

СОСТОЯНИЕ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ И КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ В 2013 ГОДУ

Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А.

Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ayuch@emsd.ru, van@emsd.ru

Введение

Окончательный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1962–2013 гг. (далее – Каталог) содержит более 140 тысяч событий, зарегистрированных Камчатской региональной сетью сейсмических станций. За время детальных сейсмологических исследований на Камчатке характеристики Каталога и регистрирующей сети сейсмических станций постоянно менялись вслед за развитием технологий и методов обработки данных. Аналоговые высокочастотные приборы сменились цифровыми широкополосными, произошел переход от ручной обработки бумажных сейсмограмм к работе с цифровыми записями на компьютере и др. Все изменения, так или иначе, отражались на характеристиках Каталога.

Фактически Каталог делится на две части. Первая часть включает события 1962–2009 гг. и за его содержание отвечает лаборатория сводной обработки (ЛСО). С момента своего создания Каталог формировался в ЛСО по данным всей камчатской сети сейсмостанций с запаздыванием по времени от одного года, в настоящее время заканчивается обработка событий 2009 г. В 2010 г. сложились условия для формирования Каталога в режиме близком к реальному времени. Ответственность за его ведение была переложена на лабораторию исследования сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА), которая до 2010 г. отвечала за оперативный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (получаемый по данным сети опорных сейсмостанций). Тем самым сменились подходы и методики расчета основных параметров. Вторая часть Каталога содержит данные о землетрясениях с 2010 г. по настоящее время и формируется с запаздыванием от суток до семи дней.

В работе систематизирована информация, связанная с формированием Каталога. Схематично, с использованием временной шкалы, представлена история изменений разнообразных характеристик Каталога, таких как методика расчета гипоцентров, тип обрабатываемых сейсмограмм, границы региона ответственности, пороги энергетических оценок и др. Выделены основные характеристики Каталога, которые, как предполагается, в наибольшей степени влияют на его наполняемость, однородность и качественный состав. Проведен анализ результатов перехода в 2010 г. к методике формирования окончательного Каталога в оперативном режиме. Представлено современное состояние основных характеристик Каталога, запланированы работы по уточнению и пополнению Каталога в выделенных временных интервалах.

Работа адресована исследователям, использующим Каталог в научных целях, для ознакомления с особенностями его формирования.

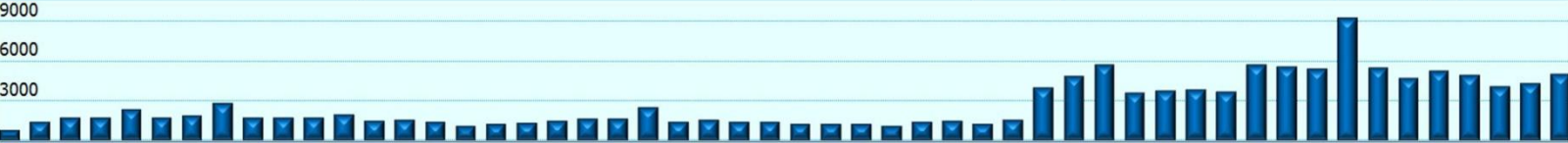
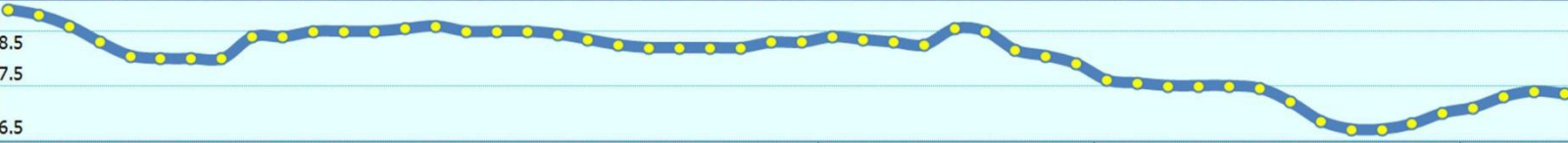
История формирования Каталога. Основные характеристики Каталога

Сбор информации о различных этапах ведения Каталога осуществлялся двумя способами: с помощью литературного обзора и опроса лиц, участников событий, влияющих на формирование Каталога. В качестве литературных источников в первую очередь использовались: ежегодные сборники «Землетрясения в СССР», «Землетрясения Северной Евразии» и «Землетрясения России», журналы «Вулканология и Сейсмология», «Вычислительная сейсмология». Многие вопросы, возникающие при работе с литературой, обсуждались с В. И. Левиной (ст. науч сотр., Геофизическая служба РАН), А. В. Ландером (ст. науч сотр., Институт Теории Прогноза Землетрясений и Математической геофизики РАН), А. А. Гусевым (д.ф.-м.н., Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН) и Н. А. Шевченко, С. В. Митюшкиной, С. Я. Дрозниной (сотрудники Камчатского Филиала Геофизической Службы РАН). Авторы выражают им искреннюю благодарность.

В таблице 1 собрана историческая информация, связанная с формированием Каталога. На временную шкалу с 1962 г. по 2013 г. нанесены интервалы с описанием характеристик Каталога, а также события, повлиявшие на их изменение. Все характеристики Каталога можно разделить на несколько типов: влияющие на наполняемость каталога (№№ 1–2, 5), влияющие на однородность гипоцентрии (№№ 3–4) и на однородность энергетических оценок землетрясений (№№ 6–8), влияющие на качественный состав (№ 8, 11).

Под *наполняемостью* каталога в работе понимается доля событий, попадающих в окончательный Каталог от общего числа обнаруженных землетрясений. В идеальном случае не должно существовать каких-либо ограничений, и все события, которые фиксируются камчатской сетью сейсмических станций, должны попадать в Каталог. Тем не менее, такие ограничения всегда

Таблица 1. Хроники формирования каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов за период с 1962 по 2013 годы

Таблица 1. Хронология формирования каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов за период с 1962 по 2013 годы																																																					
№	Характеристики каталога \ годы	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	Нижний официальный порог энергетических оценок, для которых производились определения параметров землетрясений	K=10			отсутствует			K ₅ =6.5			K ₅ =7.5										отсутствует																																
2a	Даты официального введения границ зон ответственности Камчатской сейсмической службы	φ 49—60N, λ 156-168E			φ 50—60N, λ 156—168E			В ЕССН были введены официальные границы ответственности региональных сетей					Изменение границы зоны ответственности в юго-западной части, перемещение к югу северной границы региона.										расш.		Расширение на Северо-Восток		расширение																										
26	Даты начала использования зон ответственности в Каталоге	φ 49—60N, λ 156-168E			φ 50—60N, λ 156—168E			Зона ответственности 1975 года (строка.№2a)					Зона ответственности 1985 года										Зона ответственности 2006 года					Зона 2010 года																									
3	Методика расчета гипоцентра: ■ - отсутствие окончательного Каталога	используется скоростная модель и годограф Р- и S-волн, рассчитанные И.П. Кузиным и С.А. Федотовым																																																			
		ручная, метод палеток изохрон Ю.В. Ризниченко															автоматизированная, программное обеспечение (ПО), автор Гусев: GIP(ГИ77) [Минск32, ЕС1033, СМ4, РС]																■	ПО: DIMAS (Дроздин)																			
4	Тип формируемых сейсмограмм	аналоговые (сейсмограммы с регистрацией на фотобумагу, термобумагу, магнитные ленты и др.)															аналоговые и цифровые										Только цифровые																										
5	Обработка сейсмограмм / тип обрабатываемых сейсмограмм	ручная/ аналоговые															ручная и автоматизированная / аналоговые и цифровые										автоматизированная / цифровые																										
6	История появления методик расчета энергетических характеристик, используемых в Каталоге	классы считались по номограмме для энергетической классификации близких курильских землетрясений			Введена методика расчета энергетического класса K _{S1,2} ^{Ф68} , пригодная для курило-камчатских землетрясений по записям сейсмографов с периодами Т от 0,7 до 1,2 сек при глубине очага h=0 ÷ 400 км, S-P равняется 0,7-80 сек, K=5 ÷ 16. Индексы Ф68 и S 1,2 означают, что номограмма рассчитана С.А. Федотовым в 1968 г. для оценки энергии волн S по записям сейсмографов с Т=1,2 сек.										Появляются дополнительные методики расчета энергетического класса K _c и магнитуды M _c по кода-волнам: K _c в 1992 г. (Гусев, Лемзиков), M _c в 1993 г. (Зобин, Чиркова)										Дополнительная M _s (20R) в 2010 г. (Гусев, Чубарова, Викулина)																												
7	Методика расчета среднего значения энергетического класса по событию				расчет среднего значения энергетического класса по событию ведется только по станциям, для которых определены поправки																											используются все станции																					
8	Количество станций, для которых рассчитаны наборы станционных поправок при определении класса по Р- и S- волнам	19 станций APH, AVH, BGC, BKI, ESO, ES2, KBG, KLY, KRI, KOZ, KII, OZR, PAU, PET, SML, SPN, TOP, VKM, ZLN										26 станций APH, AVH, BER, BKI, VDP, GNL, GRL, KBG, KLY, KRI, KOZ, KRK, KII, NLC, PDK, PAU, PET, RUS, SML, SPN, TOP, ESO, ES2, OZR, VKM, BGC.										40		45 станций					42		45		без поправок																				
9	Ежегодное число землетрясений, зафиксированных в Каталоге. N _{макс} = 9303 (2006 г.)																																																				
10	Класс, соответствующий максимальному количеству землетрясений в году																																																				
11	Форма хранения Каталога	Бумажный архив															Цифровая БД					СУБД FoxPro2					PostgreSQL																										

существовали – это официальные границы зоны ответственности камчатской сейсмологической сети (табл. 1, № 2). Эти границы неоднократно менялись в результате расширения представлений о сейсмических особенностях региона и изменения регистрирующей способности сети сейсмических станций. В таблице 1 в строках №№ 2а и 2б показано, что даты официального введения границ отличаются от момента начала их использования в Каталоге. Еще большую путаницу вносит тот факт, что официальных границ придерживались не четко, часто обрабатывались и заносились в Каталог события, в том числе, выходящие за пределы планшета ответственности. Изменения границы в южной части региона ответственности камчатской сейсмологической сети оказали существенный эффект на наполняемость Каталога.

Еще одним ограничением, заметно повлиявшим на наполняемость, было введение нижнего порога энергетических оценок, для которых производились определения параметров землетрясений (табл. 1, № 1). Поскольку в то время велась ручная обработка бумажных сейсмограмм, то наплыв событий в 1971 г. вынудил ввести ограничения по энергетическому классу K_s . В 1996 г., произошел переход на автоматизированную обработку землетрясений (табл. 1, № 5), в результате которого эти ограничения были сняты. На гистограмме, расположенной в строке № 9 таблицы 1 видно, что начиная с 1996 г. резко увеличилось ежегодное число землетрясений, попадающих в Каталог.

Каталог землетрясений считается *однородным*, когда при обработке событий, которые его составляют, используются одни и те же методы. За историю существования Каталога эти методы менялись неоднократно (табл. 1, №№ 3–4, 6–8). Переход от обработки аналоговых сейсмограмм к обработке цифровых записей (табл. 1, № 6) заметно не отразился на однородности Каталога. Значительнее всего на однородность Каталога влияли изменения методик расчета основных параметров землетрясений (табл. 1, № 3). Важно отметить, что для первой части Каталога 1962–2009 гг. при внедрении новой методики обработки данных организовывался пересчет параметров землетрясений в обратном порядке от момента нововведения к началу Каталога. Таким образом, при формировании первой части Каталога (1962–2009 гг.) обращалось пристальное внимание на поддержание однородности данных. Ситуация изменилась кардинальным образом, когда в 2010 г., окончательный каталог стал формироваться в режиме времени близком к реальному. Не смотря на то, что в этот момент однородность Каталога была нарушена: изменились методики расчета гипоцентров и среднего класса по сети, изменился подход к обработке землетрясений и выбору решения программы расчета гипоцентрии, – пересчет параметров событий Каталога, произошедших до 2010 г., не планируется. Строго говоря, в 2010 г. начался новый виток в истории развития Каталога.

Отдельно отметим ряд характеристик Каталога, улучшающих его *качественный состав*, то есть влияющих на точность определения основных параметров. При переходе к цифровому хранению Каталога (таблица 1, № 11) удалось избавиться от грубых ошибок, связанных с невнимательностью операторов [1]. В результате развития сети сейсмических станций повышалась точность определений параметров, например, точность оценок времени, и понижался уровень надежной регистрации землетрясений. Энергетический класс K_s , соответствующий максимальному количеству событий в году, косвенно связан с уровнем надежной регистрации для Камчатки. График изменения этой величины (таблица 1, № 10) свидетельствует о понижении уровня надежной регистрации в период с 1962 по 2013 гг., что объясняется улучшением оснащенности региональной сети сейсмических станций.

Анализируя историю формирования Каталога, были выбраны основные характеристики, от которых в большей степени зависит его однородность, наполняемость и качественный состав:

- ограничения на обработку землетрясений по энергетическим параметрам (№ 1);
- границы региона ответственности Камчатской сейсмической службы (№ 2);
- методика обработки сейсмических данных (№ 5);
- методика расчета гипоцентров (№ 3);
- развитие сейсмологической сети (№ 10);

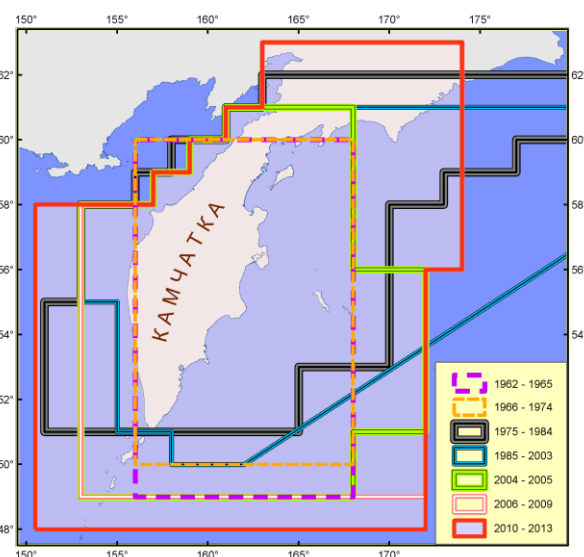


Рис. 1 Границы зоны ответственности Камчатской региональной сети сейсмостанций в различные периоды детальных сейсмологических наблюдений, согласно табл. 1, № 2а

- форма хранения Каталога (№11).

Современное состояние Каталога

В таблице 4 представлено современное состояние основных характеристик Каталога, с учетом уже проделанных работ по пересчету параметров землетрясений и дополнению пропущенными событиями. Розовым цветом помечены те отрезки времени, для которых необходимо продолжить начатые работы по улучшению качества Каталога. Они включают:

1. поиск пропущенных событий с $K_s < 7.5$ в интервале времени 1971–1995 гг. (табл. 4, № 1);
2. перевод исходных данных в цифровой вид и пересчет с помощью программы GIP параметров землетрясений за 1962–1964 гг. (табл. 4, № 3);
3. получение окончательного каталога за 2009 г. (табл. 4, № 3).
4. перенос Каталога за период 1962–2009 гг. в единую информационную систему сейсмологических данных (СУБД PostgreSQL) (табл. 4, № 6)

Таблица 4. Основные характеристики Каталога по состоянию на 2013 г.

№	Характеристики \ годы	1962	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2013
1	Минимальное значение класса в Каталоге	7.5	5	2.5									
2	Условия внесения землетрясения в Каталог в зависимости от его координат	при попадании эпицентра землетрясения за пределы зоны ответственности, решение о необходимости внесения его в каталог принимает ответственный за каталог											внутри зоны ответ.
3	Методика расчета гипоцентра	используется скоростная модель и годограф Р- и S-волн, рассчитанные И.П. Кузиным и С.А. Федотовым											
		с 2006 года для землетрясений Корякии, используются поправки на времена пробега Р- и S-волн для всех северных станций КАО начиная с Оссоры											
		ПО: GIP (используются поправки на времена пробега Р- и S-волн для станции Беринг ВК1)											DIMAS
4	Методика расчета класса	Энергетический класс K_s рассчитывается по методике Федотова 1968 г. В случае невозможности расчета K_s , в Каталоге указывается класс по коду K_c . В случае невозможности расчета K_c , в Каталоге указывается класс, пересчитанный из магнитуд.											
5	Количество станций, участвующих в расчете параметров землетрясений	80	60	40	20	0							
6	Форма хранения Каталога	СУБД FoxPro2											Postgre SQL

Изменение методики формирования Каталога в 2010 г.

Остановимся немного подробнее на том, какие изменения в общей методике формирования Каталога произошли в 2010 г.:

1. Изменилась организация процесса получения основных параметров землетрясений.

Каталог 1962–2009 гг.

Обработчики снимают исходные данные землетрясений (вступления и амплитуды Р- и S- волн) строго по методическим указаниям. С помощью программы GIP получают одно или несколько решений, которые сохраняются в текстовый файл, обращая внимание на то, чтобы в решениях не было больших станционных невязок по времени, больших ошибок определения параметров, и чтобы полученные решения незначительно отличались от оперативных.

Для каждого события ответственное лицо выбирает единственное решение программы GIP в качестве окончательного, опираясь на личный опыт и на вспомогательные данные (невязки, ошибки и др.), содержащиеся в выходном файле. Событие попадает в Каталог.

2. Изменилась организация контроля методических и технических ошибок операторов.

На разных этапах обработки проводятся проверки на наличие ошибок. Перед запуском программы гипоцентрии осуществляется проверка на соответствие методике обработки

Каталог с начала 2010 г.

Обработчики снимают исходные данные землетрясений по методическим указаниям. С помощью программы DIMAS, опираясь на личный опыт и методические указания, ищут оптимальное решение, обращая внимание на корректность работы аппаратуры, в случае больших станционных невязок по времени или больших ошибок определения параметров.

Для одного события может быть получено несколько решений разными обработчиками. По окончании работы ответственное лицо выбирает окончательные решения для землетрясений за прошедшие сутки. Таким образом ежедневно формируется Каталог.

Отсутствие программных средств проверки технических и методических ошибок операторов.

сейсмического сигнала. При внесении параметров землетрясений в базу данных (Каталог) используются алгоритмы, специально разработанные для проверки на наличие технических ошибок операторов.

3. Изменились методики расчета гипоцентров и среднего класса K_s по сети (табл. 1, №№3 и 7).

Был проведен анализ расхождения параметров землетрясений, полученных с использованием разных методик программами GIP и DIMAS, которые используются при обработке землетрясений, произошедших до и после начала 2010 г. соответственно. Для этих целей при обработке землетрясений 2008 г. операторы ЛСО получали их параметры с помощью двух программ: GIP и DIMAS.

Согласно данным таблиц 2 и 3, для большей массы событий 2008 г. методики получения положения гипоцентров и среднего класса K_s с использованием GIP и DIMAS имеют незначительные отличия. Наибольшие расхождения наблюдаются для оценок времени в очаге ($\Delta \bar{t} \approx 0.4$ сек, $\sigma \approx 1.1$ сек) и глубины землетрясений преимущественно с $h > 200$ км (рис.1, 2). В отдельных сложных случаях встречаются значительные отклонения определений по глубине до 100 км и по времени до 10 сек. Ранее подобные расхождения уже отмечались при пересчете параметров южных событий и событий на границе зоны ответственности, для которых характерны неустойчивые решения [1].

Таблица 2. Оценки распределения расхождения параметров землетрясений (времени в очаге t_0 , глубины h и энергетического класса K_s), полученных с использованием GIP и DIMAS

Параметры землетрясения	$\overline{\Delta X}$	$[\Delta X]_{0.5}$	σ	N
t_0 , сек	0.4	0.4	1.1	1533
h , км	-2.9	-2.5	14.4	1533
K_s	0.02	0	0.3	1530

Таблица 3. Параметры распределения расхождения оценок положения эпицентров землетрясений $d(\varphi, \lambda)$, полученные с использованием GIP и DIMAS

M_0 , °	$[d(\varphi, \lambda)]_{0.5}$, °	dQ , °	N
0.04	0.05	0.07	1533

Примечание к таблицам 2 и 3: $\overline{\Delta X}$ – среднее значение; $[\Delta X]_{0.5}$ – медиана; σ – среднеквадратичное отклонение; M_0 – мода; dQ – межквартильное расстояние; N – количество землетрясений, участвующих в расчете.

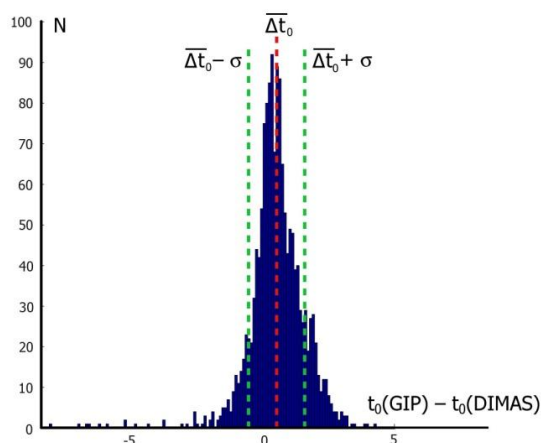


Рис.1 Гистограммы распределения разницы значений времени в очаге t_0 , полученных с использованием разных программ: GIP и DIMAS

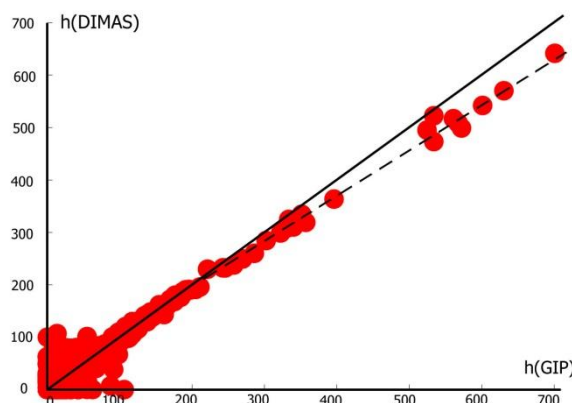


Рис.2 Сравнение глубин землетрясений, полученных с использованием разных программ: GIP и DIMAS

Конечно, при переходе к методике формирования Каталога в оперативном режиме в 2010 г. была нарушена однородность данных, что необходимо учитывать в чувствительных научных методиках поиска предвестников землетрясений. Но, как показал проведенный анализ, использование программ GIP и DIMAS для большей части событий дает близкие оценки основных параметров землетрясений по один и тем же исходным данным. В будущем, планируется также проанализировать влияние изменения общего подхода формирования Каталога, то есть сравнить результаты обработки, полученные в ЛСО с определениями ЛИСВА для событий выбранного интервала времени.

В заключении хотелось бы отметить, что опыт показал необходимость своевременно фиксировать различные изменения в процедуре формирования Каталога. Планируется поддерживать информацию, содержащуюся в таблицах 1 и 4, в актуальном состоянии.

Список литературы

1. Левина В.И., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Лепская Т.С. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов: пересмотр событий 1971-1988гг. // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции, 17-18 января 2006 г., Петропавловск-Камчатский: «Геофизическая служба РАН», 2006. 220 с.