

УДК 539.3

## К ИССЛЕДОВАНИЮ ОСОБЕННОСТЕЙ НЕКОТОРЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Бабешко О. М.

ABOUT RESEARCH OF SOME EARTHQUAKES' PECULIARITIES

Babeshko O. M.

Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia  
e-mail: babeshko49@mail.ru

*Abstract.* Particularities of detected earthquakes are observed, which are called starting. The questions, related their connection with undetected defects in cover areas and also with fault of lithosphere plates, are discussed. Results of observation and solutions of corresponding boundary problems for systems of partial differential equations with data about character of consequences of earthquakes are compared. Questions of possibility of their observation and ways of realization of different approaches are researched. The question about necessity of more detailed observation of influence of various factors the possibility of forecasting of some types of earthquakes and ways of their deflection is raised. It is shown, that the effect, which connected with impact on foundation on which lithosphere plates are based, equals the result of three types of movement of rigid stamps. In the basis of the observation the approach of block element and approach of factorization lie. This approach helps to observe and to solve boundary problems for systems of partial differential equations, which can't be observed by means of other approaches.

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

1. Не претендуя на полноту, заметим, что в имеющейся отечественной и зарубежной литературе [1–8] в качестве причин возникновения землетрясений принимаются модели разрушения ранее напряженных зон литосферных плит, состоящих из хрупкого гранита или базальта, контактирующих по границе Конрада. При этом высвобождается огромное количество энергии, вызывающее землетрясения высокой или низкой интенсивности в зависимости от запаса накопленной потенциальной энергии сжатия, растяжения, изгиба кручения или торможения касательного сдвига, вместо скольжения, вдоль разлома.

Главные вызывающие эти события причины — внутренняя активность Земли, взаимодействие литосферных плит на разломе, потеря их устойчивости [1–8], воздействие на литосферные плиты через дневную поверхность Земли. Не исключаются приливные явления, происходящие с шестичасовой периодичностью, а также вращение Земли вокруг

общего с Луной центра тяжести, расположенного примерно на глубине 1 700 километров под поверхностью Земли и постоянно перемещающегося. Это вызывает в зонах Земли ускорения и замедления. Наконец, влияние воздействия атмосферы на поверхность Земли, связанную с вращением Земли, видимо, вызывающее движение литосферных плит, наиболее интенсивное в приэкваториальном поясе. Другой вариант объяснения землетрясений состоит в предположении проникновения при движении края одной из литосферных плит под соседнюю с последующим разрушением краев. Есть также предположение, что причинами землетрясений случающимися под корой Земли ниже границы Мохоровичича, где уже нет хрупких материалов, являются взрывы реакторов, формируемых сложными физико-химическими термоядерными процессами, протекающими в нижней мантии. Такие явления могут иметь место и в трещиноватых зонах коры Земли в условиях силь-

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).

ных облучений [9]. Не исключаются также процессы вулканической деятельности [10].

2. Используя мощные вычислительные средства ученые-сейсмологи ведущих стран построили множество моделей землетрясений, беря различные свойства материалов для взаимодействующих литосферных плит, в том числе пространственных, выявляя свойства дилатансии от действия напряжений и других процессов, сопровождающих такое взаимодействие. Однако главное отличие таких моделей от стартовых, изложенных в [11], состоит в том, что первые оказывались такими, какими их желал видеть исследователь, например, изгибные коровые, а вторые — такими, какими их описывали, независимо от ученых, законы физики и механики. В частности, говоря о стартовых землетрясениях, никто не предполагал, что разрушение может исходить от контактных напряжений в зоне сближения литосферных плит, даже до их взаимодействия.

В [11] приведены некоторые свойства стартового землетрясения. Они опираются на имеющийся в механике опыт объяснения явлений, кажущихся противоречивыми и объясняются наличием несуммируемой особенности у контактных напряжений. Такие явления хорошо известны в механике, где получены как энергетические, так и «неэнергетические» (разрушающие) особенности [12, 13]. Наличие таких особенностей свидетельствует о неустойчивости подобного состояния системы, она склонна к разрушению при наличии достаточных по интенсивности воздействий.

Установлено важное дополнение к результатам работы [11], которое сближает свойства стартового землетрясения с реальным. Более глубокое исследование решения комплекса граничных задач показало, что на самом деле может произойти не два события, описываемых особенностями контактных напряжений в зоне сближения литосферных плит, а три, даваемые следующими особенностями:

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

Резкий перепад напряжений при переходе через узкую зону между плитами также может

инициировать землетрясение. Доказано также, что интенсивность землетрясений определяется не столько нагрузками на литосферные плиты, сколько некоторыми соотношениями функционалов от нагрузок, то есть характером распределения воздействий на площади литосферной плиты, что также ранее не было известно. Именно, в представлениях функций  $\sigma_{2\lambda}(x_1, x_2)$ ,  $\sigma_{3\lambda}(x_1, x_2)$ ,  $\sigma_{4\lambda}(x_1, x_2)$ ,  $\sigma_{2r}(x_1, x_2)$ ,  $\sigma_{3r}(x_1, x_2)$ ,  $\sigma_{4r}(x_1, x_2)$  входят разные функционалы. Построенное решение со свойствами (1) поточно удовлетворяет дифференциальным уравнениям и граничным условиям и является единственным в  $\mathbf{H}_s$ . Заметим, что при определенных соотношениях функционалов от внешних воздействий на литосферные плиты «неэнергетический» [12, 13], с высшей сингулярностью, член в (1) исчезает. Решение после покидания этой сингулярности также поточно удовлетворяет граничной задаче и в энергетическом пространстве является единственным. И даже в этом случае оставшиеся две особенности несут информацию о возможности землетрясений. Таким образом, даже если остановиться на энергетическом решении, то и оно несет информацию о двух особенностях (1), способных вызывать стартовые землетрясения при достаточно интенсивных и определенным образом распределенных внешних нагрузках. Особо подчеркнем, что разрушение в соответствии с использованными физико-механическими законами оказывается достаточно коварным и носит не единичный характер, как это предполагалось раньше [1–8], а включает при разрушении четный характер воздействия,  $\sigma_{3p}(x_1, x_2) \ln |x_2|$ ,  $p = \lambda, r$ , и нечетный  $\sigma_{4p}(x_1, x_2) \operatorname{sign} x_2$ ,  $p = \lambda, r$ , как бы стараясь наверняка осуществить разрушение, что ранее не было известно.

Механические закономерности строго объясняют причину присутствия в решении составляющей  $\sigma_{2\lambda}(x_1, x_2)x_2^{-1}$ : набор граничных задач для рассматриваемой блочной структуры характерен тем, что на границах блоков задаются только напряжения. Если ставится задача стабильности блочной структуры, то необходима некоторая самоуравновешенность заданных граничных условий. Она приводит к обращению в нуль совокупности функционалов, описывающих  $\sigma_{2p}(x_1, x_2)$ ,  $p = \lambda, r$ . Однако в нашем случае как раз идет поиск нестабильного состояния блочной структуры. Таким образом, кажущаяся с первого

взгляда необходимость исключения в формуле (1) «неэнергетической» высшей особенности в данном случае не имеет оснований, так как приводит к требованию определенного перераспределения внешних воздействий на литосферные плиты, что ничем не оправдано: внешние воздействия могут иметь любое распределение.

Наконец, следует отметить, что каждая сингулярность, входящая в формулу (1), имеет достаточно простую механическую интерпретацию в теории контактных задач для жестких штампов. Для этого достаточно использовать интегральное уравнение контактной задачи о действии двух сблизившихся жестких штампов на поверхность линейно упругой среды при отсутствии между ними трения. В любой монографии по контактным задачам имеется уравнение вида [13]

$$\int_{-a}^a k(x - \xi)g(\xi)d\xi = f(x), \quad |x| \leq a. \quad (2)$$

Здесь  $g(\xi)$  — контактные напряжения, а  $f(x)$  — перемещение поверхности упругой среды от возникших контактных напряжений, на которую действует штамп. Контакт предполагается без трения со средой. Внося вместо  $g(\xi)$  первую сингулярность справа из (1) и вычисляя для нее интеграл (2), правую часть  $f(x)$  получим в виде

$$f(x) = C \operatorname{sign} x. \quad (3)$$

Таким образом, ступенчатое воздействие штампов на поверхность среды вызывает степенную сингулярность в контактных напряжениях.

Этот полученный результат имеет и экспериментальную трактовку — сбросового землетрясения, приводящего к образованию каньонов.

Таким же образом, внося вторую (логарифмическую) сингулярность вместо контактных напряжений в интеграл и вычисляя его, правую часть получим в форме

$$f(x) = C |x|.$$

Это означает, что под пиком контактных напряжений возникает излом поверхности среды, который также наблюдается после землетрясения в природе. Наконец, внося вместо

контактных напряжений самую слабую сингулярность — ступенчатую функцию, обнаруживаем плавное искривление поверхности над этой сингулярностью. Оно наблюдается GPS-приемниками, измеряющими медленные вертикальные движения поверхности Земли. Поскольку интегральные уравнения (1) однозначны обратимы, то можно утверждать, что штампы, вызывающие воздействие на поверхность, описываемое функциями  $f(x)$ , вызывают контактные напряжения, даваемые функцией  $g(\xi)$ , содержащей три сингулярности. Сказанное выше позволяет констатировать, что одна пара подвижных литосферных плит способна вызвать такое же действие на среду, как три пары жестких штампов при взаимодействии с нею.

В связи с приведенными данными можно предположить, что после одного из событий, инициированных одной из особенностей (1), такая же ситуация может возникнуть для другой особенности. Из трех особенностей возможно формирование трех последовательных событий разной интенсивности. И не исключено, что это могут быть форшоки, шоки, афтершоки, реализующие все три особенности. Может случиться также редкая возможность одновременности событий. Зависимость интенсивности событий от функционалов напряжений порождает некоторую надежду на возможность упреждения такого землетрясения, если будет проведен глубокий анализа реального состояния блочной структуры. Таким образом, выяснено, что даже без контактного взаимодействия литосферных плит, достаточно лишь их близости, уже складывается сейсмоопасная обстановка. Если добавить сюда прекрасные исследования о развитии трещиноватостей в хрупких материалах и иные интересные исследования, выполненные в [1–8, 12] и других подобных работах, предрасполагающих к разрушениям, и учесть, что литосферные плиты уже сблизены, то есть находятся в условиях (1), то нужно думать, что в этих зонах имеет место постоянный риск землетрясений.

**3.** Построение формул (1) оказалось возможным благодаря применению топологического метода изучения граничных задач, позволяющего проводить исследование в пространствах медленно растущих обобщенных функций  $\mathbf{H}_s$ , включающих степенные особенности и дельта-функции. Функции такого типа присущи исследованиям в хрупких мате-

риалах. Традиционные численные методы не улавливают в полной мере наличия особенностей в решениях. Для их учета применяются методы выделения особенностей в решениях и попытки включения сингулярных элементов в вычислительные схемы. Однако на этом пути встречаются сложности, состоящие в том, что, во-первых, выявляются только главные члены особенностей, а особенности более слабого характера, например, в нашем случае  $\sigma_{3\lambda}(x_1, x_2) \ln |x_2|$ ,  $\sigma_{4\lambda}(x_1, x_2) \operatorname{sign} x_2$  не обнаруживаются. Они выявляются только после полного решения граничной задачи. Во-вторых, полученные результаты сложны для анализа и не позволяют выявлять алгебраические закономерности зависимости коэффициентов, стоящих при особенностях, от внешних факторов. Для преодоления этой проблемы предложен способ погружения вычислительных методов высокого уровня в топологические пространства.

Здесь имеется несколько возможностей. Во-первых, построение псевдодифференциальных уравнений, свойственных блочным элементам любой формы и сложности, и осуществление вычислений для избранных комплексов граничных задач, поскольку псевдодифференциальные уравнения содержат все возможные сочетания граничных условий. Дальнейшее исследование проблемы осуществляется уже в диалоговом режиме с применением блочных элементов. На этапе завершения исследования в случае необходимости решение, представленное сочетанием блочных элементов, может быть проанализировано численно, путем «распаковки» нужных блочных элементов.

Второй подход основан на возможности унификации алгоритма блочных элементов, состоящего в принятии для использования блочных элементов достаточно простого строения, например, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда. Из таких объектов разных масштабов можно строить блочные элементы сложной формы. Полезным является дополнение названных элементов блочными элементами со сферическими или цилиндрическими поверхностями. В работе [14] изложен способ построения блочных элементов такой формы с применением вычислительных средств высокого уровня. Их наличие уже достаточно просто позволяет, соединяя блочные элементы, получать решения граничных задач в областях сложной формы,

в том числе и с переменными свойствами. Для этого необходимо строить фактор — топологии двух соседствующих блочных элементов как топологических пространств, имеющих некоторые классы эквивалентности на границе.

С помощью этих построений можно исследовать в  $\mathbf{H}_s$  сложные распределения напряжений в пространственных моделях литосферных плит при различных характерах их разломов и характерах их взаимодействия.

4. В работе [11] рассмотрен простейший случай медленного движения и нагружения литосферных плит, который привел к выявлению, видимо, нового типа землетрясений. Более сложные варианты движений и осуществляемых нагрузок также характеризуются описанными выше свойствами стартовых землетрясений. В ряде векторных случаев при проведении исследований приходится использовать результаты недавно решенной проблемы Гильберта–Винера [15]. Они позволяют строить решения смешанных граничных задач при смене граничных условий, задаваемых на границе области рассмотрения граничной задачи, векторами. В соответствии с названием, после стартового землетрясения должен начаться процесс уже непосредственного взаимодействия литосферных плит в форме контакта торцами, который может приводить к различным вариантам последствий, в том числе наблюдаемым геодезистами искривлениям поверхности Земли. Этот вариант развития событий при взаимодействии литосферных плит в литературе по сейсмологии чаще всего рассматривается как наиболее вероятный. В практических целях для применения полученных результатов, а также новых, необходимо исследовать строение коры Земли в сейсмоопасных регионах, используя для этих целей тяжелые вибросейсмоисточники типа Y-3000 [11]. Американским ученым удалось с их помощью получить в штате Огайо строение коры Земли по всей 40-километровой толщине. Наличие этой информации в совокупности с получаемой от высокоточных GPS/ГЛОНАСС приемников о медленном движении литосферных плит в значительной степени может облегчить понимание протекающих в коре Земли медленных динамических процессов и выявить для конкретного распределения ее блоков их положения, могущие приводить к сейсмическим

событиям, а именно, место, время и интенсивность землетрясения.

5. Из приведенного анализа стартовых землетрясений следует:

1. Стартовые землетрясения случаются при определенных распределениях внешних нагрузок на литосферные плиты, приводящих к росту сочетаний функционалов, описывающих коэффициенты при особенностях в (1).

2. Землетрясения могут быть как слабыми, так и сильными, в зависимости от готовности (величины) коэффициентов при особенностях в (1) к разрушению среды.

3. Сильное землетрясение произойдет в том случае, если одновременно «срабатывают» все особенности в (1). Оно будет разрушительным, так как характер воздействия включает по пространственной характеристике, как симметричные воздействия, так и антисимметричные.

4. Форшоки и афтершоки могут быть следствием перераспределений концентраций напряжений после очередного события, вызывающих проявление какой-либо особенности в (1).

5. Местом стартовых землетрясений являются те зоны разломов, где литосферные плиты сближены, они наиболее уязвимыми этими землетрясениями.

6. Время стартового землетрясения отсчитывается от момента достижения контакта литосферных плит до момента достижения коэффициентами  $\sigma_{np}(x_1, x_2)$ ,  $n = 2, 3, 4$ ;  $p = \lambda, r$  необходимой для разрушения среды величины.

7. Подтверждена гипотеза академика М. А. Садовского, что только учет блочного строения Земли позволит моделировать землетрясения.

### 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. Голлицын 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. Уломов В.И. Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980. 284 с.
7. Davison C. Great earthquake. London, 1936. 286 p.
8. Болт Б. Землетрясения. М.: Мир, 1981. 256 с.
9. Бучаченко А.Л. Химическая физика землетрясений. Можно ли предотвратить катастрофу? // Химическая физика. 2005. Т. 24, № 3. С. 76–83.
10. Лаверов Н.П. и др. Вулканизм на территории России. Коллективная монография. М.: Наука, 2005. 608 с.
11. 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.
12. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. М.: Наука, 1984. 256 с.
13. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 368 с.
14. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Блочные элементы и аналитические решения граничных задач для систем дифференциальных уравнений // ДАН. 2014. Т. 454. № 2. С. 163–167.
15. 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. Pevnev A.K. *Puti k prakticheskomu prognozu zemletryasenyi* [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. Ulomov V.I. *Fizicheskie protsessy v ochagakh zemletryasenyi* [Physical processes in earthquake]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 284 p. (In Russian)
7. Davison C. *Great earthquake*, London, 1936, 286 p.
8. Bolt B. *Zemletryaseniya* [Earthquakes]. Moscow, Mir Publ., 1981, 256 p. (In Russian)

- 
9. Buchachenko A.L. Khimicheskaya fizika zemletryaseniya. Mozhno li predotvratit' katastrofu? [Chemical physics of earthquakes. Is it possible to prevent a catastrophe?]. *Khimicheskaya fizika* [Chemical Physics], 2005, vol. 24, no. 3, pp. 76–83. (In Russian)
  10. Laverov N.P., etc. *Vulkanizm na territorii Rossii. Kollektivnaya monografiya* [Volcanism on the territory of Russia. Collective monograph]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 608 p. (In Russian)
  11. 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)
  12. Morozov N.F. *Matematicheskie voprosy teorii treshchin* [Mathematical problems in the theory of cracks]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 256 p. (In Russian)
  13. Uflyand Ya.S. *Integral'nye preobrazovaniya v zadachakh teorii uprugosti* [Integral transforms in problems of the theory of elasticity]. Moscow, Leningrad, Izdatel'stvo AN SSSR Publ., 1963, 368 p. (In Russian)
  14. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. Blochnye elementy i analiticheskie resheniya granichnykh zadach dlya sistem differentsial'nykh uravneniy [Block elements and analytical solutions of boundary value problems for systems of differential equations]. *Doklady Akademii nauk* [Rep. of Russian Academy of Sciences], 2014, vol. 454, no. 2, pp. 163–167. (In Russian)

---

Статья поступила 1 марта 2016 г.

© Бабешко О. М., 2016