

УДК 551.466.62

## О ЦУНАМИОПАСНОСТИ ЯПОНОМОРСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Д.Е. Золотухин<sup>1</sup>, Т.Н. Ивельская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук;

<sup>2</sup>Центр цунами, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

DimZol@rambler.ru, t\_ivelskaya@sakhugms.ru

### **Аннотация**

Используя численное моделирование цунами, мы рассмотрели зависимость цунамиопасности подводных землетрясений в Японском море от магнитуды и глубины гипоцентра. Полученные данные крайне востребованы в работе сахалинского Центра цунами. Они могут быть использованы для детализации магнитудно-географического критерия цунамиопасности с целью сокращения числа как ложных тревог, так и пропусков цунами на Дальнем Востоке России.

**Ключевые слова:** землетрясение, цунами, цунамиопасность, магнитуда, гипоцентр, тревога цунами, магнитудно-географический критерий цунамиопасности, Японское море, Дальний Восток России, сахалинский Центр цунами.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Основным рабочим методом, применяемым Сахалинской Службой предупреждения о цунами (СПЦ) при принятии решения об объявлении тревоги цунами на Дальнем Востоке России, является сейсмический. Он основан на регистрации сейсмических волн, опережающих цунами. Возможность возникновения цунами в результате землетрясения оценивается по магнитудно-географическому критерию. Землетрясение считается цунамиопасным, если его эпицентр попадает в цунамигенную зону, а интенсивность превышает заданное пороговое значение магнитуды. Так, для землетрясений в Японском море пороговое значение магнитуды

составляет 7,0. По сути, принципы функционирования остались неизменными с момента организации службы [1, 2].

Эффективность данного магнитудно-географического критерия для акватории Японского моря можно оценить с помощью анализа исторические сведения о проявлении цунами в Приморье и на побережье Татарского пролива.

### **ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЯВЛЕНИИ ЦУНАМИ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ**

Основная цунамигенная зона Дальнего Востока России, в которой расположены очаги большинства цунами, совпадает с западным склоном Курило-Камчатского желоба. В окраинных морях Тихого океана, омывающих дальневосточные берега России, цунами возникают реже. Наиболее опасно в этом отношении Японское море. Цунамигенная зона Японского моря проходит вдоль восточного побережья Кореи, западного побережья Японии и юго-западного побережья острова Сахалин, в ней сосредоточены все известные очаги цунами.

Первые сведения о цунами в Татарском проливе относятся к 29 сентября 1878 года. Максимальная высота подъема воды оценивается в 2–5 м (источник цунами неоднозначен). Последние значительные цунами, которые наблюдались на побережье Татарского пролива, произошли 5 сентября 1971 года и 2 августа 2007 года. Масштаб проявлений последнего цунами оказался значительно выше ожидавшегося от землетрясения с магнитудой 6,2 [3]. На побережье Приморского края наблюдалось 5 цунами, особенно катастрофические последствия были в 1940, 1983 и 1993 годах [4, 5]. Основные данные о проявлении сильнейших цунами в Японском море в XX–XXI веках (начиная с 1939 года) представлены в таблице 1. Географическое положение эпицентров сильнейших цунамигенных землетрясений в Японском море показано на рис. 1. Данные по цунами взяты из [3–8].

Следует отметить, что эпицентры цунамигенных землетрясений 16.06.1964 с магнитудой  $M=7,5$ , и 01.05.1939 с магнитудой  $M=7,0$ , не вызвавших опасные (с заплеском, превышающим 1 м) цунами на япономорском побережье Дальнего Востока России, находились западнее острова Хонсю. Очаги же опасных цунами 05.09.1971 и 02.08.2007 с магнитудой  $M<7$  находились в южной части Татарского пролива.

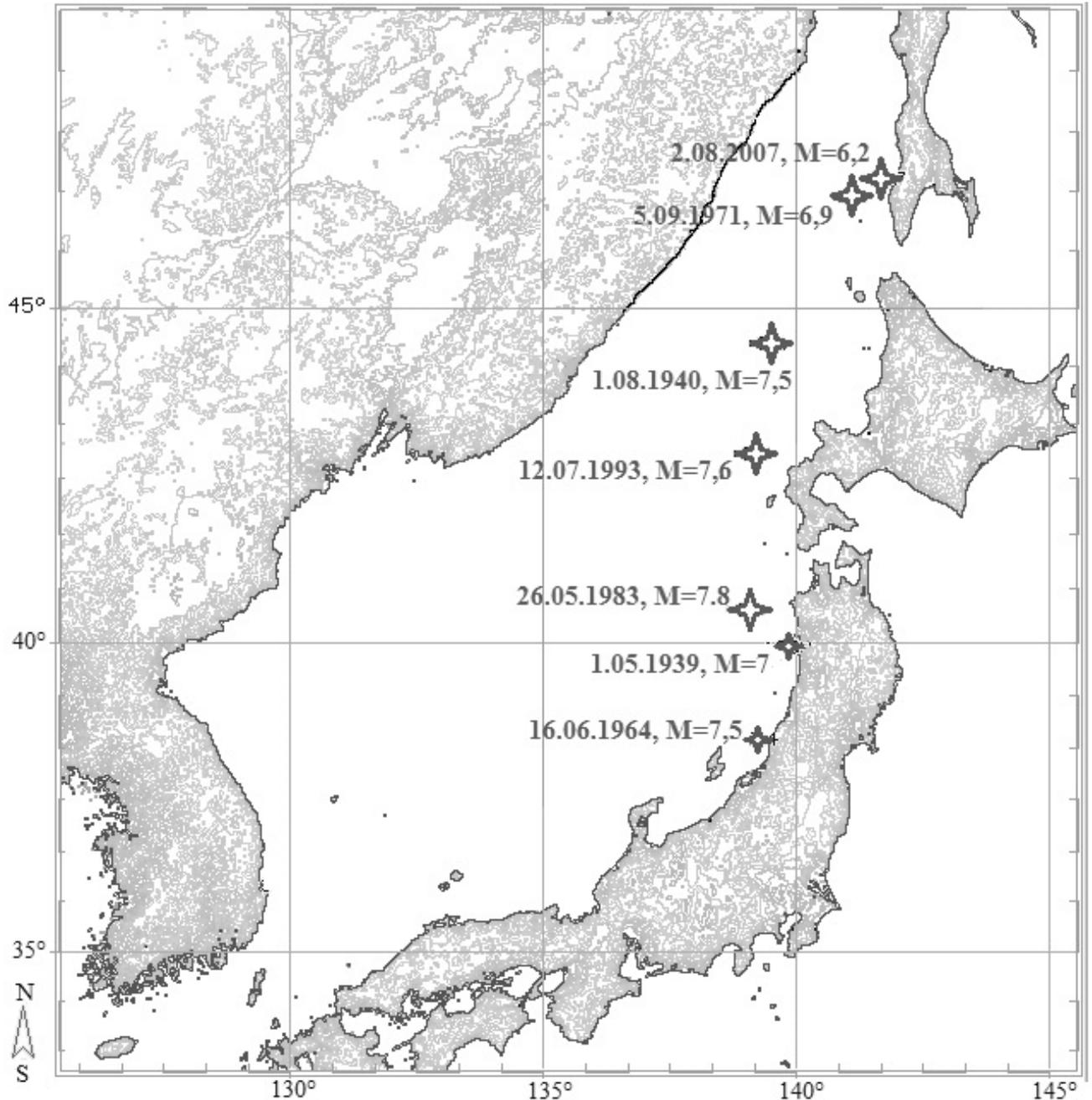


Рис. 1. Эпицентры цунамигенных землетрясений в Японском море в XX–XXI веках

Следует также отметить, что землетрясение 05.09.1971 с магнитудой  $M=6,9$  вызвало на побережье острова Сахалин цунами с заплеском 2,05 м. В то же время землетрясение 02.08.2007 с магнитудой  $M=6,2$  вызвало на побережье острова Сахалин более сильное (с заплеском 3,2 м) цунами. Это объясняется большей глубиной гипоцентра землетрясения 1971 года (17 км против 10,6 км).

Таблица 1. Сильнейшие цунами на Дальнем Востоке России в XX–XXI веках

Дата	Широта	Долгота	глубина гипоцентра, км.	Магнитуда	Заплеск, м
01.05.1939	39,90° N	139,88° E	22	7	0,3/-
01.08.1940	44,47° N	139,52° E	35	7,5	3,5/3,5
16.06.1964	38,44° N	139,23° E	11	7,5	5,8/0,6
05.09.1971	46,56° N	141,19° E	17	6,9	2,05/2,05
26.05.1983	40,46° N	139,09° E	23	7,8	14,5/5,0
12.07.1993	42,85° N	139,20° E	16	7,6	32/4,43
02.08.2007	46,83° N	141,75° E	10,6	6,2	3,2/3,2

В последнем столбце в числителе – максимальный заплеск цунами, в знаменателе – максимальный заплеск на российском побережье Японского моря.

Данные примеры показывают, что цунамиопасность подводного землетрясения в Японском море зависит не только от его магнитуды, но и от географических координат и глубины очага. Это говорит о том, что данные о глубине очага и географических координатах цунамигенного землетрясения должны учитываться Сахалинской СПЦ при принятии решения об объявлении тревоги цунами для защищаемого побережья Японского моря.

### ПАРАМЕТРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С целью выявления зависимости цунамиопасности землетрясения в Японском море от географических координат и глубины очага была выполнена серия вычислительных экспериментов, моделирующих цунами в данном регионе. При численном моделировании был использован «макросейсмический» источник цунами [1, 8]. В этой модели реальный источник замещается начальным возвышением уровня в виде половинки эллипсоида, проектирующегося на зону максимальных сотрясений при землетрясении, а его параметры определяются параметрами макросейсмического очага.

Всего использовались восемь модельных источников, размещенных в сейсмоактивных зонах Японского моря. Координаты источников №№ 1, 2, 4 были выбраны, исходя из [2], остальных источников – на основе данных об исторических цунами (включая слабые), приведенных в [7].

Основные параметры модельных источников цунами представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры модельных источников цунами

№	Широта эпицентра	Долгота эпицентра	Азимут направления большой оси
1	49,30° N	141,70° E	0
2	46,37° N	141,23° E	158
3	44,50° N	139,50° E	0
4	43,00° N	139,30° E	0
5	40,00° N	139,08° E	0
6	37,50° N	137,92° E	55
7	35,83° N	135,00° E	90
8	35,00° N	131,75° E	50

Для каждого из восьми модельных источников цунами были проведены четыре серии вычислительных экспериментов. На основе статистического анализа распределения фокальных глубин цунамигенных землетрясений, выполненного А.А. Поплавским [9], для численного моделирования были выбраны глубины гипоцентров 10, 20, 40 и 60 км. Для глубины очага цунамигенного землетрясения 10 км брались магнитуды 6,5, 6,7, 7,0, 7,2 и 7,5. Для глубин очага 20, 40 и 60 км брались магнитуды 7,0, 7,2, 7,5, 7,7, 8,0, 8,2, 8,5. Таким образом, для каждого из восьми модельных очагов цунами было выполнено 26 вычислительных экспериментов.

Для каждой серии вычислительных экспериментов (для модельного очага с определенными координатами и глубиной гипоцентра) определялась пороговая магнитуда цунамигенного землетрясения. Под пороговой магнитудой здесь понимается магнитуда в модельном очаге цунамигенного землетрясения, при которой на российском побережье Японского моря в процессе моделирования наблюдается интенсивное (с заплеском 1 м или более) цунами, потенциально представляющее угрозу для населения Дальнего Востока России. Высоты заплесков рассчитывались для 22 точек российского побережья Японского моря: Невельск, Холмск, мыс Крильон, Ильинский, Углегорск, Пильво, Александровск-Сахалинский, Гроссевичи, Советская Гавань, Де-Кастри, Ольга, Рудная Пристань, Преображение, Терней, Малая Кема, Находка, Сосуново, Гамов, мыс Золотой, Большой Камень, Владивосток, Посыет.

Модельные источники цунами и расчетные точки российского побережья Японского моря, для которых рассчитывались заплески волн цунами, показаны на рис. 2.

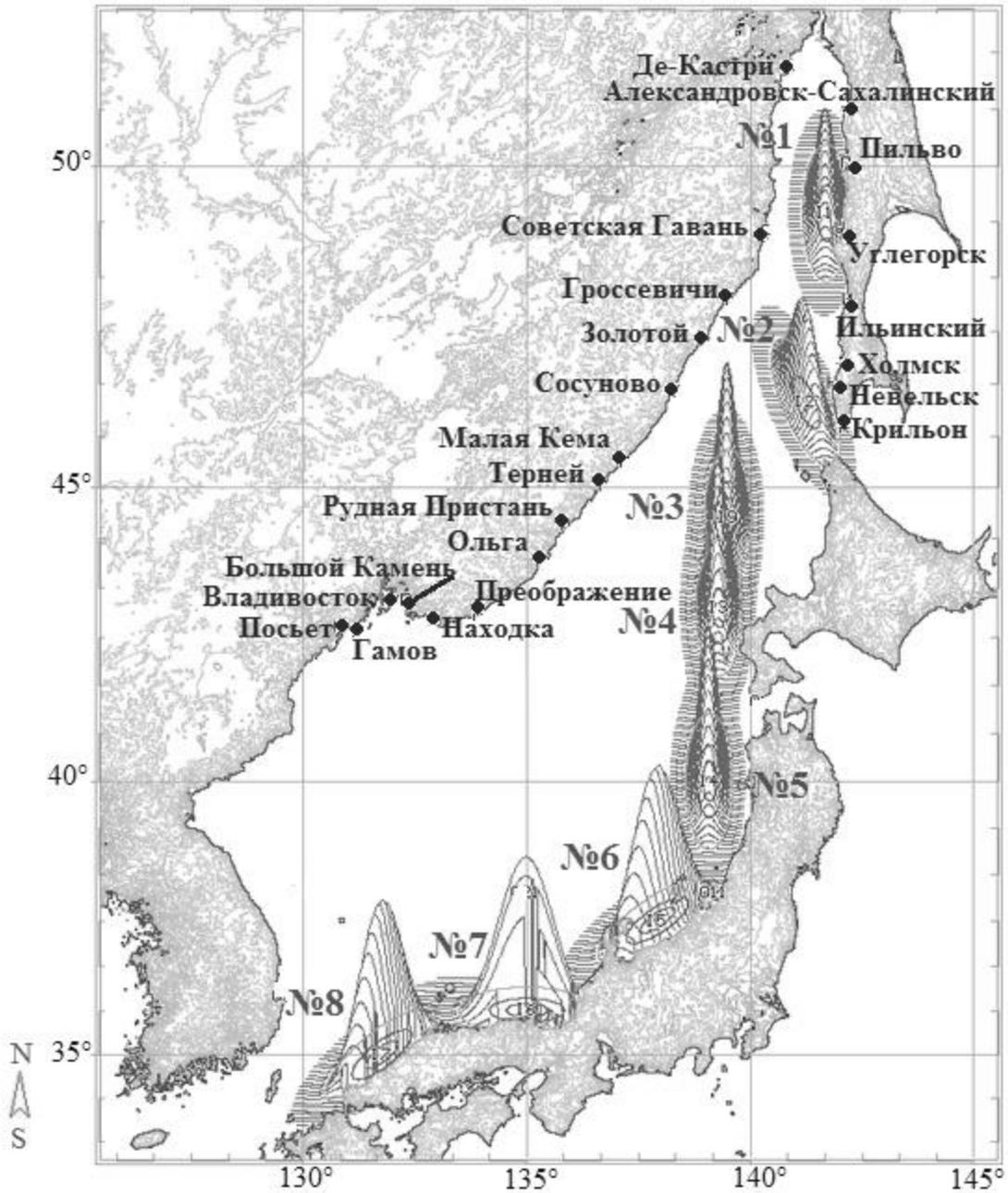


Рис. 2. Модельные источники цунами и расчетные точки побережья Японского моря

## РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты вычислительных экспериментов представлены в таблице 3. Результаты численного моделирования цунами в Японском море показывают, что с увеличением глубины модельного очага от 10 до 60 км мы наблюдаем рост пороговых магнитуд от 7,2 и ниже до 8 и выше, в зависимости от географических координат модельного очага.

Таблица 3. Пороговые магнитуды для различных глубин модельных очагов

№ очага	Глубины модельных очагов, км			
	10	20	40	60
1	6,7	7,2	8,0	8,5
2	6,7	7,5	8,0	8,5
3	6,7	7,2	7,7	8,2
4	6,7	7,2	7,7	8,0
5	7,0	7,5	8,0	8,2
6	7,0	7,5	8,2	8,5
7	7,0	7,7	8,0	8,5
8	7,2	7,7	8,2	8,5

Детальный анализ результатов вычислительных экспериментов позволили сделать следующие выводы.

Для глубины очага 10 км пороговая магнитуда для Татарского пролива и акватории Японского моря западнее Хоккайдо составляет 6,7, что говорит о значительной цунамиопасности акватории Татарского пролива (где, согласно расчетам А.А. Поплавского [9], мелкофокусные землетрясения наиболее вероятны).

Для глубины очага 20 км пороговая магнитуда для всей акватории Японского моря превышает 7, что говорит об адекватности принятой в настоящее время в Службе предупреждения о цунами пороговой магнитуды 7 для большей части акватории Японского моря.

Для глубин очага 40 и 60 км пороговая магнитуда для всей акватории Японского моря в первом случае превышает 7,5, а во втором случае  $\geq 8$ . Это говорит о необходимости учитывать глубину очага землетрясения при принятии решения об объявлении тревоги цунами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных наблюдений и результатов численного моделирования цунами показал, что цунамиопасность подводных землетрясений в Японском море зависит от географических координат и глубины гипоцентра цунамигенного землетрясения. Поэтому при принятии решения об объявлении тревоги цунами для защищаемого побережья указанного района Сахалинской СПЦ необходимо учитывать географические координаты и глубину очага цунамигенного землетрясения. Иначе говоря, магнитудно-географический критерий цунамиопасности, в настоящее время составляющий 7 для всей акватории Японского моря, нуждается в детализации.

На основании результатов выполненных вычислительных экспериментов могут быть приняты решения о детализации магнитудно-географического критерия цунамиопасности. Это повысит эффективность Сахалинской СПЦ как за счет сокращения числа ложных тревог, так и за счет снижения риска фатального пропуска цунами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непоп К.И., Королев Ю.П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск, 1997. 273 с.
2. Поплавский А.А., Храмушин В.Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. Владивосток: Дальнаука, 2008. 176 с.
3. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин / Под ред. Левина Б.В., Тихонова И.Н. Москва: Янус-К, 2009. 204 с.
4. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968). М.: Наука, 1974. 309 с.
5. Заякин Ю.Я. Цунами на Дальнем Востоке России. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. 88 с.
6. Лаборатория цунами. Институт вычислительной математики и математической геофизики. Каталоги Online. [http://tsun.sccc.ru/tsulab/On\\_line\\_Cat\\_r.htm](http://tsun.sccc.ru/tsulab/On_line_Cat_r.htm) (дата обращения: 30.11.2016).

7. NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database. [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml) (дата обращения: 30.11.2016).

8. Поплавский А.А., Золотухин Д.Е., Храмушин В.Н. Макросейсмическая модель источника цунами и оценка ее эффективности при численном моделировании // Вулканология и сейсмология. Январь–февраль 2012. № 1. С. 65–72.

9. Поплавский А.А., Бобков А.О. О распределении дальневосточных землетрясений по глубине и магнитуде // Материалы международного научного симпозиума «Строение, геодинамика и металлогения охотского региона и прилегающих частей северо-западной тихоокеанской плиты», Южно-Сахалинск, Россия, 24 – 28 сентября 2002 г. Южно-Сахалинск, 2002, С. 64–88.

---

## ABOUT TSUNAMI RISK OF EARTHQUAKES IN JAPAN SEA

D.E. Zolotukhin<sup>1</sup>, T.N. Ivelskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Marine Geology & Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences;*

<sup>2</sup>*Sakhalin Tsunami Warning Center, Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring*

DimZol@rambler.ru, t\_ivelskaya@sakhugms.ru

### **Abstract**

In the present work we, using numerical modeling of a tsunami, have examined the dependence of the tsunami underwater earthquake in the Sea of Japan from the geographical coordinates and focal depth. The data obtained in high demand in the practice of the Sakhalin Tsunami Center. They can be used for specification of magnitude and geographical criterion of tsunami risk, for the purpose of reduction of number both false alarms, and passes the tsunami in the Far East of Russia.

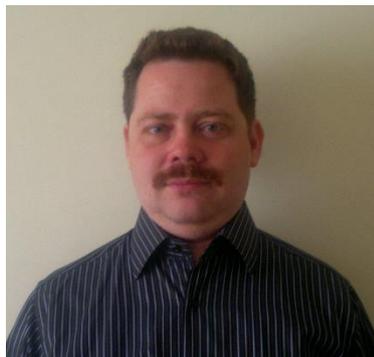
**Keywords:** *earthquake, tsunami, tsunami risk, magnitude, hypocenter, alarm of a tsunami, magnitude and geographical criterion of tsunami risk, Sea of Japan, Far East of Russia, Sakhalin Tsunami Center.*

---

## REFERENCES

1. *Poplavsky A. A., Hramushin V. N., Nepop K.I., Korolev Yu. P.* The operational forecast of a tsunami on sea coast of the Far East of Russia. Yuzhno-Sakhalinsk, 1997. 273 p.
2. *Poplavsky A. A., Hramushin V. N.* Methods of the operational forecast of a tsunami and storm floods. Vladivostok: Dalnauka, 2008. 176 p.
3. The august 2, 2007 Nevelsk earthquake and a tsunami, Sakhalin Island. Levin B.V., Tikhonov I.N. et al. Moscow: Janus-K, 2009. 204 p.
4. *Solov'ev S.L., Guo Ch. N.* The catalog of a tsunami on the western coast of the Pacific Ocean (173-1968). Moscow: Nauka, 1974. 309 p.
5. *Zayakin Yu.Ya.* A tsunami in the Far East of Russia. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat, 1996. 88 p.
6. Laboratory of a tsunami. Institute of calculus mathematics and mathematical geophysics. On-line catalogs. [http://tsun.sccc.ru/tsulab/On\\_line\\_Cat\\_r.htm](http://tsun.sccc.ru/tsulab/On_line_Cat_r.htm) (date of the application: 30.11.2016).
7. NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database. [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml) (date of the application: 30.11.2016).
8. *Poplavsky A.A., Zolotukhin D.E., Hramushin V.N.* Macroseismic model of a source of a tsunami and assessment of its efficiency in case of numerical modeling. *Volcanology and seismology*. January–February, 2012. No 1. P. 65–72.
9. *Poplavsky A.A., Bobkov A.O.* *About distribution of the Far East earthquakes on depth and magnitude*. Proceedings of the international scientific symposium "A structure, geodynamics and the metalgenius of the Okhotsk region and adjacent parts of a northwest Pacific plate", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, September 24–28, 2002. Yuzhno-Sakhalinsk: 2002, P. 64–88.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**ЗОЛОТУХИН Дмитрий Евгеньевич** – старший научный сотрудник лаборатории цунами Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук.

**ZOLOTUKHIN Dmitry Evgenyevich** – senior research associate of laboratory of a tsunami of Institute of Sea Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

email: DimZol@rambler.ru



**ИВЕЛЬСКАЯ Татьяна Николаевна** – начальник Центра цунами ФГБУ «Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

**IVELSKAYA Tat'jana Nikolaevna** – chief of Sakhalin Tsunami Warning Center, Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

email: t\_ivel'skaya@sakhugms.ru

*Материал поступил в редакцию 28 декабря 2016 года*