

## ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ РИОЦ «ПЕТРОПАВЛОВСК» В РАМКАХ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ И СЛУЖБЫ СРОЧНЫХ ДОНЕСЕНИЙ В 2016–2017

*Ототюк Д.А., Помазная Т.В., Скоркина А.А., Дрознин Д.В., Чебров Д.В.  
Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, oppets2@emsd.ru*

### Введение

Службу предупреждения о возможности цунами с момента организации этой службы в г. Петропавловск-Камчатский выполняет сектор «Петропавловск-Цунами» (Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН), совместно с ФГБУ «Камчатское УГМС».

Дежурный персонал сектора «ПЦ» осуществляет регистрацию и обработку землетрясений Камчатки, Дальнего Востока и мира в трех режимах работы, а именно:

- отложенный режим работы (составление бюллетеня опорной станции «Петропавловск» [4]);
- оперативный режим работы, как Служба срочных донесений (ССД);
- оперативный режим работы, как Служба предупреждения о возможности цунами (СПЦ).

Сеть сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке для задач СПЦ по состоянию на 2017 г. состоит из 5 опорных сейсмических станций (ОЦС), 6 вспомогательных сейсмических станций (ВЦС), 16 пунктов регистрации сильных движений (ПР СД), данные которых в режиме реального времени перелаются в три региональных информационно-обрабатывающих центра (РИОЦ) ФИЦ ЕГС РАН «Петропавловск», «Южно-Сахалинск», «Владивосток» [3]. Кроме того, для работы привлекаются станции Камчатской региональной сейсмической сети, Сахалинской региональной сейсмической сети и сети GSN (IRIS, USGS). Общее количество станций, которые могут быть привлечены к обработке по регламентам СПЦ и ССД, насчитывает порядка 70 цифровых приборов в Дальневосточном регионе.

### Организация работы в рамках Службы предупреждения о возможности цунами

В ходе работ по развитию технического оснащения СПЦ был создан эффективный комплексный инструмент: «Обзорная панель оператора». Обзорная панель позволяет операторам дежурной смены отслеживать развитие сейсмического процесса, получать информацию о работе РИОЦ «Южно-Сахалинск», «Владивосток» и других сейсмических агентств, например Службы срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск), оперативных каталогов NEIC USGS и EMSC.

Обзорная панель состоит из (1) дисплеев реального времени (ДРВ); (2) программы автоматической обработки (алгоритм Д.В. Дрознина); (3) программы, отображающей текущую инструментальную интенсивность в пунктах установки приборов сильных движений [2] (алгоритм Д.В. Дрознина); (4) оперативного каталога, объединяющего поступающие решения из NEIC и EMSC; (5) интерактивной рабочей таблицы оператора, в которую сводятся решения каждого из Дальневосточных РИОЦ и других агентств, принимающих участие в обработке текущего события.

Оперативность мониторинга сейсмической активности обеспечивается как визуальным контролем ДРВ операторами дежурной смены, так и средствами автоматической сигнализации, срабатывающей в случае превышения заданного порога амплитуд на одной из станций. При регистрации сильного землетрясения в ближней зоне любой из сейсмических станций, входящих в СПЦ, дежурная смена обязана не позднее двух минут от момента регистрации землетрясения передать в Центр цунами сообщение о происходящем сильном землетрясении. По оптимальному набору сейсмических станций в программе DIMAS [1] производится определение параметров сильного землетрясения (координаты эпицентра, время в очаге, глубина гипоцентра), а также его магнитуда по поверхностным волнам (по опорной станции «Петропавловск»,  $M_S^{PET}$ ) или сетевая  $M_S(20R)$  [6]). Передача сообщения в Центр цунами (ФГБУ «Камчатское УГМС») осуществляется в течение семи (или 10, 20, 30, 40) минут для эпицентральных расстояний (до станции PET) до 200 (или 1000, 2000, 3000 и 4000) км, соответственно.

По действующим регламентам сектор «Петропавловск-цунами» передает по схемам оповещения сообщения о вероятном возникновении цунами (т.е. объявление тревоги цунами), согласно магнитудно-географическому критерию, при подводных землетрясениях с магнитудой  $M_S^{PET} \geq 6.5$  (или  $M_S(20R) \geq 7.0$ ) в радиусе до 1000 км от станции PET.

### Организация работы в рамках Службы срочных донесений

В рамках работы ССД дежурная смена ведет мониторинг сейсмической обстановки:

– в Камчатском крае: оперативная обработка землетрясений с магнитудой  $M_S \geq 4.5$  в радиусе до 1000 км от станции РЕТ, а также землетрясения с магнитудой  $M_S \geq 4.0$  на удалении до 200 км от станции РЕТ.

– в Дальневосточном регионе: землетрясения с магнитудой  $M_S \geq 5.0$  в радиусе до 2200 км от станции РЕТ;

– в Тихоокеанском регионе: сообщения с параметрами землетрясений с магнитудой  $M_S \geq 6.0$  передаются в Центр Цунами; а также

– режим «мониторинг», который включает в себя поступающие решения для землетрясений, не попадающим по магнитудному критерию под регламент ССД (соответственно, без строгого ограничения по времени).

С ноября 2015 г. в оперативном режиме осуществляется рассылка (не позднее, чем через 20 мин от времени начала регистрации землетрясения) бланков определенной инструментальной интенсивности [2], для пунктов с установленными приборами сильных движений, по городу при  $I \geq 1$  и по Камчатскому краю при  $I \geq 3$ .

### Результаты работы в 2016 г. и первом полугодии 2017 г.

За период 01.01.2016–31.12.2016 было подано 276 срочных донесений. Из Таблицы 1 видно, что требованиям Службы срочных донесений соответствует около 8% от общего количества землетрясений, зарегистрированных на станции «Петропавловск» (РЕТ).

В рамках мониторинга сейсмической обстановки по Дальневосточному региону (2200 км от Петропавловска-Камчатского) в 2016 г. обработано 1728 землетрясений. Из них требованиям Службы срочных донесений соответствует 142.

Таблица 1. Количество событий, обработанных по станции РЕТ, за период с 01.01.2016 по 31.12.2016

	Бюллетень станции «Петропавловск»	ССД РИОЦ «Петропавловск»
$\Delta_{РЕТ} < 200$ км:	903	26
$200$ км $< \Delta_{РЕТ} < 2200$ км:	825	116
$\Delta_{РЕТ} > 2200$ км	1931	134
Всего землетрясений	3659	276

В 2016 г. в Дальневосточном регионе (до 2200 км) произошло 9 землетрясений (Таблица 2) с магнитудой по поверхностной волне, по опорной станции, более 6.0 ( $M_S^{РЕТ} > 6.0$ ). В том числе, в зоне ответственности СПЦ (до 1000 км от РЕТ) произошли два события с морскими координатами. Все землетрясения обработаны согласно действующим нормативам (рис. 1–3). Тревога цунами в 2016 г. не объявлялась.

Таблица 2. Землетрясения с  $M_S > 6.0$  за период с 01.01.2016 по 31.12.2016

№	Дата и время	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	$H, \text{ км}$	$M_S^{РЕТ}$	Время обработки	$\Delta_{РЕТ}, ^\circ$
1	2016/01/11 17:08	44.41	141.14	250	6.0	00:12:37	14.3
2	2016/01/14 03:25	41.93	142.89	78	6.7	00:11:02	15.3
3	2016/03/12 18:06	50.85	-172.52	19	6.2	00:14:32	17.8
4	2016/03/20 22:50	54.11	163.17	59	6.0	00:05:12	2.9
5	2016/08/14 11:15	50.37	142.32	24	6.1	00:10:00	10.4
6	2016/08/20 09:01	40.46	143.58	55	6.3	00:13:34	16.2
7	2016/08/20 15:58	40.48	143.60	15	6.1	00:13:01	16.2
8	2016/09/05 22:54	54.43	168.72	72	6.1	00:05:37	6.1
9	2016/11/21 20:59	37.38	141.59	2	6.8	00:15:24	19.6

За период с 01.01.2017 по 31.07.2017 было подано 140 срочных донесений. Из Таблицы 3 видно, что требованиям Службы срочных донесений соответствует около 7% от общего количества землетрясений, зарегистрированных на станции «Петропавловск».

В рамках мониторинга сейсмической обстановки по Дальневосточному региону (2200 км от РЕТ) в 2017 г. обработано 1071 землетрясение. Из них требованиям Службы срочных донесений соответствует 99.

В 2017 г. в Дальневосточном регионе произошло 5 землетрясений (Таблица 4) с магнитудой по поверхностной волне более 6.0 ( $M_S^{PET} > 6.0$ ). Все землетрясения обработаны согласно действующим нормативам (рис. 1–3). В зоне ответственности СПЦ (до 1000 км от РЕТ) произошли три землетрясения, относящиеся по магнитудно-географическому критерию к цунамигенным (№ 1 [5], № 3 и № 5 в Таблице 4). Тревога цунами объявлялась во всех трех случаях.

Таблица 3 Количество событий, обработанных по станции РЕТ, за период с 01.01.2017 по 31.07.2017

	Бюллетень станции «Петропавловск»	ССД РИОЦ «Петропавловск»
$\Delta_{РЕТ} < 200$ км:	425	12
$200 \text{ км} < \Delta_{РЕТ} < 2200$ км:	636	87
$\Delta_{РЕТ} > 2200$ км:	822	41
Всего землетрясений:	1893	140

Таблица 4. Землетрясения с  $M_S > 6.0$  за период с 01.01.2017 по 31.07.2017

№	Дата и время	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	$H, \text{ км}$	$M_S^{PET}$	Время обработки	$\Delta_{РЕТ}, ^\circ$
1	2017/03/29 04:09:20	57.00	163.49	43	6.7	00:04:40	4.9
2	2017/05/08 17:00:47	51.65	-178.96	29	6.5	00:14:17	13.7
3	2017/06/02 22:24:48	54.20	170.24	14	6.7	00:08:48	6.9
4	2017/07/17 11:05:02	54.39	168.94	43	6.3	00:06:34	6.2
5	2017/07/17 23:33:58	53.94	169.89	6	7.6	00:08:34	6.7

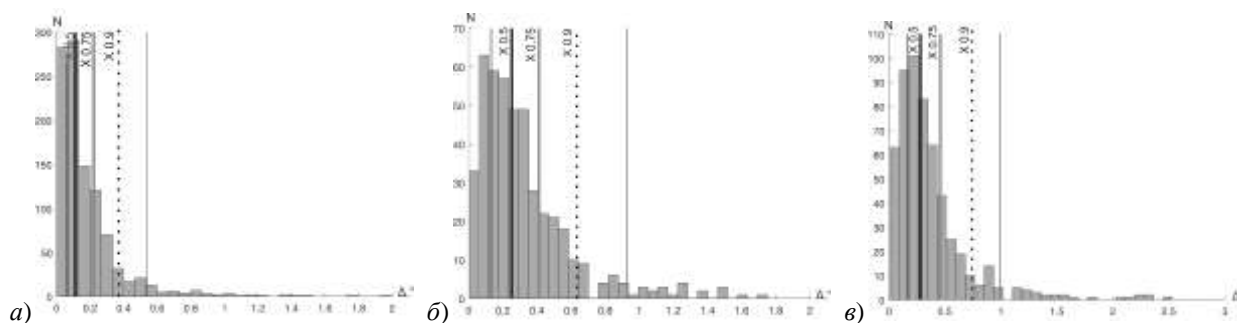


Рис. 1. Гистограммы распределения расхождения в оценках координат эпицентров за период с 01.01.2016 г. по 31.07.2017 г., полученных сектором «Петропавловск-Цунами» в режиме ССД и: (а) итоговым каталогом КФ ФИЦ ЕГС РАН, (б) Службой срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск), (в) NEIC

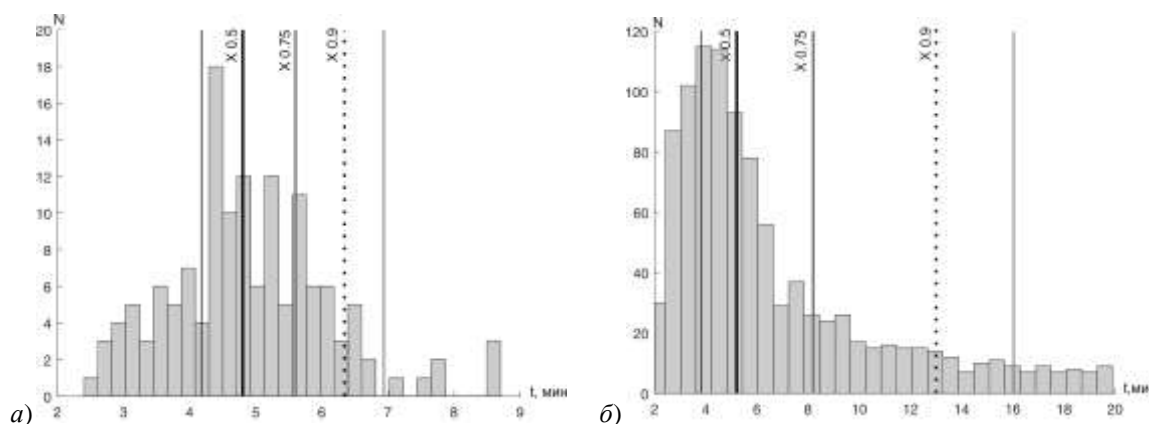


Рис. 2. Гистограммы распределения времени реакции на землетрясения за период с 01.01.2016 г. по 31.07.2017 г. в зоне 200 км от опорных станций СПЦ: (а) в режиме ССД и (б) в режиме «мониторинг»

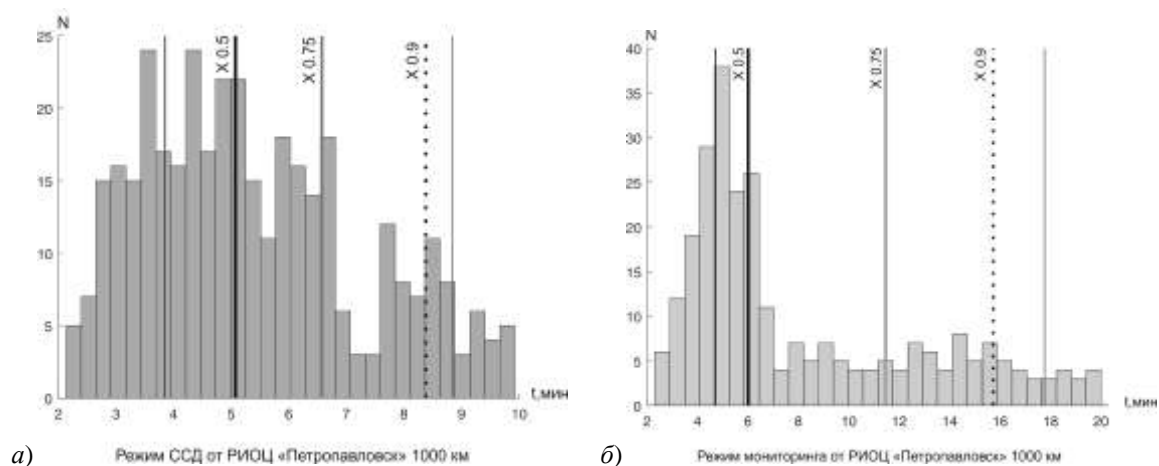


Рис. 3. Гистограммы распределения времени реакции на землетрясения за период с 01.01.2016 г. по 31.07.2017 г. в зоне ответственности СПЦ (до 1000 км): (а) в режиме ССД и (б) в режиме «мониторинг»

Сектор «Петропавловск-цунами» выполняет задачи в рамках ССД и СПЦ круглосуточно и непрерывно в оперативном режиме, что подразумевает жесткие временные рамки. Поэтому следует ожидать, что в таких условиях неизбежны некоторые ошибки в определении параметров землетрясений, в том числе и координат.

Под точностью оценки координат следует понимать расхождение оценок, полученных в оперативном режиме относительно неких «истинных» координат. Поскольку понятие «истинных» координат достаточно условно, для подобного анализа выбирается референсный источник данных, в нашем случае – другое сейсмическое агентство. Для иллюстрации качества оценки координат землетрясений в оперативном режиме, в качестве референсных данных были выбраны оценки итогового каталога КФ ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1а), Службы срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1б) и NEIC (рис. 1в). Видно, что 90% расхождений не превышают 40 км.

В Таблице 5 (и на рис. 3) сведены параметры распределений  $\Delta T$  для зоны ответственности СПЦ (до 1000 км от РЕТ). Медианное значение для этой зоны составляет 5.02 мин; 75% событий обработаны за время менее 7 минут; 90% событий обработаны за время менее 10 минут.

Таблица 5. Параметры распределения времени реакции РИОЦ «Петропавловск» в режиме ССД в зоне до 1000 км от станции «Петропавловск» ( $T^{1000\text{км}}$ ) за период с 01.01.2016 г. по 31.07.2017 г.

	$T^{1000\text{км}}$ , МИН
$X_{0.5}$	5.02
$X_{0.75}$	6.5
$X_{0.90}$	8.3

### Список литературы

1. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.
2. Дрознин Д.В., Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Ототюк Д.А. Автоматизированная оценка интенсивности сейсмических сотрясений по инструментальным данным в режиме квазиреального времени и ее использование в рамках Службы срочных сейсмических донесений на Камчатке // Сейсмические приборы. 2017. Т. 53. № 3. С. 5–19.
3. Чебров В.Н., Гусев А.А., Гусяков В.К., Мишаткин В.Н., Поплавский А.А. Концепция развития системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45. № 4. С. 41–57.
4. Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Захарченко Н.З. и др. Опорная сейсмическая станция «Петропавловск» для службы предупреждения о цунами // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 1. С. 5–15.
5. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В. и др. Южно-Озерновское землетрясение 29.03.2017 г. с  $M_w = 6.6$ ,  $KS = 15.0$ ,  $I = 6$  (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 3. Вып. № 35. С. 7–21.
6. Чубарова О.С., Гусев А.А., Ототюк Д.А., Скоркина А.А. Региональные шкалы магнитуд по поверхностным волнам и их возможности для предупреждения о цунами // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Шестой научно-технической конференции.