

ОЦЕНКА ПРОГНОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНОМАЛИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗАТИШЬЯ, ВЫДЕЛЯЕМОГО Z-ФУНКЦИЕЙ

Кравченко Н.М.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, hope_k@emsd.ru

Аномалии сейсмического затишья, выделяемые Z-функцией, имеют предвестниковый характер. Z-методика, позволяющая выявить аномалию в сейсмическом режиме, основывается на работе [2]. Сейсмическое затишье определяется как пространственно-временной блок статистически значимого уменьшения скорости потока землетрясений, характеризуется значениями параметров Z , SRD и длительностью dT . Параметр Z определяет статистическую значимость аномалии, SRD – величину уменьшения скорости сейсмического потока. $SRD=0.875$ соответствует уменьшению уровня сейсмического потока в 8 раз, $SRD=1$ – абсолютному затишью.

С 1980 г. по 2012 г. в сейсмоактивной зоне Камчатки ретроспективно и в реальном времени с использованием Z-методики было выявлено 28 аномалий сейсмического затишья длительностью не менее года с уменьшением уровня сейсмического потока не менее чем в 8 раз. 17 аномалиям были сопоставлены 20 из 40 землетрясений с магнитудами $M \geq 6.0$, произошедшие в исследуемой области на глубинах до 100 км. Землетрясение сопоставлялось аномалии, если происходило в пределах аномалии или ближайшей ее окрестности в интервале времени до 3 лет после затишья.

Для оценки сеймопрогностической информативности предвестника сильного землетрясения использованы понятия его эффективности и надежности. *Эффективность предвестника V* (отношение числа сейсмических затиший, предвещающих согласно модели сильное землетрясение $n(sA)$, к числу выделенных аномалий $n(A)$) оценивается как 0.65 (17 из 26) для землетрясений с $M \geq 6.0$. 2 (из 28) аномалий в оценке эффективности не участвовали, так как время ожидания сильного землетрясения для них не превысило 3 лет. *Надежность предвестника R* (отношение числа землетрясений, для которых было выделено предшествующее сейсмическое затишье $n(sE)$, к числу всех землетрясений с магнитудой не менее заданной $n(E)$.) можно оценить как 0.5 (20 из 40). Оценки сделаны для всей зоны мониторинга. Тем временем проявление сейсмических затиший в исследуемой зоне неоднородно как пространственно, так и с точки зрения информативности их в качестве предвестника. Прослеживаются области, аномалии затиший в которых не являются предвестниками сильных сейсмических событий.

В данной работе прогнозная эффективность Z-аномалий оценена с учетом их пространственного расположения. В сейсмоактивной области Камчатки выделено несколько зон, определяемых близким пространственным положением аномалий, в том числе значительным перекрытием их площадей. Z-аномалии, выделенные в сейсмоактивной зоне Камчатки с 1980 г. по 2012 г., и зоны, в которые они объединены, показаны на Рис. 1. Области абсолютного сейсмического затишья оконтурены сплошной линией, уменьшения сейсмического потока в 8 раз – пунктиром. Зоны аппроксимированы эллипсами. Область сейсмического затишья в районе Кроноцкого полуострова (между зонами I и II) не отнесена ни к одной из зон и в этой работе не рассматривается.

Для каждой из зон оценена эффективность V и надежность R предвестника, а также эффективность прогноза по Z-методике. Рассматривались землетрясения с магнитудой $M \geq 6.0$. Землетрясения относились к оцениваемой зоне, если их эпицентры были удалены от нее не более, чем соответствующие успешному прогнозу, сделанному по аномалиям, включенным в зону. Эффективность прогноза оценивалась по формуле, предложенной в [1].

$$J = \frac{n(sE)}{n(E) \cdot (T_{alarm}/T)},$$

где $n(sE)$ – количество землетрясений, соответствующих успешному прогнозу, $n(E)$ – общее количество землетрясений с параметрами соответствующими прогнозу. T_{alarm} (общее время тревоги) определяется как общее количество времени ожидания землетрясения после затишья. В случае ложного предвестника общее время тревоги увеличивается на 3 года (36 мес.). Если аномалии сопоставлено более одного землетрясения, учитывается больший интервал ожидания. T – общее время мониторинга.

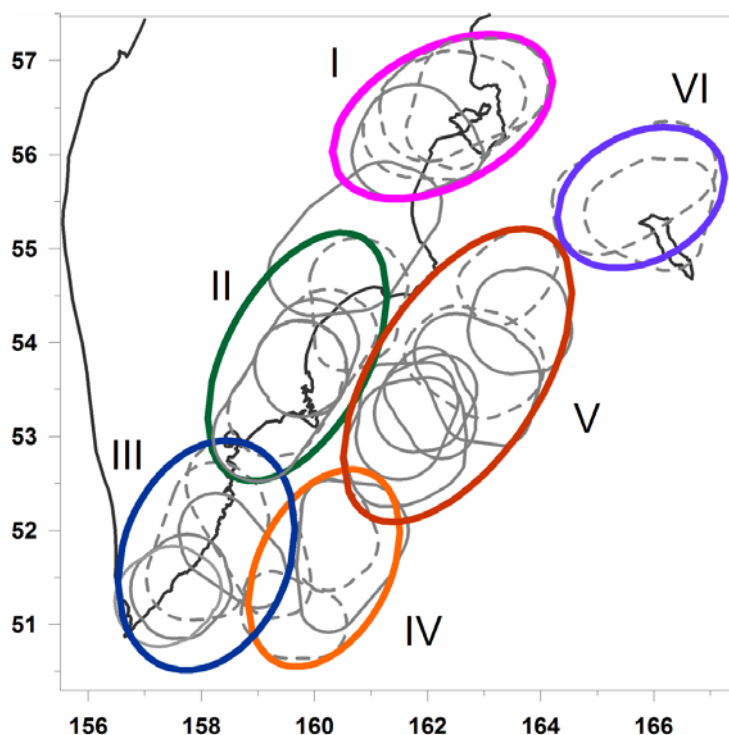


Рис.1. Z -аномалии, выделенные в сейсмоактивной области Камчатки с 1980 г. по 2012 г. Области абсолютного сейсмического затишья околнурены сплошной линией, уменьшения сейсмического потока в 8 раз - пунктиром. Зоны оценки прогнозной эффективности предвестника околнурены эллипсами и отмечены римскими цифрами.

Схемы расположения аномалий и землетрясений, отнесенных к зонам, показаны на Рис.2. В Таблице 1 приведены их параметры. Для аномалий указаны значения Z , SRD и длительность затишья dT (интервал времени, в течение которого наблюдалось указанное значение SRD), дата окончания аномалии. Для землетрясения указаны его дата, магнитуда M_L и M по данным каталога *NEIC* (<http://earthquake.usgs.gov/>), координаты, глубина гипоцентра. Время тревоги T_{alarm} обозначает интервал времени между окончанием затишья и землетрясением, если прогноз успешный. В противном случае $T_{alarm} = 36$ мес.

Зона I включает 4 аномалии затишья, двум из них сопоставлены 3 землетрясения с $M \geq 6.0$. Землетрясения произошли в интервале времени от 2 до 29 месяцев после затишья на краю аномальной области. По местоположению эпицентров к зоне I относятся еще 5 землетрясений $M \geq 6.0$, для которых предваряющих сейсмических затиший в этой зоне выявлено не было. Таким образом, для зоны I эффективность предвестника $V=0.67$ (2/3, (затишье, закончившееся в феврале 2013 г. не учитывается)), надежность предвестника $R = 0.38$ (3/8), эффективность прогноза $J = 2.1$.

Зона II включает 5 аномалий сейсмического затишья, трем сопоставлены землетрясения с магнитудами ≥ 6 . Землетрясения произошли в интервале времени от месяца до 2.5 лет после затишья. Для 4 землетрясений с параметрами, соответствующими прогнозу, предваряющих сейсмических затиший в этой зоне выявлено не было. Эффективность предвестника $V=0.75$ (3/4, (без затишья, закончившегося в августе 2012г.)), надежность предвестника $R= 0.43$ (3/7), эффективность прогноза $J = 1.8$.

Зона III включает 5 аномалий. 4 аномалиям сопоставлены 5 землетрясений с $M \geq 6.0$. Землетрясения произошли в интервале времени от полугода до 3 лет после затишья. По местоположению к этой зоне относятся 10 землетрясений с $M \geq 6.0$. Эффективность предвестника V составила 0.8 (4/5)), надежность $R - 0.5$ (5/10), эффективность прогноза $J = 1.5$.

Зона IV включает 3 аномалии сейсмического затишья. Аномалиям сопоставлено 4 землетрясения с магнитудами ≥ 6 . Время тревоги T_{alarm} - от полугода до 2 лет. К зоне по параметрам, соответствующим прогнозу, относятся 11 землетрясений. Эффективность предвестника $V=1$ (3/3)), надежность предвестника $R= 0.36$ (4/11), эффективность прогноза $J = 3.5$.

Зона V включает 8 аномалий сейсмического затишья. Аномалиям сопоставлено 2 землетрясения с магнитудами ≥ 6 . Время ожидания землетрясений 2 и 25 месяцев. По местоположению эпицентров к этой зоне относятся 15 землетрясений с $M \geq 6.0$. Эффективность предвестника $V=0.25$ (2/8)), надежность предвестника $R= 0.13$ (2/15), эффективность прогноза $J = 0.2$.

Зона VI включает 2 аномалии сейсмического затишья, каждой из них сопоставлено землетрясение с магнитудой ≥ 6 . Время ожидания землетрясений в обоих случаях 20 месяцев. По местоположению эпицентров к зоне относятся еще 2 землетрясения $M \geq 6.0$, для которых предваряющих сейсмических затиший выявлено не было. Эффективность предвестника $V=1$ (2/2), надежность $R - 0.5$ (2/4), эффективность прогноза $J=5.1$.

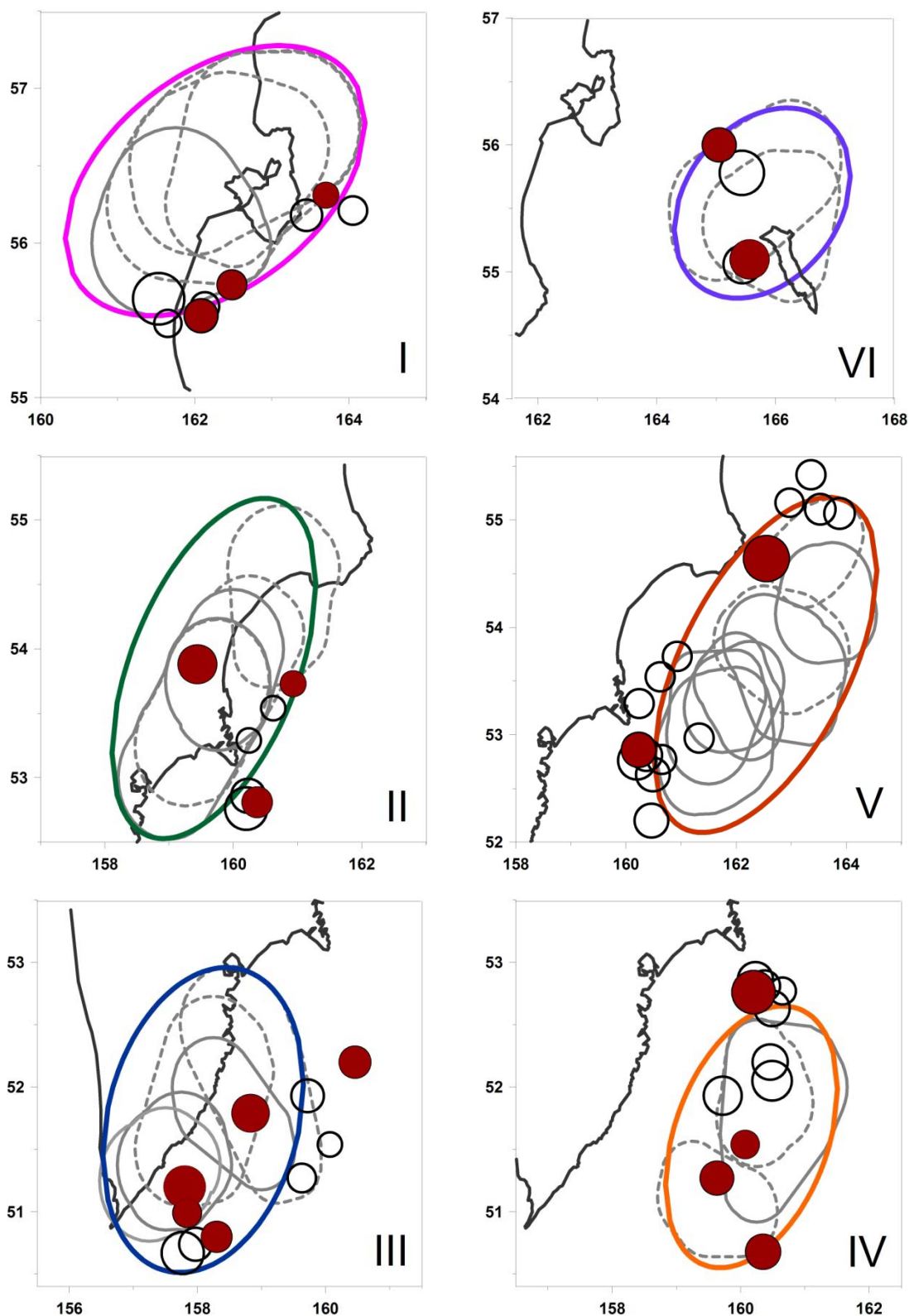


Рис.2. Схемы расположения аномалий и землетрясений, отнесенных к зонам. Области абсолютного сейсмического затишья оконтурены сплошной линией, уменьшения сейсмического потока в 8 раз - пунктиром. Эпицентры землетрясений обозначены кружками, залитые кружки отмечают землетрясения, соответствующие успешному прогнозу.

Таблица 1. Аномалии сейсмического затишья, включенные в зоны, и землетрясения с $M \geq 6.0$, сопоставленные соответствующим аномалиям.

Зона	Параметры аномалии				Параметры землетрясения						T_{alarm}
	Z	SRD	dT	$Tend$	Дата	M_L	$M(neic)$	lat, °с.ш.	long, °в.д.	$h, км$	
I	12	0.91	12	12.1984г.	04.10.1987	6.3	mb 6	55.53	162.1	72	9
					24.05.1989	6.1	mb 5.8	56.31	163.7	40	29
	11	0.9	14	06.1996 г.							36
	8	0.88	15	12.2010 г.	20.02.2011	6.2	M_W 6.1	55.73	162.5	47	2
	11	0.91	18	02.2013 г.							7
II	11	0.91	13	05.1993 г.	01.01.1996	6.4	M_S 6.6	53.88	159.4	0	30
	12	0.91	12	05.1998 г.	01.06.1998	6.2	M_W 6.5	52.81	160.4	31	1
	12	0.92	16	09.2000 г.	08.05.2002	6	M_W 5.9	53.73	160.9	35	20
	16	0.89	13	09.2006 г.							36
	29	1	15	08.2012 г.							12
III	28	1	13	04.1992 г.	08.06.1993	6.8	M_W 7.5	51.2	157.8	40	13
					13.11.1993	6.6	M_W 7.0	51.79	158.8	40	18
	11	0.9	23	03.1996 г.	08.03.1999	6.4	M_W 6.9	51.93	159.7	7	36
	14	1	14	04.2002 г.							36
	12	0.94	13	05.2007 г.	24.07.2008	6.3	M_W 6.2	50.8	158.3	36	15
	14	0.9	13	09.2007 г.	30.07.2010	6.3	M_W 6.3	52.2	160.5	38	33
IV	17	1	16	12.1990 г.	02.03.1992	6	M_W 6.1	52.76	160.2		14
	7	0.89	14	12.1995 г.	21.06.1996	6	M_W 6.1	52.81	160.4		6
	10	0.94	16	05.2011 г.	15.10.2012			51.54	160.1		17
					24.03.2013			50.68	160.4		22
V	11	0.88	15	11.1980 г.							36
	16	1	12	07.1987 г.	06.10.1987	6.3	M_S 6.3	52.86	160.2		2
	9	0.89	13	08.1991 г.							36
	15	1	14	08.1991 г.							36
	12	0.95	12	11.1995 г.	05.12.1997	7	M_W 7.8	54.64	162.6		25
	13	1	14	07.2002 г.							36
	11	0.9	13	10.2004 г.							36
	10	0.92	14	09.2006 г.							36
VI	12	0.94	12	09.1980 г.	31.05.1982	6.3	M_S 6.4	55.1	165.6	65	20
	12	0.95	12	11.1995 г.	16.07.1996	6	M_W 6.5	56	165.1	10	20

Оценки прогнозной эффективности Z-аномалий сведены в Таблицу 2. Предполагается, что они могут быть полезны для оценки сейсмической опасности камчатского региона.

Таблица 2. Оценки прогнозной эффективности аномалий сейсмического затишья, выделяемого Z-функцией.

Зона	Эффективность предвестника V	Надежность предвестника R	Эффективность прогноза J
I	0.67	0.38	2.1
II	0.75	0.43	1.8
III	0.8	0.5	1.5
IV	1	0.36	3.5
V	0.25	0.13	0.2
VI	1	0.5	5.1

Список литературы:

1. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 69-79
2. Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence // Pure and Applied Geophysics. 1988. V. 126. № 2/4. P.319–332.