{x1\,x2}$ составляющих напряжений к срединной плоскости на торцах пластин даются соответственно соотношениями

$$T_{x_1x_2} = \varepsilon_7\left(\frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_2}\right),$$

$$N_{x_2} = \varepsilon_8\left(\frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \nu\frac{\partial u_1}{\partial x_1}\right),$$

$$\varepsilon_7 = \frac{E}{2(1+\nu)H}, \quad \varepsilon_8 = \frac{E}{(1-\nu^2)H}.$$

Для деформируемого основания, описываемого граничной задачей, применимы различные модели, даваемые соотношениями

$$\mathbf{u}(x_1,x_2)=\varepsilon_6^{-1}\frac{1}{4\pi^2}\int_{-\infty}^{\infty}\int\mathbf{K}(\alpha_1,\alpha_2)\times$$
$$\times\,\mathbf{G}(\alpha_1,\alpha_2)e^{-i\langle\alpha,\mathbf{x}\rangle}\,\mathrm{d}\alpha_1\,\mathrm{d}\alpha_2,$$
$$x\in\Omega_\lambda,\quad x\in\Omega_r,\quad x\in\Omega_\theta,$$
$$\langle\alpha,x\rangle=\alpha_1x_1+\alpha_2x_2,$$
$$\Omega_\lambda\left(|x_1|\leqslant\infty;\ x_2\leqslant-\theta\right),$$
$$\Omega_r\left(|x_1|\leqslant\infty;\ \theta\leqslant x_2\right),$$
$$\Omega_\theta\left(|x_1|\leqslant\infty;\ -\theta\leqslant x_2\leqslant\theta\right),$$
$$\mathbf{K}=\|K_{mn}\|\,,\quad m,n=1,2,3,$$
$$\mathbf{K}(\alpha_1,\alpha_2)=O(A^{-1}),\quad A=\sqrt{\alpha_1^2+\alpha_2^2}\to\infty,$$
$$\varepsilon_6^{-1}=\frac{(1-\nu)H}{\mu},\quad \mathbf{G}(\alpha_1,\alpha_2)=\mathbf{F}_2(\alpha_1,\alpha_2)\mathbf{g},$$

$\mathbf{g}$ — вектор касательных и нормальных напряжений под плитами на границе основания. Некоторые типы матриц-функций $\mathrm{K}(\alpha_1,\alpha_2)$ оснований, называемые символом системы интегральных уравнений, приведены в [3, 4]. Например, для упругого слоя в статическом случае она имеет вид

$$K(\alpha_1,\alpha_2)=$$
$$=\left\|\begin{matrix}\alpha_1^2M+\alpha_2^2N & \alpha_1\alpha_2(M-N) & i\alpha_1P\\ \alpha_1\alpha_2(M-N) & \alpha_1^2N+\alpha_2^2M & i\alpha_2P\\ -i\alpha_1P & -i\alpha_2P & K\end{matrix}\right\|,$$
$$M\left(u\right)=\frac{\left(1-\nu\right)\left(3-4\nu\right)\left(\operatorname{sh}4u+4u\right)}{u^2\Delta},$$
$$N\left(u\right)=\frac{2\operatorname{sh}2u}{u^3\operatorname{ch}2u},$$
$$P\left(u\right)=-\frac{\left(1-2\nu\right)\left(3-4\nu\right)\operatorname{sh}^2 2u-4u^2}{u\Delta\left(u\right)},$$
$$K\left(u\right)=\frac{\left(1-\nu\right)\left(3-4\nu\right)\left(\operatorname{sh}4u-4u\right)}{\Delta\left(u\right)},$$
$$\Delta\left(u\right)=u\left[(3-4\nu)sh^2 2u+4u^2+4\left(1-\nu\right)^2\right],$$
$$u=\sqrt{\alpha_1^2+\alpha_2^2}.$$

Матрица (3) граничной задачи является блочно-диагональной, состоящей из расположенной на диагонали матрицы второго порядка, представляющей матричный оператор или векторный оператор, и отдельного на диагонали скалярного оператора. Поскольку операторы независимы, это существенно облегчает исследование граничной задачи на этапе внешнего анализа [5], позволяя воспользоваться результатами, полученными в работах [1, 2].

Внешний анализ граничной задачи. Граничные задачи для каждого блока структуры погружаются в топологическое пространство, индуцированное трехмерным евклидовым пространством, после чего применением формулы Стокса в топологическом пространстве сводятся к функциональным уравнениям. Приведем представления функциональных уравнений, отвечающих перечисленным операторам граничной задачи. Функциональные уравнения скалярного оператора для левой плиты, $b=\lambda$, имеют вид [1, 2]

$$R_{3b}(-i\alpha_1,-i\alpha_2)U_{3b}\equiv(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^2U_{3b}=$$
$$=-\int_{\partial\Omega_b}\omega_{3b}+S_{3b}(\alpha_1,\alpha_2),$$
$$S_{3b}(\alpha_1,\alpha_2)=\varepsilon_{53b}\mathbf{F}_2(\alpha_1,\alpha_2)(t_{3b}+g_{3b}),$$
$$b=\lambda,r.$$

Здесь ω_{3b} — участвующие в представлении внешние формы [5].

Функциональные уравнения граничной задачи для векторного случая, представленные для правой плиты, $b=r$ являются матричными и имеют вид

$$\mathbf{R}_{12b}(-i\alpha_{1b},-i\alpha_{2b})\mathbf{U}_{12b}=$$
$$=-\int_{\partial\Omega_b}\boldsymbol{\omega}_{12b}+\mathbf{S}_{12b}(\alpha_{1b},\alpha_{2b}),$$
$$\mathbf{U}_{12b}=\left\{U_{1b},U_{2b}\right\},$$
$$\boldsymbol{\omega}_{12b}=\left\{\omega_{1b},\omega_{2b}\right\},$$
$$\mathbf{S}_{12b}(\alpha_{1b},\alpha_{2b})=-\varepsilon_{5b}\mathbf{F}_2(\alpha_{1b},\alpha_{2b})(\mathbf{g}_b+\mathbf{t}_b),$$
$$\mathbf{S}_{12b}(\alpha_{1b},\alpha_{2b})=\left\{S_{1b},S_{2b}\right\},$$

$$\mathbf{R}_{12b}(-i\alpha_{1b},-i\alpha_{2b})=$$
$$=\left\|\begin{matrix}(\alpha_{1b}^2+\varepsilon_{1b}\alpha_{2b}^2) & \varepsilon_{2b}\alpha_{1b}\alpha_{2b}\\ \varepsilon_{2b}\alpha_{1b}\alpha_{2b} & (\alpha_{2b}^2+\varepsilon_{1b}\alpha_{1b}^2)\end{matrix}\right\|.$$

Здесь $\boldsymbol{\omega}_b$ — вектор внешних форм

Совершив над этими функциональными уравнениями операции внешнего анализа [4], включающие факторизацию коэффициента функционального уравнения — матрицы-функции и просто функции, вычисление форм-вычетов Лере, построение псевдодифференциальных уравнений, извлечение из них необходимых, поставленными граничными задачами, интегральных уравнений и решение последних, найденные таким образом решения вносятся во внешние формы функциональных уравнений каждой плиты, после чего сопрягаются с основанием, формируя новое топологическое пространство, называемое фактор-топологическим.

2. В процессе выполнения этой части исследования выполняется ряд преобразований, детально описанных в [1,2,5].

Выполнив их, решения в каждой плите можно представить в виде

$$\mathbf{u}_\lambda(x_1,x_2,0) = \\ = \mathbf{F}_2^{-1}(x_1,x_2)\left[\mathbf{R}_\lambda(-i\alpha_1,-i\alpha_2)\right]^{-1}\times \\ \times\left(-\int\limits_{\partial\Omega_\lambda}\boldsymbol{\omega}_\lambda+\mathbf{S}_\lambda\right),$$

$$\mathbf{u}_r(x_1,x_2,0) = \\ = \mathbf{F}_2^{-1}(x_1,x_2)\left[\mathbf{R}_r(-i\alpha_1,-i\alpha_2)\right]^{-1}\times \\ \times\left(-\int\limits_{\partial\Omega_r}\boldsymbol{\omega}_r+\mathbf{S}_r\right).$$

Сопрягая все три компоненты перемещений литосферной плиты, как нормальные, так и касательные, с перемещениями верхней границы основания, получаем соотношения вида

$$\mathbf{P}_\lambda\mathbf{u}(x_1,x_2,0)+\mathbf{P}_\theta\mathbf{u}(x_1,x_2,0)+ \\ +\mathbf{P}_r\mathbf{u}(x_1,x_2,0)=\varepsilon_6^{-1}\mathbf{F}_2^{-1}\mathbf{K}(\alpha_1,\alpha_2,0)\times \\ \times\left[\mathbf{G}_\lambda(\alpha_1,\alpha_2)+\mathbf{G}_r(\alpha_1,\alpha_2)\right],$$

$$\mathbf{G}_\lambda(\alpha_1,\alpha_2)=\mathbf{F}_2\mathbf{P}_\lambda\mathbf{g}(x_1,x_2),$$

$$\mathbf{G}_r(\alpha_1,\alpha_2)=\mathbf{F}_2\mathbf{P}_r\mathbf{g}(x_1,x_2),$$

$$\mathbf{P}_p\mathbf{u}=\mathbf{F}_2^{-1}\left[\mathbf{R}_p(-i\alpha_1,-i\alpha_2)\right]^{-1}\times \\ \times\left\langle-\int\limits_{\partial\Omega_p}\boldsymbol{\omega}_p+\mathbf{S}_b(\alpha_1,\alpha_2)\right\rangle,\quad p=\lambda,r.$$

Здесь $\mathbf{P}_\lambda$, $\mathbf{P}_r$, $\mathbf{P}_\theta$ — проекторы на левую, правую полуплоскости и на срединный промежуток, являющиеся носителями соответствующих плит и описывающим промежуток $|x_2|\leqslant\theta$. Приходим к матричному обобщенному функциональному уравнению Винера–Хопфа. В результате дальнейших исследований, получаем функциональные уравнения вида

$$\mathbf{M}\mathbf{G}_+=\mathbf{G}_-+\mathbf{V}+\mathbf{K}_1^{-1}\mathbf{U}_\theta,\quad \mathbf{M}=\mathbf{K}_1^{-1}\mathbf{K}_2,$$

$$\mathbf{K}_2=\boldsymbol{\varepsilon}_r\mathbf{R}_r^{-1}-\varepsilon_6^{-1}\mathbf{K},\quad \mathbf{K}_1=\varepsilon_6^{-1}\mathbf{K}-\boldsymbol{\varepsilon}_\lambda\mathbf{R}_\lambda^{-1},$$

$$\mathbf{V}=\mathbf{K}_1^{-1}\left(\mathbf{R}_\lambda^{-1}\int\limits_{\partial\Omega_\lambda}\boldsymbol{\omega}_\lambda+\mathbf{R}_r^{-1}\int\limits_{\partial\Omega_r}\boldsymbol{\omega}_r- \right. \\ \left. -\boldsymbol{\varepsilon}_\lambda\mathbf{R}_\lambda^{-1}\mathbf{T}_\lambda-\boldsymbol{\varepsilon}_r\mathbf{R}_r^{-1}\mathbf{T}_r\right),$$

$$\mathbf{U}_\theta=\mathbf{F}_2\mathbf{P}_\theta\mathbf{u}(x_1,x_2),$$

которые, наряду с наличием неизвестных $\mathbf{G}_\pm(\alpha_1,\alpha_2)$, содержит в качестве неизвестных также и их функционалы вида $\mathbf{G}_\pm(\alpha_1,\alpha_{2\pm})$, нуждающиеся в последующем определении из некоторой системы алгебраических уравнений [1,2]. В этих же работах изложены способы определения функционалов, входящих во внешние формы. Для исследования особенностей решения функционального уравнения был использован факторизационный подход, представленный в [3,4]. Исследование свойств решений этого матричного функционального уравнения привело, наряду с изложенными в [1,2] результатами, также к новым, не встречавшимся ранее. При $\theta>0$, то есть, когда торцы плит удалены на расстояние 2θ, контактные напряжения на краях пластин имеют представление [3,4] вида

$$g_\lambda(x_1,x_2)=\sigma_{1\lambda}(x_1,x_2)(-x_2-\theta)^{-0{,}5},\quad x_2<-\theta,$$

$$\mathbf{g}_r(x_1,x_2)=\boldsymbol{\sigma}_{2r}(x_1,x_2)(x_2-\theta)^{-0{,}5}, \\ x_2>\theta\quad \gamma>0.$$

Функция $\sigma_{1\lambda}(x_1,x_2)$ и вектор σ_{2r} непрерывны по обоим параметрам.

При $\theta=0$, то есть, когда торцы плит полностью сблизились, контактные напряжения имеют вид

$$g_\lambda(x_1,x_2)\to\sigma_{3\lambda}(x_1,x_2)x_2^{-1},$$

$$\mathbf{g}_r(x_1,x_2)\to\boldsymbol{\sigma}_{4r}(x_1,x_2)x_2^{-1}.$$

Функция $\sigma_{3\lambda}(x_1, x_2)$ и вектор $\boldsymbol{\sigma}_{4r}$ непрерывны по обоим параметрам.

Анализ полученного решения показывает, что возникает более сложная подвижка поверхности Земли, охватывающая рассмотренные в [1, 2] случаи.

В результате вычисления перемещений поверхности Земли, вызванных сингулярными составляющими контактных напряжений, получается картина, в которой левая плита испытала вертикальное перемещение, а правая — горизонтальный сдвиг в одном из свободных для движения направлений, породив в зоне эпицентра возможную трещину и возможный сдвиг ее берегов, которые в той или иной форме описаны в [6–11].

Литература

1. *Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M.* On the possibility of predicting some types of earthquake by a mechanical approach // Acta Mechanica. 2018. Vol. 229. Iss. 5. P. 2163–2175. DOI: 10.1007/s00707-017-2092-0
2. *Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М.* О стартовых землетрясениях при горизонтальных воздействиях // ДАН. 2017. Т. 474. № 4. С. 427–431.
3. *Ворович И.И., Бабешко В.А.* Динамические смешанные задачи теории упругости для неклассических областей. М.: Наука, 1979. 320 с.
4. *Бабешко В.А., Глушков Е.В., Зинченко Ж.Ф.* Динамика неоднородных линейно-упругих сред. М.: Наука, 1989. 344 с.
5. *Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M.* On a mechanical approach to the prediction of earthquakes during horizontal motion of litospheric plates // Acta Mechanica. 2018. Vol. 229. Iss. 11. P. 4727–4739. DOI: 10.1007/s00707-018-2255-7
6. *Морозов Н.Ф.* Математические вопросы теории трещин. М.: Наука, 1984. 256 с.
7. *Никонов А.А.* Современные движения Земной коры. М.: Наука, 1979. 184 с.
8. *Чернов Ю.К.* Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территории. Ташкент: ФАН, 1989. 296 с.
9. *Райс Дж.* Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. 217 с.
10. *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.
11. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 104 с.

References

1. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. On the possibility of predicting some types of earthquake by a mechanical approach. *Acta Mechanica*, 2018, vol. 229, iss. 5, pp. 2163–2175. DOI: 10.1007/s00707-017-2092-0
2. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. O startovykh zemletryaseniyakh pri gorizontal'nykh vozdeystviyakh [Of starting earthquakes with horizontal effects]. *Doklady Akademii nauk* [Rep. of the Russian Academy of Science], 2017, vol. 474, no. 4, pp. 427–431. (In Russian)
3. Vorovich I.I., Babeshko V.A. *Dinamicheskie smeshannye zadachi teorii uprugosti dlya neklassicheskikh oblastey* [Dynamic mixed problems of elasticity theory for non-classical domains]. Nauka, Moscow, 1979. (In Russian)
4. Babeshko V.A., Glushkov E.V., Zinchenko Zh.F. *Dinamika neodnorodnykh lineyno-uprugikh sred* [Dynamics of inhomogeneous linear-elastic media]. Nauka, Moscow, 1989. (In Russian)
5. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. On a mechanical approach to the prediction of earthquakes during horizontal motion of litospheric plates. *Acta Mechanica*, 2018, vol. 229, iss. 11, pp. 4727–4739. DOI: 10.1007/s00707-018-2255-7
6. Morozov N.F. *Matematicheskie voprosy teorii treshchin* [Mathematical problems of crack theory]. Nauka, Moscow, 1984. (In Russian)
7. Nikonov A.A. *Sovremennye dvizheniya Zemnoy kory* [Modern movements of the Earth's crust]. Nauka, Moscow, 1979. (In Russian)
8. Chernov Yu.K. *Sil'nye dvizheniya grunta i kolichestvennaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territorii* [Strong ground movements and quantitative assessment of seismic hazard of the territory]. FAN, Tashkent, 1989. (In Russian)
9. Rays Dzh. *Mekhanika ochaga zemletryaseniya* [The mechanics of the earthquake source]. Mir, Moscow, 1982. (In Russian)
10. Gamburtsev G.A. Perspektivnyy plan issledovaniy po probleme “Izyskanie i razvitie prognoza zemletryaseniy”. In: *Razvitie idey G.A. Gamburtseva v geofizike.* Nauka, Moscow, 1982, pp. 304–311. (In Russian)

Статья поступила 26 февраля 2019 г.