

## ЦУНАМИ 15 НОЯБРЯ 2006 НА ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ПОДОБНЫХ СОБЫТИЙ В ПРОШЛОМ (ПО ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ)

*Пинегина Т.К.<sup>1</sup>, Буржуа Д.<sup>2</sup>, Разжигаева Н.Г.<sup>3</sup>, Левин Б.В.<sup>4</sup>, Кайстренко В.М..<sup>4</sup>,  
Кравчуновская Е.А.<sup>1</sup>, Макиннесс Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
pinegtk@kscnet.ru*

<sup>2</sup> *Университет штата Вашингтон, Сиэтл, США*

<sup>3</sup> *Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток*

<sup>4</sup> *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск*

### Введение

В июле-августе 2007 г. на Курильских островах было проведено две научные экспедиции. Первую экспедицию организовал Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, вторая экспедиция проводилась в рамках международного американско-российско-японского проекта «Курильский биоконплексный проект» (грант NSF № ARC-0508109, руководитель Бен Фицью). Длительность двух экспедиций составила в общей сложности 45 дней.

Курильский биоконплексный проект предусматривает 4 года экспедиционных работ на Курильских островах, и 2007 г. был вторым экспедиционным годом. Первая экспедиция в рамках проекта была проведена летом 2006 г. незадолго до Симуширских землетрясений и цунами. Таким образом, летом 2007 г. у нас была уникальная возможность оценить изменения на побережьях Курильских островов после цунами и сопоставить параметры цунами 2006 и 2007 гг. с более древними событиями. Наиболее детальные обследования последствий Симуширских цунами были проведены на островах Уруп, Симушир, Кетой, Ушишир, Расшуа и Матуа (рис. 1). Доставка членов экспедиции 2007 г. к месту работ проводилась на судне Искатель-4, порт приписки г. Корсаков.



Рис. 1. Район работ экспедиции 2007 г. и положение эпицентров исторических цунамигенных землетрясений на Центральных Курильских островах [5, 6]. Названия островов, на которых в 2007 г. были проведены обследования Симуширских цунами выделены жирным курсивом. Параметры исторических цунами указаны в верхнем левом углу. Изобаты проведены через 500 м. Серой областью показан очаг землетрясения 1952 г. (по С.А. Федотову [1]).

### Методика изучения последствий цунами на побережье.

При определении параметров цунами на побережьях прежде всего определялись линии заплеска цунами (I) и затем с помощью нивелира измерялись горизонтальные (L) и вертикальные (H) расстояния от этих линий до уреза воды на момент замера (рис. 2). Позже, для того чтобы привести положение всех урезков по профилям к единому нулевому уровню, мы сделали

перерасчет по таблицам приливов. Величины  $L$  и  $H$  являются важнейшими параметрами, т.к. характеризуют интенсивность цунами. Максимальная высота подъема воды на берегу во время цунами может наблюдаться на урезе, на линии заплеска либо в любом другом месте между этими линиями (рис. 2). Поэтому, при измерении высоты цунами по высоте линии заплеска, в ряде случаев возможно занижение этой величины.

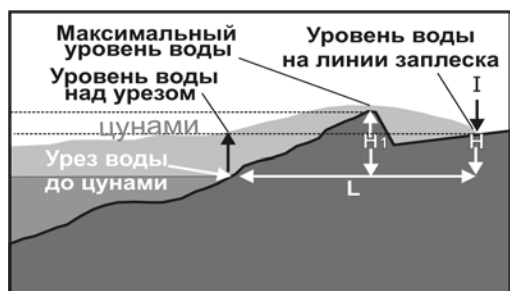


Рис. 2. Определение параметров цунами на побережье.  $I$  – линия заплеска;  $H$ ,  $H_1$  – высота цунами на разном удалении от уреза;  $L$  – горизонтальный заплеск (глубина затопления).

цунамигенного землетрясения.

Участки побережья, испытавшие воздействие недавних цунами, носили различные следы этих воздействий. Поэтому при идентификации линий максимальных заплесков мы использовали несколько различных подходов.

В наиболее простом случае линия заплеска цунами определялась по плавнику, образующему в плане вытянутую слегка извилистую линию. Иногда на побережье можно было наблюдать несколько таких линий (соответствовавших нескольким волнам). Наиболее удаленная от уреза линия плавника и является линией максимального заплеска цунами. Следует отметить, что оценивать заплеск по одному отдельно лежащему бревну или предмету нельзя. В случаях, когда четкая линия из плавника отсутствовала, мы искали 5-10 фрагментов пенопласта, морских водорослей, дерева и прочих предметов на максимально удаленном от уреза воды расстоянии, с помощью нивелира измеряли высоту этих предметов над уровнем моря, и затем рассчитывали среднюю высоту заплеска по всем замерам. Разница высотного положения предметов, находящихся на линии максимального заплеска цунами (для предметов расположенных в пределах нескольких десятков метров друг от друга) не превышает 1 м, а чаще составляет несколько десятков сантиметров.

В местах, где на побережье отсутствует большое количество плавника, линия максимального заплеска цунами иногда маркировалась травяными валами, в плане образовавшими волнистые линии (также как плавник).

В случаях, если на берегах произрастал кустарник или деревья, высоту волны удавалось определять в нескольких точках вдоль профилей по морским водорослям, застрявшим в их ветвях. Водоросли помогали идентифицировать и линии максимального заплеска цунами.

На крутые склоны, близко расположенные к берегу, цунами во многих случаях оказало эрозионное воздействие. Проведенные нами исследования показали, что в большинстве случаев граница заплеска цунами не совпадала с верхней границей эрозионных участков, а находилась несколько выше по склону.

Исследуя последствия Симуширских цунами, мы детально изучали их отложения – ключ к идентификации древних событий. Во время обследования вдоль топографических профилей закладывались шурфы, из которых отбирались образцы цунамигенных отложений и измерялась их мощность. На аккумулятивных участках побережий отложения цунами обычно представлены песком и галькой. Их мощность изменяется вдоль профиля от нескольких мм до нескольких десятков см в зависимости от характера и скорости волны и топографии. Изучая отложения, мы также использовали прозрачные пластиковые пробоотборники. В каждой точке наблюдений на профиле с помощью пробоотборника отложения отбирались несколько раз, а затем записывалась их средняя мощность. Выяснилось, что цунамигенные отложения выклиниваются, как правило, всего за несколько метров от линии максимального заплеска цунами, что очень важно для реконструкций параметров древних событий.

В тех случаях, когда рельеф побережья позволял измерить дополнительные точки с высотами цунами, мы их также измеряли нивелиром и фиксировали с помощью GPS (например, к таким точкам относятся вершины самых высоких береговых валов, через которые переклестнула волна цунами на пути к линии максимального заплеска) ( $H_1$ , рис. 2).

В существующих базах данных по цунами, в особенности для ранних исторических событий, практически нет сведений о том, какие именно высоты цунами указаны – на урезе, на линии заплеска или где-то между ними. Вместе с тем, данные такого рода очень важны, т.к. позволяют оценить длину волны цунами, которая в свою очередь связана с параметрами



Рис. 3. Принципиальная схема идентификации отложений цунами 15.11.2006 и 13.01.2007 гг.

размыва. Схематично этот процесс показан на рисунке 3. Иногда линия максимального заплеска январского цунами была видна по полосе плавника на берегу. По результатам наших обследований, можно сказать, что ноябрьское цунами было как минимум в два раза интенсивнее, чем январское, поэтому в следующем разделе речь пойдет только лишь о ноябрьском событии.

### Основные результаты измерений параметров цунами 15.11.2006.

Берега Центральных Курильских островов во многих местах скалистые и обрывистые. Во время обследования мы старались посетить те участки побережий, где имелись хоть небольшие пляжи и аккумулятивные участки. Если рельеф позволял, мы измеряли топографические профили, высоты и дальности заплеска через каждые 250 м. На широких плоских террасах мы проходили пешком вдоль линии максимального заплеска цунами и с помощью GPS сохраняли эти линии в цифровом виде.

Таблица 1. Данные о высотах заплеска цунами 15.11.2006\* (по [2]).

Остров	Район	Высота заплеска цунами 15.11.2006, (м)	Кол-во измеренных профилей	Кол-во замеров высот заплеска
Топорков	Западное побережье острова в проливе между о. Топорковым и о. Матуа	9 - 10	6	14
Матуа	Северная часть восточного побережья	11 - 17	9	16
Матуа	Центральная часть восточного побережья	13 - 16	8	12
Матуа	Южная часть восточного побережья	6 - 10	9	9
Матуа	Восточная часть южного побережья	6 - 8	6	6
Матуа	Западная часть южного побережья	6 - 8	4	5
Матуа	Бухта Айну, Ю-В часть	12 - 14	2	2
Матуа	Бухта Айну, центральная часть	17 - 20	8	16
Матуа	Бухта Айну, С-З часть	13 - 14	2	2
Расшуа	Мыс Южный, Охотская сторона	4,2, 5	2	2
Расшуа	Бухта Маленькая	9,7	1	1
Рыпонкича	Северная оконечность	5,7	1	1
Рыпонкича	Ю-В побережье	10 - 11	6	19
Янкича	Северная оконечность	12,8	1	1
Кетой	Бухта Южная, восточная часть	6,5 - 7,5	5	34
Кетой	Бухта Южная, западная часть	6 - 9	17	17
Симушир	Бухта Душная, север	9 - 14	10	100
Симушир	Бухта Душная, центральная часть	7 - 9	13	30
Симушир	Бухта Душная, юг	12 - 19	3	3
Симушир	Бухта Спасения	4,5 - 7	7	8

\*исключая максимально низкий и максимально высокий заплесок, с учетом высоты береговых валов между берегом и линией максимального заплеска;

На юге о. Уруп высота цунами была в пределах штормовой досягаемости, а дальность заплеска не превышала расстояния от уреза до вершины первого активного вала.

В ходе обследования нам удалось перемерить топографические профили 2006 г. на о. Матуа и на о. Симушир. На Симушире профиль 2007 г. не сильно отличался от профиля 2006 г. А на о. Матуа произошли сильные изменения. На рис. 4 показано, что по профилю 1 в результате цунами было размыто 70 м берега. По профилю 2 в той же бухте было уничтожено около 100 м берега, максимальная мощность размытых отложений составила около 5 м.



Рис. 4. Результат повторного измерения топопрофиля 1 на юге о. Матуа после цунами 15.11.2006 [3].

### Первые данные по палеоцунами на Центральных Курилах

Во время экспедиционных работ 2006-2007 гг. мы описали целый ряд геологических разрезов на побережьях, в которых идентифицировали древние отложения цунами [4]. Проведя детальное обследование после недавнего цунами, мы имели возможность сравнить его параметры с более древними событиями. На рис. 5 изображен один из топографических профилей на о. Матуа. Вдоль профиля показано положение шурфов, заложенных в 2006 г. Два из описанных нами разрезов представлены снизу от линии профиля. Возраст одного из вулканических пеплов был получен с помощью  $^{14}\text{C}$  анализа и составил, в перерасчете на календарный, ~1000 г.н.э. Из рисунка видно, что в шурфе 117 помимо отложений 2006 г. залегает еще 4 цунамигенных горизонта. Это значит, что как минимум 5 сильных цунами за последние 1000 лет обрушались на побережье Матуа. В самом дальнем по профилю от моря шурфе 108, были идентифицированы 2 цунамигенных горизонта. Это означает, что как минимум два цунами за тысячу лет имели большую интенсивность, чем цунами 2006 г.

Для северо-восточной части о. Симушир по предварительным данным было выяснено, что за последние ~600 (дата получена по  $^{14}\text{C}$ ) лет в районе было 5 сильных сейсмических событий, вызвавших интенсивные цунами (рис. 6). Два из этих цунами (включая 2006 г) произошли за последние 242 г (предположительно верхний маркирующий горизонт тефры связан с извержением вулкана Прево 1765 г). Три цунами за последние 600 лет по интенсивности превосходили цунами 2006 г (см. рис. 6).

### Заключение

Данные, полученные в ходе экспедиций 2006-2007 гг., показали, что Центральные Курилы сейсмически так же активны, как и остальная часть Курило-Камчатской зоны субдукции. Полученный фактический материал позволил предварительно оценить повторяемость цунами различной интенсивности в районе. Наиболее сильные цунами, по своей интенсивности сопоставимые либо превосходившие цунами 2006 г., происходили в позднем голоцене на Центральных Курилах примерно раз в 200-500 лет. Эти цунами могли быть связаны с землетрясениями с  $M \geq 8$ .

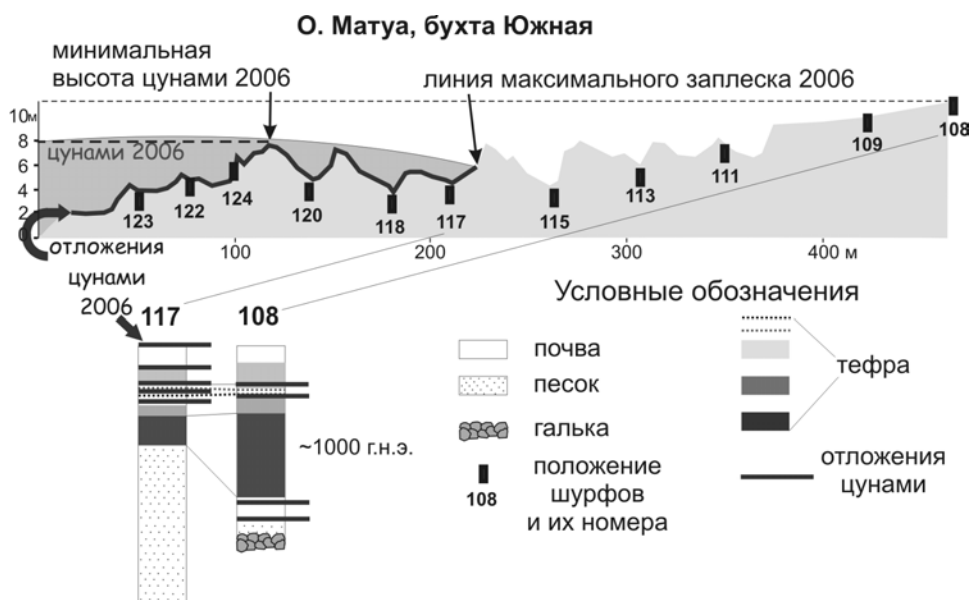


Рис. 5. Пример определения параметров палеоцунами и их сопоставление с параметрами цунами 15.11.2006 по профилю 216 на о. Матуа

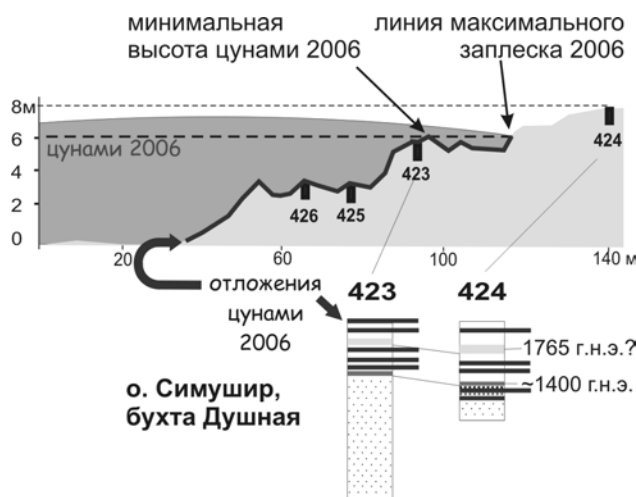


Рис. 6. Пример определения параметров палеоцунами и их сопоставление с параметрами цунами 15.11.2006 по профилю 12 на о. Симушир. Условные обозначения см. на рис. 5.

### Список литературы

1. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука. 2005. 302 с.
2. Bourgeois J., Pinegina T., Razhegaeva N., Kaistrenko V., Levin B., MacInnes B., Kravchunovskaya E. Tsunami Runup in the Middle Kuril Islands from the Great Earthquake of 15 Nov 2006 // Eos Trans. AGU. 88(52). Fall Meet. Suppl. 2007. Abstract N: S51C-02.
3. MacInnes B. T., Bourgeois J., Pinegina T. K., Martin M. E., Kravchunovskaya E. A. Tsunami Erosion: Geomorphology Before and After the 15 Nov 2006 Tsunami in the Middle Kuril Islands, Russia // Eos Trans. AGU. 88(52). Fall Meet. Suppl. 2007. Abstract N: OS31A-0158.
4. Pinegina T., Bourgeois J., MacInnes B. T., Kravchunovskaya E., Martin M., Razjigaeva N. Paleotsunamis in the Middle Kuril Islands - Implications for a Seismic Gap (and in View of Recent Events) // Eos Trans. AGU. 88(52). Fall Meet. Suppl. 2007. Abstract N: OS31A-0161.
5. Historical Tsunami Database For The World Ocean / [http://tsun.sccc.ru/tsulab/On\\_line\\_Cat.htm](http://tsun.sccc.ru/tsulab/On_line_Cat.htm)
6. The Harvard CMT catalog / <http://www.seismology.harvard.edu/>

Работа выполнена при финансовой поддержке Национального научного фонда NSF (грант ARC-0508109), РФФИ (гранты 06-05-64025а, 07-05-10070к, 06-05-08098, 07-05-00363), Президиума ДВО РАН.