

Эффект комплексного проявления предвестников сильных землетрясений Камчатки

Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К.

The effect of integral manifestation of precursors of strong earthquakes in Kamchatka

Kopylova G.N., Serafimova Yu.K.

Камчатский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: gala@emsd.ru

Эффект комплексного проявления предвестников (≥ 80 % предвестников из их рассматриваемой совокупности) проявлялся перед семью землетрясениями 1987-2016 гг., $M_w=6.6-7.8$. Рассматриваются закономерности его связи с параметрами $M_w/\lg d_h$ (d_h – гипоцентрального расстояния до центра полигона в км) и d_h/L , где L – размер очага землетрясения (км).

Введение

С конца 70-х гг. XX в. проводятся исследования по поиску предвестников землетрясений в районе полуострова Камчатка с целью обеспечения заблаговременных прогнозов времени и места сильных землетрясений. Особенностью наблюдательной сети за предвестниками является расположение большинства «несейсмологических» видов наблюдений на территории Петропавловск-Камчатского полигона (ПКП). В работе рассматривается эффект комплексного проявления предвестников (ЭКПП) с использованием литературных и авторских данных о 14 видах сейсмологических, геофизических и геохимических предвестников 18 мелко- и среднефокусных землетрясений 1987-2022 гг. с $M_w \geq 6.6$. Изучение ЭКПП проводилось по данным 1987-2004 гг. о проявлении пяти видов предвестников [2, 4] совместно с результатами анализа 14 видов предвестников перед землетрясениями 2005-2022 гг. Под понятием «эффект комплексного проявления предвестников» (ЭКПП) понимается проявление перед отдельным землетрясением не менее 80 % видов предвестников из всей их рассматриваемой совокупности, т.е. не менее 4 видов предвестников из пяти для 1987-2004 гг. и не менее 11 видов предвестников из 14 для периода 2005-2022 гг.

В качестве параметров, характеризующих интенсивность подготовки отдельных землетрясений в районе ПКП, используются отношения $M_w/\lg d_h$ и d_h/L , где d_h – гипоцентрального расстояния до центра ПКП в км, L – размер очага землетрясения в км. Параметр $M_w/\lg d_h$ ранее использовался в работах [1, 2]. Параметр d_h/L показывает относительную удаленность наблюдательных пунктов на территории ПКП от гипоцентра землетрясения в размерах его очага: параметр имеет ясный физический смысл и ранее использовался авторами при анализе гидрогеодинамических и гидрогеохимических предвестников [3, 5]. Для всех рассматриваемых землетрясений расчет размеров их очагов L проводился по формуле $\lg L = 0.43M - 1.27$ [1].

Результаты

Для периода 2005-2022 гг. рассматривались 14 видов предвестников перед семью землетрясениями. Данные об их составе и времени проявления представлены на рис. 1. Перед отдельными землетрясениями количество предвестников N варьирует от 4 до 12, а время их проявления составляло от первых суток до 2 лет и более. Из общего числа проявлений предвестников 57, в 38 случаях они были выявлены в реальном времени (66.7 %). Для отдельных землетрясений отношение числа предвестников, выявленных в реальном времени, к их общему числу N составляло 44-100 %. Наименьшее число предвестников $N=4$ было зафиксировано перед ЗТ 25 марта 2020 г., которое является «внешним» сейсмическим событием в Курило-Камчатской зоне субдукции. Другие рассматриваемые землетрясения относятся к межплитовым (субдукционным). Перед ними число предвестников N составляло от 7 до 12.

В 2005-2022 гг. только перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. проявлялся ЭКПП (12/14=0.86).

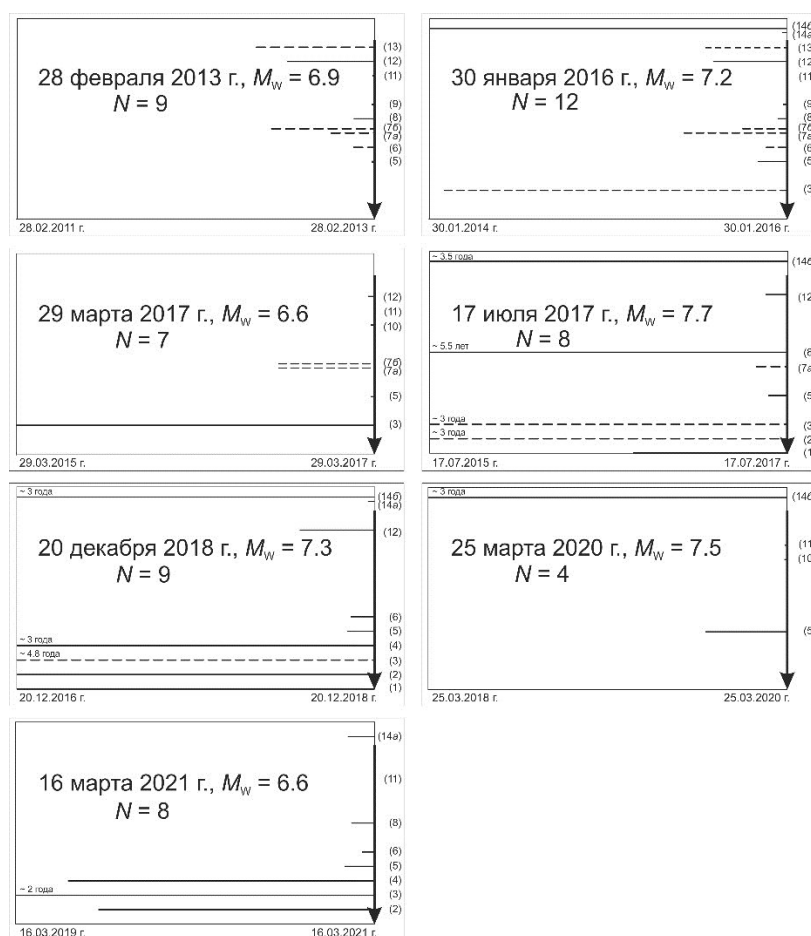


Рис. 1. Состав предвестников и время их проявления (горизонтальные линии) перед семью мелко- и среднефокусными землетрясениями 2005-2022 гг. с $M_w \geq 6.6$. Горизонтальные оси соответствуют двум календарным годам, предшествующим землетрясениям; вертикальная стрелка – момент землетрясения; пунктирными горизонтальными линиями отмечены предвестники, выявленные ретроспективно; сплошными горизонтальными линиями выделены предвестники, выявленные в реальном времени (по данным КФ РЭС).

На рис. 2 демонстрируется соотношение между числом зарегистрированных предвестников N и параметрами последующих землетрясений – их магнитудами M_w и величинами $M_w/\lg d_h$. Из графиков следует отсутствие связи между числом проявившихся предвестников N и величинами магнитуд последующих землетрясений, а также наличие статистически значимой связи между N и $M_w/\lg d_h$ для шести пар значений после исключения из рассмотрения одного внутриплитового землетрясения (рис. 2г).

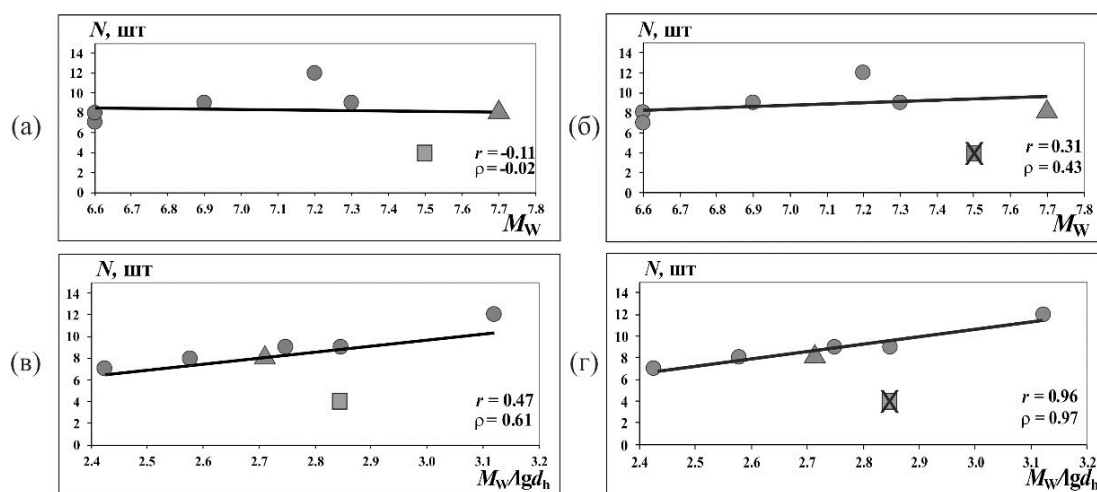


Рис. 2. Соотношение между числом предвестников N и параметрами землетрясений M_w (а, б) и $M_w/\lg d_h$ (в, г). Квадрат – ЗТ 25.03.2020 г., треугольник – ЗТ 17.07.2017 г.

Ранее в работах [2, 4] по данным наблюдений за предвестниками землетрясений 1987-2004 гг. было показано, что при существующей конфигурации наблюдательной сети, сосредоточенной, в основном, на территории ПКП, рост числа предвестников N является информативным признаком подготовки наиболее сильных и относительно «близких» землетрясений, по отношению к территории полигона для которых отношение $M_W/lgd_h \geq 3.0$. Результаты анализа связи между числом предвестников N и параметром M_W/lgd_h для шести межплитовых землетрясений 2005-2022 гг. подтверждают этот вывод. В таблице представлены уточненные данные о землетрясениях 1987-2022 гг., перед которыми проявлялся ЭКПП.

Таблица. Землетрясения района п-ва Камчатка, которым предшествовал эффект комплексного проявления предвестников (ЭКПП)

Дата дд.мм.гггг	Магнитуда	Доля проявившихся предвестников от их общего числа, %	Параметры интенсивности подготовки землетрясения в районе ПКП	
			d_h/L	M/lgd_h
06.10.1987	6.6	80	3.1	3.20
02.03.1992	6.9	100	2.2	3.38
08.06.1993	7.5	80	2.3	3.23
13.11.1993	7.0	80	2.5	3.26
01.01.1996	6.6	80*	3.8	3.08
05.12.1997	7.8	100	1.6	3.39
30.01.2016	7.2	86	3.0	3.12

На рис. 3 демонстрируется линейная корреляция при величине коэффициента корреляции Спирмена $r = -0.93$, значимого для 18 пар значений с доверительной вероятностью 99.9 %, между параметрами M_W/lgd_h и d_h/L , характеризующими относительную интенсивность подготовки землетрясений в районе ПКП, для всех 18 рассматриваемых землетрясений. Это позволяет применять для предварительных выводов о параметрах землетрясений, перед которыми проявляется ЭКПП, обе рассматриваемые величины, а также показывает, что ЭКПП возникал перед семью из восьми землетрясений (88 %), для которых величины $M_W/lgd_h = 3.08-3.39$ и $d_h/L = 1.6-3.8$.

Исключение составляет землетрясение 8 марта 1999 г., $M_W=7.0$, параметры которого соответствуют указанному интервалу величин. Перед этим землетрясением проявился лишь один вид предвестника – в изменениях сейсмичности по параметру RTL . Мы полагаем, что отсутствие предвестников в изменениях других наблюдаемых параметров было обусловлено тем, что это событие произошло всего через 15 месяцев после наиболее сильного Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., когда еще продолжались постсейсмические деформационные процессы и восстановление режимов функционирования наблюдательных скважин после сильного сейсмического воздействия.

Выводы

1. Для периода времени 1987-2022 гг. впервые выполнено ретроспективное исследование ЭКПП, соответствующего проявлению не менее 80 % предвестников из пяти их видов в 1987-2004 гг. и 14 видов предвестников в 2005-2022 гг. Показано, что ЭКПП проявлялся перед семью землетрясениями с $M_W = 6.6-7.8$, произошедших на гипоцентральных расстояниях $d_h = 110-200$ км от Петропавловск-Камчатского полигона. Для таких землетрясений величины $M_W/lgd_h = 3.08-3.39$ и величины отношения гипоцентрального расстояния к размеру очага землетрясения $d_h/L = 1.6-3.8$.

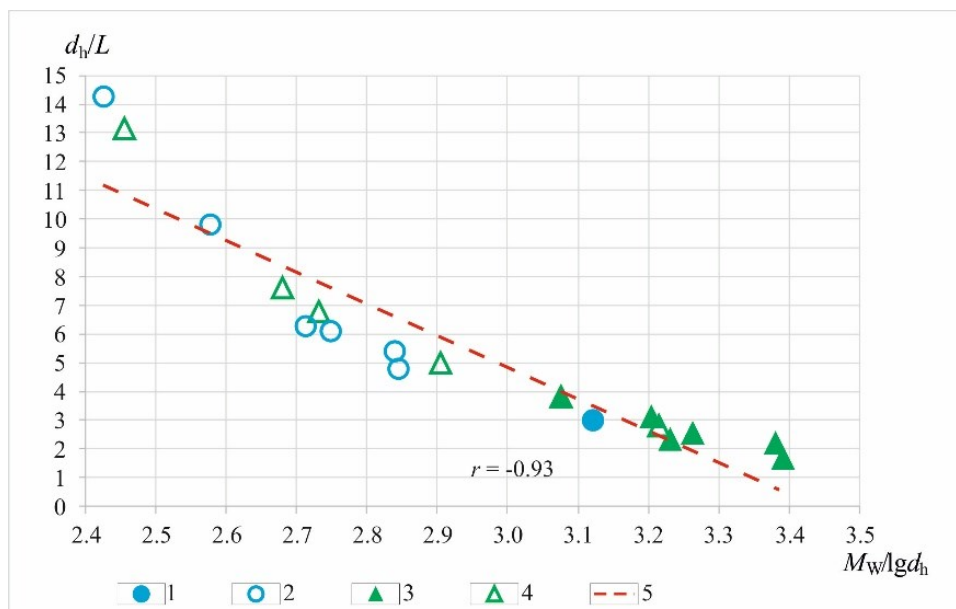


Рис. 3. Соотношение между параметрами землетрясений M_w/lgd_h и d_h/L с учетом наличия/отсутствия ЭКПП. 1-2 – проявление 14 видов предвестников перед землетрясениями 2005-2022 гг.: 1 – наличие ЭКПП, 2 – отсутствие ЭКПП; 3-4 – проявление пяти видов предвестников перед землетрясениями 1987-2004 гг.: 3 – наличие ЭКПП; 4 – отсутствие ЭКПП; 5 – линейный тренд связи между M_w/lgd_h и d_h/L . r – коэффициент корреляции Пирсона.

2. Полученные оценки параметров землетрясений, перед которыми фиксировался ЭКПП, могут быть полезными при средне- и краткосрочном прогнозировании сильного землетрясения в районе Петропавловск-Елизовской городской агломерации. Диагностика ЭКПП в режиме реального времени позволяет более надежно определить магнитуду ($M_w \geq 6.6$) и удаленность будущего сильного землетрясения по сравнению с использованием данных по отдельным методам сейсмопрогностических наблюдений, а также с теоретическими оценками области деформационных предвестников, которые дают существенно завышенные оценки области подготовки сильного ($M_w \geq 6.6$) землетрясения.

Список литературы

1. Завьялов А.Д., Зотов О.Д. Новый способ определения характерного размера очаговой зоны // Вулканология и сейсмология. 2021. № 1. С. 22-29. <https://doi.org/10.31857/S0203030621010065>
2. Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К. О проявлении некоторых среднесрочных предвестников сильных ($M_w \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987-2004 гг. // Геофизические исследования. 2009. Т. 10. № 4. С. 17-33.
3. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Серафимова Ю.К. Предвестники землетрясений в изменениях ионного и газового состава подземных вод: обзор мировых данных // Геохимия. 2022. Т. 67. № 10. С. 921-941. <https://doi.org/10.31857/S0016752522100053>
4. Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н. Среднесрочные предвестники сильных ($M \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987-2004 гг.: ретроспективная оценка их информативности для прогноза // Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 3-12.
5. Kopylova G., Boldina S. Hydrogeological Earthquake Precursors: A Case Study from the Kamchatka Peninsula // Frontiers Earth Sciences. 2020. V. 8. Art. 576017. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.576017>.