

# ПОВТОРЯЕМОСТЬ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЦУНАМИ ВДОЛЬ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ТЕФРОХРОНОЛОГИИ

Т.К. Пинегина

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
e-mail: pinegtk@kscnet.ru

С 1995 года на Камчатке и Курильских островах проводятся целенаправленные исследования, посвященные изучению параметров и повторяемости голоценовых цунами [Pinegina et al., 2001; 2003]. По отложениям, оставленным цунами на берегу, восстанавливаются их высота и дальность заплеска. Отложения палеоцунами вскрываются шурфами, которые закладываются вдоль топографических профилей, измеренных перпендикулярно береговой линии. Отложения каждого цунами прослеживаются последовательно, от шурфа к шурфу от моря в сторону суши. Гипсометрическое положение наиболее удаленного от моря шурфа, в котором присутствует определенный цунамигенный горизонт, приблизительно соответствует минимальной высоте максимального заплеска цунами. Корреляция отложений цунами и определение их возраста производится с помощью тефрохронологического метода [Брайцева и др., 2001].

К настоящему времени изучение палеоцунами с различной степенью детальности было проведено практически по всему восточному побережью Камчатки и Курильских островов. В ходе исследований, помимо отложений древних (доисторических) цунами, были выявлены отложения исторических событий, в том числе наиболее катастрофических цунами 1737 и 1952 годов [Кравчуновская и др., 2008]. Проведя анализ распределения отложений этих цунами вдоль протяженного участка побережья, мы пришли к выводу, что события 1952 и 1737 гг. можно отнести к разряду сильнейших “multi-segment event” [Nanayama et al., 2003], и использовать их геологические следы для оценки масштабов доисторических цунами.

Известно, что цунами могут генерироваться землетрясениями разных типов [K.Satake, Y.Tanioka, 1999]:

1) межплитными, происходящими на границах взаимодействия субдуцируемой и надвигаемой плит;

2) внутриплитными землетрясениями (к ним относятся т.н. “outer-rise event” в районе океанических поднятий, “slab event” на глубинах до 100 км, коровые землетрясения в надвигаемой плите, если их очаг находится под акваторией);

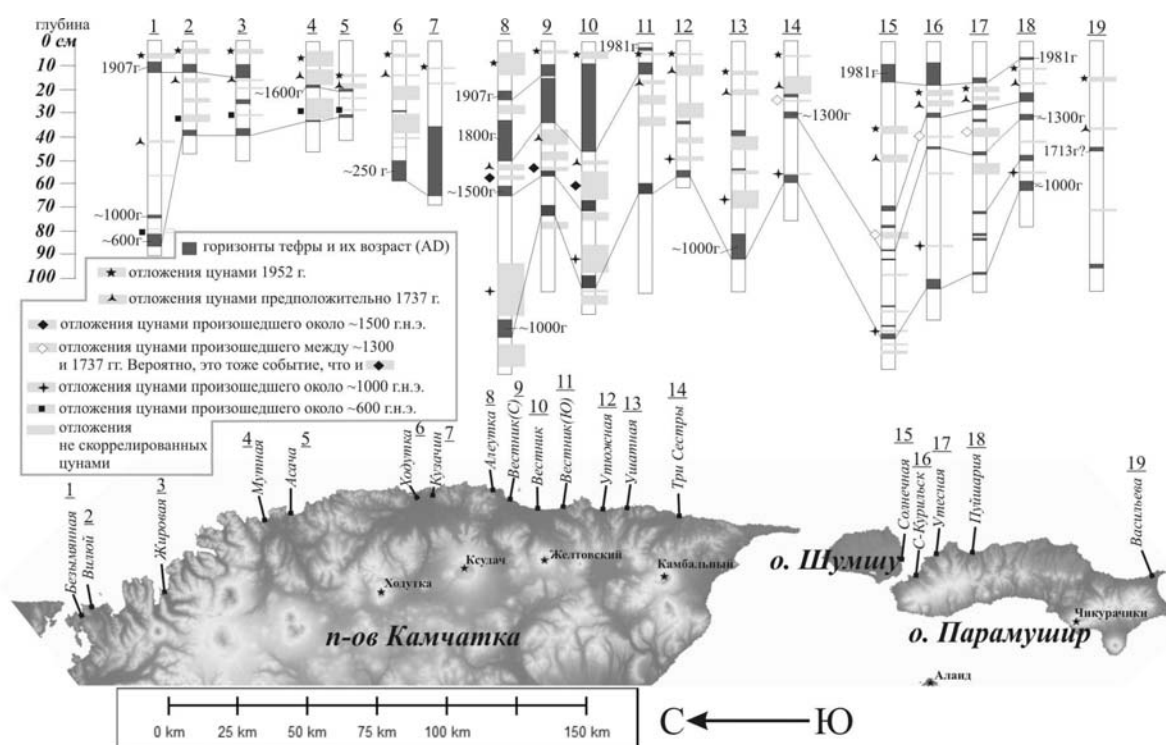
3) tsunami-earthquake – наиболее мелкофокусными землетрясениями происходящими под аккреционной призмой.

Тип землетрясения влияет на интенсивность цунами. Большинство катастрофических цунами возникают в результате сильнейших ( $M > 8.5$ ) межплитных землетрясений. Однако т.н. tsunami-earthquake также способны генерировать катастрофические цунами с огромными заплесками на побережьях, находящихся напротив очага, т.к. для них характерны большие подвижки при малых модулях сдвига вдоль мелкофокусного отрезка зоны субдукции. Вместе с тем, параметры цунами, вызванных tsunami-earthquake и межплитными землетрясениями, различны. Даже при одних и тех же высотах заплеска (tsunami runup), дальность заплеска цунами (penetration, horizontal runup, inundation) от межплитного землетрясения может быть в несколько раз больше, чем от tsunami-earthquake. В отличие от мелкофокусных tsunami-earthquake, деформации земной поверхности во время крупных межплитных землетрясений происходят на огромной площади. Именно такими деформациями и объясняют большие длины волн цунами, возникших от межплитных землетрясений. При достаточной детальности исследований отложений цунами на протяженном (сотни км) участке побережий, возможно выяснить, землетрясение какого именно типа вызвало катастрофическое цунами (например, см. работу [Nanayama et al., 2003]).

Цунамигенные землетрясения прочих типов иногда могут генерировать цунами с довольно большими высотами заплеска, но лишь локально, на не протяженных участках побережья. Высота заплеска таких цунами в среднем в несколько раз меньше чем от межплитных и tsunami-earthquake. Отложения этих цунами уверенно идентифицируются на берегу лишь в ближней от уреза воды зоне (первые десятки - сотни метров) и, как правило, не прослеживаются вдоль большого по протяженности участка побережья.

Так как главная цель наших исследований – определить повторяемость сильнейших землетрясений в зоне субдукции, мы попытались, анализируя цунамигенные отложения, выделить наиболее мощные цунами на фоне менее значительных событий.

Критериями для выделения таких цунами нам послужили: 1) высота над уровнем моря, на которой в разрезах уверенно идентифицируется цунамигенный горизонт; 2) расстояние от уреза воды, на котором в разрезах цунамигенный горизонт выклинивается; 3) мощность горизонтов и их выдержанность по простиранию; 4) наличие следов эрозии земной палеоповерхности на границе с подошвой цунамигенных горизонтов; 5) возможность уверенной корреляции одного и того же цунамигенного горизонта от шурфа к шурфу на определенном участке побережья; 6) возможность корреляции цунамигенного горизонта на разных участках побережья. При корреляции отложений от шурфа к шурфу и от района к району, мы использовали маркирующие горизонты вулканических пеплов. Полученные данные представлены на рис. 1.



**Рис.1.** Корреляция отложений катастрофических цунами проявившихся одновременно на юго-восточном побережье Камчатки и Северных Курилах за последние 1000-1500 лет.

Как видно, отложения сильнейших за историческое время цунами 1952 и 1737 гг. на Камчатке и северных Курилах были идентифицированы нами практически повсеместно. Кроме того, за последние ~1000 лет напротив южной Камчатки и северных Курил произошло как минимум еще 2-3 сильных землетрясения (помимо 1952 и 1737 гг.) (рис. 1), т.е. в среднем одно событие в 200-250 лет. Если рассматривать последние ~1500 лет, то всего за этот промежуток произошло 5-6 сильных событий (в среднем 1 событие в 230-280 лет). Следовательно, средний период повторяемости сильных цунамигенных землетрясений составляет для данного отрезка Курило-Камчатской зоны около 250 лет.

Согласно геодезическим, а в последнее время и GPS данным, сильные межплитные землетрясения могут вызывать вертикальные косейсмические деформации на побережьях, расположенных даже в нескольких сотнях километров от глубоководных желобов. В последние несколько лет мы начали проводить изучение косейсмических деформаций на побережьях, т.к. это может помочь нам отличить межплитные события от крупнейших tsunami-earthquake, и существенно дополнить информацию, полученную по отложениям цунами [Pinegina et al., 2007].

Полученные нами данные показали, что Камчатское землетрясение 1952-го года с  $M_w \sim 9.0$  сопровождалось косейсмическим опусканием берега к югу от Авачинской бухты. Было выяснено, что аккумулятивные террасы в бухтах Безымянная, Виллой, Большая и Малая Саранные, Асача, Мутная были частично размыты после землетрясения 1952 г, а затем, через некоторое время, перекрыты сверху молодым валом. Поскольку высота формирующихся береговых валов контролируется относительным уровнем моря, вновь сформированный вал оказался гипсометрически выше древних валов, образованных до косейсмического опускания. В геологическом строении аккумулятивных террас, косейсмические опускания отражены в виде уступов размыва, перекрытых молодыми отложениями.

Помимо опускания берега, связанного с землетрясением 1952 г., мы выявили по крайней мере еще два таких эпизода, произошедших за последние  $\sim 1500$  лет. Один из них мы связываем с землетрясением 1737 г. Признаки косейсмического опускания берега предположительно в результате этого землетрясения были выявлены как на южной Камчатке, так и на восточном побережье о-ва Парамушир. Второй эпизод произошел примерно после 600 г. н.э. К югу от Петропавловска-Камчатского в целом ряде бухт имеются затопленные береговые валы. Их затопление связано с резким опусканием побережья после  $\sim 600$  г., амплитуда опускания достигает 1,5-2 метров. Это землетрясение сопровождалось мощным цунами, отложения которого были идентифицированы нами в районе исследований (см. рис. 1). Таким образом, из 5-6 сильнейших цунамигенных землетрясений, произошедших напротив южной Камчатки и северных Курил за последние  $\sim 1500$  лет, как минимум 3 события сопровождалось косейсмическими деформациями побережья. Вероятнее всего, выявленные события связаны с сильными межплитными землетрясениями с  $M \sim 9$ .

В сводных разрезах, показанных на рисунке 1, представлены отложения довольно интенсивных цунами, которые не коррелируются между участками обследованных побережий. Скорее всего, они связаны с более слабыми землетрясениями, возможно, часть из них вызвана не межплитными событиями.

### Список литературы

**Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Базанова Л.И., Сулержицкий Л.Д.** Сильные и катастрофические эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысяч лет // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 235-252.

**Кравчуновская Е.А., Пинегина Т.К., Нишимура Ю., Таниока Ю., Накамура Ю., Хиракава К.** Сравнительная характеристика параметров цунами 1737 и 1952 гг. на Камчатке и Курильских островах по палеосейсмологическим данным // Сборник материалов III Сахалинской молодежной научной школы "Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз". Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, 3-5 июня, 2008 (в печати).

**Nanayama F., Satake K., Furukawa R., Shimokawa K., Atwater B., Shigeno K., Yamaki S.** Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along Kuril trench // Nature, 2003,

**Pinegina T., Bourgeois J., Bazanova L., Melekestsev I., Braitseva O.** A Millennial-scale record of Holocene tsunamis on the Kronotskiy Bay coast, Kamchatka, Russia // Quaternary Research, 2003. V. 59. P.36-47.

**Pinegina T.K., Kravchunovskaya E.A., Ponomareva V.V., Bourgeois J., Korovin M.E., Chirkov S.A.** Ground-penetrating radar for detection of geological evidences of intraplate & subduction-type earthquakes in Kamchatka, Russia // EGU Topical Conference Series 2nd Alexander von Humboldt International Conference on The Role of Geophysics in Natural Disaster Prevention Lima, Peru, 05 – 09 March 2007.

**Satake K., Tanioka Y.** Sources of Tsunami and Tsunamigenic Earthquakes in Subduction Zones // Pure appl. geophys. 154 (1999) 467–483.