

**ОТЛОЖЕНИЯ ЦУНАМИ И АНАЛИЗ ЦУНАМИОПАСНОСТИ НА
ХАЛАКТЫРСКОМ ПЛЯЖЕ В РАЙОНЕ
ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО, ТИХООКЕАНСКОЕ
ПОБЕРЕЖЬЕ КАМЧАТКИ,
РОССИЯ**

Татьяна К. Пинегина¹, Джоди Буржуа², Лилия И. Базанова¹, Ольга А. Брайцева¹,
Юрий О. Егоров¹

¹ Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

² Университет Штата Вашингтон, Сиэтл, США

E-mail: pinegtk@kcs.iks.ru

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский регион является одним из наиболее сейсмически активных в мире. Эпицентры большинства цунамигенных землетрясений приурочены к Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне [Викулин, 1992]. Известно лишь одно сильное телецунами, пришедшее к берегам Камчатки - цунами 1960 г. от Чилийского землетрясения. Сильные и катастрофические цунами, с высотой заплесков свыше 5-10 м возникают вдоль большого участка побережья (сотни километров), как правило, в результате мелкофокусных землетрясений с магнитудой $M > 7-8$ [Соловьев, 1972]. На Камчатке за исторический период (около 260 лет) отмечено 14 таких событий [Заякин, Пинегина, 1998; Заякин, 1992; Заякин, Лучинина, 1987]. Ограниченное число наблюдаемых событий в историческое время и отсутствие точных инструментальных наблюдений на Камчатке до середины XX века не позволяют статистически достоверно определить повторяемость и максимальную высоту заплесков волн цунами для отдельных пунктов на побережье.

Вдоль берегов Авачинского залива, (в районе Халактырского пляжа), возле которого расположен г. Петропавловск-Камчатский, находятся основные объекты хозяйственной деятельности на полуострове. Это наиболее густонаселенная зона Камчатки. Вблизи побережья расположены пос. Дальний, Долиновка, Заозерный, животноводческие и аграрные комплексы полуострова. Халактырский пляж является рекреационной зоной.

Данные по проявлениям цунами в Авачинском заливе приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что наиболее полные данные по цунами в районе Авачинского залива имеются только для одного сильного события - цунами 1952 г. Предыдущие сильные цунами описаны лишь приблизительно.

Исследования отложений исторических и доисторических цунами (палеоцунами) позволяют определить частоту возникновения сильных цунамигенных землетрясений вдоль Курило-Камчатской зоны, реконструировать масштабы воздействий волн цунами на побережье [Пинегина и др., 2000; Пинегина и др., 1997; Bourgeois *et al.*, 1999; Pinedina *at al.*, *in print*; Pinedina and Bourgeois, 1998]. По характеру следов цунами на побережье можно выявить локальные формы рельефа, концентрирующие энергию волн цунами, что необходимо для составления карт цунамиопасности и долгосрочного прогноза цунами.

В данной работе приведены результаты исследований геологических следов цунами на побережье Халактырского пляжа, прилегающего к Петропавловску-Камчатскому.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика исследований отложений палеоцунами подробно описана в работах [Пинегина, 1995; Пинегина и др., 2002; Minoura & Nakaya, 1983; Minoura & Nakaya, 1991]. Для идентификации отложений цунами на Камчатке, во время полевых исследований были определены следующие критерии [Пинегина и др., 2002; Пинегина и др., 1997]:

- 1) принадлежность цунамигенных отложений к полосе побережья вне зоны штормовой досягаемости и к различным гипсометрическим уровням (примерно до 30 м над уровнем моря);
- 2) присутствие в цунамигенных отложениях морского песка и окатанной гальки;
- 3) незначительная мощность цунамигенных отложений (как правило, от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров, в понижениях иногда порядка нескольких метров);
- 4) периодичность образования отложений (десятки - сотни лет).

Данная методика позволяет находить отложения только больших цунами, превосходящих даже самые сильные штормовые волны.

Во время проведения полевых работ, на выбранном участке Халактырского пляжа проводилась нивелирная съемка профиля побережья - от уреза воды - через пляж (рис. 1, 2), береговые валы и до участков максимальных заплесков цунами (рис. 1,2). Выбор участка работ определен необходимостью выяснения возможности заплесков цунами в районе Халактырского озера, вдоль берега которого строится газопровод.

Было промерено два топографических профиля, один из которых представлен на рис. 2. Вдоль профилей закладывались шурфы и описывались геологические разрезы. По профилю №1 было заложено 11 шурфов (разрезы 309 - 320), по профилю № 2 - 8 шурфов (разрезы 301- 308). Глубина шурфов от 1 до 1.5м - в зависимости от возраста поверхности, на которой закладывался шурф. Все шурфы доходили до морских или пляжевых отложений.

Из шурфов отбирались образцы на радиоуглеродные (^{14}C), гранулометрические, минералогические, химические анализы. При корреляции и датировке отложений палеоцунами, широко использовался метод тефростратиграфии и тефрохронологии, позволяющий определять стратиграфическое положение, относительный и абсолютный возраст цунамигенных горизонтов в геологических разрезах [Брайцева, Мелекесцев, 1987; Брайцева и др., 1997; Пинегина и др., 1997; Булгаков и др., 1995].

Предварительная корреляция и датировка палеоцунами проводилась непосредственно в полевых условиях с помощью тефрохронологического метода, по соотношению в разрезах цунамигенных отложений с пеплами известных вулканических извержений. Определение состава и возраста голоценовых маркирующих горизонтов вулканических пеплов для Камчатки, в том числе в окрестностях вулканов Авачинский, Корякский, и в районах, прилегающих в Авачинскому заливу, сделано ранее на эталонных разрезах [Брайцева и др., 1997; Braitseva *et al.*, 1997]. Эти работы позволили выявить оси ареалов пеплопадов от крупнейших извержений. Поэтому, проводя работы на побережье Халактырского пляжа, заранее предполагалось, какие маркирующие горизонты тефры могут присутствовать в разрезах. Сводные данные по маркирующим горизонтам этих пеплов приведены в таблице 2 (по Л. И. Базановой, О. А. Брайцевой).

После построения геологических разрезов и идентификации пепловых горизонтов разрезы коррелировались между собой. На их основе была построена сводная колонка, по которой рассчитывалась частота повторяемости цунами (рис. 3). В ходе работ для исследованной территории были определены максимальные высоты и дальность проникновения наиболее сильных цунами вглубь побережья за последние три с половиной тысячи лет.

Таблица 1 [Зякин, Лучина, 1987]

Основные данные о цунами у побережья Авачинского залива (Восточная Камчатка)

№ п/п	Дата и время возникновения землетрясения (время камчатское)	Координаты эпицентра землетрясения	Глубина гипоцентра, км	Магнитуда землетрясения, М	Зона поражения побережья волнами цунами по данным наблюдений	Максимальная высота подъёма воды по Тихоокеанскому побережью Камчатки	Максимальная высота подъёма воды в Авачинском заливе	Максимальная высота подъёма воды, м/дальность затопления суши, м в Авачинском заливе (по геологическим следам цунами)*	Интенсивность цунами, I
1	1737 г., 17 октября, 03 ч	51,5° с.ш. 160,0° в.д.	Нет свед.	8,5	Восточное побережье от м. Попатки до п. Усть-Камчатск	30	Нет свед.	6-10/450-550	4
2	1792 г., август	54,0° с.ш. 162,0° в.д.	Нет свед.	8,25	От Авачинской бухты до п. Усть-Камчатск	Нет свед.	Нет свед.		2
3	1827 г., 9 августа, 15 ч. или 10 августа после 07 ч.	Вблизи Петропавловска-Камчатского	Нет свед.	Нет свед.	Авачинская бухта	Нет свед.	Нет свед.	6-8,5/300-450	1-2
4	1841 г., 18 мая, 08 ч.	52,5° с.ш. 160,0° в.д.	Нет свед.	8	От Авачинской бухты до м. Шипунского	15	15	6,5-8/300-450	3,5
5	1848 г., июнь	Вблизи Петропавловска-Камчатского	Нет свед.	Нет свед.	Авачинская бухта	Нет свед.	Нет свед.	<6/<250	Нет свед.
6	1904 г., 26 июня, 07 ч.	52,0° с.ш. 159,0° в.д.	Нет свед.	8,1	Авачинская бухта	Нет свед.	Нет свед.	6,5-8/300	1
7	1952 г., 5 ноября, 05 ч.	52,3° с.ш. 161,0° в.д.	30	8,25	Восточное побережье от м. Попатки до п. Усть-Камчатск	10-15	Нет свед.	6,5-8,5/500-600	3,5-4
8	1959 г., 4 мая, 19 ч. 16 мин.	53,1° с.ш. 160,3° в.д.	20	7,5	От Авачинской бухты до бухты Моржовой	2	2		1
9	1960 г., 23 мая, 07 ч. 11 мин.	38,0° ю.ш. 73,5° з.д.	Нет свед.	8,5	Восточное побережье от м. Попатки до м. Олюторского	7	4-5	<6-8/250	4
10	1963 г., 13 октября, 17 ч. 18 мин.	44,8° с.ш. 149,5° в.д.	60	8,25	От м. Попатки до Авачинской бухты	0,02	00,2		2,5
11	1964 г., 28 марта, 15 ч. 36 мин.	61,1° с.ш. 147,7° з.д.	33	8,4	Авачинская бухта, о-в Беринга	0,06	00,6		4
12	1965 г., 4 февраля, 17 ч. 01 мин.	51,2° с.ш. 178,6° в.д.	40	8,7	Авачинская бухта	0,08	00,8		2,5
13	1971 г., 15 декабря, 20 ч. 30 мин.	55,6° с.ш. 163,4° в.д.	25	7,8	От Авачинской бухты до Камчатского полуострова	0,45	0,45		0

* По данным Т. Пянегиной, Дж. Буржуа

Таблица 2

Сводная таблица вулканических пеплов голоценовых разрезов почвенно-пирокластических чехлов (ППЧ) в южной части Халактырского пляжа

№ п/п	Вулкан, наименование извержения	Индекс пепла	Возраст по ^{14}C (лет)	Календарный возраст	Состав***	Породообразующие минералы	Отличительные характеристики
1**	Ксудач, конус Штюбеля (1907 г.)	КШТ ₃	–	1907 н. э.	AB-D	P+Px+Mt	Низкое содержание K ₂ O, Hb отсутствует
2*	Авачинский	AB-1	–	1855 н. э.			
3*	Авачинский	AB-2	–	1779 н. э.			
4*	Авачинский	AB-3	732 ± 48	1286 н. э.			
5**	Опала (Бараний Амфитеатр)	ОП	1478 ± 18	606 н. э.	R	P+Bi+Mt	Высокое содержание K ₂ O, Bi присутствует
6**	Кальдера Ксудача	КС ₁	1806 ± 16	236 н. э.	RD	P+Orx+Срх+Mt	Низкое содержание K ₂ O, Hb отсутствует
7*	Кальдера V	AB-12	3278 ± 29	1523 до н. э.			

* По неопубликованным данным Базановой Л. И. и Брайцевой О. А.

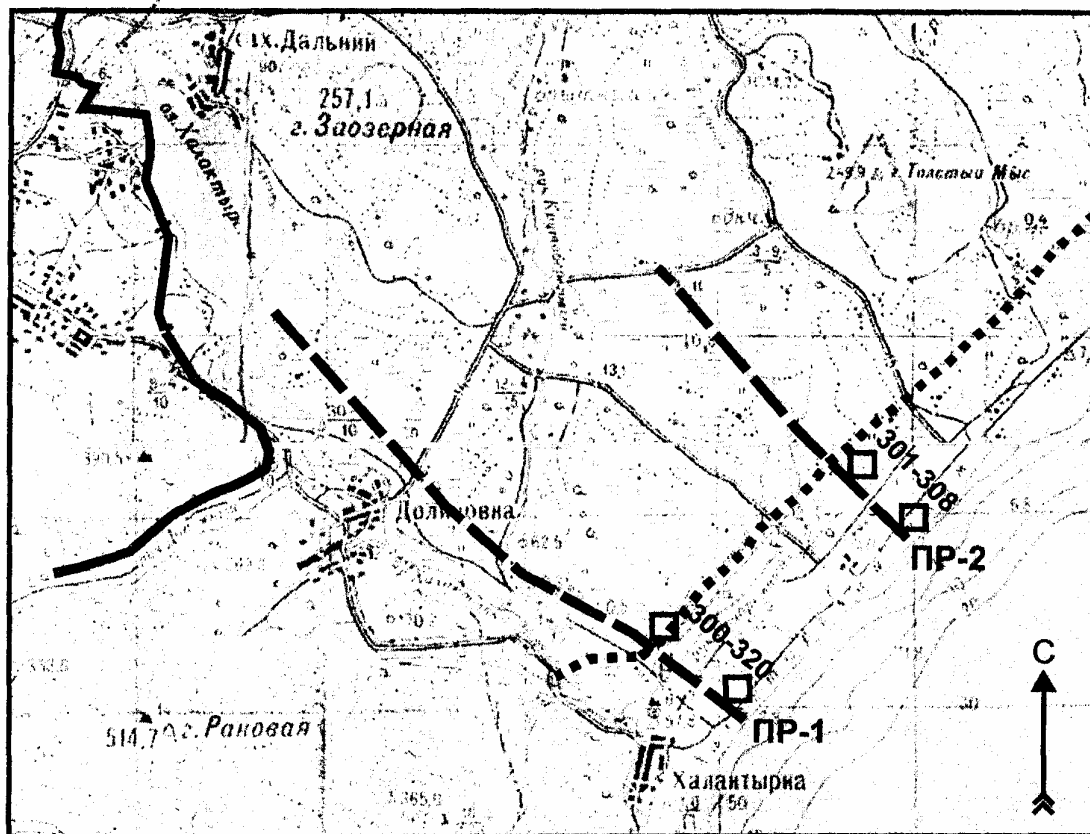
** По материалам Braitseva et al, 1997.

*** AB, D, RD, R: андезито-базальт, дацит, риодацит, риолит (соответственно по порядку).



Обзорная схема района исследований,
на Халактырском пляже.

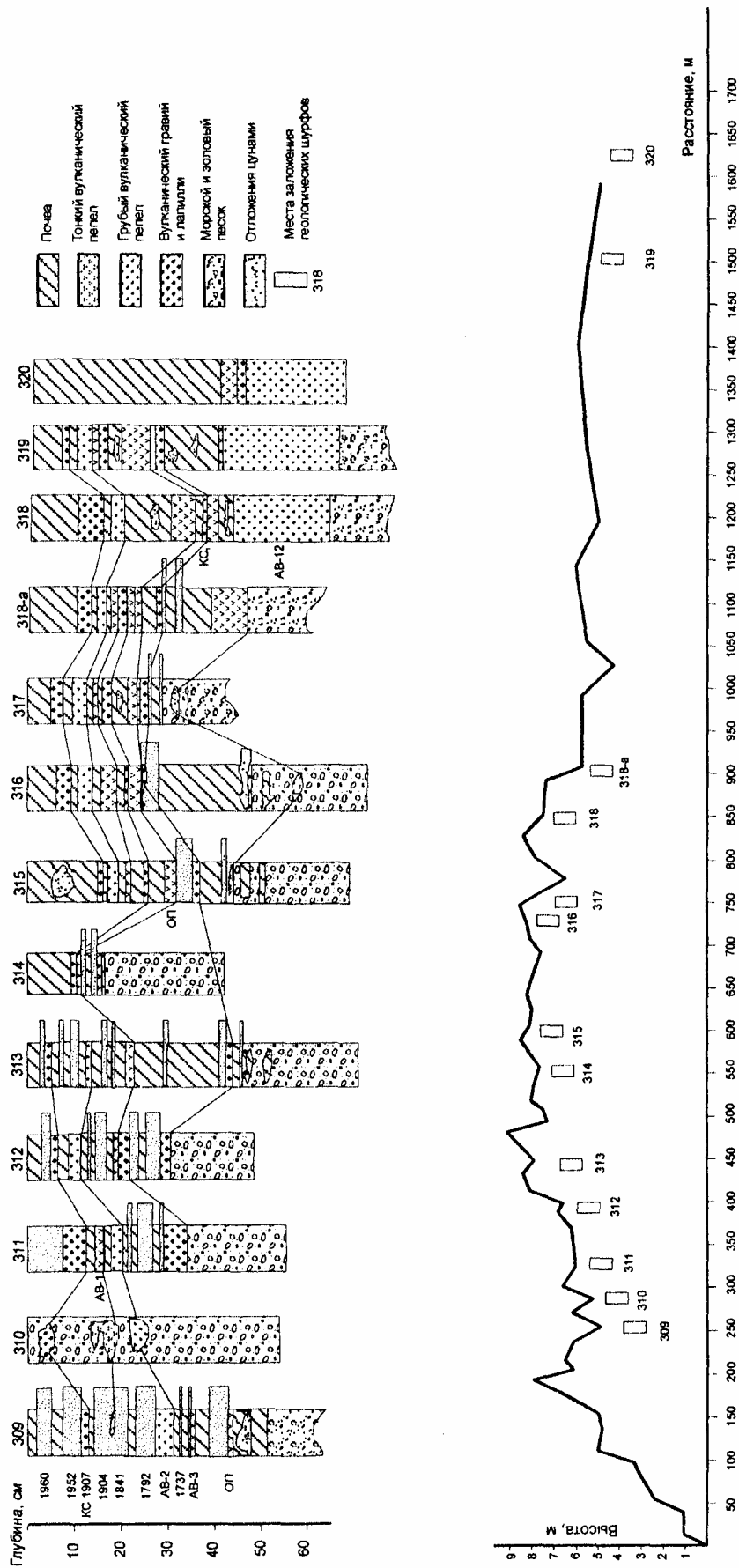
0 1 2 3 км



Условные обозначения

- | | | | |
|--|--------------------|--|-------------------------------------|
| | Трасса газопровода | | Линия максимальных заплесков цунами |
| | Нивелирные профили | | Опорные шурфы и их номера |

Рис. 1



Профиль №1 и схемы геологических разрезов.

Рис. 2.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Отложения цунами на побережье Халактырского пляжа представлены, как правило, тонкими (от 0.5 см до 20 см) прослоями темно-серых, за счет примеси в них большого количества темноцветных минералов, морских песков, иногда с галькой и включениями древесины. Некоторые цунамигенные прослои в разрезах хорошо сортированы. Их мощность, начиная с определенного расстояния от берега, постепенно уменьшается, также уменьшается и крупность отложений. Так, например, отложения цунами 1952 г. имеют наибольшую мощность (8 см) на расстоянии 300-350 м от побережья, где они представлены крупно- и среднезернистым морским песком. В 600 метрах от побережья этот слой выклинивается, а отложения представлены мелкой и тонкозернистой фракциями песка.

Основываясь на избранных критериях, в районе работ было выделено 13 цунамигенных горизонтов, представленных темно-серыми морскими песками с галькой: Ц1-Ц13.

Слой Ц1-Ц2 залегают выше маркирующего горизонта пепла от извержения вулкана Ксудач 1907 г. Отложения представлены 2-10-сантиметровыми слоями темно-серых, не слоистых морских песков и галькой, по своему облику схожих с пляжевыми. Крупность песков изменяется от крупно- и грубозернистой до мелко- и средиезернистой. Максимальное расстояние заплесков вглубь берега Ц1-250м, Ц2-500-600м. Максимальная высота берегового вала, за которым обнаружен горизонт Ц2- 6,5-9 метров, По положению, занимаемому в разрезах (рис. 1,2, разрезы 309-315), определено, что это следы исторических цунами 1960 и 1952 гг.

Слой Ц3 залегает между маркирующим горизонтом пепла Ксудача 1907 г. и пеплом АВ-1 от извержения вулкана Авачинского 1855 г. Мощность отложений цунами от 1 до 5 см, максимальный заплеск вглубь побережья 320 м. По положению в разрезах слой Ц3 отнесен к историческому цунами 1904 г.

Слой Ц4-Ц5 залегают между пеплами АВ-1 и АВ-2 от извержений вулкана Авачинского 1855 г. и 1779 г. Мощность отложений до 4-5 см. Максимальный заплеск цунами около 450 м. Из данных каталога исторических цунами на Камчатке, цунами Ц4-Ц5 могут быть отнесены к событиям 1841 и 1792 (1827?) гг.

Слой Ц6-Ц8 залегают между пеплами АВ-2 и ОП от извержения вулкана Опала 606 г. (рис. 2, разрезы 309-313). В разрезе 309 Ц8 отделено от Ц7 пеплом АВ-3 от извержения вулкана Авачинского около 1200-1300 г. Мощность отложений до 5-6 см. Максимальный заплеск на побережье Ц6-Ц7 450-550 м, Ц8-300-350 м. Верхнее событие Ц-6, по-видимому, можно отнести к историческому цунами 1737 г., нижние слои Ц7-Ц8 относятся к доисторическим событиям. По историческим сведениям считается, что землетрясение и цунами 1737 г. являются крупнейшими за весь летописный период на Камчатке, однако по полученным нами данным, в Авачинском заливе это событие сопоставимо с цунами 1952 г. Максимальная высота берегового вала, через который перекрестнуло цунами 1737 г. 9-10 м.

Слой Ц9-Ц10 залегают между пеплами ОП и КСи от извержения вулкана Ксудач 236 г. (рис. 2, р-з 312-315). Мощность отложений менее 5 см. Максимальный заплеск- 600 м. от современной береговой линии.

Слой Ц 12-13 залегают между пеплами КС1 и АВ-12- от извержения вулкана Авачинского около 1500 лет до н.э. (рис. 2, р-з 313, 315-318-а). Мощность отложений до 10 см., максимальный заплеск- около 800-900 м. от современной береговой линии.

На момент цунами береговая линия находилась на несколько сотен метров ближе в сторону суши относительно современной.

На основе описаний всех геологических разрезов построена сводная временная шкала (рис. 3). На шкале показано положение маркирующих прослоев вулканической тефры и событий цунами. Наиболее полная информация получена для последних 300 лет. Полученные данные позволяют сделать вывод, что на побережье Халактырского пляжа, цунами с высотами порядка 6-10 м происходят в среднем раз в 60 лет. Зона затопления при этом находится в пределах первого километра побережья.

Выводы

- По полученным данным установлено, что за последние 3.5 тысячи лет максимальные дальности заплесков цунами в районе Халактырского пляжа не превышали первого км.
- Цунами со средними высотами волн при подходе к побережью порядка 6,5-8,5 м (аналогичные цунами 1952 г.) в районе Халактырского пляжа затапливают участок побережья шириной до 600 м.
- В Авачинском заливе сильные цунами с высотами заплесков на побережье выше 6 м происходят в среднем раз в 60 лет (по наиболее полным данным за последние 300 лет).
- Район Халактырского озера и проектируемая трасса газопровода отнесена, по полученным данным, к цунамибезопасной зоне.

ЛИТЕРАТУРА

- Брайцева О. А., Мелекесцев И. В. Тефрохронологический метод. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. Л., Недра, 1987, 227-234.
- Брайцева О. А., Сулержицкий Л. Д., Пономарева В. В., Мелекесцев И. В. Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в гренландском ледниковом щите. *Доклады Академии Наук*, 1997, 352, 4, 516-518.
- Булгаков Р. Ф., Иванов В. В., Храмушин В. Н., Певзнер М. М., Сулержицкий Л. Д. Исследования следов палеоцунами для цунамирайонирования. *Физика земли*, 1995, 2, 18-27.
- Викулин А. В. Миграция очагов сильнейших Камчатских и Северо-Курильских землетрясений и их повторяемость. *Вулканология и сейсмология*, 1992, 1, 46-61.
- Заякин Ю. А., Пинегина Т. К. Цунами на Камчатке 5 декабря 1997 г. Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия (сборник статей). Петропавловск-Камчатский, 1998, 257-265.
- Заякин Ю. А. Цунами у берегов Камчатки за период 1983-1986 гг. Труды Дальневосточного Орцна Трудового Красного Знамени регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института, вып. 145 «Исследования по физике океана и атмосферы и волновым процессам», С.-Петербург, Гидрометиздат, 1992, 68-75.
- Заякин Ю. Я., Лучинина А. А. Каталог цунами на Камчатке. Обнинск: ВНИИГМИМЦД, 1987, 50с.
- Мелекесцев И. В., Краевая Т. С., Брайцева О. А. Почвенно-пирокластический чехол и его значение для тефрохронологии на Камчатке. Вулканические фации Камчатки. М., Наука, 1969, 61-71.

- Пинегина Т. К. Вывчення палеосейсмічності шляхом аналізу відкладів давніх цунами. *Вестник Киевского Университета, серия География*, вып. 41, 1995, 165-171. (на укр. яз.)
- Пинегина Т. К., Базанова Л. И., Мелекесцев И. В., Брайцева О. А., Сторчеус А. В., Гусяков В. К. Доисторические цунами на побережье Кроноцкого залива, Камчатка, Россия. *Вулканология и сейсмология*, 2000, №2.
- Пинегина Т. К., Мелекесцев И. В., Брайцева О. А., Сторчеус А. В. Следы доисторических цунами на Восточном побережье Камчатки. *Природа*, 1997, 4. 102-107.
- Соловьев С. Л. Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане. Волны цунами. М., 1972, 7-48.
- Braitseva O. A., Ponomareva V. V., Sulerzitsky L. D., Melekestsev I. V., and Bailey J., 1997 Holocene Key-Marker Tephra Layers in Kamchatka, Russia. *Quaternary research*, 47, 125-139.
- Bourgeois J., Titov V., and Pinegina T. K., 1999: New data about 1969 Tsunami on Bering Sea, Russia, AGU.
- Minoura K., and Nakaya S., 1983: Traces of tsunamis in marsh deposits of the Sendai Plain. North East Japan. Proc. Fourth Congr. Mar. Sci. Technology PACON, Tokyo, Japan, 1983, 1, p. 1410144.
- Minoura K., and Nakaya S. Traces of tsunamis preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan. *Journal of Geology*, 1991, 99, 265-287.
- Pinegina T. K., Bazanova L. I., Melekestsev I. V., Braitseva O. A., and Bourgeois J. Statistical analysis of prehistoric tsunami frequency on the Kronotsky Bay coast, Kamchatka, Russia. *Quaternary Research*, (in print)
- Pinegina T. K., and Bourgeois J., 1998: Tsunami deposits and paleo-tsunami history on Peninsula Kamchatskiy (56-57°N), Kamchatka region (Bering Sea), Russia. Preliminary report, AGU.