ISSN 1729-5459. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ ЧЭС. 2016. №1. С. 5–11

УДК 539.3

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ НОВОГО ТИПА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

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

ABOUT DISCOVERY OF A NEW EARTHQUAKE TYPE

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. For the first time a pattern of an earthquake type ranging from preparation to the event is built. The pattern which is fully rested on physics and mechanics laws allows to find out probably a new type of faulting earthquake which called starting because it precedes crustal earthquakes which is bound with interrelation of lithosphere plates. Kirchhoff plates on elastic half-space which move towards till rapprochement serve as lithosphere plates. An earthquake is determined by spur increase of stress accumulation in the certain zone in comparison with ordinary state. The development allows to estimate place, time and intensity of the earthquake type with the availability of certain equipment. In this work results for harmonic in time impact on lithosphere plates are shown. It's shown that one condition can be in this case, which can be cause of a starting earthquake . In the basis of the research approach of block element and approach of factorization lie.

Keywords: block elements, boundary problems, resonances, landslide, block, faults, earthquake, structures.

1. Исследованиям землетрясений посвящено огромное количество работ отечественных и зарубежных ученых. Важные результаты, определявшие направления исследований на разных этапах, получены в работах [1–8].

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. Развитие новых средств получения геофизической информации, новых типов оборудования для исследования глубинного строения Земли, а также вычислительных средств и математических методов позволяют ставить и решать более сложные проблемы в сейсмологии. При исследовании землетрясений выделяются два разных подхода: наблюдательной сейсмологии и активной. Первый предполагает наблюдательный подход, состоящий в использовании обилия приборов наблюдения с последующим анализом и выявлением параметров предстоящих землетрясений. Активный опирается на построение теорий сейсмичности на основании данных наблюдений и законов физики и применение адресных средств воздействия мощными вибросейсмическими источниками на определенные зоны поверхности для выявления параметров предвестников. Вот что написал о первом подходе академик В. А. Кейлис–Борок [9]: «Долгое время работы по прогнозу землетрясений ориентировались в основном на расширении системы наблюдений. Калифорнийское землетрясение наглядно показало нам, насколько это-

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 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.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания на 2016 г. проект (0256-2014-0006), Программы президиума РАН 1-33П, проекты с (0256-2015-0088) по (0256-2015-0093), и при поддержке грантов РФФИ (14-08-00404, 15-01-01379, 15-08-01377).

го недостаточно. Оно произошло в середине самой мощной в мире наблюдательной сети с тысячами датчиков, телеметрией, полной компьютеризацией». Второй подход детально описан в коллективной монографии под руководством академика А. С. Алексеева [10]. Он же предполагает и построение глубоких, опирающихся на физико-механические законы теорий землетрясений, которые способствовали направленному изучению различных типов этих событий, например, выполненные в [11–13].

Наиболее глубокие соображения для построения прогноза землетрясений в свое время внесли бывшие руководители Института физики Земли АН СССР академики А. Г. Гамбурцев и М. А. Садовский. Их идеи, по мнению авторов, являются руководством в исследовании предвестников на современном этапе. А. Г. Гамбурцев имел следующую позицию [6]: «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 [7] принадлежит утверждение о том, что невозможно спрогнозировать землетрясения, основываясь лишь на слоистом строении коры Земли, необходимо учитывать реально существующие блочные модели.

2. Проводимое исследование опирается на теорию скрытых дефектов, разработанную в [14] и других публикациях авторов. Воспользуемся построениями, выполненными для описания скрытых дефектов в средах с покрытиями [14], 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 между разнотипными плитами является пустым, а на торцах плит действуют внешние силы, направленные по правилу внешних векторов. В локальной системе координат $x_1x_2x_3$ с началом в 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 индексом λ, и описывается соотношениями $|x_1| \leqslant \infty$, $x_2 \leqslant -\theta$, а правой — индексом r и координатами $|x_1| \leqslant \infty$, $\theta \leqslant x_2$. Будем исходить из того, что литосферные плиты движутся крайне медленно — десятки миллиметров в год, поэтому граничную задачу можно рассматривать в статическом варианте.

Уравнение Кирхгофа для фрагментов b покрытия ($b = \lambda, r$), занимающих области Ω_b с границими $\partial\Omega_b$, при вертикальных статических воздействиях напряжением t_{3b} сверху и g_{3b} снизу имеет вид

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

$$\mathbf{R}_b(-i\alpha_1, -i\alpha_2)U_{3b} \equiv R_b(-i\alpha_1, -i\alpha_2)U_{3b} \equiv \equiv (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)^2 U_{3b},$$

$$U_{3b} = \mathbf{F}_2 u_{3b}, \quad G_{3b} = \mathbf{F}_2 g_{3b},$$

$$T_{3b} = \mathbf{F_2} t_{3b}, \quad b = \lambda, r,$$

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

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

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

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

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

$$\varepsilon_6^{-1} = \frac{(1 - \nu)H}{\mu}.$$

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

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

$$x_1, x_2 \in \Omega_m, \quad m = \lambda, r, \theta,$$
$$\Omega_\lambda(|x_1| \leqslant \infty;\ x_2 \leqslant -\theta),$$
$$\Omega_r(|x_1| \leqslant \infty;\ \theta \leqslant x_2),$$
$$\Omega_\theta(|x_1| \leqslant \infty;\ -\theta \leqslant x_2 \leqslant \theta), \quad n = \lambda, r,$$

где M_b и Q_b — изгибающий момент и перерезывающая сила в системе координат x_1ox_2; h_b — толщины пластин, H — размерный параметр подложки, например, толщина слоя. Обозначения заимствованы из [14]. $\mathbf{F}_2 \equiv \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_2)$ 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 [14]

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

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

Здесь ω_b — участвующие в представлении внешние формы, имеющие вид

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

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

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

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

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

$$\xi_1^\lambda \in \partial\Omega_\lambda,$$
$$\partial\Omega_\lambda = \{-\infty \leqslant x_1 \leqslant \infty,\ x_2 = -\theta\}.$$

Соответственно для правой пластины

$$\mathbf{F}_1^{-1}(\xi_1^r)\left\langle -\int\limits_{\partial\Omega_r}\left\{i\alpha_{2+}D_{r1}^{-1}M_r - \right.\right.$$
$$- D_{r2}^{-1}Q_r - (\alpha_{2+}^2 + \nu_r\alpha_1^2)\frac{\partial u_{3r}}{\partial x_2} +$$
$$\left. + i\alpha_{2+}\left[\alpha_{2+}^2 + (2-\nu_r)\alpha_1^2\right] u_{3r}\right\} e^{i\alpha_1 x_1} dx_1 +$$
$$\left. + \varepsilon_{53r} S_{3r}(\alpha_1, \alpha_{2+})\right\rangle = 0, \quad (3)$$

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

$$\mathbf{F}_1^{-1}(\xi_1^r)\left\langle -\int\limits_{\partial\Omega_r}\left\{iD_{r1}^{-1}M_r - 2\alpha_{2+}\frac{\partial u_{3r}}{\partial x_2} + \right.\right.$$
$$\left. + i\left[3\alpha_{2+}^2 + (2-\nu_r)\alpha_1^2\right] u_{3r}\right\} e^{i\alpha_1 x_1} dx_1 +$$
$$\left. + \varepsilon_{53r} S'_{3r}(\alpha_1, \alpha_{2+})\right\rangle = 0,$$

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

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

$$\mathbf{Y}_\lambda = \{y_{1\lambda}, y_{2\lambda}\}, \quad \mathbf{Z}_\lambda = \{z_{1\lambda}, z_{2\lambda}\},$$
$$\mathbf{Y}_r = \{y_{1r}, y_{2r}\}, \quad \mathbf{Z}_r = \{z_{1r}, z_{2r}\},$$
$$\mathbf{F}_1 g = \mathbf{F}_1(\alpha_1)g, \quad \mathbf{F}_2 g = \mathbf{F}_2(\alpha_1, \alpha_2)g,$$
$$y_{1\lambda} = D_\lambda^{-1}\mathbf{F}_1 M_\lambda, \quad y_{2\lambda} = D_\lambda^{-1}\mathbf{F}_1 Q_\lambda,$$
$$y_{1r} = D_r^{-1}\mathbf{F}_1 M_r, \quad y_{2r} = D_r^{-1}\mathbf{F}_1 Q_r,$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$-i\alpha_{2-}y_{1\lambda}+y_{2\lambda}+(\alpha_{2-}^2+\nu_\lambda\alpha_1^2)z_{1\lambda}-$$
$$-i\alpha_{2-}\left[\alpha_{2-}^2+(2-\nu_\lambda)\alpha_1^2\right]z_{2\lambda}+k_{1\lambda}=0,$$

$$-iy_{1\lambda}+2\alpha_{2-}z_{1\lambda}-$$
$$-i\left[3\alpha_{2-}^2+(2-\nu_\lambda)\alpha_1^2\right]z_{2\lambda}+k_{2\lambda}=0,$$

$$-i\alpha_{2+}y_{1r}+y_{2r}+(\alpha_{2+}^2+\nu_r\alpha_1^2)z_{1r}-$$
$$-i\alpha_{2+}\left[\alpha_{2+}^2+(2-\nu_r)\alpha_1^2\right]z_{2r}+k_{1r}=0,$$

$$-iy_{1r}+2\alpha_{2+}z_{1r}-$$
$$-i\left[3\alpha_{2+}^2+(2-\nu_r)\alpha_1^2\right]z_{2r}+k_{2r}=0.$$

В матричной форме система имеет вид

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

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

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

Решения получившихся уравнений легко находится

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

$$(-1+\nu_\lambda)\alpha_1^2z_{1\lambda}-i\alpha_{2-}\left[(1-\nu_\lambda)\alpha_1^2\right]z_{2\lambda}=-k_{1\lambda},$$

$$2\alpha_{2-}z_{1\lambda}+i\left[(1+\nu_\lambda)\alpha_1^2\right]z_{2\lambda}=-k_{2\lambda},$$

$$(-1+\nu_r)\alpha_1^2z_{1r}-i\alpha_{2+}\left[(1-\nu_r)\alpha_1^2\right]z_{2r}=-k_{1r},$$

$$2\alpha_{2+}z_{1r}+i\left[(1+\nu_r)\alpha_1^2\right]z_{2r}=-k_{2r},$$

$$\Delta_{\lambda0}=-i(1-\nu_\lambda)(3+\nu_\lambda)\alpha_1^4,$$

$$\Delta_{r0}=-i(1-\nu_r)(3+\nu_r)\alpha_1^4,$$

$$z_{1\lambda}=\frac{i\alpha_1^2\left[-(1+\nu_\lambda)k_{1\lambda}-(1-\nu_\lambda)k_{2\lambda}\alpha_{2-}\right]}{\Delta_{\lambda0}},$$

$$z_{2\lambda}=\frac{2\alpha_{2-}k_{1\lambda}+(1-\nu_\lambda)\alpha_1^2k_{2\lambda}}{\Delta_{\lambda0}},$$

$$z_{1r}=\frac{i\alpha_1^2\left[-(1+\nu_r)k_{1r}-(1-\nu_r)k_{2r}\alpha_{2+}\right]}{\Delta_{r0}},$$

$$z_{2r}=\frac{2\alpha_{2+}k_{1r}+(1-\nu_r)\alpha_1^2k_{2r}}{\Delta_{r0}}.$$

Внеся найденные соотношения в выражения для внешних форм в (2), (3), будем иметь два уравнения для $\theta>0$ и $\theta=0$, положив $G_{3r}=G^+$, $G_{3\lambda}=G^-$.

$$\left[\varepsilon_{53r}(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{-2}+\varepsilon_6^{-1}K_1(\alpha_1,\alpha_2)\right]\times$$
$$\times G^+(\alpha_1,\alpha_2)=$$
$$=-\left[\varepsilon_{53\lambda}(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{-2}+\varepsilon_6^{-1}K_1(\alpha_1,\alpha_2)\right]\times$$
$$\times G^-(\alpha_1,\alpha_2)+U_{3\theta}(\alpha_1,\alpha_2)+$$
$$+(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{-2}\left[A_\lambda k_{1\lambda}+B_\lambda k_{2\lambda}+A_rk_{1r}+B_rk_{2r}+\right.$$
$$\left.+\varepsilon_{53\lambda}T^+(\alpha_1,\alpha_2)+\varepsilon_{53r}T^-(\alpha_1,\alpha_2)\right],$$

$$\theta>0,$$

$$U_{3\theta}(\alpha_1,\alpha_2)=\int\limits_{-\infty}^{\infty}\int\limits_{-\theta}^{\theta}u_3(x_1,x_2)e^{i\langle\alpha,x\rangle}dx_1dx_2,$$

$$\left[\varepsilon_{53r}(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{-2}+\varepsilon_6^{-1}K_1(\alpha_1,\alpha_2)\right]\times$$
$$\times G^+(\alpha_1,\alpha_2)=$$
$$=-\left[\varepsilon_{53\lambda}(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{-2}+\varepsilon_6^{-1}K_1(\alpha_1,\alpha_2)\right]\times$$
$$\times G^-(\alpha_1,\alpha_2)+$$
$$+(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{-2}\left[A_\lambda k_{1\lambda}+B_\lambda k_{2\lambda}+A_rk_{1r}+B_rk_{2r}+\right.$$
$$\left.+\varepsilon_{53\lambda}T^+(\alpha_1,\alpha_2)+\varepsilon_{53r}T^-(\alpha_1,\alpha_2)\right],$$

$$\theta=0.$$

При $\theta\to0$, то есть когда плиты сближаются, первое уравнение непрерывно переходит во второе. Получили два разных функциональных уравнения Винера–Хопфа. Первое — обобщенное функциональных уравнения Винера–Хопфа в связи с присутствием функции $U_{3\theta}(\alpha_1, \alpha_2)$. Оно решается изложенным в [15] 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 [15].

В процессе решения функционального уравнения приходится определять функционалы $S_{3b}(\alpha_1, \alpha_{2\pm})$, $b = \lambda, r$ из некоторой системы уравнений [14].

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 обеим координатам функции для достаточно гладких t_{3b} $(b = \lambda, r)$ [15].

Обращение второго уравнения при $\theta = 0$ строится традиционным методом Винера–Хопфа [15] и приводит при $x_2 \to 0$ к следующим свойствам решений:

$$\begin{aligned} g_{3\lambda}(x_1, x_2) &\to \sigma_{2\lambda}(x_1, x_2)x_2^{-1} + \\ &+ \sigma_{3\lambda}(x_1, x_2)\ln|x_2|, \\ g_{3r}(x_1, x_2) &\to \sigma_{2r}(x_1, x_2)x_2^{-1} + \\ &+ \sigma_{3r}(x_1, x_2)\ln|x_2|. \end{aligned} \qquad (4)$$

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

Базируясь на результатах исследований [16–18] получены основания заключить, что выявлен новый тип ранее не описанного землетрясения, названного стартовым.

Заметим, что в случае гармонических во времени воздействий на литосферные плиты граничная задача задается следующими уравнениями и граничными условиями для литосферных плит:

$$\mathbf{R}_b(\partial x_1, \partial x_2)u_{3b} + \varepsilon_{53b}(t_{3b} - g_{3b}) \equiv \\ \equiv \left(\frac{\partial^4}{\partial x_1^4} + 2\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^4}{\partial x_2^4} - \varepsilon_{43b}\right)u_{3b} + \\ + \varepsilon_{53b}(t_{3b} - g_{3b}) = 0,$$

$$R_b(-i\alpha_1, -i\alpha_2)U_{3b} = \left[(\alpha_1^2 + \alpha_2^2)^2 - \varepsilon_{43b}\right]U_{3b},$$

$$U_{3b} = \mathbf{F_2}u_{3b}, \quad G_{3b} = \mathbf{F_2}g_{3b},$$

$$T_{3b} = \mathbf{F_2}t_{3b}, \quad b = \lambda, r,$$

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

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

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

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

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

$$\varepsilon_{43b} = \omega^2\rho_b\frac{(1 - \nu_b^2)12H^4}{E h_b^2},$$

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

$$\varepsilon_6^{-1} = \frac{(1 - \nu)H}{\mu}.$$

Обращение соответствующих функциональных уравнений Винера–Хопфа приводит при $x_2 \to 0$ к следующим свойствам решений:

$$g_{3\lambda}(x_1, x_2) \to \sigma_{2\lambda}(x_1, x_2)x_2^{-1} + \\ + \sigma_{3\lambda}(x_1, x_2)\ln|x_2| + \sigma_{4\lambda}(x_1, x_2)\,\mathrm{sign}\,x_2,$$

$$g_{3r}(x_1, x_2) \to \sigma_{2r}(x_1, x_2)x_2^{-1} + \\ + \sigma_{3r}(x_1, x_2)\ln|x_2| + \sigma_{4r}(x_1, x_2)\,\mathrm{sign}\,x_2.$$

Таким образом, как в статическом, так и в динамическом случаях имеют место условия возникновения нового типа обнаруженного землетрясения, названного стартовыми.

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

Литература

1. *Певнев А.К.* Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС, 2003. 154 с.
2. *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.
3. *Голицын Б.Б.* Избранные труды. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 465 с.
4. *Gutenberg B., Richter C.* Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press, 1954. 310 p.
5. *Рихтер Ч.* Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 670 с.
6. *Гамбурцев Г.А.* Перспективный план исследований по проблеме «Изыскание и развитие прогноза землетрясений» / Развитие идей Г. А. Гамбурцева в геофизике. М.: Наука, 1982. С. 304–311.
7. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 104 с.
8. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
9. *Кейлис-Борок В.А.* Динамика литосферы и прогноз землетрясений // Природа. 1989. № 12. С. 10–18.
10. *Алексеев А.С. и др.* Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. Коллективная монография. М.: Изд-во СО РАН, 2004. 388 с.
11. *Морозов Н.Ф.* Математические вопросы теории трещин. М.: Наука. 1984. 256 с.
12. *Чернов Ю.К.* Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территории. Ташкент: ФАН, 1989. 296 с.
13. *Райс Дж.* Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. 217 с.
14. *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.
15. *Ворович И.И., Бабешко В.А.* Динамические смешанные задачи теории упругости для неклассических областей. М.: Наука, 1979. 320 с.
16. *Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М.* К проблеме физико-механического предвестника стартового землетрясения: место, время, интенсивность // ДАН. 2016. Т. 466. № 6. С. 664–669.
17. *Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М.* Топологические методы в проблеме прогноза одного типа землетрясений // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2015. № 2. С. 8–13.
18. *Бабешко О.М.* Топологический метод в проблеме оценки концентрации напряжений в разломах литосферных плит // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2015. № 2. С. 14–21.

References

1. Pevnev A.K. *Puti k prakticheskomu prognozu zemletryaseniy* [Path to the practical earthquake prediction]. Moscow, GEOS Publ., 2003, 154 p. (In Russian)
2. Reid N.F. The Mechanism of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906. In *Rep. of the State Investigation Commiss, vol. 2, pt. 1*, Washington, 1910. 56 p.
3. Golitsyn B.B. *Izbrannye trudy. T. 2* [Selected works, vol. 2]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR Publ., 1960, 465 p. (In Russian)
4. Gutenberg B., Richter C. *Seismicity of the Earth and associated phenomena*, Princeton Univ. Press, 1954, 310 p.
5. Rikhter Ch. *Elementarnaya seysmologiya* [Elementary seismology]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoi literaturi, 1963, 670 p. (In Russian)
6. Gamburtsev G.A. Perspektivnyy plan issledovaniy po probleme "Izyskanie i razvitie prognoza zemletryaseniy" [Perspective plan of studies on "Finding and development of earthquake prediction"]. In *Razvitie idey G. A. Gamburtseva v geofizike* [Development of ideas G.A. Gamburtseva in geophysics], Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 304–311. (In Russian)
7. Sadovskiy M.A., Bolkhovitinov L.G., Pisarenko V.F. *Deformirovanie geofizicheskoy sredy i seysmicheskiy protsess* [Deformation and seismic geophysical medium process]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 104 p. (In Russian)
8. Sobolev G.A. *Osnovy prognoza zemletryaseniy* [Fundamentals of Earthquake Prediction]. Moscow, Nauka Publ., 1993, 313 p. (In Russian)
9. Keylis-Borok V.A. Dinamika litosfery i prognoz zemletryaseniy [The dynamics of the lithosphere and earthquake prediction]. *Priroda* [Nature], 1989, no. 12, pp. 10–18. (In Russian)
10. Alekseev A.S., etc. *Aktivnaya seysmologiya s moshchnymi vibratsionnymi istochnikami. Kollektivnaya monografiya* [Active seismology with

powerful vibration sources. Collective monograph]. Moscow, Izdatel'stvo SO RAN Publ., 2004, 388 p. (In Russian)

11. Morozov N.F. *Matematicheskie voprosy teorii treshchin* [Mathematical problems in the theory of cracks]. Moscow, Nauka Publ, 1984, 256 p. (In Russian)
12. Chernov Yu.K. *Sil'nye dvizheniya grunta i kolichestvennaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territorii* [Strong ground motion and the quantitative assessment of seismic hazard areas]. Tashkent, FAN Publ., 1989, 296 p. (In Russian)
13. Rays Dzh. *Mekhanika ochaga zemletryaseniya* [Earthquake source mechanics]. Moscow, Mir Publ., 1982, 217 p. (In Russian)
14. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. O raznotipnykh pokrytiyakh s defektami v staticheskikh zadachakh seysmologii i nanomaterialakh [About the different types of coatings with defects in the static problems of seismology and nanomaterials]. Doklady Akademii nauk [Rep. of Russian Academy of Sciences], 2014, vol. 459, no. 6, pp. 41–45. (In Russian)
15. Vorovich I.I., Babeshko V.A. *Dinamicheskie smeshannye zadachi teorii uprugosti dlya neklassicheskikh oblastey* [Dynamic mixed problem in elasticity theory for nonclassical fields]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 320 p. (In Russian)
16. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. K probleme fiziko-mekhanicheskogo predvestnika startovogo zemletryaseniya: mesto, vremya, intensivnost' [On the problem of physical and mechanical precursor starting earthquake: place, time, intensity]. Doklady Akademii nauk [Rep. of Russian Academy of Sciences], 2016, vol. 466, no. 6, pp. 664–669. (In Russian)
17. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. Topologicheskie metody v probleme prognoza odnogo tipa zemletryaseniy [Topological methods in the problem of the same type of earthquake prediction]. *Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2015, no. 2, pp. 8–13. (In Russian)
18. Babeshko O.M. Topologicheskiy metod v probleme otsenki kontsentratsii napryazheniy v razlomakh litosfernykh plit [Topological methods in the problem of assessing stress concentration in fractures of the lithospheric plates]. Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2015, no. 2, pp. 14–21. (In Russian)

Статья поступила 29 февраля 2016 г.