

## НОВАЯ КАРТА ЦУНАМИОПАСНОСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

*Шевченко Г.В., Лоскутов А.В., Кайстренко В.М.*

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, g.shevchenko@imgg.ru*

### **Введение**

Природные катастрофы, прежде всего землетрясения и сопутствующие им волны цунами, являются существенным сдерживающим фактором развития экономики Курильских островов. Помимо связанных с ними разрушений и удорожания строительства, реальная угроза жизни и здоровью приводит к оттоку населения. Так, после Шикотанского землетрясения и цунами 4–5 октября 1994 г. остров покинуло около 2/3 населения, что нанесло гораздо больший ущерб его экономике, чем масштабные разрушения. Надежные оценки риска опасных природных явлений и их разумный учет при строительстве входят в число необходимых мер, которые, с одной стороны, должны минимизировать прямой ущерб от воздействия стихии, а с другой – сформировать у проживающего на островах населения чувство безопасности и защищенности.

Количественные оценки опасности цунами (возможных высот цунами редкой повторяемости, наиболее значимых на практике, возникающих 1 раз в 100 лет) необходимы для выработки оптимальных планов застройки прибрежных территорий на Дальнем Востоке России и обеспечения безопасного проектирования объектов, которые, в силу их специфики, нельзя вынести из опасной зоны. В Сахалинской области наибольшую угрозу волны цунами представляют для населенных пунктов на тихоокеанском побережье Курильских островов.

Разработанная в ИМГиГ ДВО РАН методика опирается на сведения о высотах волн исторических цунами в отдельных пунктах изучаемого побережья и построение региональной модели цунами-активности. Для построения пространственного распределения высот волн вдоль побережья (карты цунамирайонирования) моделируются все значимые события, имевшие место в регионе. Пункты, в которых имеются сведения о заплесках, используются для настройки модели. При таком подходе карты цунамирайонирования необходимо регулярно обновлять, именно этому посвящена данная работа (с момента создания прежней версии карты прошло 10 лет). Также использованы элементы сценарного подхода, основанные на расчете магнитуд землетрясений редкой повторяемости и моделировании гипотетических цунами.

### **Повторяемость сильных землетрясений и цунами на Южных Курильских островах**

Методика построения карт цунамиопасности основана на построении региональной функции повторяемости высот цунами, параметры которой определяются по информации о заплесках исторических цунами [1]. Обычно такая информация известна для населенных пунктов, а также мест, где проводились специальные экспедиционные обследования участков побережья, подвергшихся наибольшему воздействию цунами.

По повторяемости сильных, в том числе цунамигенных землетрясений материковый склон у Южных Курильских островов относится к числу самых сейсмоактивных районов в мире. По этой причине изучению цунами и мерам по снижению ущерба от них в данном районе, среди которых важное место занимает количественная оценка цунамиопасности, уделяется большое внимание. В известном каталоге [4] и других информационных источниках по цунами [5] отмечено, что всего в районе Южных Курильских островов за последние 100 лет произошло около 20 таких событий (средняя повторяемость цунами в регионе составляет 0.17 случаев в год). Наиболее значительными из них были цунами 8.09.1918 г., 6.11.1958 г., 13.10.1963 г., 11.08.1969 г., 10.06.1975 г. и 5.10.1994 г. Из удаленных событий серьезную опасность представляли Чилийское (22.05.1960 г.) и Тохоку (11.03.2011 г.) цунами. Эти сильнейшие события определяют степень цунамиопасности побережья и параметры функции повторяемости (модели цунами-режима) [1].

Поскольку пунктов с надежными данными о проявлениях цунами немного, полученные для них оценки возможных высот распространялись на прилегающие участки побережья на основе результатов моделирования всех сильнейших цунами в каждом из изучаемых районов.

Относительно характера проявления цунами 8.09.1918 г. на побережье Южных Курильских островов имеется весьма скудная информация, поэтому в данной работе это событие не анализировалось. По остальным событиям рассматривались характеристики и особенности механизмов вызвавших их землетрясений [2, 3], а также параметры, необходимые для построения

модели источника, приведенные в работах японских специалистов [6–10]. Пример моделирования наиболее опасного цунами 5 октября 1994 г. приведен на рис. 1.

Основная энергия цунами была ориентирована в сторону открытого океана, в районе о. Шикотан наблюдалось опускание. Однако значительные высоты наблюдались и на побережье Южных Курильских островов. Так, в Южно-Курильске, в районе устья реки Серебрянка максимальные заплески достигали 3.5–4 м. Еще большие значения, превышавшие 4 м, были отмечены в кутовой части бухты Крабовая на о. Шикотан, где находится село Крабовозовское. В бухте Малокурильская высоты волн были несколько меньше, максимальные заплески составляли 2.4–2.6 м.

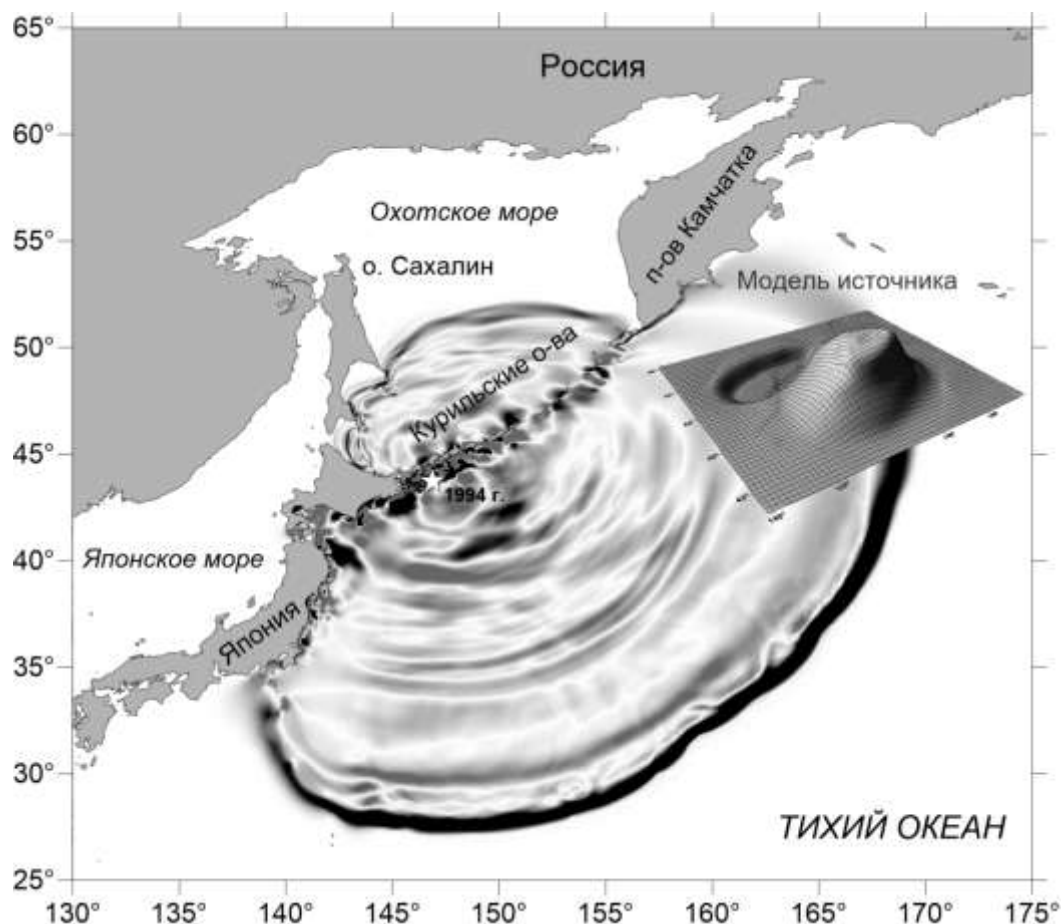


Рис. 1. Моделирование распространения Шикотанского цунами 5 октября 1994 г. На врезке показано остаточное смещение дна в зоне подводного землетрясения (модель источника цунами) согласно [9]

На рис. 2 в качестве другого примера представлены результаты расчета высот волн Тохоку цунами на побережье островов Шикотан, Кунашир и Итуруп. Расчет производился с применением модификации известного программного комплекса TSUNAMI, использовался цифровой массив глубин ЕТОРО с шагом 15 угловых секунд. Расчет производился по линейной модели до точек с глубиной от 10 до 20 м, далее использовалось аналитическое решение задачи нелинейного наката в предположении, что от этих точек до берега рельеф изменяется по линейному закону. Это позволяет более адекватно оценить высоты заплесков на берегу по результатам численного моделирования.

От опорных точек, в которых известны высоты исторических цунами, рассчитывались передаточные коэффициенты на прилегающие участки побережья, в которых такие сведения отсутствовали. Аналогичные расчеты выполнялись и для других шести упомянутых выше сильных цунами. Такой подход позволяет построить карту – пространственное распределение высот цунами повторяемостью 1 раз в 100 лет вдоль побережья Южных Курильских островов.

Альтернативный сценарный подход заключается в прогнозе магнитуд землетрясений заданных периодов повторяемости и моделировании ряда вариантов от гипотетических источников. Важной особенностью сейсмического режима изучаемого района является характер распределения магнитуд в области малых вероятностей, близкий к третьему типу статистики экстремальных

значений. Так, три землетрясения имели магнитуду  $MLH$  8.2, одно – 8.1, два – 8.0, то есть наблюдалось выполаживание эмпирической функции повторяемости в области малых вероятностей. Прогностическое значение магнитуды для периода повторяемости 1 раз в 100 лет составило 8.25. Незначительное различие между фактическими и прогностическими значениями магнитуды говорит о том, что сценарный подход, основанный на моделировании цунами при землетрясении с магнитудой заданной повторяемости и некоторой типовой формой источника, вряд ли может дать высоты волн, существенно отличающиеся от полученных статистическим методом. Согласно [3], сильные цунамигенные землетрясения в изучаемом районе имели сходный механизм (взброс), за исключением события 10.06.1975 г. (сдвиг). Возможно, этой особенностью источника было то обстоятельство, что землетрясение с магнитудой  $MLH = 7.1$  вызвало цунами, интенсивность которого была существенно выше ожидаемой, практически такой же, как при самых сильных землетрясениях. Ориентация очага задавалась вдоль изобат, поэтому выбор вариантов для поиска «наихудшего сценария» заключался лишь в вариациях положения эпицентра землетрясения вдоль берега.

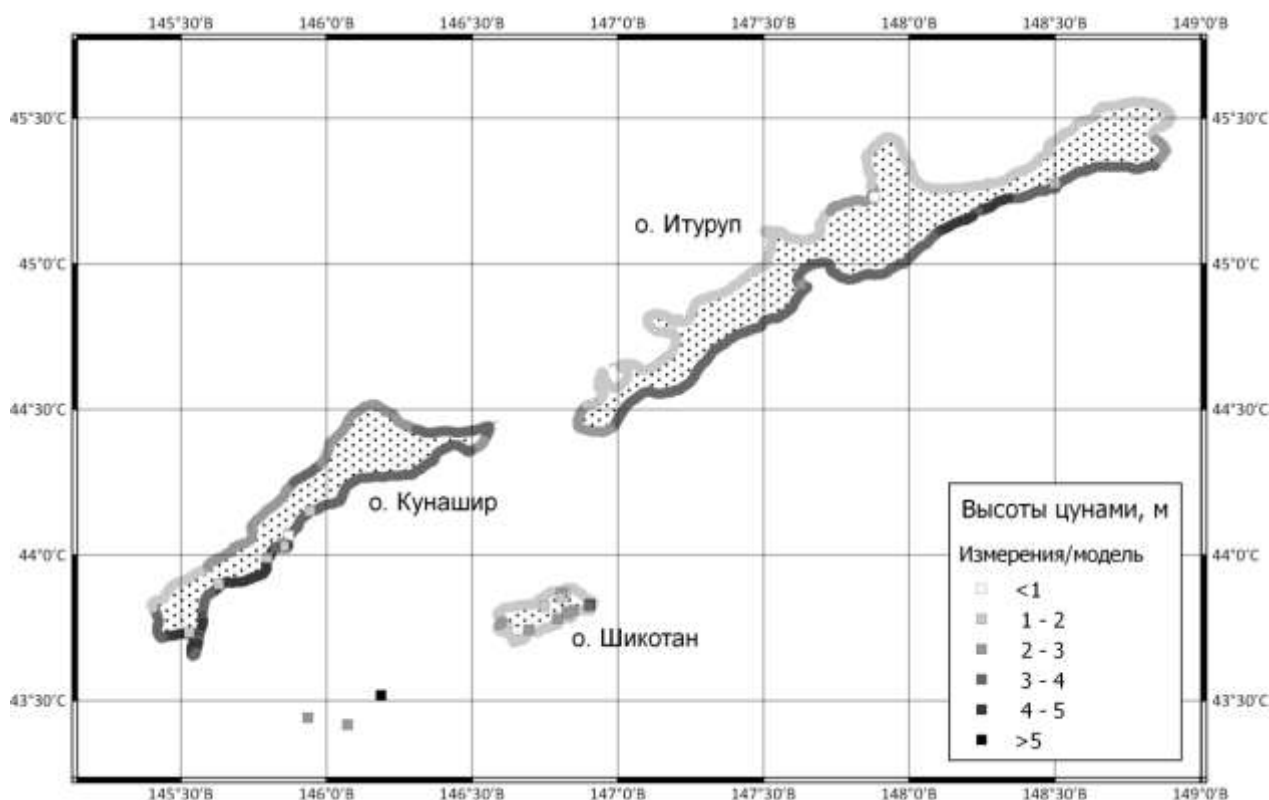


Рис. 2. Распределение высот волн вдоль побережья Южных Курильских островов при Тохоку цунами 11.03.2011 г. по результатам численного моделирования. Квадратиками отмечены в точки, в которых имелись данные о высотах заплесков по результатам экспедиционного обследования

### Заключение

На основе анализа собранных сведений о высотах заплесков исторических цунами на побережье Южных Курильских островов, построена вероятностная модель повторяемости цунами в регионе. Путем моделирования всех значительных цунами, построены новые карты цунамиопасности (высот волн повторяемостью 1 раз в 100 лет), которые необходимы для оптимального выбора места для размещения объектов в прибрежной зоне и выбора необходимых мер их защиты на этапе проектирования. По сравнению с прежними картами [1], в анализ включены значимые цунами последнего десятилетия, в том числе Чилийское 27.02.2010 г. и Тохоку 11.03.2011 г., при которых для населения Южных Курильских островов объявлялась тревога цунами. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетами в рамках сценарного подхода, полученными для источника типовой формы, соответствующего магнитуде повторяемостью 1 раз в 100 лет ( $M = 8.25$ ). Дана характеристика распределения высот волн вдоль побережья по результатам моделирования наиболее опасных цунами в указанном районе, включая самое тяжелое по своим последствиям Шикотанское цунами 05.10.1994 г.

Работа выполнена по заказу Министерства строительства Сахалинской области (госконтракт № 0361200015017000053).

### Список литературы

1. *Кайстренко В.М., Клячко М.А., Храмушин В.Н., Золотухин Д.Е.* Оценка цунамиопасности и построение карт цунамирайонирования для побережья Сахалинской области. Проблема нормативов // Строительная индустрия Сахалина. Южно-Сахалинск. 2014. № 19. С. 38–43.
2. *Ким Ч.У., Андреева М.Ю.* Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737–2005 гг.) // Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009. 126 с.
3. *Поплавская Л.Н., Рудик М.И., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А.* Каталог механизмов очагов сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений Курило-Охотского региона 1964–2009 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011. 131 с.
4. *Соловьев С.Л., Го Ч.Н.* Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 310 с.
5. *Шевченко Г.В., Кайстренко В.М., Ивельская Т.Н.* Цунами на Курильских островах. Особенности проявления и меры по снижению риска (памяти жертв трагедии 5 ноября 1952 г. посвящается). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2012. 44 с.
6. *Fukao Y., Furumoto M.* Stress drops, wave spectra and recurrence intervals of great earthquakes — implications of the Etorofu earthquake of 1958 November 6 // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1979. V. 57. P. 23–40.
7. *Ioki K., Tanioka Y.* Slip distribution of the 1963 Great Kurile Earthquake estimated from tsunami waveforms // *Pure and Applied Geophysics*. 2011. V. 168. P. 1045–1052.
8. *Ioki K., Tanioka Y.* Rupture process of the 1969 and 1975 Kurile earthquakes estimated from tsunami waveform // *Pure and Applied Geophysics*. 2016. V. 173. P. 4179–4187.
9. *Kikuchi M., Kanomori H.* The Shikotan earthquake of October 4, 1994: Lithospheric earthquake // *Geophysical Research Letters*. 1995. V. 22. № 9. P. 1025–1028.
10. *Satake K., Tanioka Y.* Sources of tsunami and tsunamigenic earthquakes in subduction zones // *Pure and Applied Geophysics*. 1999. V. 154. P. 467–483.