

УДК 551.466

СОЗДАНИЕ КАРТЫ ОБЩЕГО ЦУНАМИРАЙОНИРОВАНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ: ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.К. Гусяков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Россия
gvk@sscc.ru

В 2012 году завершилась работа над очередным вариантом карт общего сейсмического районирования (ОСР-2012) территории России [6]. Итоговый комплект карт показывает, что на всех периодах повторяемости наибольший уровень сейсмической опасности на территории РФ существует в Дальневосточном регионе, в котором в силу его сеймотектонических особенностей большинство землетрясений являются подводными. К сожалению, при выполнении проекта ОСР-2012 опасность цунами не была принята во внимание, хотя в техническом задании на проект упоминаются такие вторичные опасности землетрясений как оползни и снежные лавины. При сильных подводных землетрясениях волны цунами, однако, являются одним из основных поражающих факторов и ответственны за значительную долю жертв и материального ущерба. Это с особой очевидностью было продемонстрировано разрушительными цунами последнего десятилетия в Индонезии в 2004 году и в Японии в 2011 году.

Очевидно, что такое положение должно быть срочно исправлено путем создания обзорной карты цунамиопасности морских побережий России, которая картировала бы уровень цунамиопасности побережья РФ. Наличие такой карты позволит количественно сравнивать уровни цунамиопасности различных побережий, она также будет служить основой для создания карт детального цунамирайонирования отдельных береговых пунктов. Такие карты должны служить основой для регулирования строительства в цунамиопасной зоне. В настоящее время единственным нормативным документом является Постановление Совета Министров РСФСР № 19 от 08.01.1964 г., которое запрещает строительное освоение цунамиопасных районов. Однако такое освоение интенсивно проводится во многих потенциально цунамиопасных районах, в частности, при промышленной разработке шельфовых месторождений нефти и газа на Сахалине, а также при строительстве и реконструкции портовых терминалов. Карты цунамиопасности являются также необходимым элементом, который требуется при планируемом переходе от осуществляемого сейчас прогноза по бинарной схеме (угроза цунами/нет угрозы цунами) к количественной оценке высот в конкретных защищаемых пунктах, возможность которого существует в модернизированной к 2011 году Службе предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальневосточном побережье РФ. Для практической реализации таких прогнозов, осуществляемой территориальными подразделениями МЧС и местными администрациями, необходимо иметь оценки долговременной цунамиопасности для угрожаемых участков побережья и береговых населенных пунктов в виде карт заливания прибрежной территории при цунами различной интенсивности.

Задача оценки долгосрочной цунамиопасности является во многом аналогичной задаче оценки сейсмоопасности. Последняя во всех странах решается сейчас на основе методики PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment) [9], положенной также в основу проекта создания карты общего сейсмического районирования территории России ОСР-2012. Несмотря на то, что при выполнении этого проекта опасность цунами не принималась во внимание, результаты большой работы, выполненной в рамках проекта ОСР-2012 по уточнению каталогов исторических землетрясений, изучению строения их очагов, картированию зон возникновения землетрясений (зон ВОЗ) в цунамиопасных районах могут и должны быть использованы для оценки цунамиопасности дальневосточного и других побережий России.

Работы по цунамирайонированию российского побережья начались достаточно давно, в 60-х годах прошлого века. Всю совокупность выполненных работ можно разделить на две примерно равные группы, соответствующие двум различным подходам к проблеме цунамирайонирования, которые могут быть названы историко-вероятностным и детерминированным. В СССР исторически первым начал применяться детерминированный подход, в рамках которого еще в середине 60-х годов прошлого века были получены первые оценки возможных высот цунами на дальневосточном побережье [1, 3]. В основе этого метода лежит применение численных моделей возбуждения и распространения цунами для одного или нескольких гипотетических источников, представляющих очаги цунамигенных землетрясений. Важным преимуществом этого подхода является возможность его применения для любых участков побережья, вне зависимости от степени полноты и качества имеющихся для него исторических наблюдений. Наиболее уязвимым местом его является обоснование выбора параметров проектного события (design earthquake). Выбор этих параметров обычно делается на основе экспертных суждений без каких-либо четких критериев оценки их качества, а также без анализа чувствительности конечного результата к вариациям в значениях исходных параметров. Недостатком подхода является также невозможность получения данных об обеспеченности (т.е. вероятности превышения в течение заданного промежутка времени) высот меньших, чем максимально возможные.

Второй (историко-вероятностный) подход базируется на обработке имеющихся исторических данных о проявлениях всех цунами (включая слабые) на исследуемом участке побережья с целью нахождения закона повторяемости высот в данном пункте и определения на этой основе вероятности превышения некоторой заданной высоты в будущем. Этот подход не требует знаний сеймотектонических механизмов, лежащих в основе возбуждения цунами, рассматривая наблюденные высоты просто как поток случайных событий, удовлетворяющий некоторым гипотезам об их статистических свойствах. В отечественной литературе это направление представлено, в основном, работами дальневосточной группы сейсмологов и специалистов по цунами [2, 11]. Основной проблемой при использовании этого подхода является отсутствие для многих мест достаточно длинных рядов наблюдений высот, в результате чего эмпирический график повторяемости, обрывающийся в области значений 30 – 50 лет, приходится экстраполировать в область требуемых периодов повторяемости 200, 500 и даже 1000 лет. В то же время историко-вероятностный метод позволяет получать оценки риска, не делая никаких предположений о типе источников цунами и характере сеймотектонического процесса (кроме стационарности). Одним из достоинств этого подхода является также то, что в нем естественным образом комбинируются оценки риска как от близких (региональных), так и от удаленных (трансокеанских) цунами.

Оба подхода практически независимо развивались в течение длительного времени (более 30 лет) и продолжают применяться для анализа цунамиопасности различных участков побережья (Курило-Камчатская зона, Японское и Черное моря).

В настоящее время существует современная, достаточно детально разработанная методика РТНА (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment) для вероятностной оценки цунамиопасности [10]. Она широко используется в таких странах как США, Канада, Австралия, Новая Зеландия, в западной Европе и других регионах. На ее основе выполняется как обзорное цунамирайонирование побережья целых стран, так и рассчитываются детальные карты заливания для отдельных портов и гаваней. При всех известных недостатках этой методики, как принципиальных, так и технологических, она после необходимой адаптации может быть использована при создании карты цунамиопасности побережья России.

В основе методики РТНА лежит построение вероятностной сеймотектонической модели основных цунамигенных зон, угрожающих защищаемому побережью и применение численных моделей возбуждения и распространения цунами для расчета ожидаемых высот цунами в конкретных пунктах побережья. Поскольку изменчивость высот волн цунами вдоль берега является достаточно сильной, особенно для сложных изрезанных побережий риасового типа, карты цунамиопасности, пригодные для практического использования, должны

строиться в достаточно крупных масштабах (1:10000 – 1:100 000). Как следствие, покрываемые ими территории будут ограниченными (1 – 10 км). Однако для сравнения различных побережий по уровню цунамиопасности необходимо наличие обзорных карт цунамирайонирования, построенных в масштабах порядка 1:2 000 000 – 1:4 000 000. Помимо того, что обзорная карта позволяет сравнивать различные участки побережья по уровню угрозы цунами, она также служит основой для построения карт детального цунамирайонирования, поскольку при ее построении должен быть выполнен основной объем работы по делинеации и изучению строения основных цунамигенных зон.

При создании сейсмотектонической модели цунамигенной зоны важнейшую роль играет реалистичная оценка предельной магнитуды максимального ожидаемого землетрясения (возможно отсутствующего в историческом каталоге данной зоны), поскольку именно такие события определяют предельные заплески на ближайшем побережье. В последних работах по оценке цунамиопасности с использованием методики РТНА учитывается возможность возникновения мега-землетрясений [12], но только по тем зонам, где они уже происходили в прошлом. Возможность же возникновения такого землетрясения на любом (в том числе ближайшем к рассматриваемому участку побережья) сегменте субдукционной зоны, по-прежнему часто игнорируется. Такой подход в значительной степени обесценивает полученные карты цунамиопасности, поскольку исключение из рассмотрения сильнейшего события приводит к существенной недооценке ожидаемых высот цунами.

Иллюстрацией этому являются данные, приведенные на рисунках 1 и 2. На первом из них показаны очаги и исторические высоты цунами, наблюдаемые на Курило-камчатском побережье России. В этом регионе за весь период исторических наблюдений (с 1737 года) произошло два мега-землетрясения класса M_9 – 17 октября 1737 года и 4 ноября 1952 года, оба с очагами в районе северных Курил и восточного побережья Камчатки. Данные о высотах заплеска от первого события, достигавших 63-х метров, весьма скудны и основываются только на сообщениях С.П. Крашенинникова [4]. Данные о высотах цунами 1952 года, достигавших 18–20 м, более многочисленны, но они ограничены в основном районами побережья, прилегающими к очагу землетрясения.

Рисунок 2 показывает расчетные высоты цунами, полученные при допущении возможности возникновения мега-землетрясения с магнитудой $M_w = 9.0$ в любой части Курило-Камчатской зоны. Немедленным результатом этого является увеличение расчетных высот цунами до 12 – 15 м на всем восточном побережье Курильских островов и Камчатки.

Средний период повторяемости мега-землетрясений в одной субдукционной зоне составляет порядка 600 – 800 лет [8]. Фактический интервал времени между двумя последовательными мега-событиями изменяется в весьма широких пределах – для уже известных исторических событий от 215 лет (Камчатка 17.10.1737 и 4.11.1952) до 1142 лет (Тохоку 13.07.869 и 11.03.2011). Более точная и реалистичная оценка ожидаемого периода повторяемости предельных высот является достаточно проблематичной в связи с недостаточной длиной исторических каталогов цунами в большинстве цунамигенных регионов Мирового океана. Помочь здесь могут только геологические методы поиска и трассирования следов палеоцунами, сохраняющихся в береговых осадочных толщах [5].

Главная проблема оценки цунамиопасности конкретного участка океанического побережья, имеющего перед собой зону субдукции, состоит в получении реалистичных оценок места и времени возникновения в ближайших сегментах этой зоны мега-землетрясения с магнитудой 9.0 и выше. Получение таких оценок представляет собой сложную научно-практическую проблему и фактически сводится к решению задачи долгосрочного прогноза сильнейших землетрясений. Карты цунамиопасности любого масштаба, построенные без учета возможности и вероятности возникновения мега-землетрясений, будут значительно недооценивать реальную опасность цунами и приводить к неверным инженерным решениям по застройке прибрежной полосы.

Работа выполняется при поддержке проекта РНФ 14-17-00219.

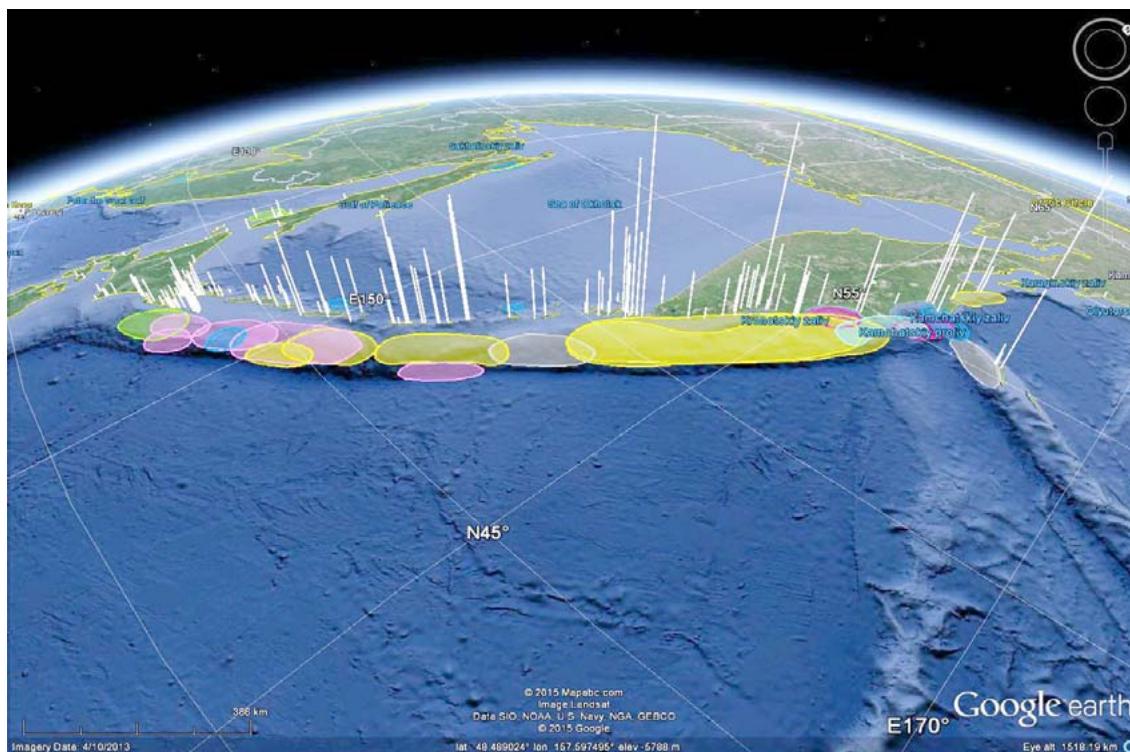


Рис. 1. Очаги сильнейших исторических цунами Курило-Камчатского региона и наблюдаемые высоты цунами (вертикальные белые линии).

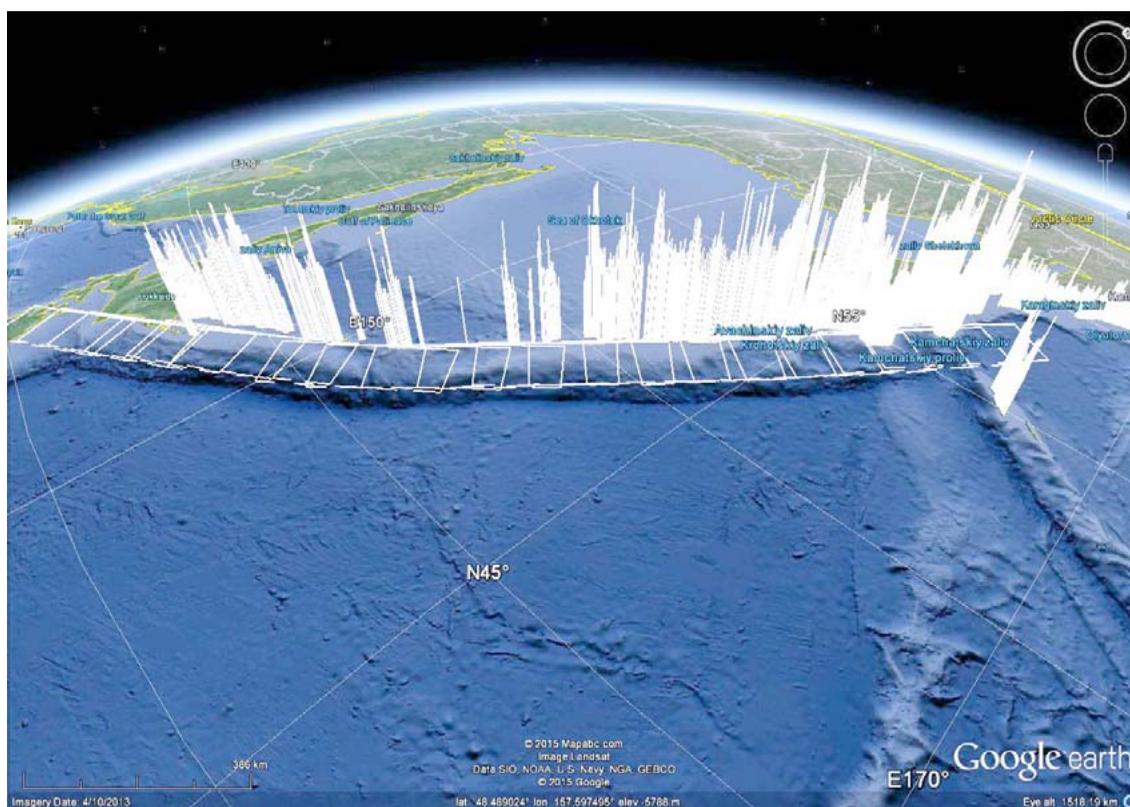


Рис. 2. Распределение расчетных высот цунами от системы 20 модельных очагов магнитуды $M_w=9.0$, равномерно распределенных вдоль всей Курило-Камчатской сейсмогенной зоны. Светлыми прямоугольниками показаны проекции площадок разрыва в модельных очагах на поверхность. Расчеты выполнены в ИВТ СРАН с помощью программного комплекса MGC [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас максимальных заплесков цунами / отв.ред. С.Л.Соловьев. Владивосток: МГИ АН УССР, ДВНИГМИ, 1978. 61 с.
2. Го Ч.Н., Кайстренко В.М., Симонов К.В. О возможности локального долгосрочного прогноза цунами // Оперативный и долгосрочный прогноз цунами, Владивосток: ДВО АН СССР, 1983. С. 150-162.
3. Иконникова Л.Н. Опыт расчета элементов волн цунами // Тр. Центрального ин-та прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1965. Вып.142.
4. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. СПб.: Наука, 1994. Т.1. 438 с.
5. Пинегина Т.К., Разжигаева Н.Г. Исследования палеоцунами на дальневосточном побережье России // Мировой океан. М.: Научный мир, 2013. Том I: Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. С. 488-498.
6. Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации - ОСР-2012 // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40, №4. С. 5-20.
7. Чубаров Л.Б., Бабайлов В.В., Бейзель С.А. Программа расчета характеристик волн цунами сейсмического происхождения МГС. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011614598. Зарегистрировано в Реестре Программ для ЭВМ 9 июня 2011 г.
8. Atwater B.F., Nelson A.R., Clague J.J. et al. Summary of coastal geologic evidence about past great earthquakes at the Cascadia subduction zone // Earthquake Spectra. 1995. Vol. 11, No. 1. P. 1-18.
9. Giardini D., Grunthal G., Shedlock K.M., Zhang P. The GSHAP Global Seismic Hazard Map // Annali di Geofisica. 1999. Vol. 42 (6). P. 1225-1228.
10. Gonzalez F., Geist E., Jaffe B. et al. Probabilistic tsunami hazard assessment at Seattle, Oregon, for near- and far-field sources // J. Geophys. Res. 2009. Vol. 114. C11023. DOI: 10.1029/2008JC005132.
11. Kaistrenko V. Tsunami recurrence versus tsunami height distribution along the coast // Pure App. Geoph. 2011. Vol.168, No.11. P. 2065-2069.
12. Leonard L., Roger G., Mazotti S. Tsunami hazard assessment of Canada // Nat. Hazards. 2013. DOI: 10.1007/s11069-013-0809-5.