

## АНОМАЛИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗАТИШЬЯ И НЕОДНОРОДНОСТЬ КАТАЛОГА

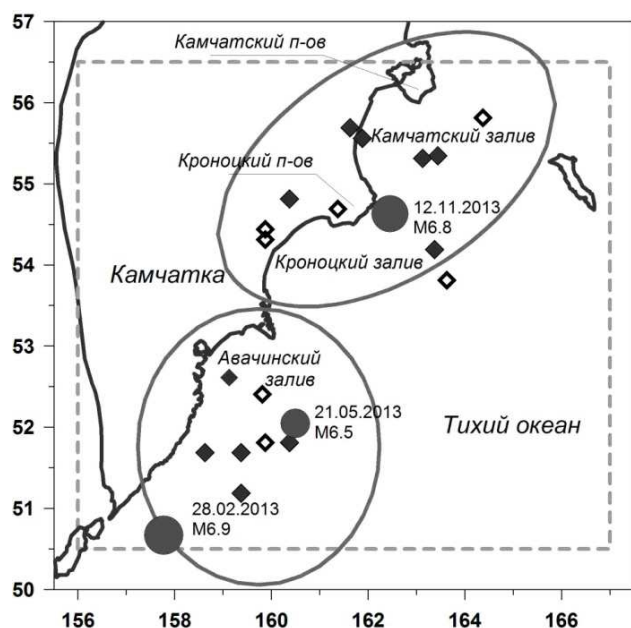
Кравченко Н.М.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, hope\_k@emsd.ru

Для выявления аномалий сейсмических затиший, предвещающих сильные землетрясения, в лаборатории сейсмического мониторинга КФ ГС РАН до недавнего времени использовалась методика, построенная на прогностическом параметре  $RTL$  [3]. Ретроспективно и в реальном времени аномалии сейсмического затишья были определены перед 9 из 13 землетрясений с  $M \geq 6.5$ , произошедших в сейсмоактивной зоне Камчатки с 1980 г. по 2010 г. Затишье проявлялось в интервале времени до трех лет перед землетрясением в его эпицентральной зоне [1]. Основным требованием применения методики является однородность каталога землетрясений. В 2010 г. вследствие изменения формата формирования каталога и методик расчета основных параметров землетрясений это свойство камчатского регионального каталога было нарушено [5]. В 2013 г. в сейсмоактивной зоне Камчатки произошло 3 землетрясения с магнитудой  $M \geq 6.5$ . Предшествующих аномалий сейсмического затишья не было выделено ни перед одним из этих событий. В предлагаемой работе анализируется влияние изменений 2010 г. в формировании каталога на выявление аномалий по параметру  $RTL$ .

### Сейсмические затишья по параметру $RTL$

Сейсмическому затишью, согласно методике, соответствует область с отрицательными значениями параметра  $RTL$ , представляющего собой произведение отклонений трех характеризующих сейсмический режим функций (эпицентральной  $R$ , временной  $T$ , энергетической  $L$ ) от многолетнего тренда.  $RTL = R(\varphi, \lambda, t) \times T(\varphi, \lambda, t) \times L(\varphi, \lambda, t)$ , где  $R(\varphi, \lambda, t) = [\Sigma \exp(-r_i/r_0)] - R_S$ ,  $T(\varphi, \lambda, t) = [\Sigma \exp(-t_i/t_0)] - T_S$ ,  $L(\varphi, \lambda, t) = [\Sigma \exp(-l_i/r_i)] - L_S$ ,  $r_i$ ,  $t_i$  – соответственно, эпицентральные расстояния и времена землетрясений относительно расчетной точки с координатами  $(\varphi, \lambda)$  и даты  $t$ ;  $l_i$  – размеры очагов землетрясений,  $r_0 = 50$  км и  $t_0 = 1$  год – коэффициенты, характеризующие степень убывания влияния более удаленных землетрясений,  $R_S$ ,  $T_S$ ,  $L_S$  – поправки на тренд [3]. В расчете параметра  $RTL$  участвуют сейсмические события, удаленные во времени не более чем на 2 года от расчетной даты, для которых расстояние от эпицентра до расчетной точки не превышает 100 км, глубины гипоцентров соответствуют диапазону 30-100 км. Используется очищенный от группированных событий камчатский региональный каталог землетрясений с энергетическими классами  $K \geq 8.5$ . Сейсмическое затишье определяется областью со значениями параметра  $RTL < -3$ , характеризуется минимальным значением  $RTL_{min}$  за все время развития аномалии и длительностью, определяемой интервалом времени, в течение которого  $RTL < -3$ . С 1980 г. по 2010 г. в сейсмоактивной зоне Камчатки с использованием  $RTL$ -методики было выявлено 18 аномалий сейсмического затишья длительностью не менее года и с минимумом  $RTL$  не более -10.



Расчетные точки  $RTL_{min}$  этих аномалий отмечены ромбами на Рис.1. 12 аномалиям были сопоставлены землетрясения с магнитудами  $M \geq 6.0$ , произошедшие с 1981 г. по 2011 г. в исследуемой области на глубинах до 100 км. Землетрясение сопоставлялось аномалии, если происходило в пределах аномалии или ближайшей ее окрестности в интервале времени до 2.5 лет после выхода параметра  $RTL$  из минимума.

Рис. 1. Схема расположения исследуемых зон. Пунктиром очерчена наиболее сейсмоактивная область Камчатки. Северная и южная зоны локализации аномалий сейсмического затишья околонуены эллипсами. Ромбами отмечены расчетные точки  $RTL_{min}$  аномалий. Закрашенные ромбы соответствуют точкам  $RTL_{min}$  аномалий, предвещающих землетрясение с  $M \geq 6.0$ . Кружками отмечены эпицентры землетрясений 2013 г. с  $M \leq 6.5$

### Результаты исследования

Для расчетов  $RTL$  используется камчатский региональный каталог, полученный за годы детальных сейсмологических наблюдений (с 1962 г.) и непрерывно пополняемый. Поскольку для обнаружения изменений фонового сейсмического режима крайне важна однородность каталога землетрясений, нижний энергетический уровень принят равным 8.5, что соответствует уровню надежной регистрации землетрясений для камчатской сейсмоактивной зоны в целом [4]. Также каталог очищен от группированных зависимых сейсмических событий, которые в силу своего компактного расположения могут исказить сейсмический фон. Выполнение этих двух условий представлялось достаточным для соблюдения однородности используемых сейсмических данных. В 2010 г. произошли кардинальные изменения форматов и методик формирования каталога, что, по словам авторов [5], практически делит его на 2 части – каталог 1962-2009 гг. и каталог с 2010 г. по настоящее время.

Рассмотрим каталог землетрясений, приходящихся на наиболее сейсмоактивную часть Камчатки - район, ограниченный широтой  $\varphi=50.5^{\circ}$ с.ш. и  $56.5^{\circ}$ с.ш., долготой  $\lambda=156^{\circ}$ в.д. и  $167^{\circ}$ в.д. и глубиной от 0 до 300 км (Рис.1). Графики повторяемости землетрясений для интервалов времени 1962-2009 гг. и 2010-2015 гг., рассчитанные для каталога без ограничения по энергетическому классу и для каталога, ограниченного энергетическим классом 8.5 и очищенного от группированных событий, показаны на рис. 2. Разница в повторяемости всех зарегистрированных в пределах сейсмоактивной зоны землетрясений значительна (рис 2, *слева*). Заметно уменьшение доли землетрясений в диапазоне 8-11 энергетических классов. Наклон графика повторяемости равен  $0.499 \pm 0.002$  для интервала времени 1962-2009 гг. и  $0.414 \pm 0.005$  для 2010-2015 гг. Ситуация улучшается, если ограничить каталог землетрясениями с энергетическими классами от 8.5 и очистить от группированных событий, т.е. выполнить традиционные условия соблюдения однородности каталога. В этом случае графики повторяемости землетрясений в диапазоне 9-12 классов практически параллельны (рис. 2, *справа*), значения наклонов графиков совпадают в пределах ошибки определения ( $0.537 \pm 0.003$  для интервала времени 1962-2009 гг. и  $0.538 \pm 0.010$  для 2010-2015 гг.), что может быть интерпретировано как выполнение требования однородности данных при анализе сейсмичности всей сейсмоактивной зоны в целом.

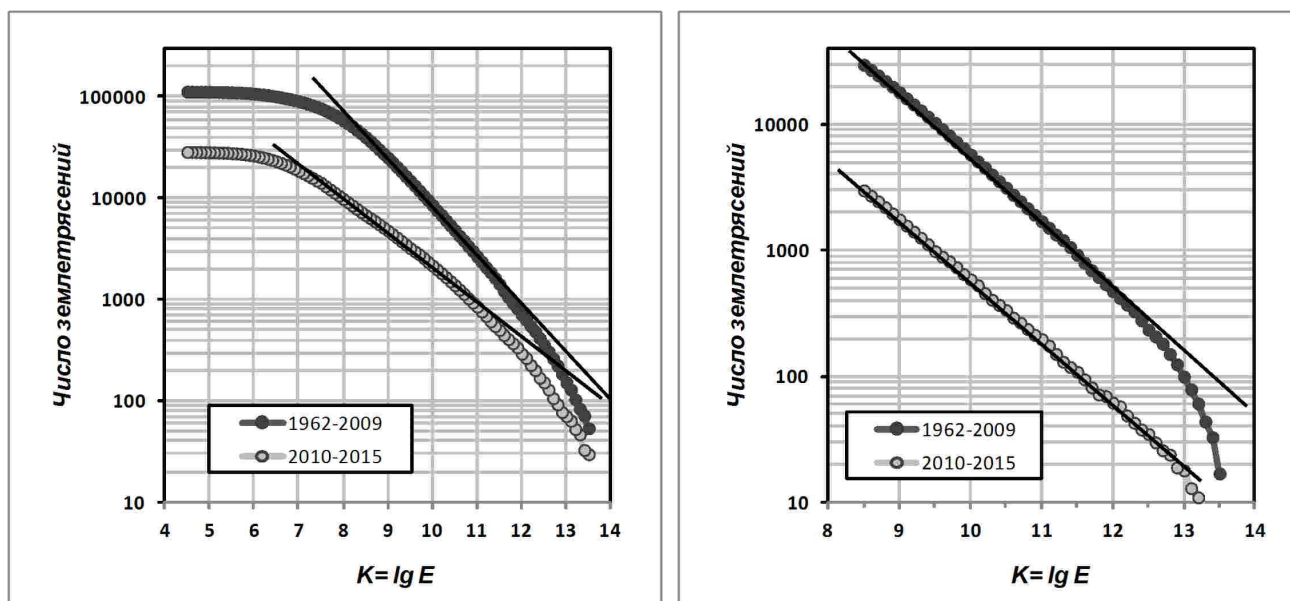


Рис. 2. Графики повторяемости землетрясений для интервалов времени 1962-2009 гг. и 2010-2015 гг., рассчитанные для каталога без ограничения по энергетическому классу (*слева*) и для каталога, ограниченного энергетическим классом 8.5 и очищенного от группированных событий (*справа*).

Существенно, что в каталоге, ограниченном землетрясениями с  $K \geq 8.5$  и очищенном от группированных событий, значительно различается распределение землетрясений по глубине для сравниваемых интервалов времени (Рис.3). На глубины  $RTL$ -анализа (30 - 100 км) в первой части каталога (1962 - 2009 гг.) приходится около 45 % землетрясений, во второй (2010-2015 гг.) – почти 70 %. Таким образом, среднее количество землетрясений, участвующих в расчете параметра  $RTL$  с 2010 г., почти в 1.5 раз превышает фоновые значения каталога 1962-2009 гг., определяющие тренд функций  $R$ ,  $T$  и  $L$ .

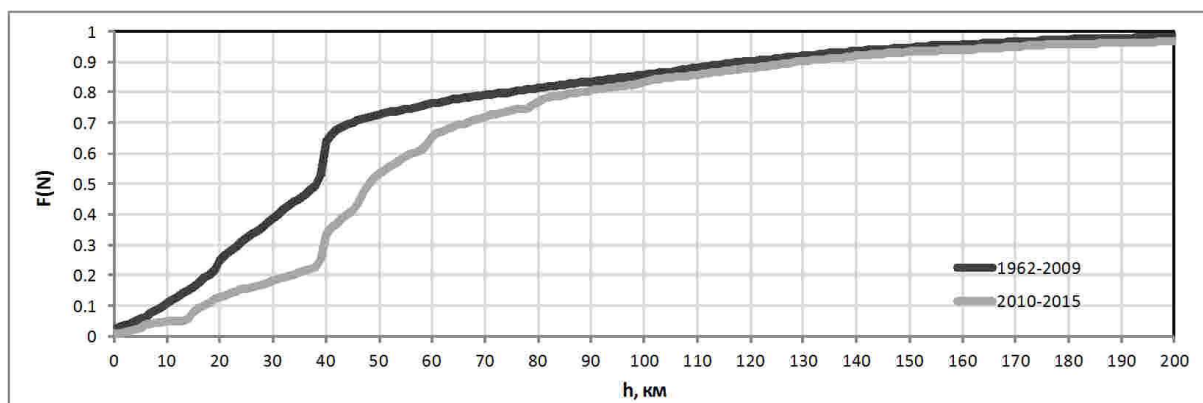


Рис. 3. Распределение землетрясений с  $K \geq 8.5$  сейсмоактивной зоны Камчатки по глубине для интервалов времени 1962-2009 гг. и 2010-2015 гг.

Сравним данные двух каталогов: оперативного каталога (OPER), получаемого лабораторией исследования сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА) до 2010 г., и окончательного каталога, формируемого ЛИСВА в режиме реального времени с 2010 г. (DIMAS). Анализируемый период - первые четыре месяца 2010 г. Каталоги очищены от группированных событий и содержат землетрясения с  $K \geq 8.5$ . В таблице приведены количество землетрясений  $N$  и их суммарная энергия  $E$ , в следующих пространственных выборках: сейсмоактивная зона, глубины до 300 км; сейсмоактивная зона, глубины 30-100 км, северная и южная зоны локализации  $RTL$ -аномалий (цилиндры, основанием которых являются  $2\sigma$  эллипсы рассеяния расчетных точек с  $RTL \leq -9$  пространственно близких аномалий, глубина от 30 до 100 км).

Выборка землетрясений, приходящихся на сейсмоактивную зону с глубинами до 300 км, из каталога DIMAS составляет примерно 80% от соответствующих значений выборки из каталога OPER, что обусловлено, в основном, ограничением по энергетическим классам ( $K \geq 8.5$ ).

На глубины  $RTL$ -анализа (30-100 км) в каталоге DIMAS приходится в 1.7 раз больше землетрясений, чем в каталоге OPER, а их энергия больше почти в 3 раза.

Северная зона  $RTL$ -аномалий (район Камчатского и Кроноцкого заливов, Камчатского и Кроноцкого полуостровов): количество землетрясений и их энергия из каталога DIMAS более чем в 1.5 раза превышает соответствующие значения выборки из каталога OPER.

Южная зона  $RTL$ -аномалий (юг Камчатки, Авачинский залив): количество землетрясений в выборке из каталога DIMAS в 1.7 раз больше чем в выборке OPER, их суммарная энергия – в 5 раз больше, чем энергия землетрясений выборки OPER.

Таблица. Количество землетрясений  $N$  и их суммарная энергия  $E$  в пространственных выборках

каталог	Сейсмоактивная зона, 0-300 км		Сейсмоактивная зона, 30-100 км		Северная зона $RTL$ -аномалий		Южная зона $RTL$ -аномалий	
	$N$	$E, Дж$	$N$	$E, Дж$	$N$	$E, Дж$	$N$	$E, Дж$
OPER	259	$3.5 \cdot 10^{12}$	83	$9 \cdot 10^{11}$	34	$4.3 \cdot 10^{11}$	31	$2.9 \cdot 10^{11}$
DIMAS	209	$3 \cdot 10^{12}$	141	$2.4 \cdot 10^{12}$	64	$6.9 \cdot 10^{11}$	52	$1.5 \cdot 10^{12}$

На Рис. 4 показаны карты значений параметра  $RTL$ , рассчитанные по каталогам 1962-2009 + OPER и 1962-2009 + DIMAS (к каталогу 1962-2009 гг. добавлены каталоги OPER и DIMAS, соответственно). Разница в развитии аномалии сейсмического затишья в Камчатском заливе очевидна. Затишье наблюдалось в 2008-2009 гг. [2]. Минимум значения  $RTL$  был отмечен в декабре 2009 г. Согласно графику временного хода, рассчитанному по каталогу 1962-2009 + OPER, параметр  $RTL$  в конце апреля по-прежнему находится в минимуме, т.е. сейсмическое затишье развивается (Рис.5). По данным каталога 1962-2009 + DIMAS, значения  $RTL$  в апреле выходят на фоновый уровень, сейсмическое затишье закончилось.

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что отсутствие с 2010 г. в сейсмоактивной зоне Камчатки аномалий сейсмического затишья по параметру  $RTL$  обусловлено изменениями 2010 г. в формировании регионального каталога землетрясений.

Также следует отметить, что использование  $RTL$ -анализа для оценки сейсмической обстановки с целью выделения прогностических пространственно-временных аномалий фоновой сейсмичности в настоящее время не представляется возможным.

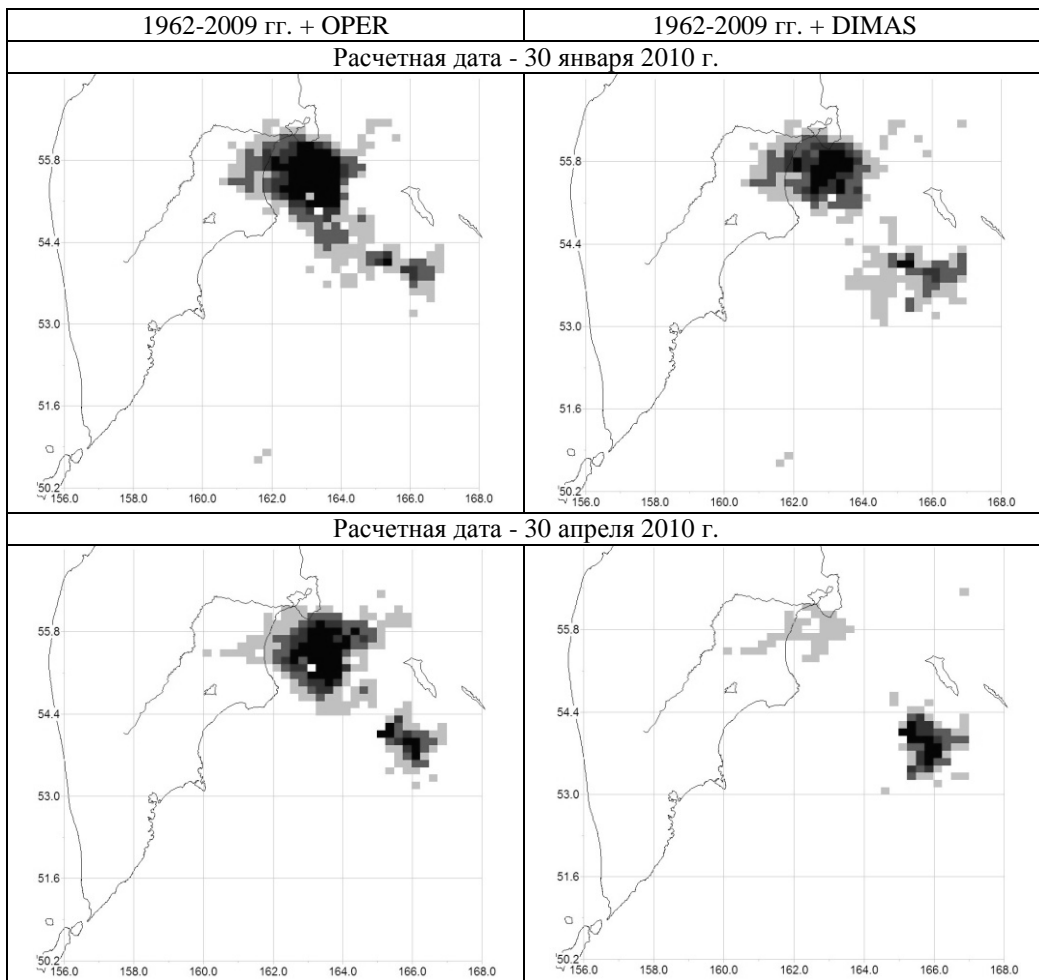


Рис. 4. Карты значений параметра  $RTL$  ( $< -3$ ,  $< -6$ ,  $< -9$ ,  $< -12$  по мере увеличения глубины цвета), рассчитанные по каталогам 1962-2009 + OPER и 1962-2009 + DIMAS.

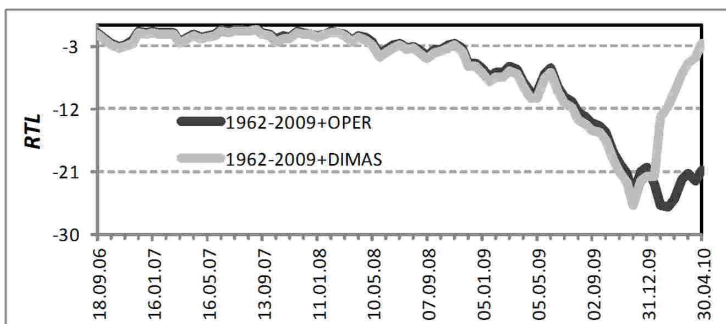


Рис. 5. Графики временного хода параметра  $RTL$  в расчетной точке с координатами  $55.313^{\circ}$ с.ш.,  $163.375^{\circ}$ в.д.

#### Список литературы:

1. Кравченко Н.М. Сопоставление сейсмических затиший, обнаруженных методами  $RTL$  и  $Z$ -тест // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 11–17 октября 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. С. 211-215.
2. Салтыков В.А., Кравченко Н.М. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2009 году. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.63 – 69.
3. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 64-74
4. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке на пороге 50-летия // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9-15 октября 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.35-42.
5. Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А. Состояние окончательного каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов в 2013 году. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 30 сентября - 4 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. - Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 122–126.