

УДК 550.34

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА И ОДНОРОДНОСТИ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ И КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ (1962–2009 гг.)

Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В., Шевченко Н.А.

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, mitik@emsd.ru

Введение

Окончательный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1962–2019 гг. (далее – Каталог) содержит более 190 тысяч событий. Ответственность за содержание Каталога периода 1962–2009 гг. лежит на лаборатории сводной обработки (ЛСО). 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).

Несмотря на то, что Каталог 1962–2009 гг. сформирован, в ЛСО продолжают работы с его данными. Цель работ – получение однородного, максимально наполненного Каталога, соответствующего международным форматам обмена сейсмологической информации ISF [18] и SEED [19]. В табл. 1 представлена краткая информация об истории формирования Каталога, подробно описанная ранее в работе [17]. Авторами было показано, что однородность, наполняемость и качественный состав Каталога в основном зависят от развития сейсмологической сети, методик обработки сейсмограмм, расчета гипоцентров и энергетических оценок, от условия внесения землетрясений в Каталог и формы хранения Каталога.

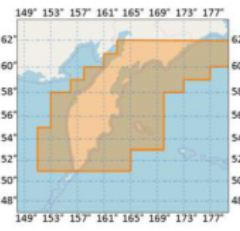
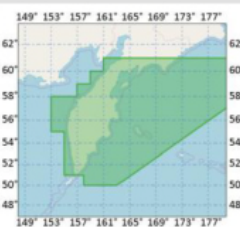
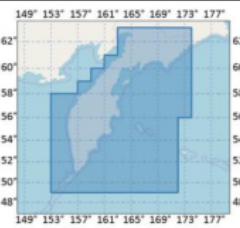
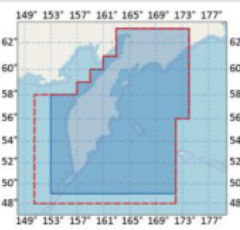
Работа по улучшению качества и однородности Каталога периода 1962–2009 гг. ведется в нескольких направлениях. Началась она в середине 90-х гг. с пересмотра параметров землетрясений за период 1962–1988 гг. с целью *приведения исходных материалов исследований к единым форматам представления* (проект №1) [8]. В ноябре 2005 г., когда прекратилась рутинная обработка бумажных сейсмограмм, появилась возможность вернуться к *обработке пропущенных событий за период 1962–1995 гг.* (проект №2), не обработанных ранее из-за ограничения условием внесения землетрясений в Каталог (см. табл. 1). При создании Единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД) [13] появилась необходимость и возможность реализации еще двух проектов: *«Пересмотр землетрясений из-за ошибок, найденных в процессе внесения сейсмологического материала в ЕИССД»* (проект №3) и *«Поиск пропущенных макросейсмических данных за период 1962–2009 гг.»* (проект №4). В результате этих проектов добавляются новые события в Каталог, исправляются найденные ошибки, пересматриваются ошибочные параметры землетрясений. Представленный ниже материал адресован исследователям, использующим Каталог в научных целях, для ознакомления с информацией о текущем состоянии Каталога периода 1962–2009 гг. Кроме того, статья представляет собой протокол изменения данных в Каталоге.

Методика получения основных параметров землетрясений в Каталоге (1962–2009 гг.)

Достаточно подробно технология создания Каталога и методика обработки землетрясений описаны в работе [16]. В Каталоге за период 1962 – 2009 гг. определение параметров гипоцентров осуществляется при помощи программы GIP, написанной А.А. Гусевым [2]. В программе используется рассчитанный И.П. Кузиным годограф Р- и S-волн [5]. При расчете гипоцентра применяются поправки на времена пробега Р-, S-волн для станции Беринг [5] и станций, участвующих в расчете параметров северных землетрясений 2006–2009 гг., с эпицентром $\geq 59.5^\circ$ с.ш. [6]. Расчет среднего значения энергетических классов K_S , K_P и K_C [14, 9] ведется только по станциям, имеющим энергетические поправки [4, 9, 14] и у которых станционный класс с поправкой отличается от среднего значения класса не более, чем на 1.0, 0.7 и 0.5, соответственно. В случае невозможности расчета K_S в Каталоге вместо K_S указывается класс по коду K_C [3]. В случае невозможности расчета K_C в Каталоге указывается класс, пересчитанный из магнитуд.

Обработчики снимают исходные данные землетрясений (вступления и амплитуды Р-, S- и кода-волн) строго по методическим указаниям. С помощью GIP получают одно или несколько решений, которые

Табл. 1. История формирования окончательного камчатского каталога землетрясений.

Год	Сейсмическая сеть		Обработка сейсмограмм	Расчет парамет. гипоцентра	Расчет энергетич. оценок		Условие внесения землетрясения в каталог			Хранение катал.	Год		
	типы станц.	число станц.			история использования методик расчета	условие	зона ответственности	K _S					
1962	аналоговые стационарные сейсмические станции		ручная обработка бумажных сейсмограмм	ручной, метод палеток изохрон Ризниченко	энергетический класс по амплитуде Р волны, определяемый по номограмме С. А. Федотова [14]	энергетический класс по амплитуде S волны, определяемый по номограмме С. А. Федотова [14]	энергетический класс K _c по кода-волнам [9]	магнитуда M _c по кода-волнам [1]	при попадании эпицентра землетрясения за пределы зоны ответственности, решение о необходимости внесения его в каталог принимает ответственный за каталог		>6.5	бумажный архив	1962
1963													1963
1964													1964
1965													1965
1966													1966
1967													1967
1968													1968
1969													1969
1970													1970
1971													1971
1972	радиотелеметрические сейсмические станции		ручная обработка бумажных сейсмограмм	на ЭВМ: программа ПИ77 (автор А.А. Гусев)	энергетический класс по амплитуде Р волны, определяемый по номограмме С. А. Федотова [14]	энергетический класс K _c по кода-волнам [9]	магнитуда M _c по кода-волнам [1]	при попадании эпицентра землетрясения за пределы зоны ответственности, решение о необходимости внесения его в каталог принимает ответственный за каталог		>7.5	цифровая БД	1972	
1973												1973	
1974												1974	
1975												1975	
1976												1976	
1977												1977	
1978												1978	
1979												1979	
1980												1980	
1981												1981	
1982			ручная обработка бумажных сейсмограмм	на РС: программа GIP (автор А.А. Гусев)	энергетический класс по амплитуде Р волны, определяемый по номограмме С. А. Федотова [14]	энергетический класс K _c по кода-волнам [9]	магнитуда M _c по кода-волнам [1]	при попадании эпицентра землетрясения за пределы зоны ответственности, решение о необходимости внесения его в каталог принимает ответственный за каталог		>7.5	СУБД FoxPro2	1982	
1983												1983	
1984												1984	
1985												1985	
1986												1986	
1987												1987	
1988												1988	
1989												1989	
1990												1990	
1991												1991	
1992			обработка цифровых сейсмограмм с использованием интерактивной прогр.	программа DIMAS (автор Д.В. Дроздин)	энергетический класс по амплитуде Р волны, определяемый по номограмме С. А. Федотова [14]	энергетический класс K _c по кода-волнам [9]	магнитуда M _c по кода-волнам [1]	при попадании эпицентра землетрясения за пределы зоны ответственности, решение о необходимости внесения его в каталог принимает ответственный за каталог		>7.5	PostgreSQL	1992	
1993												1993	
1994												1994	
1995												1995	
1996												1996	
1997												1997	
1998												1998	
1999												1999	
2000												2000	
2001												2001	
2002												2002	
2003												2003	
2004												2004	
2005												2005	
2006												2006	
2007												2007	
2008												2008	
2009												2009	
2010												2010	
2011												2011	
2012												2012	
2013												2013	
2014												2014	
2015												2015	
2016												2016	
2017												2017	
2018												2018	
2019												2019	

сохраняются в текстовый файл, обращая внимание на то, чтобы в них не было больших станционных невязок по времени, больших ошибок определения параметров. 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.). Если эпицентр землетрясения попадает за пределы зоны ответственности, решение о необходимости внесения его в Каталог принимает ответственный. После проверки на наличие технических ошибок обработчиков землетрясение попадает в Каталог.

Результаты работы и их обсуждение

Проект №1 «Приведение исходных материалов исследований к единым форматам представления». В связи с переходом к цифровому формату сохранения данных в 1989 г. (табл. 1) исходные материалы исследований за предыдущие годы необходимо было перевести в электронный вид для однородности, а также пересчитать по единой программе. В пересмотр попали землетрясения Каталога, определенные вручную с помощью метода палеток изохрон Ю.В. Ризниченко [12], адаптированного для Камчатки С.А. Федотовым и И.П. Кузиным [15], и события, данные по которым рассчитаны на малых и больших ЭВМ с помощью программы ГИ77 – ранней версии GIP (табл. 1).

В работе [8] сообщается о первых результатах реализации данного проекта. Авторами были пересмотрены основные параметры землетрясений 1971 – 1988 гг., что

составляет две третьих от всего объема пересчитанных землетрясений. В работе проведен анализ, который показал хорошее согласование по основным параметрам пересмотренного и старого каталога машинного счета (1978 – 1988 гг.). Несколько больше расходились данные ручной обработки (1971 – 1977 гг.), что было обосновано дискретностью используемых палеток изохрон и ручным определением времени в очаге по графику Вадати. Значительные расхождения параметров для отдельных землетрясений периода 1971 – 1988 гг. наблюдались для событий, расположенных на краях камчатского полигона, либо для землетрясений с малым количеством данных и плохой точностью определения параметров.

В 2019 г. этот проект был полностью завершен. Всего было пересчитано 42352 землетрясения за период 1962 – 1988 гг. (фиолетовые столбцы гистограммы на рис. 1), включая повторно пересмотренные из-за ошибок 315 событий. В результате работы получен Каталог 1962 – 1988 гг. с сопутствующими ему станционными бюллетенями и вспомогательными файлами, устранены грубые ошибки в обработке, добавлены 249 ранее обработанных, но пропущенных землетрясений (зеленые кружки и столбцы на рис. 2).

Проект №2 «Поиск пропущенных землетрясений за период 1962 – 1995гг.» Как видно из табл. 1, на протяжении всего периода формирования Каталога, условия внесения землетрясений в него неоднократно менялись. Прежде всего, по причине изменения зоны ответственности камчатского региона, обусловленного, вероятно, изменениями возможностей регистрирующей сейсмической сети. Кроме того в период 1971 – 1995 гг. дважды вводились ограничения по энергетическому классу K_S . В 1971 г. был установлен порог $K_{S\min} = 6.5$ на обработку землетрясений. Это было вызвано произошедшими сильными землетрясениями, большим количеством афтершоков и ручной обработкой бумажных сейсмограмм. Расчет параметров гипоцентров в то время также велся ручным

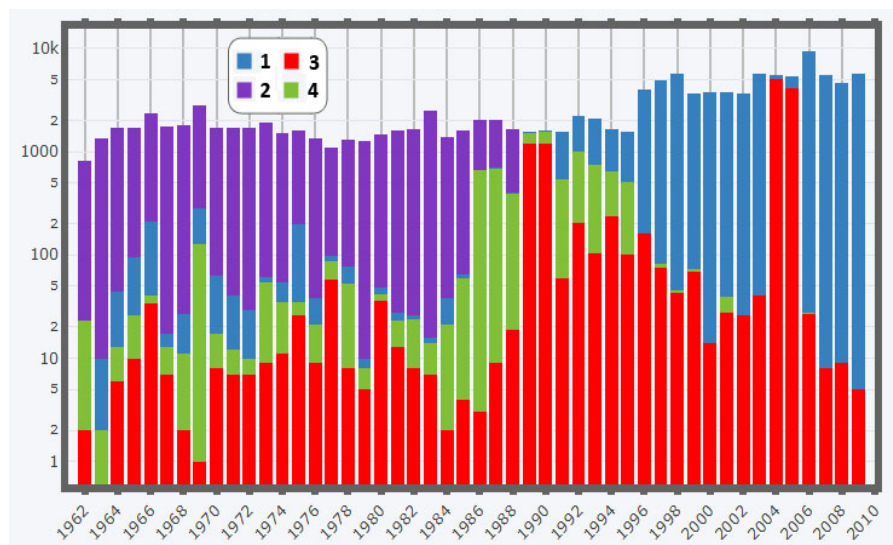


Рис. 1. Ежегодное количество событий в Каталоге 1962–2009 гг.: 1 – исходные; 2 – пересмотрены землетрясения, полученные ручным методом и на ЭВМ (1962–1988 гг.); 3 – пересчитаны из-за ошибок в обработке; 4 – добавлены пропущенные.

способом с большим отставанием от реального времени (минимум в два года). С 1974 г. порог $K_{S_{мин}}$ стал выше на класс и действовал до перехода на цифровую обработку.

В рамках проекта осуществляется обработка и добавление всех землетрясений, не вошедших в Каталог, которые возможно посчитать программой GIP (событие имеет достаточное количество станционных данных, получено адекватное решение). С начала работы над проектом Каталог пополнился 5457 землетрясениями периода 1985–1995 гг. (оранжевые кружки и столбцы на рис. 2). Работа ведется от 1995 г. к 1962 г.

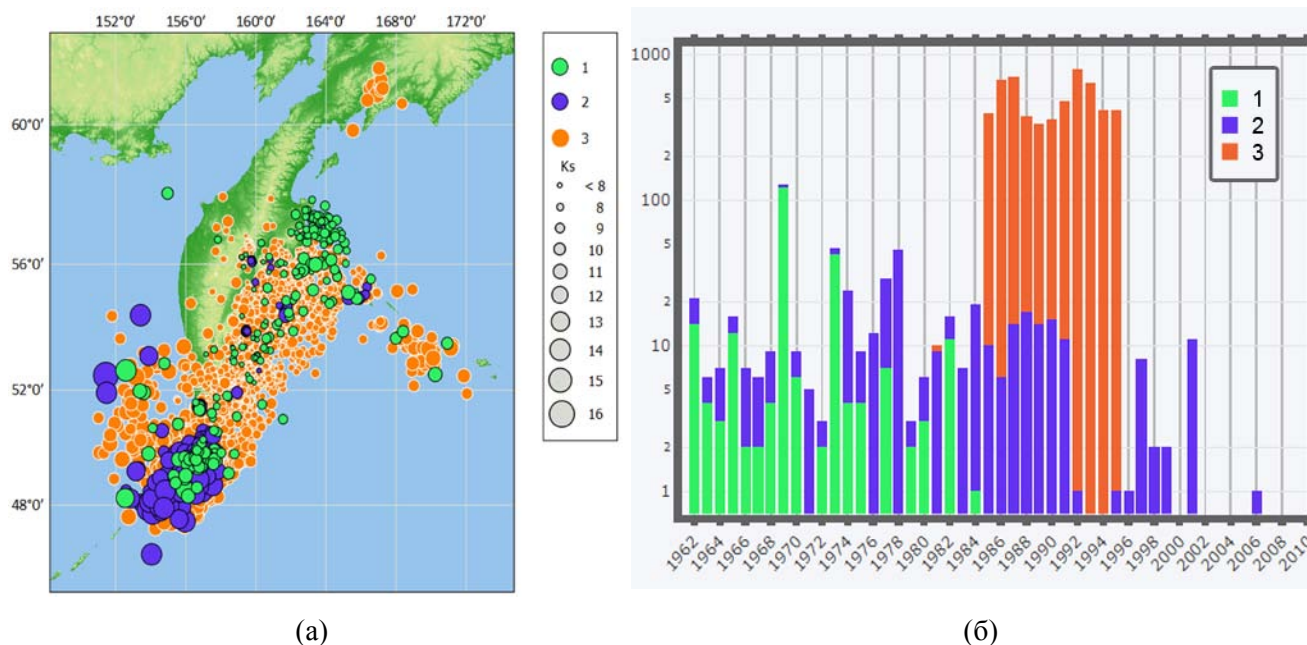


Рис. 2. Карта землетрясений, ранее пропущенных и добавленных в Каталог 1962–2009 гг. (а) и их количество по годам (б) в рамках проектов: 1 – проект №1; 2 – проект №4; 3 – проект №2.

Проект №3 «Пересмотр землетрясений из-за ошибок, найденных в процессе внесения сейсмологического материала в ЕИССД». В процессе работы над созданием единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД) требовалось привести данные в соответствие с международными форматами обмена сейсмологической информации ISF и SEED.

Первоначально наполнение ЕИССД осуществлялось данными о землетрясениях 1962 – 2009 гг. В результате были обнаружены события с ошибками обработки или с ошибками формата данных. Из-за ошибок в исходных данных было пересмотрено 2272 события (рис.3 №1).

В связи с уточнением положения гипоцентров глубоких землетрясений [7] параметры землетрясений изменились у 100 событий, для 69 – в результате изменения коэффициента наклона графика Вадати (рис.3 № 2 и 3).

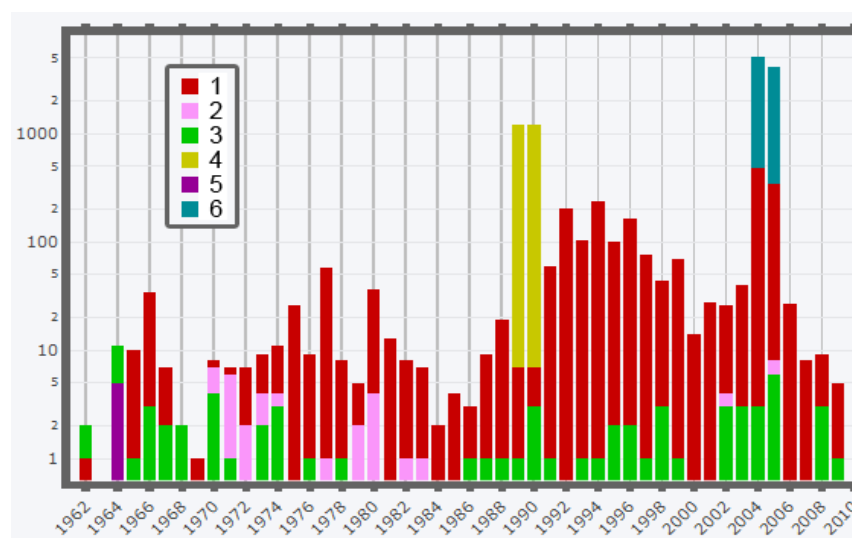


Рис. 3. Количество пересчитанных землетрясений в Каталоге 1962 – 2009 гг. по годам. Типы ошибок: 1 – ошибки в исходных данных; 2, 3 – уточнение положения гипоцентров глубоких землетрясений (3 – коэффициент наклона графика Вадати 1.82); 4 – отсутствие невязок; 5 – отсутствие класса по коде; 6 – некорректная версия DIMAS.

Пересчитаны все землетрясения 1989 – 1990 гг. из-за отсутствия данных по невязкам, события 1964 г., у которых добавлены, отсутствующие ранее исходные данные для определения класса по коде. Всего было пересчитано 2413 событий (рис. 3 № 4 и 5).

Землетрясения 2004 – 2005 гг. (10037 событий) пришлось пересчитать из-за некорректной работы одной из версий программы DIMAS (рис.3 № 6). Некорректная версия была быстро исправлена разработчиком после ее выпуска, но в ЛСО этой версией продолжали пользоваться несколько лет из-за отсутствия информации о необходимости обновления. После обнаружения такой ошибки в ЛСО была введена практика ежедневного обновления используемого софта.

Проект №4 «Поиск пропущенных макросейсмических данных за период 1962 – 2009 гг.» проводился с целью улучшения макросейсмического каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов. В рамках проекта сверялась имеющаяся в архиве макросейсмическая информация на бумажных носителях (в опросных листах, станционных бюллетенях и сопроводительных письмах, различных сейсмологических сборниках и др.) с наличием ее в макросейсмическом каталоге. Возможность проведения такого проекта появилась после создания подсистемы ЕИССД для сбора и обработки макросейсмических данных [10, 11].

В процессе выполнения этого проекта были обнаружены землетрясения, которые ощущались на территории Камчатского края и Северных Курил, но отсутствовали в Каталоге. В основном это были южные или слабые локальные события (рис. 2 – фиолетовые кружки и столбцы).

В результате проделанной работы макросейсмический каталог пополнился 1479 сообщениями о 1102 землетрясениях, 309 событий были добавлены в Каталог.

Заключение

Проект «Приведение исходных материалов исследований к единым форматам представления» считается завершенным. Работа над остальными проектами, о которых говорилось выше, продолжается. Исследователям, использующим Каталог за период 1962 – 2009 гг. следует учитывать, что содержание Каталога со временем может меняться.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Шевченко Ю.В., Степанов В.В. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М: НИИ-Природа, 1999. С. 102–114.
2. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 74–81.
3. Зобин В.М. Энергетические оценки очагов сильных Камчатско-Командорских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 65–74.
4. Зобин В.М., Митюшкина С.В., Чиркова В.Н. Станционные поправки к номограммам С.А. Федотова для энергетической классификации землетрясений Камчатки и Командорских островов // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 82–92.
5. Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки // М.: Наука, 1974. 145 с.
6. Ландер А.И., Левина В.И. Методика обработки афтершоков Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. с $M_w=7.6$ // Землетрясения Северной Евразии в 2006 году. Обнинск ГС РАН, 2012. С. 468–472.
7. Ландер А.В., Шевченко Н.А., Матвеев Е.А. Артефакт в Камчатском каталоге землетрясений: исследование и устранение // КРАУНЦ. 2019. Вып.41. № 1. С. 85–90.
8. 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. С. 21–28.
9. Лемзиков В.К., Гусев А.А. Энергетическая классификация близких Камчатских землетрясений по уровню кода-волн // Вулканология и сейсмология. 1989. № 4. С. 83–97.
10. Митюшкина С.В., Раевская А.А., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Чемарев А.С. Программа для автоматизированной обработки макросейсмической информации: возможности и результаты использования. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября–5 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 347–351.
11. Митюшкина С.В., Токарев А.В., Раевская А.А., Чеброва А.Ю. Автоматическая обработка макросейсмической информации по камчатским землетрясениям на базе Интернет-опросника // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 376–380.

12. Ризниченко Ю.В. Методы массового определения координат очагов близких землетрясений и скоростей упругих волн в области расположения очагов // Известия АН СССР. Серия геофизическая. 1958. № 4. С. 425–437.
13. Токарев А.А., Бахтиярова Г.М., Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В. Современный взгляд на устаревшую систему хранения сейсмологических данных КФ ГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 401–405.
14. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд // М.: Наука, 1972. 117 с.
15. Федотов С.А., Кузин И.П., Бобков М.Ф. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961–1962 гг. // Известия АН СССР. Серия геофизическая. 1964. № 9. С. 1360–1375.
16. Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сеньюков С.Л., Дроздин Д.В., Дрознина С.Я. Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962–2010 гг.: технология и методика создания // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. Обнинск: ГС РАН, 2016. С. 396–406.
17. 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. 29 сентября – 5 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 122–126.
18. IASPEI Seismic Format (ISF) Version 2.0. <http://www.isc.ac.uk/standards/isf/download/isf2.pdf>
19. SEED reference manual. Standard for the exchange of earthquake data, SEED format version 2.4. International Federation of Digital Seismograph Networks Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), USGS. 2012. www.fdsn.org/seed_manual/SEEDManual_V2.4.pdf