

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

К ВОПРОСУ О ГЛУБОКОФОКУСНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИКАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Андреева Марина Юрьевна

кандидат физ.-мат. наук

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

г. Южно-Сахалинск

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2019.1.46.46

TO THE QUESTION OF DEEP EARTHQUAKES, AS HARBINGER OF STRONG EARTHQUAKES

Andreeva Marina

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS,

Yuzhno-Sakhalinsk

Аннотация

Исследованы закономерности проявления глубокофокусных землетрясений, предвещающих 15 сильных событий Курило-Камчатского региона с 2007 по 2018 г. Рассмотрено изменение локального режима глубокой сейсмичности со временем и в зависимости от энергии. В качестве форшоков были выбраны толчки с глубиной, превышающей 100 км. Оси сжимающих напряжений таких событий имели разные углы падения. Рассмотрены механизмы очагов выбранных землетрясений. Из расчета убраны землетрясения, которые произошли на океанической стороне Курило-Камчатского желоба. На основе заблаговременности и расстояния между эпицентрами рассчитана средняя скорость распространения предвестника.

Abstract

Laws of display deep earthquakes anticipating for 15 strong events of the Kuril-Kamchatka region with 2007 for 2018. Considered the deep structure of the earthquakes over time, and depending on the energy. As the foreshocks have been selected point with the depth exceeding 100 km. The axis of compressive stress of such events had different angles of incidence. The mechanisms of foci of selected earthquakes are considered. From the calculation removed earthquakes that occurred on the oceanic side of the Kuril-Kamchatka trench. On the basis of advance time and distance between epicenter are investigated.

Ключевые слова: землетрясения; предвестники.

Keywords: earthquakes; harbinger.

Введение

В последнее время много внимания уделяется изучению различного рода предвестниковых эффектов сильных землетрясений. Одним из таких предвестников в Курило-Охотском регионе еще в 1985 г. были признаны глубокофокусные землетрясения, представление о которых как о предвестниках впервые ввел К. Моги [9]. Он установил для трех землетрясений, имевших магнитуду $M = 8.1-8.3$ и произошедших в 1933, 1952 и 1953 гг. на приостровном склоне Курильского и Японского желобов, что глубокие землетрясения возникли за двадцать лет до основного толчка. Считается, что перед возникновением крупного разрыва в очаговой области наблюдаются аномальные движения земной коры, которые могут стать причиной повышенной сейсмической активности в местах, удаленных от очаговой области. Он предположил, что эта активность начинается за 20 лет и возрастает непосредственно перед возникновением сильнейшего мелкофокусного землетрясения.

В других работах [6, др.] были исследованы зависимости времен возникновения первых краткосрочных и долгосрочных форшоков от энергии основного землетрясения и расстояний между эпицентрами этих сейсмических событий, рассчитан радиус зоны проявления предвестника (первого форшока) и скорость распространения

предсейсмического возмущения геофизического поля (от 2 до 220 км/год) для землетрясений с магнитудой $M = 5-8$; в работах [4, 5] рассчитаны регрессионные зависимости, позволяющие оценить магнитуду будущего сейсмического события и примерное время возникновения главных толчков, а в [2] выявлено, что предвестники появляются «напротив» сильного землетрясения в пределах своей сейсмической зоны и удалены от него на расстояние не более 1000 км и «возмущения» продвигаются со скоростью около 1.2 км/сут.

В статье [2] проведен анализ глубокофокусных землетрясений с $M \geq 5.5$, которые были предшественниками для сильнейших мелкофокусных событий с $M = 7.5-8.5$ в Курило-Камчатской зоне с 1935 по 2006 г. Для анализа выбирались землетрясения с глубиной гипоцентра > 70 км, произошедшие не более чем за два года до основного толчка. Из 14 рассмотренных землетрясений только у 6 (42 %) нашлись глубокофокусные предшественники с магнитудой $M \geq 7$, у остальных – с магнитудами от 5.5 до 6.9. За 12 лет после 2006 г. произошло три события с глубиной ≤ 70 км и $m_b \geq 6$ на океанической стороне и 13 – островной стороне Курило-Камчатского желоба.

Целью данной работы является выявление глубоких землетрясений, которые могут быть предвестниками сильных мелкофокусных событий

в Курило-Камчатском регионе с 2007 до середины 2018 года и расчет средней скорости распространения «возмущения».

Материал и методы исследований

Основой для анализа является каталог Курило-Камчатских землетрясений [1, 3], пополняемый из бюллетеня ISC [10] и продолженный до августа 2018 г. Все магнитуды землетрясений переведены в единую магнитуду m_b , определяемую по объемным волнам для корректного сравнения энергий глубоких и мелкофокусных событий. В дополненный каталог входят 24 405 землетрясений с магнитудой $m_b \geq 4$. Представительными для Курильского региона могут считаться землетрясения с магнитудой $M_s \geq 4$ [8]. В настоящей работе исследовались землетрясения с глубиной очага от 0 до 700 км.

Для нас представляли интерес только достаточно сильные мелкофокусные события с $m_b \geq 6$ (их с 2007 г. произошло шестнадцать, рис. 1)

и землетрясения $m_b \geq 4$ и глубиной более 70 км, которые могли быть их предвестниками. В качестве возможных глубоких предвестников были выбраны толчки с глубиной, превышающей 100 км; оси сжимающих напряжений этих событий имели разные углы падения. Для них рассмотрены механизмы очагов выбранных землетрясений из каталога сейсмических ого моментов а [7] на территории, ограниченной координатами 40° - 60° с.ш. и 130° - 165° в.д., описанными выше. Каждый из предполагаемых предвестников находился на расстоянии не более 1000 км от мелкофокусного события и наблюдался не ранее чем за 2 года до него. Из расчета убраны несколько толчков, которые произошли на океанической стороне Курило-Камчатского желоба – это № 1 (13.1.2007, $m_b = 7.1$, $H = 23$ км), № 3 (25.10.2007, $m_b = 6.0$, $H = 14$ км) и № 6 (15.1.2009 г. $m_b = 6.8$, $H = 31$ км). Выбранных возможных заглубленных форшоков оказалось 217.

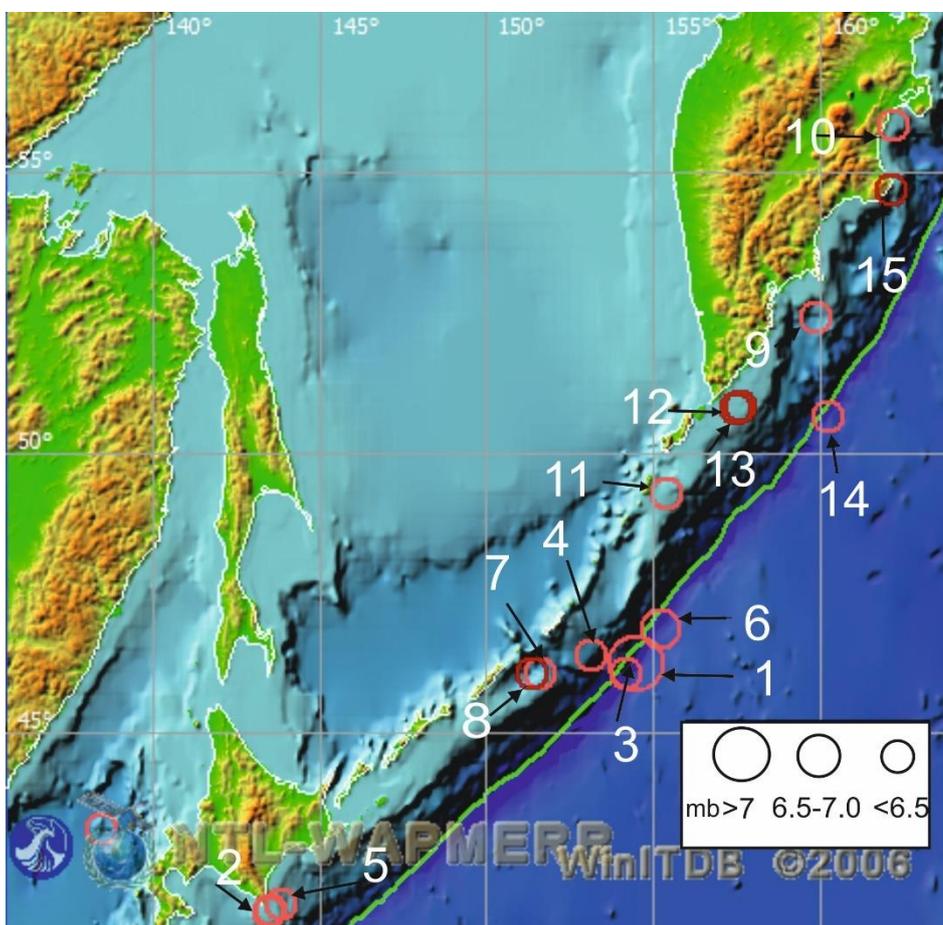


Рисунок 1. Параметры отмеченных землетрясений: 1 – 13.1.2007, $m_b = 7.1$, $H = 23$ км; 2 – 17.2.2007, $m_b = 6.0$, $H = 33$ км и 5.6.2009, $m_b = 6.0$, $H = 34$ км; 3 – 25.10.2007, $m_b = 6.0$, $H = 14$ км; 4 – 3.3.2008, $m_b = 6.1$, $H = 37$ км; 5 – 11.9.2008, $m_b = 6.0$, $H = 39$ км; 6 – 15.1.2009, $m_b = 6.8$, $H = 31$ км; 7 – 7.4.2009, $m_b = 6.3$, $H = 40$ км; 8 – 18.4.2009, $m_b = 6.2$, $H = 51$ км; 9 – 30.7.2010, $m_b = 6.1$, $H = 30$ км; 10 – 20.2.2011, $m_b = 6.0$, $H = 39$ км; 11 – 16.11.2012, $m_b = 6.1$, $H = 29$ км; 12 – 28.2.2013, $m_b = 6.3$, $H = 53$ км; 13 – 1.3.2013, $m_b = 6.1$, $H = 58$ км; 14 – 24.3.2013, $m_b = 6.1$, $H = 30$ км; 15 – 12.11.2013, $m_b = 6.4$, $H = 61$ км

Результаты

Анализ каталогов показал, что 72-74 % составляют землетрясения с глубиной до 70 км, 13 % – с глубиной 71-150 км, 3-5 % – с глубиной 151-300 км и 4-15 % – с 301 до 700 км. Интенсивность

потока событий по магнитуде и глубине изменяется со временем. Это было отмечено в работе [8], где исследования проводились для толчков с $M_s \geq 4$ за период с 1980 по 2009 г. и с $M_s \geq 7$ с 1910 по 2009 г. с удалением афтершоков (20 576 и 76

землетрясений соответственно). Анализ количества сильных событий с $M_s \geq 7$ в пятилетних интервалах за период 1910-2009 гг. показал, что до 1969 г. в каждом временном интервале в среднем происходило 8 событий на интервал, а в последние 30 лет количество сократилось до двух и менее, менялся и глубинный состав сильных событий: с 1910 по 1969 г. практически в каждом интервале присутствуют глубокие и промежуточные землетрясения (в среднем 21 % и 29 % от общего количества событий соответственно), а с 1975 по 2009 г. наблюдаются только коровые сильные события.

С 2009 г. произошло одно сильнейшее землетрясение магнитудой $m_b = 7.3$ на глубине 607 км в Охотском море, вблизи западной части п-ова Камчатка. Оно проявилось сильнейшим макросейсмическим эффектом и целой серией афтершоков. Но прошло девять лет, и оно не проявило себя как предвестник мелкофокусного события. Поэтому в нашем исследовании оно удалено из списка вместе с афтершоками.

Рассмотрим изменение глубинного состава землетрясений со временем и в зависимости от энергии (магнитуды). Количество событий, конечно, изменялось в зависимости от регистрационных возможности сейсмологических сетей. В интервале 1947-1956 гг. по сравнению с предыдущими годами общее число зарегистрированных событий возросло почти в четыре раза. Количество землетрясений меняется в разных десятилетних интервалах, и это связано с тем, что происходили сильные мелкофокусные события с огромным числом афтершоков, продолжающихся по 5-8 лет. Меняется и глубинный состав землетрясений. Количество глубоких землетрясений (300-700 км) практически постоянно, но число промежуточных событий (150-300 км) коррелирует с мелкофокусными. То же происходило и с количеством землетрясений глубиной 70-150 км до 2006 г., а в интервале 2007-2016 гг. их число увеличилось в два раза для событий магнитудой от 4 до 5. Для более сильных землетрясений ($m_b \geq 6$) есть года, когда землетрясения не происходят: на глубинах 150-700 км за 1977-1981 гг., 71-700 км – за 1997-2001 гг., 0-700 км – за 2012-2016 гг.

Отдельно посмотрим на изменение количества толчков для глубин более 150 км. Несмотря на приблизительно одинаковое количество мелкофокусных (923) и промежуточных (981) землетрясений с $m_b \geq 4$, соотношение их между собой для других магнитудных диапазонов изменилось существенно. Общее процентное соотношение промежуточных (190) и глубоких (243) землетрясений с $m_b \geq 5$ – 78 %, для магнитудного диапазона $m_b \geq 6$ это еще более выражено – 46 % (промежуточных (16) и глубоких (35) землетрясений). Событий с глубиной больше 300 км примерно в 2 раза больше, чем промежуточных землетрясений с $m_b \geq 5$, значит, больше и мелкофокусных землетрясений, которые

могут оказаться предвестниками сильных мелкофокусных событий.

Теперь вернемся к задаче выявления предвестников. По методике, описанной в работе [2], были рассчитаны средние скорости предполагаемых предвестников для сильных землетрясений 17.2.2007, 11.9.2008, 7.4.2009, 18.4.2009, 5.6.2009, 16.11.2012 – 1.2 км/сут, а для событий 30.7.2010, 20.2.2011, 28.2.2013, 1.3.2013, 24.3.2013, 12.11.2013 – около 2 км/сут. Для землетрясения 3.3.2008 глубоких форшоков не выявлено.

В целом предварительно получаем, что рассчитанные средние скорости предполагаемых предвестников для 12 мелкофокусных землетрясений с $m_b \geq 6$, произошедших с 2007 по август 2018 г. составляют для курильских и японских событий 1.2 км/сут, для камчатских – около 2 км/сут.

Список литературы

1. Андреева М.Ю. Создание и анализ каталога землетрясений Курило-Камчатской сейсмоактивной зоны за период 1737-2005 гг. // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. науч. симпоз., г. Хабаровск, 1-4 июня 2010 г. / под. ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. – Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2010. – С. 118-121.
2. Андреева М.Ю., Ким Ч.У. Особенность мелкофокусных предвестников для сильнейших землетрясений Курило-Камчатского региона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы Четвертой Междунар. сейсмол. школы, Иркутск, 3-9 авг. 2009 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 106-109.
3. Андреева М.Ю., Ким Ч.У. Землетрясения Курило-Камчатского региона (1737-2009 гг.). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2012. – 384 с.
4. Захарова А.И., Рогожин Е.А. Сильные землетрясения северо-западной окраины Тихого океана и их мелкофокусные предвестники // Вестн. ОГГГН РАН: электрон. науч.-инф. журн. – 2000. – Т. 1, № 2 (12). – С. 82-94. URL: [www.scgis.ru/russian/cpl251/dgggms/2\(12\)-2000/*_htm](http://www.scgis.ru/russian/cpl251/dgggms/2(12)-2000/*_htm)
5. Захарова А.И., Рогожин Е.А. Мелкофокусные предвестники сильных землетрясений // Докл. АН. – 2001. – Т. 381, № 6. – С. 825-826.
6. Зубков С.И. О некоторых закономерностях проявления форшоков // Физика земли. – 1993. – № 8. – С. 34-40.
7. Каталог тензора-центроида сейсмического момента за 2007-2017 гг. = [Global Centroid Moment Tensor Catalog]. URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> (дата обращения: 02.08.2018).
8. Сасорова Е.В., Андреева М.Ю., Левин Б.В. Динамика сейсмичности Курильской дуги на основе многомерного статистического анализа // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 1. – С.

75-84. [Sasorova E.V., Levin B.W., Andreeva M.Y. Dynamics of the seismicity of the Kuril arc based on multivariate statistical analysis. *Russian J. of Pacific Geology*, 2013, 7(1): 56-64. <https://doi.org/10.1134/s1819714013010077>].

9. Mogi K. *Earthquake prediction*. – Tokyo:

Acad. Press, 1985. – 382 p.

10. International Seismological Centre. – режим доступа к изд.: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/> (дата обращения: 15.08.2018)

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДРЕВНИХ ВОЛЖСКИХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЛЕСА)

Заиканова Ирина Николаевна

Старший научный сотрудник

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева

Российской академии наук, г. Москва

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2019.1.46.47](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2019.1.46.47)

STRUCTURAL-GEOMORPHOLOGICAL AND RETROSPECTIVE ANALYSIS OF ENSURING GEOECOLOGICAL SECURITY OF ANCIENT VOLGA CITIES (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF THE PLES)

Zaikanova Irina

Senior Researcher

Sergeev Institute of Environmental Geoscience,

Russian Academy of Sciences, c. Moscow

Аннотация

Большинство старинных русских городов, расположено по берегам крупных рек, одним из них является г. Плес Ивановской области, территория которого отнесена к Плесскому государственному музею-заповеднику. В силу значительной крутизны склонов город испытывает воздействие целого комплекса инженерно-геологических процессов, выявить и систематизировать которые позволило структурно-геоморфологическое районирование. Проведен ретроспективный анализ обеспечения геоэкологической безопасности древних городов, применявшегося в XIX и начале XX веков.

Abstract

Most of the old Russian cities, which are monuments of cultural heritage, are located along the banks of large rivers, one of such cities is the town of Plyos. A study was conducted on the territory of the city, including structural geomorphological mapping and assessment of the state of buildings and structures within the historical slope of the city. The area of activation of exogenous geological processes occupy about 1/3 of the total area of the city. Studies of the state of the buildings located on the slope part of the city Plyos, as the most exposed to the characteristic geotechnical complex of the processes, are carried out.

Ключевые слова: геоэкологическая безопасность; структурно-геоморфологическое зонирование; деформация зданий; ретроспективный анализ.

Key words: geoecological safety; structural-geomorphological zoning; deformation of buildings, retrospective analysis.

Большинство старинных русских городов, являющихся памятниками культурного наследия, расположено по берегам крупных рек. Одним из таких городов является г. Плес Ивановской области, территория которого отнесена к Плесскому государственному историко-архитектурному и художественному музею-заповеднику, включенному в Перечень историко-культурных объектов федерального значения. В 2010 г. город Плес также включен в перечень исторических поселений федерального значения. В связи с этим сохранение уникального исторического и природного ландшафта города является важной задачей обеспечения его геоэкологической безопасности, которая определяется нами в данной статье как создание благоприятных условий проживания и сохранения культурного наследия человека (и социума) в сложных инженерно-геологических условиях.

Обобщение литературных, фондовых и полевых материалов полученных автором в составе

экспедиции ИГЭ РАН в 2003-2006 гг., показало, что геологическое строение, гидрогеологические условия и геоморфология территории Плеса отличаются большим разнообразием и уникальностью. Город расположен на Плесско-Галичской возвышенности. Долина Волги на участке между устьями рек Тверцы и Унжи лежит в осевой части Московской синеклизы. В районе Плеса долина существенно сужается, поскольку здесь на ее пути находится Плесский купол Наволокско-Костромского поднятия. В новейшее и настоящее время Плесский купол испытывает медленную поднятия, однако, более быстрое, чем прилегающая возвышенность. Об этом свидетельствует и то, что Плес и прилегающая к нему территория отличается большой глубиной расчленения рельефа и широким распространением крутосклонных оврагов. Особенно заметна высокая интенсивность врезания на примере долины р. Шохонки, имеющей при небольшой – всего в 5 км длине очень крутое падение русла (от абс. высоты