

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова

На правах рукописи

РГБ ОД
22 МАЙ 2000

Пинегина Татьяна Константиновна

УДК 551.46

ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЕОЦУНАМИ НА КАМЧАТКЕ

Специальность 11.00.08 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ

ДИССЕРТАЦИИ

На соискание ученой степени
Кандидата географических наук

МОСКВА 2000
Работа выполнена в Институте Вулканической Геологии и Геохимии
ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук, профессор Б.В.Левин
Доктор геолого-минералогических наук Б.В.Иванов

Официальные оппоненты:

доктор географических наук Ю.А.Павлидис
доктор геолого-минералогических наук А.А.Никонов

Ведущая организация: Камчатский Экологический Центр

Защита состоится «30» мая 2000 г. в «14⁰⁰» часов на заседании специализированного Совета КСО 2 86.02 по присуждению ученой степени кандидата географических наук в Институте океанологии им. П.П.Ширшова Российской Академии Наук, по адресу: 117851, Москва, Нахимовский проспект, д.36.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института океанологии им. П.П.Ширшова

Автореферат разослан «30» апреля 2000 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета,
Кандидат географических наук

С.Г.Панфилова

Д 9 (2Р55-4К2М4)344, 0

Д 344.04 0

ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЕОЦУНАМИ НА КАМЧАТКЕ

Актуальность темы исследований. Камчатский регион является одним из наиболее сейсмически активных в мире. Населенные пункты, расположенные на побережье Тихого Океана и Берингова моря, помимо сейсмических и вулканических явлений, периодически подвергаются воздействию цунами. В связи с этим, изучение повторяемости возникновения наиболее сильных цунами на различных участках Камчатской сейсмофокальной зоны, миграции очагов цунамигенных землетрясений во времени и пространстве, построение моделей распространения цунами на побережье – весьма актуальны для Камчатского региона.

На Дальнем Востоке России эпицентры большинства сильных цунамигенных землетрясений приурочены к Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне. Сильные и катастрофические цунами, с высотой заплесков свыше 10 м вдоль большого участка побережья (сотни километров) возникают, как правило, в результате мелкофокусных землетрясений с магнитудой $M > 7-8$. По статистическим данным около 10% землетрясений, происходящих в океане, вызывают цунами. Сильные и катастрофические цунами – явление относительно редкое. На Камчатке за исторический период (около 260 лет) отмечено 14 таких событий. 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.

Во многих странах, чьи побережья периодически подвергаются цунами, период исторических наблюдений за этим явлением так же короток. В связи с этим, в последнее время во всем мире, в том числе и на Дальнем Востоке России, приобрели большую актуальность исследования отложений доисторических цунами (палеоцунами). Эти исследования позволяют определить частоту возникновения сильных цунамигенных землетрясений (например, для Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны), реконструировать масштабы воздействий волн цунами на побережье, в первом приближении оценить энергию сейсмических событий. Данные, полученные по результатам исследований палеоцунами, имеют большое значение для изучения закономерностей миграции очагов сильнейших землетрясений, происходящих в сейсмофокальной зоне и для их долгосрочного прогноза. По характеру следов цунами на побережье, возможно выявить локальные формы рельефа, концентрирующие

энергию волн цунами, что необходимо для составления карт цунамиопасности и долгосрочного прогноза цунами - риска.

Цель работы – поиск и идентификация отложений палеоцунами на восточном побережье Камчатки; определение времени и исследование периодичности возникновения, а также параметров проявления на берегу (величины и глубины заплесков) сильных и катастрофических цунами в голоцене;

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- выработана методика поисков и идентификации отложений палеоцунами на побережьях Камчатки;
- создана и реализована методика статистического расчета возрастов отложений цунами в геологических разрезах по скоростям осадконакопления и данным тефрохронологии;
- определена частота повторяемости цунами, проявившихся в средне-позднем голоцене в различных пунктах восточной Камчатки; для этих районов проведена корреляция отложений наиболее сильных цунами;
- предложен новый подход к составлению карт цунамиопасности - с учетом полученных моделей интенсивности воздействия волн цунами на локальные участки побережья.

Фактический материал и районы исследований. В основу работы положены материалы, собранные автором во время полевых исследований в шести районах Восточного побережья Камчатки в течение 1995-1999 годов (рис. 1). В ходе работ было описано около 500 геологических разрезов, отобрано и исследовано под биноклем и микроскопом свыше 1000 образцов вулканической тefры, морских, речных, эоловых и цунамигенных песков. Образцы из цунамигенных горизонтов, были проанализированы на гранулометрический состав. Получено свыше 40 дат ^{14}C по торфу, подстилающему и перекрывающему отложения палеоцунами. Часть данных по распространению вулканических пеплов любезно предоставлена сотрудниками лаборатории тефрохронологии ИВГиГ ДВО РАН – О.А. Брайцевой, Л.И.Базановой, В.В.Пономаревой, И.В.Мелекесцевым.

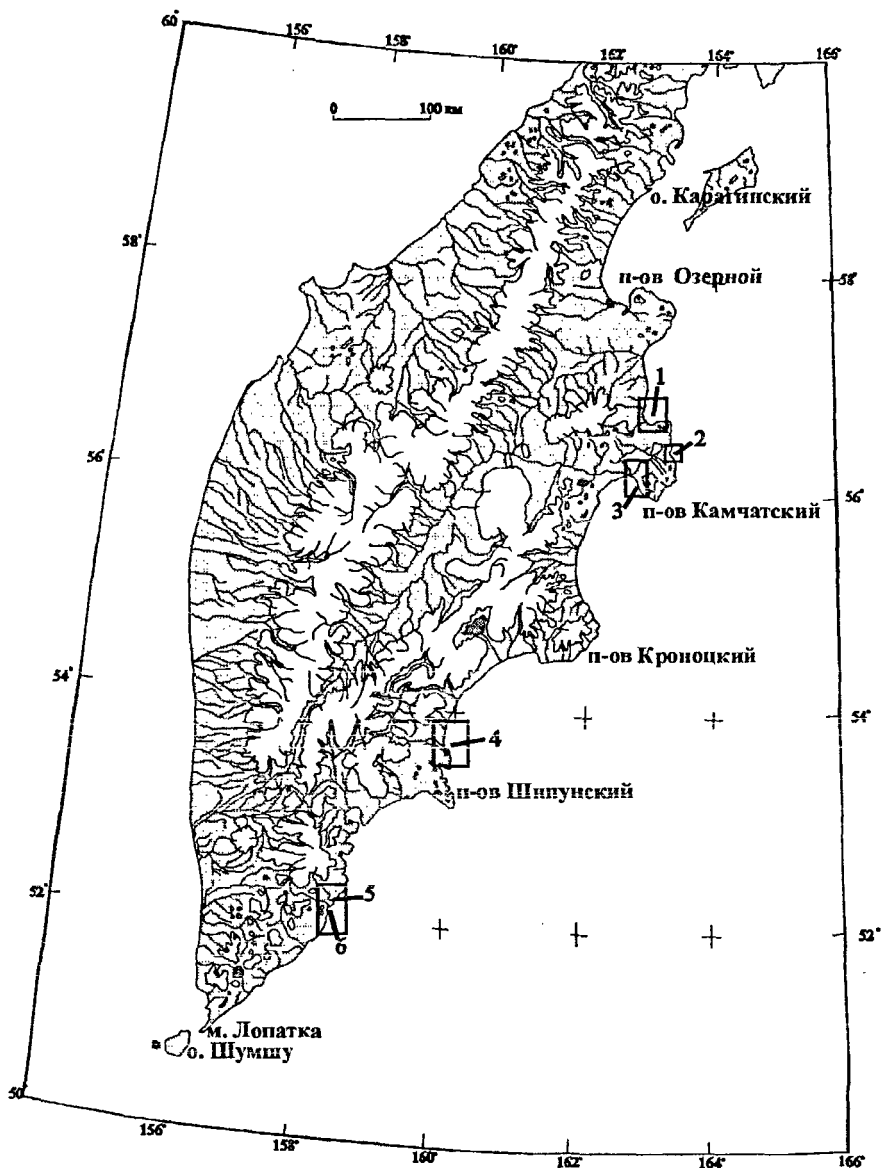


Рис. 1. Участки исследований палеоцитрусов на Камчатке в 1995-1999 гг.
 1 - устье р. Столбовая; 2 - бух. Солдатская; 3 - побережье у пос. Крутоберегово; 4 - устье р. Жупанова; 5 - бух. Мутная; 6 - бух. Асача

В 1995 г. были начаты исследования в Кроноцком заливе - в районе устья р. Жупанова. В 1996 г. полевые работы были продолжены в устье р. Жупанова, а так же начаты работы на юге Камчатки – в бухте Мутная. В 1997 г. проведены исследования в бухте Асача (юг Камчатки). В 1998-1999 гг. проведены работы в районе, граничащем с северным окончанием Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны – на территории полуострова Камчатский. Здесь были обследованы бухты Солдатская, Столбовая и побережье у поселка Крутоберегово. Таким образом, исследования палеоцунами были проведены вдоль северного и центрального участка Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны, охватив побережье на протяжении 750 км.

Методика исследований.

Для решения поставленных задач на полевом и камеральном этапах работ применялся комплекс геолого-геоморфологических методов, включая литологический, стратиграфический, ритмостратиграфический, палеогеоморфологический; анализировались топографические и аэросъемочные материалы.

Во время проведения полевых работ, на выбранном участке проводилась нивелирная съемка профиля побережья – от уреза воды - через пляж, береговые валы и на расстояние максимальных заплесков цунами. Вдоль профилей закладывались шурфы и описывались геологические разрезы. Обычно, вдоль каждого профиля закладывалось от 5 до 10 шурфов. Глубина шурфов изменялась в среднем от 1 до 4 м - в зависимости от возраста поверхности, на которой закладывался шурф. Из геологических разрезов отбирались образцы.

Для образцов отобранных из торфа, отложений цунами и вулканических пеплов, были сделаны радиоуглеродные (^{14}C), гранулометрические, минералогические, спектральные 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. Компьютерная обработка данных, и расчет возрастов палеоцунами проводились в программе "Statistika".

Научная новизна.

Впервые проведено комплексное изучение отложений палеоцунами на восточной Камчатке; оценена повторяемость цунами и вызвавших их землетрясений за последние 3-5 тысяч лет; выявлен этап регионального усиления сейсмической активности (1000-2000 лет назад), совпадающий с синхронной активизацией вулканизма на Камчатке. Для отдельных участков получены зависимости между высотами волн цунами и дальностью их проникновения вглубь побережья, а так же между интенсивностью и частотой повторяемости цунами за последние 3-5 тыс. лет.

Основные защищаемые положения

- Впервые на Камчатке в шести районах восточного побережья идентифицированы и исследованы отложения древних волн цунами; для этих участков получены статистические данные о повторяемости и интенсивности сейсмических событий в голоцене.
- Установлено увеличение частоты повторяемости цунами 1000-2000 лет назад, что согласуется с периодом усиления сейсмотектонической активности Камчатского региона и в целом совпадает с синхронной активизацией действующих вулканов Камчатки [Брайцева и др., 1997];
- Существующий на Камчатке каталог цунами (с 1737 г.) продлен минимум на 2 тысячи лет;
- Зависимость между частотой повторяемости цунами, и интенсивностью цунами на локальных участках побережий, во многом определяется геоморфологией побережья, влияние которой может быть количественно описано с помощью предлагаемых эмпирических графиков; выявленные зависимости для Кроноцкого залива, п-ова Камчатский, бухт Асача и Мутная, могут стать основой долгосрочного прогноза цунами-риска для этих районов;

Практическая значимость.

Результаты данной работы были использованы при уточнении карт цунамирайонирования и цунамиопасности, для долгосрочного прогноза цунами на Восточном побережье Камчатки (Отчет опытно-методической сейсмологической партии геофизической службы России «Уточнение карты общего сейсмического районирования Корякского Автономного Округа», Петропавловск-Камчатский, 1995, т.3, глава 2.).

Полученные материалы по палеосейсмичности региона могут быть использованы в сейсмологических моделях, исследующих развитие Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны и для долгосрочного прогноза сильных землетрясений в регионе.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 10 работ. Основные результаты и положения, изложенные в диссертации, докладывались на российских и международных конференциях, школах-семинарах и презентациях, которые проходили в г. Петропавловске-Камчатском (1996, 1998, 1999 гг.), г. Сизтле (1997, 2000 гг.), Сан-Франциско (1998, 1999 гг.), г. Москве (1997, 1998, 1999 гг.), Ванкувере (2000 г.) на ежегодных конференциях в ИВГиГ ДВО РАН (1995-1999 гг.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, списка литературы из 73 наименований, включает 6 таблиц, 49 иллюстраций и занимает 142 машинописных страницы.

Работа выполнена под руководством докт. геол. - мин наук Б.В.Иванова, и докт. физ.-мат. наук Б.В.Левина, которым автор искренне признателен за действенную помощь в работе и активное участие в обсуждении всех вопросов, возникших по ходу работы.

Автор благодарен коллегам из Института Вулканической геологии и геохимии ДВО РАН – И.В.Мелекесцеву, Л.И.Базановой, О.А.Брайцевой, В.В.Пономаревой за помощь при идентификации маркирующих горизонтов тефры и обработке материала, Ю.О.Егорову и Е.Г.Сидорову за помощь и критические замечания при подготовке и написании диссертации; сотрудникам ГИН РАН Л.Д. Сулержицкому, М.М. Певзнер, Н.А.Зарецкой – за проведение анализов по радиоуглеродному датированию образцов. Автор также признателен проф. Дж. Буржуа (геологический департамент, университет штата Вашингтон) за помощь в интерпретации цунамигенных отложений при выполнении совместных полевых работ 1998-1999 гг.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ – грант № 96-05-64764 и грант № 97-05-96616

ГЛАВА 1. Анализ физических характеристик волн цунами при возникновении, распространении и набегании на сушу.

Для правильной интерпретации геологических эффектов палеоцунами на побережье, необходимо представлять основные физические характеристики волн цунами. Глава I посвящена анализу литературных источников, в которых рассматриваются характеристики цунами с момента возникновения - и до момента воздействия на побережье. Сделана попытка обосновать исследования палеоцунами с точки зрения возможности использования полученных данных в палеосейсмологии.

В главе рассмотрены следующие вопросы: описание явления; механизм формирования цунами; интенсивность цунами и их энергия; длины и периоды цунами; распространение цунами на глубокой воде; скорость распространения цунами; изменение элементов цунами при подходе их к берегу; рефракция и отражение волн у материковой отмели; влияние формы береговой линии и прибрежной батиметрии на высоту волн; воздействие цунами на берег; геоморфологическое строение побережий и интенсивность цунами;

На вариации высоты волны вдоль побережья оказывает влияние конфигурация береговой линии. В природных условиях наблюдается закономерная связь между величиной трансформации волн цунами и рельефом побережья. Большое значение для оценки опасности цунами для тех или иных районов побережья приобретает, таким образом, анализ надводного рельефа. Характер рельефа и типы берегов определяют ширину зоны воздействия волн цунами, силу и глубину проникновения прибойного заплеска и, в конечном счете, степень опасности цунами для участков побережья. Восстанавливая максимальные высоты и заплески палеоцунами по их отложениям, возможна оценка влияния рельефа локальных участков побережья на трансформацию волн.

В то время, как максимальная высота и глубина заплесков цунами на локальных участках варьирует в широких пределах (в зависимости от рельефа), протяженность побережья, подверженного цунами зависит главным образом от интенсивности цунами.

Показано, что зная протяженность побережья, подверженного цунами, возможно оценить силу произошедшего землетрясения. Такая задача может иметь место при определении силы исторических землетрясений, когда отсутствовали приборы для их регистрации, а сведения о районах побережья, охваченных цунами, имеются.

Исследования отложений палеоцунами позволяют определять протяженность побережья, подвергшегося наиболее сильному воздействию цунами для отдельных,

событий, и, следовательно, использовать данные о палеоцунами для приближенной оценки энергии и магнитуд землетрясений их вызвавших.

Амплитуды цунами зависят от расстояния до источника. Предполагая (на основе анализа исторического каталога цунами), что наиболее сильные цунами на Камчатке возникают в результате близких землетрясений вдоль Курило-Камчатской субдукционной зоны, и зная высоту заплесков цунами по меньшей мере в 3 пунктах на открытом побережье, можно приблизительно определить местоположение эпицентра цунамигенного землетрясения.

Таким образом, восстанавливая параметры палеоцунами по их геологическим следам, можно в первом приближении оценить эпицентр и энергию цунамигенного землетрясения.

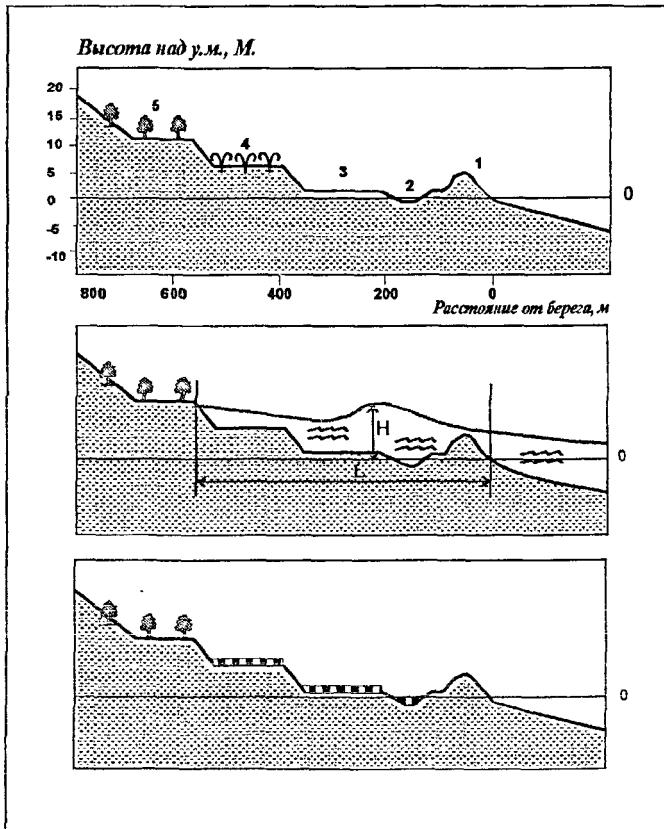
ГЛАВА 2. Обзор мировых исследований в области палеоцунами. Используемые методы и основные результаты.

В главе 2 на основе литературных данных рассматриваются основные направления и результаты изучения палеоцунами в мире и, в частности, в России. Кратко описана история возникновения этого направления, которое находится на стыке различных наук. Особое внимание уделено состоянию изученности этого вопроса на сегодняшний день. Подчеркнута новизна данного направления.

Отложения древних цунами стали объектом изучения сравнительно недавно. Первые такие работы были выполнены в Японии в середине 80-х годов. На побережье был обнаружен цунамигенный материал (рис. 2), а его возраст был сопоставим с датами исторических цунами.

На основе анализа последствий цунами 26 мая 1983 года на побережье Японского моря, К.Миноура [Minooua, 1983] выделил три типа геолого-геоморфологических эффектов воздействий цунами:

- перенос осадков из пляжной зоны и осаждение их во внутренних водоемах ближней зоны побережья (межбереговые понижения, болота, лагуны, марши);
- перемещение глубоководных отложений внутренних водоемов на мелководье;
- проникновение морской воды в болото или озеро, длительное сохранение этой воды в глубоководных частях этого озера, подавление биологической



- 1- береговые валы*
- 2- болота, марши, лагуны*
- 3-5- серии береговых террас*
- H- высота волны*
- L- ширина зоны затопления побережья*
- ▣ отложения цунами*

Рис. 2 Механизм образования отложений цунами на побережье

активности существующего там биоценоза, уменьшение скорости накопления биологической части осадка;

На основании своих исследований, К.Миноура сделал следующие выводы:

- Органические осадки озер и болот сохраняют информацию о происшедших цунами в течение сотен, а иногда и тысяч лет; эта информация позволяет оценить даты и периодичность событий и записывается в виде слоев, обогащенных песком прибрежных дон внутри толщи илов.
- Появление обогащенных морским песком слоев с большой достоверностью (по оценке Миноура 80%) свидетельствует о факте цунами, затопившем рассматриваемую акваторию.
- Характерные скорости осадконакопления 0.3-0.5 см/год (для Японии), и для поисков отложений цунами необходимо анализировать литологические колонки глубиной 2-10 м.

Находки отложений палеоцунами вызвали целую волну исследований подобного рода в различных странах- США, Чили, Норвегии, странах Средиземноморского региона и т.д. Большое внимание уделялось изучению вещественного состава отложений, их распределению на побережье. Однако при проведении подобных работ удавалось изучать лишь отдельные события цунами, поэтому вопросы связанные с определением повторяемости цунамигенных землетрясений за голоцен не рассматривались. Таким образом, к началу 90-х годов, за рубежом появилось новое направление палеосейсмологии - исследования палеоцунами.

Однако, при проведении подобных работ удавалось изучать лишь отдельные события цунами, поэтому вопросы, связанные с определением повторяемости цунамигенных землетрясений за голоцен не рассматривались.

В главе 2 кратко рассмотрен комплекс основных методов, которые использовались в мировой практике при поиске отложений палеоцунами, их идентификации от различных генетических типов осадочных отложений (флювиальных, эоловых, делювиальных и т.д.) а также при датировке. К числу наиболее широко применяемых методов изучения палеоцунами можно отнести исторический и археологический методы; геолого-геоморфологические методы (литологический, ритмостратиграфический, палеогеоморфологический); биостратиграфический; азротопографический; методы абсолютных датировок (наиболее широко применяется метод ^{14}C).

Стратиграфические методы изучения отложений цунами наиболее широко применяются как за рубежом, так и в России. Частным случаем этого метода является метод тефростратиграфии. Он основан на изучении и корреляции маркирующих горизонтов вулканических пеплов (тефры), каждый из которых имеет характерный облик, химический и минералогический состав и распространение на большой территории. Автор применил тефростратиграфический метод как базовый при корреляции отложений палеоцунами на Камчатке [Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., 1987].

Широкое использование за рубежом для стратиграфии и корреляции геологических разрезов, получил биостратиграфический метод [Robert E. и др., 1992]. Присутствие остатков морских организмов и растений в предполагаемых цунамигенных отложениях, служит дополнительным обоснованием их генезиса. На Камчатке этот метод мало пригоден для использования, т.к. органические остатки имеют здесь очень плохую сохранность, что связано, возможно, с повышенной кислотностью почв, содержащих большое количество вулканического пепла.

Комплекс геоморфологических методов, основанный на анализе форм рельефа и коррелятивных им отложений, так же широко использовался зарубежными исследователями [Atwater B., 1987; Waythomas C., 1997]. Эти методы оказались очень эффективными и для Камчатки. При изучении изменений на протяжении голоцена морфологии береговых линий, датировке прибрежных сейсмодислокаций и деформаций, автор использовал палеогеоморфологический метод, основанный на анализе эволюции рельефа для конкретных временных промежутков.

Аэрофотографические методы, совместно с геолого-геоморфологическими, используются на всех стадиях исследований. С их помощью выбираются ключевые участки на побережьях, где:

- могут сохраниться цунамигенные отложения;
- дешифрируются сеймотектонические формы рельефа;
- присутствуют хорошо развитые торфяники;
- конфигурация побережий и шельфа не препятствует свободному проникновению цунами.

Показано, что Восточно-Камчатский регион является чрезвычайно благоприятным и уникальным полигоном для исследований палеоцунами. Это связано:

- с близостью Восточно-Камчатского побережья к эпицентральной областям сильнейших землетрясений, расположенных в пределах Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны;
- с преобладанием положительных тектонических движений вдоль восточного побережья региона, что создает условия для образования многочисленных морских террас и береговых форм рельефа за весь период голоцена;
- с возможностью применения методов тефрохронологии и тефро-стратиграфии - для корреляции и датировки отложений цунами. Методы основаны на идентификации в геологических разрезах маркирующих леплов - от известных вулканических извержений;
- с наличием древних торфяников во многих местах Восточного побережья Камчатки, в которых из-за высокой скорости торфонакопления, горизонты вулканических леплов и цунами могут сохраняться на протяжении тысяч лет.

ГЛАВА 3. Исследования отложений палеоцунами на восточном побережье Камчатки.

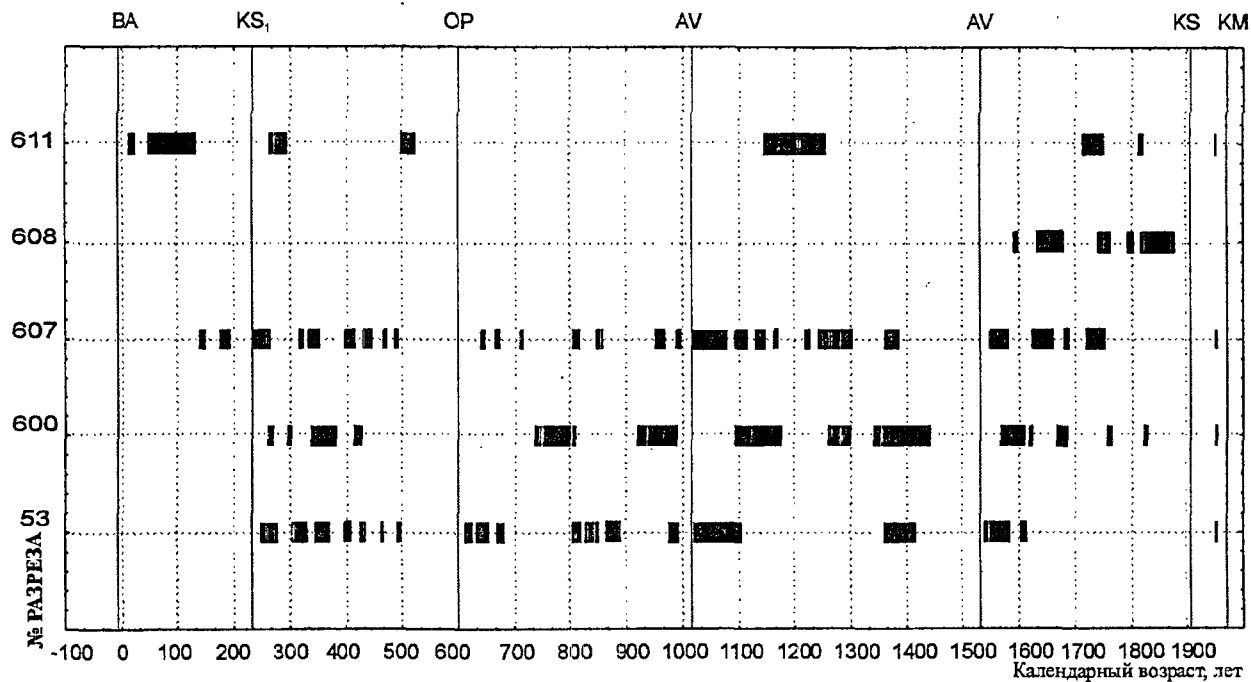
В главе рассматриваются данные полевых исследований, проведенных для отдельных районов восточного побережья Камчатки в период с 1995 по 1999 гг.

Для идентификации цунамигенных отложений были определены следующие критерии:

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

3.1. Исследования последствий цунами 5 декабря 1997 г. на Камчатке.

В декабре 1997 г. автор принял участие в исследовании последствий цунами, произошедшего на побережье Кроноцкого залива 5.12.97, где имел возможность



Примечания: Индексами ВА - КМ обозначены извержения вулканов, пеплы которых являются маркирующими в данном районе [Брайцева и др., 1997];

Ширина закрашенных квадратов соответствует временному интервалу, в пределах которого проходили цунами;

Рис.3 Рассчитанный возраст палеоцунами для Кроноцкого залива.

наблюдать свежие следы цунами. В разделе сделаны выводы об особенностях отложений цунами, высоте заплесков - в зависимости от рельефа побережья, об аккумулярующей и эрозионной деятельности воли цунами, приведен ряд фотографий, демонстрирующих следы проявления цунами на побережье.

3.2. Исследования палеоцунами в районе устья р.Жупанова (Кроноцкий залив).

На этом участке (см. рис. 1, участок № 4) в прибрежных торфяниках и на высоких (30-35 метровых) террасах было обнаружено 44 горизонта отложений палеоцунами за период около 7000 ^{14}C лет. Наиболее полная хронология событий получена для последних 2000 лет (рис. 3). По этим данным определены характерные частоты возникновения цунами в Кроноцком заливе. Полученные данные позволили выявить зависимости между частотой цунами и их интенсивностью, а так же между высотой волн цунами и дальностью их проникновения вглубь суши (рис. 4). Так, например, цунами с высотой около 5 м происходили, в среднем, 12 раз в 1000 лет. При этом волны проникали примерно на 1 км вглубь побережья. Цунами с высотой волны около 30 м происходили здесь примерно 1 раз в 1000 лет, при этом максимальная дальность их проникновения составляла более 10 км вверх по течению реки и низкой речной террасе. Выяснилось, что повторяемость цунами в Кроноцком заливе в начале нашей эры (1500-2000 лет назад) составляла примерно 1 событие в 50 лет. В течение последующих интервалов повторяемость цунами уменьшилась с 55 лет (1000-1500 лет назад) до 70 лет (1000-400 лет назад). Начиная с 1737 г. до настоящего времени, значение повторяемости цунами свыше 5 м в Кроноцком заливе снова увеличилось в среднем до 1 события в 40-50 лет.

3.3. Исследования палеоцунами на юге Камчатки (бухты Мутная, Асача).

В районе бухт Асача и Мутная (рис. 1, участки №5, №6) идентифицировано соответственно 21 и 23 горизонта цунами за период свыше 7 тысяч ^{14}C лет. Наиболее полная статистика по этим событиям (в силу геоморфологических условий побережья), получена за последние 1500-2000 тысячи лет. Судя по стратиграфическому положению цунамигенных горизонтов в геологических разрезах, как минимум два из них можно отнести к историческими цунами 1952 и 1737 гг. Эти цунами поднялись вверх по рекам Асача и Мутная на расстояние 10-12 км. Следы максимально высоких заплесков более древних цунами были найдены здесь на террасах высотой 25-35 м.

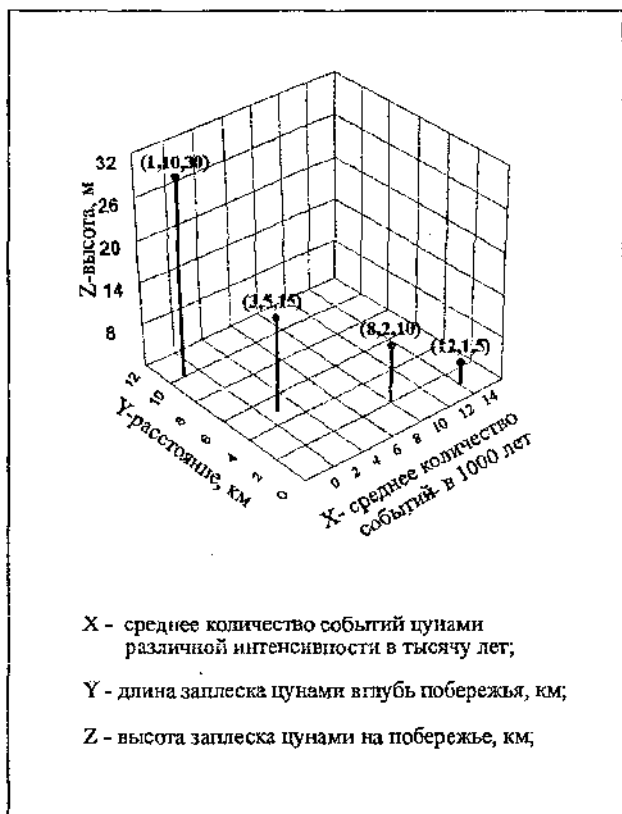
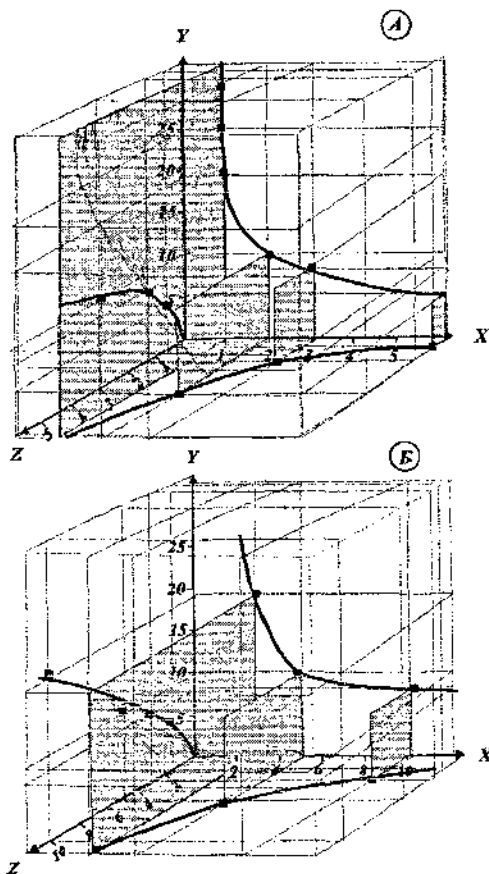


Рис. 4 График зависимости частоты повторяемости цунами (X) от интенсивности (Z, Y) для Кроноцкого залива, по данным исследований палеоцунами.



*А, Б - повторяемость волн цунами в зависимости от интенсивности цунами .
 А - бухта Асача (данные за последние 1500 лет);
 Б - бухта Мутная (данные за последние 1800 лет).*

X - среднее количество событий цунами различной интенсивности;

Y - высота заплеска цунами на побережье в метрах;

Z - заплеск цунами вглубь побережья в километрах

↙ проекции зависимостей интенсивности, частоты и дальности заплесков цунами на плоскости XY, XZ, YZ

Рис.5 Графики повторяемости цунами для бух. Мутная и бух. Асача

Побережье бухты Асача в большей мере открыто цунами восточного и юго-восточного направления, а побережье бухты Мутной - восточного и северо-восточного. Подводный рельеф бухт практически одинаков. На основе анализа отложений палеоцунами выяснилось, что формы рельефа на побережье бухты Мутной усиливают проявление цунами на берегу в 1.5-2 раза по сравнению с соседней бухтой Асача. (рис.5)

В этом районе были изучены и датированы береговые сейсмодетформации, представленные сейсмообвалами на склонах береговых хребтов, уступами и сдвигами на поверхности одновозрастных морских террас, рядом характерных береговых форм рельефа, сформированных под влиянием сеймотектонических подвижек. Оказалось, что большинство из них образовалось около 7-8 тыс. лет назад и 1-2 тыс. лет назад. Скорость сеймотектонических поднятий увеличивается по направлению от бух.Мутная к бух.Асача примерно в 2 раза. Так, например, абсолютная высота одновозрастной морской террасы изменяется от 6-7 до 15 м. над уровнем моря.

3.4. Исследования палеоцунами на побережье Камчатского полуострова.

На полуострове Камчатском были исследованы 3 района - бухты Солдатская, Столбовая и юг полуострова в районе поселка Кругоберегово (см. рис.1, участки № 1-3). Камчатский полуостров расположен у северной границы Курило-Камчатской субдукционной зоны. Выяснилось, что сильные землетрясения и цунами - события, характерные для более южных участков зоны, - происходили и на севере Камчатки на протяжении голоцена (рис. 6). В этом районе были найдены следы 21 цунами, с высотами 6-8 м. и выше, в том числе, получены дополнительные данные для 2 наиболее сильных исторических цунами - 1923 и 1969 гг.

Оказалась, что в бухте Солдатской скорость тектонических поднятий в среднем - позднем голоцене была очень высокой. В связи с этим здесь произошла перестройка речной сети, образовались серии высоких береговых валов, молодые морские террасы оказались сильно приподняты по сравнению с одновозрастными террасами соседних участков. Несмотря на высокую сейсмическую активность, бухта Солдатская в настоящее время является цунамипасной только при очень сильных и катастрофических цунами, т.к. проникновению волн здесь препятствуют подводные рифы вдоль побережья. В бухте были найдены следы лишь нескольких цунами за период 2-3 тысяч лет. Дальность заплеска самого сильного цунами за исторический период в этом районе (1923 г.), составила всего несколько десятков метров.

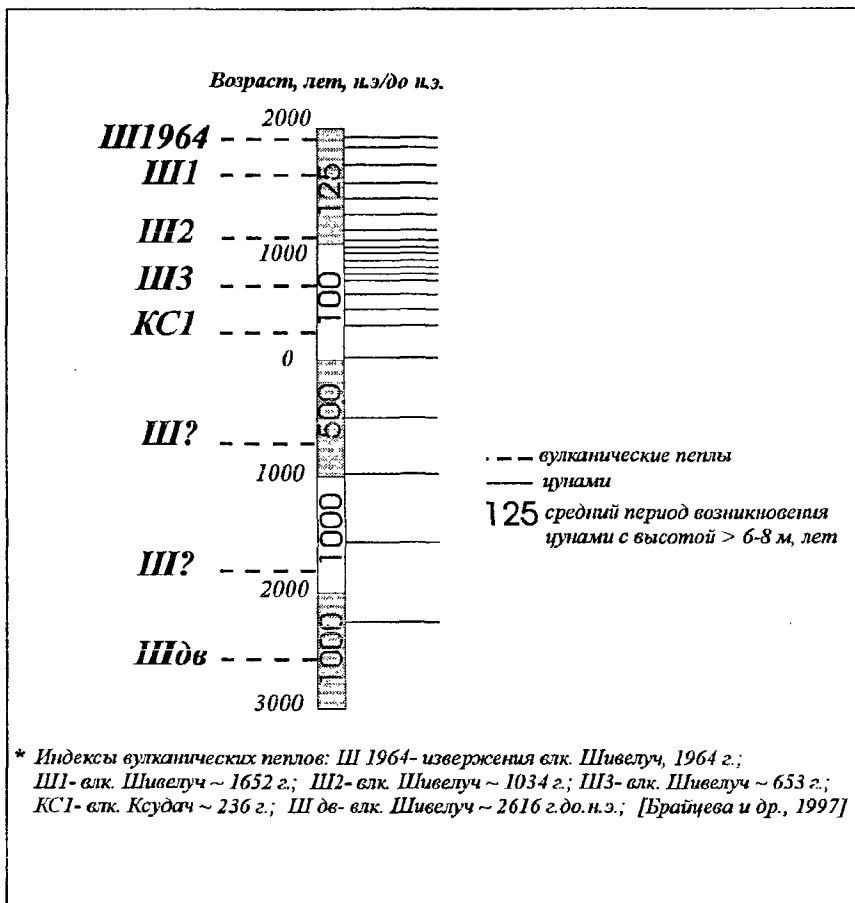


Рис. 6 Сводный тифрохронологический разрез и повторяемость цунами в заливе Озерной.

В бухте Столбовой, расположенной на севере Камчатского полуострова, сейсмотектоническая обстановка более стабильна. На протяжении последних 5 тысяч лет значительных изменений конфигурации побережья здесь не наблюдалось. Вместе с тем, этот район оказался наиболее цунамиопасным, хотя за период исторических наблюдений, здесь было зарегистрировано лишь одно цунами - 1969 г. Здесь было найдено наибольшее количество отложений палеоцунами на большом удалении от оксана. Это связано скорее всего, с наличием подводного каньона, примыкающего к устью р. Столбовой, который служит своеобразным волноводом для цунами.

ГЛАВА 4. Интерпретация результатов исследований по палеоцунами в палеосейсмологии и в прикладных целях.

В ходе исследований отложений палеоцунами на восточном побережье Камчатки, был получен новый материал за последние несколько тысяч лет - по частоте этих событий, по высотам заплесков отдельных цунами на побережье, по дальности их проникновения вглубь суши.

При обработке полученных данных и корреляции геологических разрезов, из всей имеющейся выборки событий, были отобраны наиболее сильные, предположительно имевшие место одновременно в различных районах.

На основе полученного материала по всем участкам, была составлена гистограмма повторяемости цунами (рис. 7), из которой следует, что 1000 - 2000 лет назад на всем восточном побережье Камчатки было увеличение частоты повторяемости цунами.

В главе рассмотрена возможность применения данных по палеоцунами при составлении карт цунамирайонирования и цунамиопасности.

Показано, что существующий для Камчатки исторический каталог цунами, возможно пополнить не только данными по древним событиям, но и внести поправки в уже имеющиеся описания. В ходе исследований были получены новые данные о проявлениях исторических Камчатских цунами 1841, 1923, 1939, 1959, 1969 гг. Для этих событий установлены реальные высоты заплесков на побережье, не совпадающие с приводимыми в каталоге, уточнены площади воздействия цунами. Данные, полученные по цунами 1969 г. подвергают сомнению представление о его обвальном происхождении, высказанное рядом исследователей.

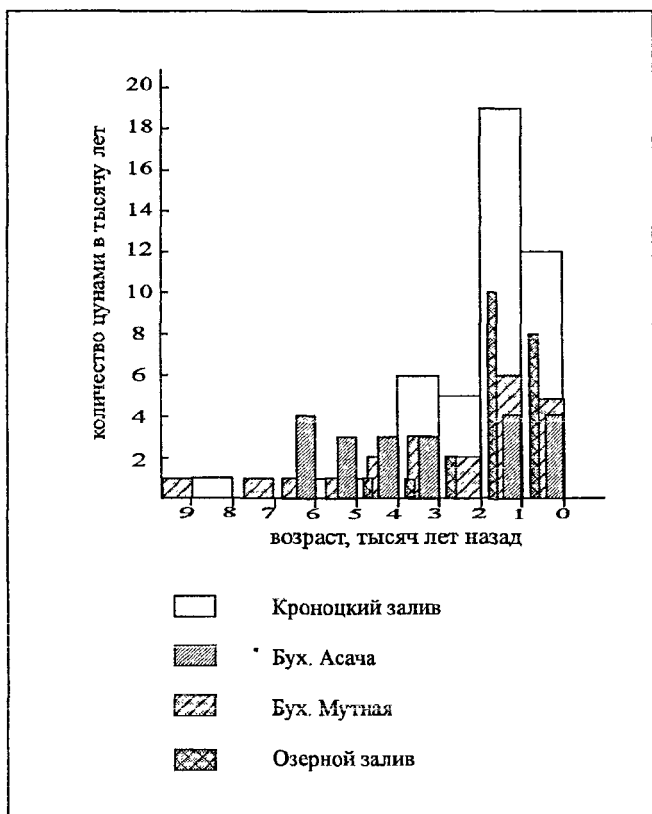


Рис. 7 Гистограмма повторяемости цунами для различных участков восточного побережья Камчатки с шагом в 1 тысячу лет.

Заключение.

- Впервые в шести районах восточного побережья Камчатки идентифицированы и исследованы отложения древних волн цунами происходивших в голоцене;

- Проводя полевую идентификацию цунамигенных отложений, автор выделил следующие их отличительные особенности: приуроченность к полосе побережья вне зоны штормовой досягаемости и к различным гипсометрическим уровням (примерно до 30 м над уровнем моря); присутствие в отложениях морского песка и окатанной гальки; незначительная мощность отложений (от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров); периодичность образования отложений (десятки - сотни лет).

- Для датирования и корреляции палеоцунами и землетрясений на Камчатке, наиболее эффективным является геохронологический метод.

- Для получения статистических данных по палеоцунами, необходимо изучение как можно большего числа геологических разрезов, т.к. количество и сохранность следов цунами даже в соседних разрезах различна.

- Расчеты возрастов горизонтов палеоцунами необходимо выполнять только по разрезам в торфяниках, т.к. в почвенных разрезах точность расчетов значительно ниже.

- Непосредственное датирование отложений палеоцунами методом ^{14}C может быть менее точным, чем датировки основанные на геостратиграфическом и геохронологическом методах. Неточности могут быть связаны с деятельностью волн цунами, которые приносят в торф органику.

- Установлено, что на всех исследованных участках восточного побережья Камчатки (около 750 км с севера на юг) 1000-2000 лет назад было увеличение частоты повторяемости цунами, совпавшее по времени с активизацией действующих вулканов, образованием целого ряда крупнообъемных сейсмообвалов в центральной и восточной Камчатке, что может быть объяснено увеличением сейсмотектонической активности для Камчатского региона в этот период;

- Для шести исследованных участков побережья получены статистические данные о повторяемости и интенсивности сейсмических событий за период 3-5 тыс. лет.

- Полученные данные по хронологии и интенсивности палеоцунами в Кроноцком заливе, позволили продлить существующий на Камчатке каталог

цунами на 2 тысячи лет назад - временной интервал, обеспеченный наиболее полными данными. Уточнены некоторые данные для исторических цунами – 1737, 1841, 1923, 1952, 1969 гг.

- Наличие отложений голоценовых цунами на побережье з-ва Озерной, свидетельствуют о возможности сильных землетрясений в акватории Берингова моря;

- Зависимость между частотой повторяемости и интенсивностью цунами, на локальных участках побережий, во многом определяется геоморфологией побережья, влияние которой может быть количественно описано с помощью предлагаемых эмпирических графиков; выявленные зависимости для Кроноцкого залива, п-ова Камчатский, бухт Асача и Мутная, могут стать основой долгосрочного прогноза цунами-риска для этих районов;

- Цунами с высотой около 5 м происходили в Кроноцком заливе в среднем 12 раз в 1000 лет. При этом волны проникали примерно на 1 км в глубину побережья. Цунами с высотой волны около 30 м происходили примерно раз в 1000 лет, при этом максимальная дальность их проникновения составляла 10 км по реке.

- Следы максимально высоких заплесков древних цунами были обнаружены в бухтах Асача и Мутная на террасах высотой 25-35 м, максимальное расстояние, на которое цунами проникали в глубину побережья по рекам – соответственно 5 км для бух. Асача и 12 км- для бух. Мутная.

- Береговой рельеф бухты Мутной заметно усиливает (в~1.5-2 раза) эффект цунами по сравнению с бух. Асача.

- Максимальные высоты палеоцунами в районе пос. Усть-Камчатска и Крутоберегово составляют 10 м. Дальность проникновения цунами на побережье для пос. Усть-Камчатск составляет первые километры. Вместе с тем, данные по палеоцунами показали, что для пос. Крутоберегово, цунами не представляют большой опасности. За последние несколько тысяч лет дальность заплесков волн цунами не превышала 600 м.

- Исследования палеоцунами позволяют определять протяженность побережья, подвергшегося наиболее сильному воздействию цунами для отдельных, наиболее крупных событий, и использовать эти данные для приближенной оценки очагов,

энергий и магнитуд древних цунамигенных землетрясений в Курило – Камчатской сейсмофокальной зоне.

Результаты диссертации опубликованы в следующих основных работах:

1. Пинегина Т.К. Вяззання палзосэйсмичнасці шляхам аналізу відкладів давніх цунамів // Вестник Киевского Университета, серия География, вып. 41, 1995. С.165-171. (на украинском языке)
2. Пинегина Т.К., Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Сторчевус А.В. Следы доисторических цунами на Восточном побережье Камчатки // Природа, 1997, №4. С.102-107.
3. 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. С.257-265.
4. Пинегина Т.К., Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Сторчевус А.В., Гусьяков В.К. Доисторические цунами на побережье Кроноцкого залива, Камчатка, Россия // Вулканология и сейсмология (в печати 1.12.1997).
5. Пинегина Т.К. Отложения палеоцунами на Восточном побережье Камчатки // Тез. докл. Международной конференции по вопросам сейсмологии, вулканизма, и процессов субдукции Камчатско-Алеутского региона. Петропавловск-Камчатский, Россия, 1-9 июля, 1998 г. С. 39-40.
6. Пинегина Т.К. Возраст сеймотектонических обвалов долины р.Быстрой-Эссовской (Камчатка) // Вулканология и сейсмология (в печати 01.04.99).
7. Pinegina T.K., Bazanova L.I., Braitseva O.A., Gusyakov V.K., Melekestsev I.V., Storcheus A.V. East Kamchatka paleotsunami traces // Abstract Kamchatka Tsunami Workshop, Aug. 21-24, 1996. P. 5-12.
8. Pinegina T.K., Bazanova L.I., Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Bourgeois J. Statistical analysis of prehistoric tsunami frequency on the Kronotsky Bay coast, Kamchatka, Russia // Quaternary Research (in print 03.00)
9. Pinegina T.K., Bourgeois J. Tsunami deposits and paleo-tsunami history on Peninsula Kamchatskiy (56-57°N), Kamchatka region (Bering Sea), Russia: preliminary report // AGU, 1998
10. Bourgeois J., Titov V., Pinegina T.K. New data about 1969 Tsunami on Bering Sea, Russia://AGU, 1999