

Научные статьи

УДК 550.394

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАРАМЕТРАХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЦУНАМИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА (КАМЧАТКА)

© 2016 Т.К. Пинегина, Л.И. Базанова

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН;
Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: pinegtk@yandex.ru*

В статье представлены новые, уточненные данные по параметрам исторических цунами на побережье Авачинского залива, полученные в результате изучения цунамигенных отложений. Для датирования отложений применялся тефрохронологический метод.

Ключевые слова: Авачинский залив, исторический каталог цунами, отложения цунами, тефрохронология.

ВВЕДЕНИЕ

Дальневосточное побережье России периодически подвергается воздействию волн цунами, возникающих в результате землетрясений под дном Тихого океана, Охотского, Японского и Берингова морей. Наиболее опасные цунамигенные землетрясения приурочены к Курило-Камчатской зоне субдукции, протянувшейся вдоль северо-западной окраины Тихого океана (Баранов, Лобковский, 1981).

Несмотря на то, что на Земле цунами происходят ежегодно, сильные и катастрофические цунами — явление достаточно редкое, и для большинства побережий мира каталог этих событий короток. Однако, сильные цунами оставляют на побережьях отложения, изучение которых позволяет получить данные об их горизонтальных и вертикальных заплесках.

Побережье Авачинского залива (район Халактырского пляжа) является рекреационной зоной г. Петропавловска-Камчатского и прилегающих населенных пунктов (рис. 1). Здесь расположены хозяйственные объекты и сельскохозяйственные угодья. В связи с этим, уточнение и дополнение данных об исторических цунами для этого района представлялось нам важнейшей задачей.

Наиболее подробные сведения о проявлениях исторических цунами на камчатском побережье собраны в каталоге Ю.А. Заякина и А.А. Лучининой (1987), из которого следует, что в период 1737–1960 гг. на побережье Авачинского залива наблюдалось 10 цунами (или цунамиподобных явлений). С начала 60-х годов XX в. на Камчатке начали создавать сеть мареографов, поэтому для ряда населенных пунктов (включая Петропавловск-Камчатский) с этого времени уже имеются инструментальные записи колебаний уровня моря во время прихода цунами. В данной статье рассмотрены особенности проявления «доинструментальных» исторических цунами на основе реконструкций их горизонтальных и вертикальных заплесков по выявленным и датированным с помощью тефрохронологии цунамигенным отложениям.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО- ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Мы провели изучение отложений цунами на побережье центральной части Авачинского залива (Халактырский пляж). Южная граница пляжа проходит в устье р. Характырка, а север-

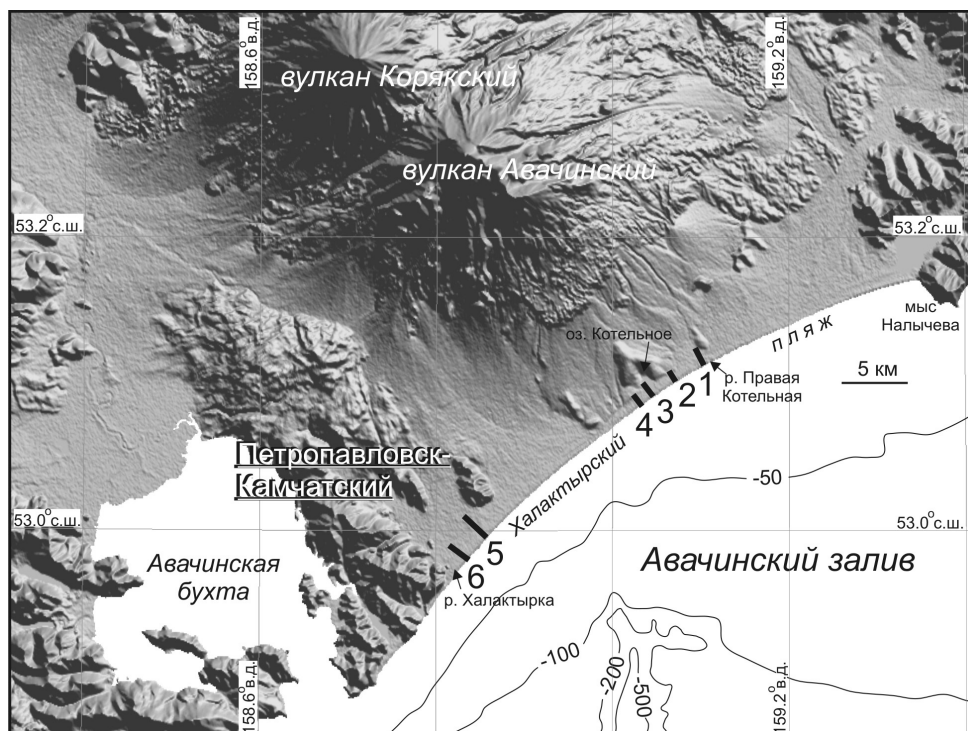


Рис. 1. Район работ на территории Халактырского пляжа (профили 1–6 показаны черными прямыми линиями). Линии изобат оцифрованы с морских навигационных карт С-MAP (<http://ww1.jepesen.com/marine/lightmarine/gb/max-n/>), изобаты указаны в метрах.

ная — в районе мыса Налычева (рис. 1). На всей его протяженности (около 40 км) побережье представляет собой морскую аккумулятивную террасу шириной в среднем около 1 км (± 200 м), состоящую из разновозрастных береговых валов, разделенных межваловыми понижениями. Иногда межваловые понижения занимают отшнурованные от моря, вытянутые вдоль линии берега лагуны. В среднем, на морской аккумулятивной террасе насчитывается 14–17 хорошо выраженных, выдержанных по простиранию береговых валов. Наиболее древние 3–5 валов на некоторых участках находятся на уровне торфяника, сформированного на месте лагун. В рельефе эти береговые валы почти не выделяются, но хорошо заметны по полосам кустарниковой и древесной растительности, разделяющей торфяник. И береговые валы, и активный пляж (ширина которого не превышает 180 м, а чаще всего составляет 50–70 м), сложены разнородным (преимущественно средне- крупнозернистым) черным морским песком, содержащим большое количество титаномагнетита. Высота активного берегового вала колеблется вдоль изученного участка от 8.5 м в южной части до 5.5 м — в северной, что указывает на увеличение энергии штормовых волн в южном направлении. Материал для аккумуляции, судя по южному направлению роста береговых кос в устьях рек, поставляется преимущественно с севера на юг. Источником терригенного материала служат, по-видимому, размываемые береговые обрывы мыса Налычева

и полуострова Шипунский, а также крупные реки Налычева, Островная, Вахиль (рис. 2, 3). Высота древних и современных береговых валов примерно одинакова. Топографические профили, измеренные вкост простирания, выглядят пилообразно, иногда с незначительным понижением в сторону суши.

Береговые валы в направлении суши сменяются формами рельефа не морского генезиса: современными (голоценовыми) речными террасами и конусами выноса небольших постоянных и временных водотоков, либо водно-ледниковыми пологонаклонными равнинами позднеплейстоценового возраста, часто заболоченными, с останцами холмистой морены. Растительность морской аккумулятивной террасы ближе к морю тундровая, с редким кустарником кедрового и ольхового стланика, на удалении от моря появляется березовый лес.

Халактырский пляж находится в 23–35 км к ЮЮВ–ВЮВ от действующего Авачинского вулкана (рис. 1). В зоне развития растительности здесь сформировался почвенно-пирокластический чехол (ППЧ), состоящий из чередующихся горизонтов вулканических пеплов и погребенных почв. В 50–100 м от активного пляжа, мощность ППЧ составляет 20–50 см. На наиболее древних береговых валах, расположенных на максимальном удалении от активного пляжа, мощность ППЧ увеличивается до 1–1.5 м. ППЧ морской террасы подстилается штормовыми и

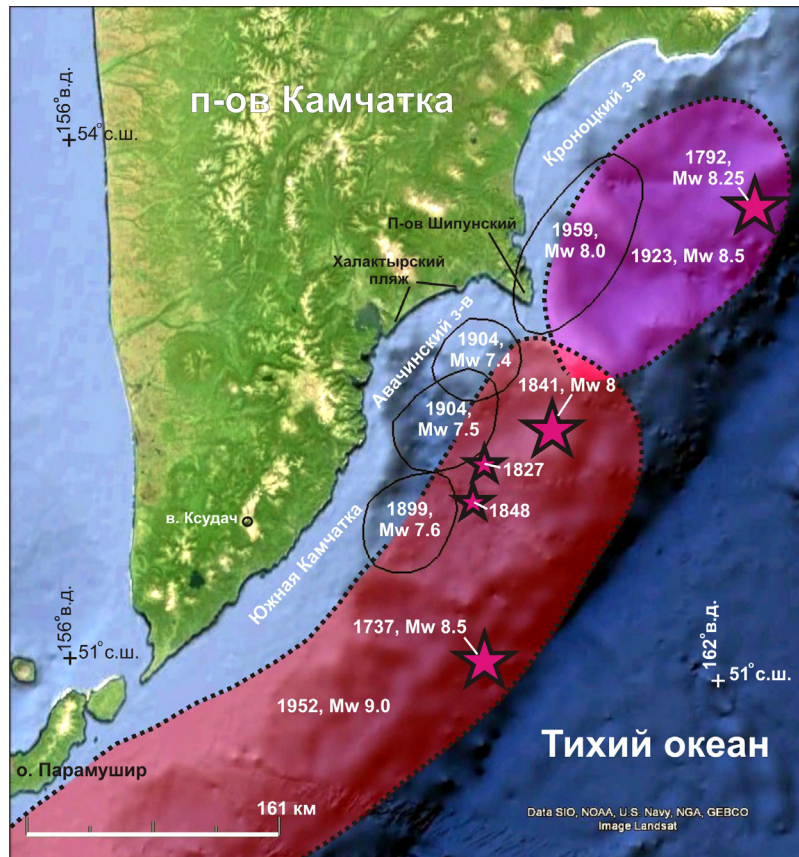


Рис. 2. Положение очагов (по Гусев, 2006) либо эпицентров (показаны звездочками) по (Зякин, Лучинина, 1987) сильнейших исторических землетрясений, ощущавшихся в Петропавловске-Камчатском. Очаги исторических землетрясений, вызвавших значительные цунами, оконтурены точечным пунктиром, прочие очаги землетрясений — сплошными линиями.

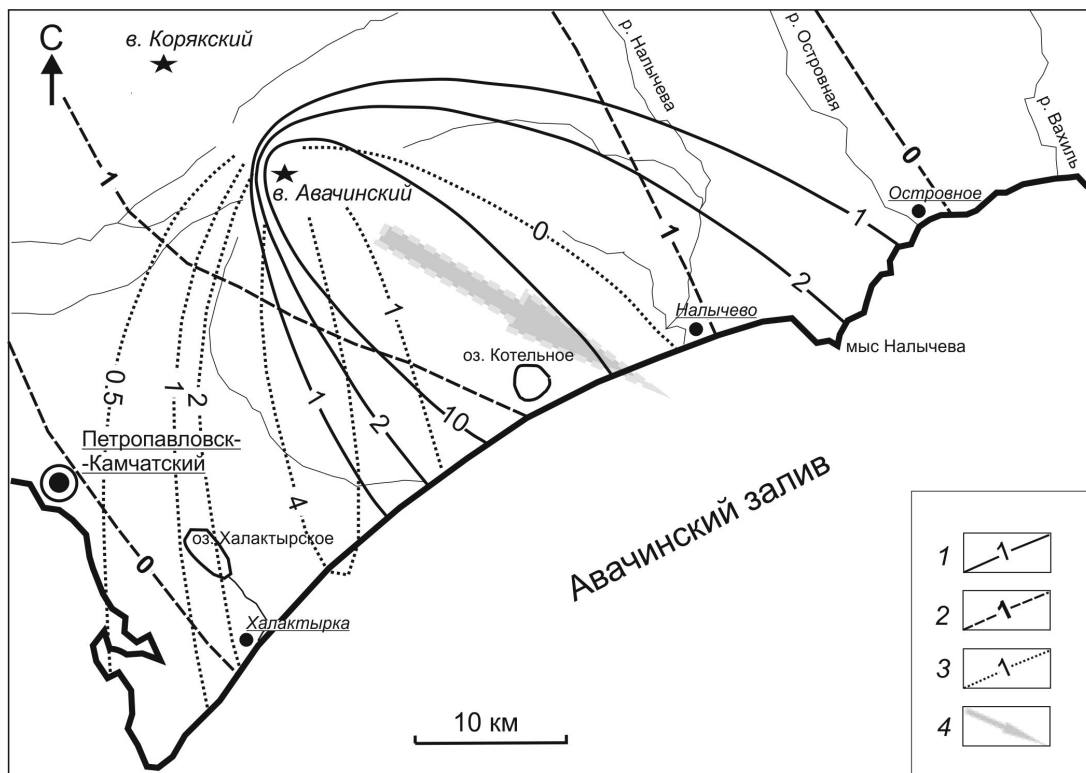


Рис. 3. Изопахиты тephры исторических извержений Авачинского вулкана (см): 1 — 1945 г., 2 — 1827г., 3 — 1779 г. по (Мелекесцев и др., 1993, 1994) с уточнениями; 4 — направление оси пеплопада 1855 г.

пляжевыми отложениями, сформированными в то время, когда береговой вал был активен.

Проведенные нами ранее исследования показали, что зона эолового переноса песка в районе работ не превышает нескольких десятков метров от верхней кромки активного пляжа вглубь суши (Пинегина, 2014). Вероятно, это связано с высокой сомкнутостью растительного покрова летом и большим количеством снега и мощными наледями на активном пляже зимой. Таким образом, Халактырский пляж является достаточно перспективным объектом для изучения отложений цунами. Мы провели полевые исследования на двух участках, выбранных с учетом сохранности максимального количества береговых валов, наличия достоверных тефрохронологических данных и степени доступности. Первый из них находится вблизи устья р. Халактырка, второй — в районе от оз. Котельного до р. Правая Котельная (рис. 1).

ПРОЯВЛЕНИЯ ЦУНАМИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА ПО ИСТОРИЧЕСКИМ ОПИСАНИЯМ

Приведем краткие описания цунами, имеющиеся в каталоге (Заякин, Лучинина, 1987) для побережий Авачинского залива и Авачинской бухты. Предполагаемое по макросейсмическим данным положение очагов некоторых исторических цунамигенных землетрясений и их оценочные магнитуды показаны на рис. 2. Даты цунамигенных землетрясений даны по новому стилю.

Цунами 17 октября 1737 г., 03 часа, $M_w = 8.5$ (здесь и далее магнитуды приведены по данным (Гусев, 2006)). «На берегу от мыса Лопатка до входа в Авачинскую бухту смыло людей, балаганы, домашнюю утварь. Изменился прибрежный рельеф. Между Авачинской и Вилючинской бухтами на месте заболоченной низины возник заливчик» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 8). Высота цунами в Авачинской бухте и в Авачинском заливе в каталоге не указана. Однако многочисленные макросейсмические данные о землетрясении и сведения о катастрофическом подъеме воды на юге Камчатки (30 м в районе мыса Лопатка) не вызывают сомнения в грандиозности события.

Цунами 22 августа 1792 г. $M_w = 8.25$. В работах А.А. Годзиковской (2009, 2010) указано, что землетрясение произошло 22 или 23 августа в 05 часов и имело магнитуду 8.6. В каталоге цунами описано, что «...вода в Авачинской бухте волновалась как в паровом котле...» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 10). Данных о проявлении цунами на побережье Авачинского залива нет. В сохранившихся сообщениях о камчатских

землетрясениях 1791–1792 гг. есть некоторые неувязки. По мнению некоторых исследователей (Соловьев, Ферчев, 1961) не исключено, что из-за путаницы в датах описание землетрясения 22.08.1792 г. следует отнести к 04.04.1791 г. Однако большинство ученых считает, что были два разных землетрясения.

Цунами 9 августа 1827 г. в 15 часов (или 10 августа 1827 г. после 07 часов). Магнитуда землетрясения не известна. Происходило сильное извержение Авачинского вулкана. По утверждению рыбаков «...море в основании Авачинской бухты далеко отступило» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 10). Других упоминаний о произошедшем цунами нет.

Цунами 18 мая 1841 г. в 08 часов, $M_w = 8.0$. «В Авачинской бухте вода поднялась на несколько футов (1 фут = 30.3 см), и на всей ее акватории в течение 6 минут отмечалось сильное волнение. Стоявший в Петропавловском ковше на швартовых и якорном канате ... бриг «Охотск» был сорван и вынесен на середину бухты. В результате подъема уровня воды погиб один человек и утонуло много собак, находившихся на привязи. Приливы и отливы отмечались в течение 6 часов, наибольший подъем воды равнялся 1 м. В районе села Халактырка (ныне не существует) уровень воды повышался на 15 м более обычного. В селе Островном (ныне не существует) были смыты постройки местных жителей» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 13). Известно, что это цунами подошло к Гавайским островам и в г. Хило его высота равнялась 4.6 м (Соловьев, 1978).

Цунами в июне 1848 г., точная дата не указана. «... было землетрясение в Петропавловском порте. В Авачинской бухте вода то поднималась на берег, то отступала от него настолько, что осушалось дно бухты» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 13). Других упоминаний о цунами нет, по макросейсмическим оценкам, сила землетрясения в Петропавловске составила 6 баллов по шкале MSK-64 (Годзиковская, 2010).

Цунами 26 июня 1904 г., 07 часов, $M_w = 7.4$. По А.А. Годзиковской (2010), было два землетрясения 25 и 27 июня. Они были инструментально зафиксированы удаленными станциями, $M \sim 8$. По уточненным данным (Гусев, 2006), магнитуда землетрясений $M_w = 7.4$ и 7.5 соответственно. В каталоге цунами отмечено, что «...на зеркальной поверхности бухты поднялся огромный вал, который, достигнув берегов, отбросил стоявшие там лодки и шлюпки на 60 метров вглубь суши» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 15). Сведений о проявлении этого цунами на побережье Авачинского залива нет, хотя в то время уже работал Петропавловский маяк, располагавшийся у входа в Авачинскую бухту.

Цунами 4 февраля 1923 г., 03 часа, Mw = 8.5. «Вскоре после землетрясения на юго-восточное побережье Камчатки ... обрушились три волны цунами. Высота их достигала 8 метров. Село Налычево (на месте села в настоящее время расположена метеостанция — прим. авторов), благодаря высокому берегу не было затоплено. В реку Налычево с моря нанесло много льда, который нагромоздился по обоим ее берегам. Село Островное полностью затопило, люди спасались на крышах домов. Огромные льдины ломали все на своем пути, много имущества унесло в море, дома в селении были полуразрушены, погибло двое детей» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 15). Сведений о высоте этого цунами на Халактырском пляже нет, есть лишь упоминание, что оно там было. Это цунами было также зарегистрировано на Гавайских островах (Соловьев, 1978).

Цунами 5 ноября 1952 г., 03 часа 58 минут, Mw = 9. В каталоге отмечено, что на восточном побережье Камчатки высота цунами в среднем достигала 6–7 м, на Халактырском пляже 5 м, в районе села Налычево 6–7 м. В Авачинской бухте в районе морского порта максимальная высота цунами составила 1.2 м, на мысе Маячном 5.7 м. Это цунами принесло существенные разрушения на Гавайских островах, где наблюдались волны высотой до 6 м (Заякин, Лучинина, 1987).

Цунами 4 мая 1959 г., 19 часов 16 минут, Mw = 8. «Образовалось небольшое цунами, наблюдавшееся в Авачинском и Кроноцком заливах. Максимальный подъем воды отмечался в бухте Моржовой — 1.5–2 м. ... волны цунами были зарегистрированы самописцем уровня моря в Авачинской бухте, наибольшая волна была высотой 12 см» (Заякин, Лучинина, 1987, с. 27).

Цунами 24 мая 1960 г. от землетрясения с Mw = 9.5 у берегов Чили (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960_05_22.php). Спустя более, чем 21 час после землетрясения, волны цунами начали регистрироваться самописцами в Авачинской бухте, их максимальная высота составила 1 м в бухте Тарья (ныне Крашенинникова). На побережье Халактырского пляжа и мыса Маячного высота цунами составила 1.5–2 м (Заякин, Лучинина, 1987). Судя по описаниям, волна затопила здесь лишь активный пляж, ограниченный береговым валом высотой 5.5–8.5 метров (по данным нивелирной съемки, выполненной авторами статьи).

После цунами 1952 г. на побережье Авачинского залива сильных цунами не происходило. Как показано в каталоге, большинство описанных цунамигенных землетрясений лежат в магнитудном интервале Mw = 8–9 (за исключением сомнительных событий, для

которых магнитуды определены не надежно, либо не определены). При этом протяженность очаговых зон изменяется от 100 до 500 км, а их положение — от Кроноцкого залива до Южной Камчатки (рис. 2). В связи с этим, нам представлялось важным решить три задачи: 1 — выявить реальные цунамигенные события, отделив их от недостоверных; 2 — восстановить более детально параметры исторических цунами вдоль побережья Авачинского залива; 3 — проанализировать зависимость параметров цунами на берегу от положения очаговых зон.

ТЕФРОХРОНОЛОГИЯ (ИСТОРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД)

Авачинский вулкан — один из самых активных на Камчатке в голоцене, и главный источник многочисленных пеплопадов в ЮЮВ секторе его удаленного подножья, к которому относится район наших работ. Детальные тефрохронологические исследования в окрестностях вулкана, включая побережье прилегающей части Авачинского залива, проводились на протяжении нескольких десятков лет коллективом исследователей (Базанова и др., 2001, 2003, 2005; Брайцева и др., 2001; Мелекесцев и др., 1993, 1994 и др.). При описании стенок шурфов и естественных обнажений фиксировались изменения мощности и механического состава тефры на разном удалении от источника, особенности ее внешнего облика (цвет, текстура, структура), отбирались образцы пирокластики и пробы погребенных почв, углей и торфа. В дальнейшем определялся химический, минералогический, гранулометрический состав пеплов и их радиоуглеродный (^{14}C) возраст. В результате непосредственного прослеживания горизонтов тефры на подножии вулкана по кольцевым и радиальным профилям, а также сопоставления частных разрезов и радиоуглеродных датировок, был составлен сводный тефростратиграфический разрез, представляющий собой последовательную и непрерывную летопись эруптивной активности Авачинского вулкана за последние 12000 лет (Базанова, 2013). Для большинства исторических извержений, включая ряд слабых событий с незначительным объемом эксплозивных выбросов и ограниченными по площади зонами пеплопадов, построены карты изопахит (рис. 3).

Описания исторических извержений вулкана Авачинский имеются в ряде документов XVIII–XX веков, обзор и анализ которых выполнены в работах (Мелекесцев и др., 1993, 1994) с привлечением авторских материалов.

Наиболее сильные эксплозивные извержения произошли в 1945 и 1827 гг. Ось пеплопада 1945 г. была ориентирована на юго-восток, мощность тефры в осевой зоне составляла 45 см в 25 км от вулкана. Сильный пеплопад в 1827 г. уничтожил богатые пастбища, ось пеплопада прошла в юго-восточном направлении, где на расстоянии 9 км от кратера мощность тефры составила 20–35 см, а размер обломков шлака достигал 5 см. Южная граница пеплопада проходила по северной окраине современного Петропавловска-Камчатского (Базанова и др., 2001). Извержение 1926 г. относится к сильному эффузивно-эксплозивному, основная ось пеплопада была направлена на ССЗ (Мелекесцев и др., 1994). Следы тефры этого извержения на побережье Авачинского залива были обнаружены нами лишь на небольшом участке.

Сильные пеплопады в окрестностях Петропавловска отмечались и во время умеренных извержений. В 1779 г. в зону такого пеплопада попали корабли эскадры Кука в Авачинском заливе, в 45 км к югу от кратера Авачинского вулкана. Ширина зоны пеплопада на океанском побережье превышала 40 км, мощность тефры в 30 км от вулкана была 3–5 см, размер бомб на расстоянии 8 км — 8 см, а лапилли в 30 км — 1–2 см (Мелекесцев и др., 1993).

Главная ось пеплопада при извержении 1855 г. по нашим данным была направлена на ЮЮЗ. Следы тонкой тефры этого возраста на северной границе изученного участка (профили 1–2, рис. 4), по-видимому, результат ветрового рассеивания пеплового облака и его сноса в ЮВ направлении. Не исключено, что имел место и отдельный выброс.

Тефра исторических извержений Авачинского вулкана представлена темно-серыми, темно-коричневыми и черными шлаками, отвечающими по составу андезибазальтам (Базанова и др., 2005). Для исторических извержений характерны довольно узкие зоны пеплопадов (рис. 3), поэтому мощность горизонтов сильно варьирует вдоль побережья — от нескольких мм до первых десятков см. Гранулометрический состав также изменяется от тонко- и мелкозернистого песка до гравия и лапилли (табл. 1).

Ниже тефры исторических извержений в ППЧ района наших исследований присутствуют два горизонта тефры Авачинского вулкана, прослеженные ранее до тихоокеанского побережья. Установлены ареалы их распространения и положение в сводном тефростратиграфическом разрезе, а идентификация не вызывает сомнений. Эти тефры служили для нас возрастными реперами, разделяющими молодые «исторические» части разрезов ППЧ от более древних «доистори-

ческих» (рис. 4, 5). Верхний горизонт, АВ550, — это темно-серый с сизоватым оттенком тонко- мелкозернистый песок мощностью 1–1.5 см. Отмечен он практически на всем исследованном участке побережья за исключением профиля 4 и выдержан по мощности. Средний возраст пепла, рассчитанный в программе OxCal v.4.24 (Bronk Ramsey, 2013; Remer et al., 2013), — 533 ± 46 ^{14}C лет назад (л. н.) или ~1400 г. н. э. (табл. 2). Ниже пепла АВ550 залегает тефра АВ750, представленная черным грубозернистым песком и гравием шлака до 0.2–0.5 см в диаметре. Мощность этого горизонта может изменяться от 2 до 5 см. Средний ^{14}C возраст тефры, составил 732 ± 46 л. н., а калиброванный — ~1300 г. н. э. (табл. 2).

Помимо горизонтов тефры вулкана Авачинский, в разрезах ППЧ на побережье Авачинского залива повсеместно содержится тефра КШТ₃, связанная с извержением в 1907 г. конуса Штубеля (вулкан Ксудач), расположенного на Южной Камчатке (рис. 2). Ось пеплопада КШТ₃ прошла в северном и северо-восточном направлениях (Bursik et al., 1993). Это извержение и его продукты описаны в работах (Braitseva et al., 1997; Macias, Sheridan, 1995). Региональный маркирующий пепел КШТ₃ мощностью 1–2 см залегает под тефрой Авачинского вулкана 1945 и 1926 гг. (рис. 4, 5). Это преимущественно средне- и крупнозернистый вулканический песок своеобразного облика: он состоит из светлых (желтых, серых) и темных зерен и визуально резко отличается от темных авачинских шлаков. Тефра этого извержения отвечает по составу дацитам, однако в изученном районе, где она представлена вулканическим песком, пепел имеет более основной состав (Базанова и др., 2005).

Таким образом, в верхней части ППЧ у нас имелись надежные маркирующие горизонты тефры Авачинского вулкана 1945 г. (АВ1945AD — здесь и далее AD — годы н. э.) и конуса Штубеля 1907 г. (КШТ₃). Положение между ними занимает тефра АВ1926AD, присутствующая в разрезах профиля 5 (рис. 5). Вниз по разрезу залегают пеплы АВ1855AD, АВ1827AD, АВ1779AD (табл. 1, рис. 4, 5). Горизонты тефры АВ550 и АВ750 фиксируют нижнюю границу интересующего нас исторического интервала.

Основываясь на исторических свидетельствах и результатах предшествующих тефрохронологических исследований, с большой долей уверенности мы предполагали, какие именно горизонты тефры от местных и удаленных источников могут содержаться в разрезах ППЧ на побережье Авачинского залива. Во время полевых исследований мы лишь уточнили представления о мощностях тефры и ширине зон пеплопадов (рис. 3). Все перечисленные пеплы

Таблица 1. Тефра исторических извержений в разрезах почвенно-пирокластического чехла района исследований на побережье Авачинского залива (сверху вниз).

Индекс тефры	Год извержения	Источник (вулкан)	Полевое описание	Мощность, см	Цитируемая литература
AB1945AD	1945	Авачинский	<i>Профили 1–4.</i> Темно-серый до черного ноздреватый шлак. Преобладает вулканический гравий до 0.2–0.3 см в диаметре, реже 0.5–0.7 см, с примесью грубозернистого песка и единичных лапилли около 1 см. Не всегда отчетливая прямая градация обломков. В межваловых понижениях мощность иногда завышена в 2–3 раза.	3-5 ÷ 10-15	Мелекесцев и др., 1994
AB1926AD	1926	Авачинский	<i>Профиль 5.</i> Линзы светло-серого тонкозернистого вулканического песка	0.5–1	Мелекесцев и др., 1994
КШТ ₃	1907	Конус Штюбеля (Ксудач)	<i>Профили 1–6.</i> Серо-желтый вулканический песок средне-крупнозернистый с обилием светлых и черных зерен	1–2	Базанова и др., 2005; Bursik et al., 1993
AB1855AD	1855	Авачинский	<i>Профили 1–2.</i> Линзы светло-серого тонко-мелкозернистого вулканического песка	0.1–0.3	Мелекесцев и др., 1993
AB1827AD	1827	Авачинский	<i>Профили 1–6.</i> Темно-серый вулканический песок от тонко- мелко- среднезернистого до грубозернистого. Мощность пепла и крупность зерен песка увеличиваются в северном направлении	0.5–2	Мелекесцев и др., 1993
AB1779AD	1779	Авачинский	<i>Профили 1–3, 5–6.</i> Темно-серый вулканический песок от тонко- до грубозернистого с обилием белых зерен. Есть редкие зерна красного шлака. Мощность слоя и крупность пепла (до мелкого гравия) увеличиваются в южном направлении.	0.2-1 ÷ 3-4	Мелекесцев и др., 1993

Примечание. Индексы тефры Авачинского вулкана включают индекс вулкана (AB) и год извержения, AD — годы н. э.

послужили возрастными реперами при выявлении и датировании отложений цунами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ОТЛОЖЕНИЙ ЦУНАМИ

Отложения цунами на побережье Авачинского залива, в том числе и исторические, изучались нами в два этапа. В 2000 г. были получены первые данные (Пинегина и др., 2002). Более детальные исследования 2015 г. позволили собрать новые материалы, дополняющие и уточняющие полученные ранее.

На морской аккумулятивной террасе с помощью нивелира и электронного тахеометра было измерено 6 топографических профилей от уреза воды вкрест простирания береговых валов (рис. 1). В момент измерения уреза воды фиксировалось время, и затем проводилась корректировка высот профилей по таблицам

приливов. Максимальная амплитуда приливов в Авачинском заливе составляет 160–180 см (Потапов, 2014). Если вблизи топографического профиля находился пункт опорной геодезической сети, то корректировка высот делалась относительно его высоты. Во время измерений на топографических профилях отмечались линии максимального прилива, начала густой растительности (свидетельствующей о наличии ППЧ) и характерные элементы рельефа, такие как перегибы склонов и вершины береговых валов, днища межваловых понижений. Вдоль профилей закладывались шурфы, в них описывались и отбирались образцы вулканических пеплов (тефры) и отложений цунами. В данной работе мы приводим на иллюстрациях (рис. 4, 5) лишь фрагменты профилей с шурфами, в которых были выявлены отложения исторических цунами. Участки профилей через более древние бере-

ПИНЕГИНА, БАЗАНОВА

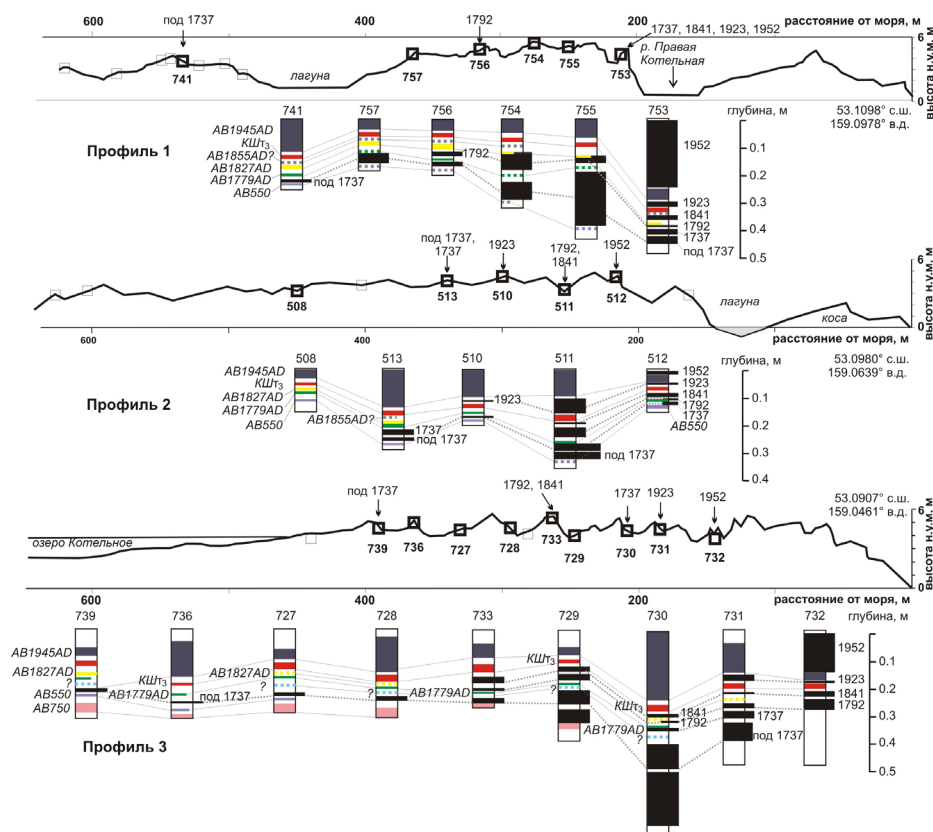


Рис. 4. Фрагменты топографических профилей 1–3, измеренных на побережье Авачинского залива, и разрезы почвенно-пирокластического чехла. Условные обозначения приведены на рис. 5.

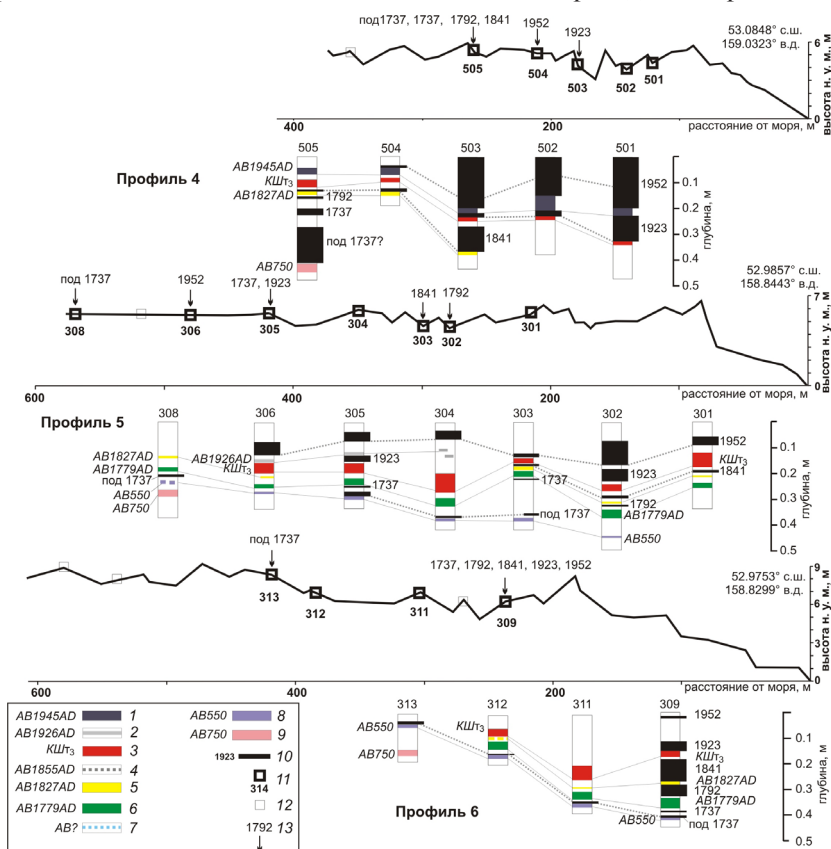


Рис. 5. Фрагменты топографических профилей 4–6, измеренных на побережье Авачинского залива, и разрезы почвенно-пирокластического чехла: 1–9 — горизонты тефры и их индексы; 10 — отложения цунами; 11 — положение шурфов с отложениями цунами и их номера; 12 — положение шурфов без отложений цунами; 13 — положение линии горизонтального заплеска цунами на профиле.

Таблица 2. Возраст доисторических извержений Авачинского вулкана АВ550 и АВ750.

Индекс извержения	Дата	Номер образца	Материал для датирования	Место взятия	Средний ¹⁴ С возраст, лет назад	Калиброванный возраст (вероятность 95.4 %), гг. н.э.*
АВ550	540±60 г1	ГИН-11369	Торф над пеплом	оз. Котельное, берег Тихого океана	533±46	1299(1371)1440
	570±70 г1	ГИН-11370	Торф под пеплом	оз. Котельное, берег Тихого океана		
АВ750	740±110 г2	ГИН-8105	Почва над пеплом	вулкан Корякский, ЮЗ подножье	732±46	1210(1272)1388
	730±50 г	ГИН-7803	Торф под пеплом	оз. Котельное, берег Тихого океана		

Примечание. Индекс извержения включает индекс вулкана (АВ) и округленный до 50 лет ¹⁴С возраст. Радиоуглеродные даты получены в Лаборатории геохимии изотопов и геохронологии ГИН РАН (Москва); щелочные вытяжки: г1 — первая холодная, г2 — вторая горячая, г — единственная горячая. Средний ¹⁴С и калиброванный возраста рассчитаны в программе OxCal v.4.24 (Bronk Ramsey, 2013; Remer et al., 2013). * — диапазон календарных дат, когда могло произойти извержение; в скобках — осредненный возраст извержения.

говые валы, где установлены доисторические отложения цунами, здесь не приводятся, так как анализ этих данных не входят в рамки настоящего исследования.

В представленной статье мы также не делали реконструкцию положения древних береговых линий на разные промежутки времени, так как считаем, что за исторический период береговая линия выдвинулась не более чем на 100 м, что примерно сопоставимо с точностью метода реконструкции. Наше предположение основано на том, что наиболее древний береговой вал, расположенный в среднем в 1000 м от современной береговой линии, был сформирован около 4250 л. н. (Пинегина и др., 2015), то есть средняя скорость проградации аккумулятивной морской террасы составляет здесь ~0.24 м/год: 1000 м / 4250 лет = 0.24 м/год. Исторический промежуток времени, начиная с 1737 г., на данный момент составляет 278 лет, за этот период терраса могла выдвинуться в сторону моря в среднем на 65 м: 278 лет × 0.24 м/год = 65 м.

При идентификации отложений цунами, мы пользовались стандартной методикой, неоднократно описанной в литературе (Пинегина, 2014; Пинегина и др., 2000; Bourgeois et al., 2006; Pinagina, Bourgeois, 2001; Pinagina et al., 2003). На побережье Авачинского залива отложения цунами представлены горизонтами чистого черного, иногда слоистого разнородного морского песка, идентичного пляжевому. Мощность отложений составляет 0.5–20 см, как правило, увеличиваясь по направлению к океану. По данным проведенных ранее исследований, горизон-

тальные заплески цунами чаще всего примерно совпадают с границей выклинивания отложений цунами (отличие составляет первые десятки метров) (MacInnes et al., 2009, 2010). Отложения цунами коррелировались от шурфа к шурфу с помощью тефрохронологического метода (Брайцева, Мелекесцев, 1987). Присутствующие в разрезах вулканические пеплы описаны выше.

Так как шурфы вдоль профилей закладывались часто (от 1 до 4 на сто метров профиля), то шурф, в котором определенный горизонт отложений встречался в последний раз, можно приблизительно считать находящимся на линии максимального заплеска цунами. Чтобы удостовериться, что горизонт цунами действительно выклинился, мы заверяли это наблюдение еще в нескольких шурфах, расположенных вглубь берега вдоль по профилю. Определив положение линии заплеска цунами на отдельном профиле, мы получали такие параметры, как высота цунами на линии заплеска, максимальная высота цунами между линией заплеска и урезом воды (по максимальной высоте берегового вала, находящегося между двумя этими линиями), горизонтальный заплеск. Необходимо отметить, что реальная «максимальная высота цунами» — на самом деле выше полученной нами оценки, так как мы не знаем высоты столба воды между урезом и линией максимального заплеска. На линии же максимального заплеска высота цунами над земной поверхностью условно приравнивается к нулю.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе полученных нами данных на побережье Авачинского залива были выявлены следы пяти сильных исторических цунами. Выше тефры АВ1945AD обнаружен один горизонт цунамигенных отложений, и мы отнесли его к цунами 1952 г., так как известно, что цунами 1959 и 1960 гг. были значительно слабее (Заякин, Лучинина, 1987).

Между тефрой КШ₃ и АВ1945AD был обнаружен один горизонт с отложениями цунами, который может быть сопоставлен с событием 1923 г. На профиле 5 этот горизонт залегает под тефрой АВ1926AD (рис. 5).

Третий горизонт цунамигенных отложений стратиграфически зажат между тефрой АВ1827AD и КШ₃. На профиле 1 отложения этого цунами перекрыты тефрой АВ1855AD (рис. 4). Таким образом, данное цунами не может быть отнесено к сомнительному событию 1904 г., и мы сопоставили его с цунами 1841 г., довольно детально описанного в камчатском каталоге цунами (Заякин, Лучинина, 1987), и зарегистрированного на Гавайских островах. Следов других цунами, произошедших в период между 1827 и 1855 гг. мы не обнаружили. Отмеченные в камчатском каталоге цунами 1828 и 1848 гг. либо имели небольшие вертикальные заплески и не перекрестнули через активный береговой вал, либо являются ложными событиями.

Четвертый горизонт цунамигенных отложений стратиграфически оказался зажат между тефрой АВ1779AD и АВ1827AD. В каталоге цунами в этот промежуток времени отмечено лишь одно цунами в Авачинском заливе — событие 1792 г., сведений о котором практически не было.

Пятый и шестой цунамигенные горизонты были обнаружены нами между тефрами АВ1779AD и АВ550 (~1400 г. н. э.). Верхний горизонт мы сопоставили с цунами 1737 г., так как его достоверность не вызывает никаких сомнений. Нижний (шестой) горизонт относится уже к «доисторическому» периоду, цунами произошло между ~1400 и 1700 гг. н. э.

Таким образом, мы идентифицировали отложения пяти исторических цунами (1737, 1792, 1841, 1923 и 1952 гг.). Можно предположить (по аналогии с очагами 1923 и 1952 гг.), что цунами 1737, 1792 и 1841 гг. также были сопряжены с землетрясениями, очаговые области которых располагались на небольшой глубине и на удалении от Камчатского полуострова, примерно также, как и очаги землетрясений 1952 и 1923 гг. Это согласуется с выявленным ранее характером распределения высот заплесков цунами 1952 и 1737

гг. вдоль побережья о. Парамушир и Южной Камчатки, на основании чего исследователи пришли к заключению, что очаги этих двух событий примерно совпали по положению и протяженности (Кравчуновская и др., 2009; Чебров, Раевская, 2011).

Во всех описанных нами разрезах отсутствовали отложения цунами от событий 1828, 1848, 1904, 1959 и 1960 гг. Следовательно, высоты заплесков этих цунами не превышали высоты верхней границы активного пляжа, либо некоторые из этих событий были ложные. Вероятно, очаговые области землетрясений 1828, 1848, 1904 гг., не вызвавших значительных цунами, были довольно глубокими и располагались на удалении от Курило-Камчатского желоба (ближе к Петропавловску-Камчатскому), подобно землетрясениям 1904 и 1959 гг., очаги которых показаны на рис. 2. Макросейсмические описания землетрясений (Годзиковская, 2009, 2010) подтверждают, что более глубокие и близкие к городу землетрясения по бальности могут превосходить более удаленные мелкофокусные, даже если их магнитуда меньше. В связи с этим фактом, в каталог цунами доинструментального периода могли попасть сильные сейсмические события, не сопровождавшиеся цунами, либо вызвавшие небольшие цунами.

На рисунках 4–5 также представлены данные о доисторическом цунами, произошедшем до 1737 г. Величина горизонтального заплеска этого цунами существенно превышает все заплески исторических цунами. Вероятно, современная береговая линия находится на 100–200 м мористее относительно берега на момент этого события. Судя по тому, что цунами не преодолело 9-метровый береговой вал по профилю 6, его высота была вполне сопоставима с высотами исторических цунами. Параметры всех исторических и одного доисторического цунами приведены в таблице 3. Видно, что наибольшие вертикальные заплески цунами наблюдались по профилю 6, в южной части Халактырского пляжа. По профилю 5 цунами имели наибольшие горизонтальные заплески. Так как расстояние между профилями 6 и 5 порядка двух км, очевидно, что параметры одного и того же цунами здесь были примерно одинаковы. Различия в горизонтальных и вертикальных заплесках, скорее всего, связаны с особенностями рельефа — профиль 6 гипсометрически выше профиля 5. Усиление интенсивности цунами в южной части Халактырского пляжа может быть связано с наличием глубокого подводного каньона р. Пра-Авачи (Апрелков, 1964), подходящего совсем близко к побережью вблизи устья р. Халактырка (рис. 1) Северная

же часть изученного побережья примыкает к значительно более широкому шельфу, и горизонтальные и вертикальные заплески цунами там меньше.

Несмотря на то, что исторические цунами были вызваны землетрясениями разной магнитуды, и положение их очаговых зон было различно по отношению к исследуемому побережью, высоты разных цунами в пределах одного профиля варьируют незначительно. Иными словами, разница параметров разновозрастных цунами по одному профилю менее существенная, чем разница параметров одного и того же цунами на северных (1–4) и южных (5–6) профилях (рис. 4, 5). Из этого следует, что прибрежная батиметрия и морфология побережья оказывают значительную роль на вариации высот цунами вдоль берега Халактырского пляжа. При этом очаговые области цунамигенных землетрясений ($M \sim 8-9$), способных вызвать значительные цунами на побережье Авачинского залива могут располагаться не только в Авачинском, но и в Кроноцком заливе, и напротив Южной Камчатки (рис. 2). Необходимо отметить, что эффект влияния батиметрии на проявления цунами на берегу уже давно известен специалистам в области цунами (Левин, Носов, 2005), и в данной работе он находит себе дополнительное подтверждение.

Таким образом, сильные цунами на побережье Халактырского пляжа (являющегося рекреационной зоной для жителей Петропавловска-Камчатского) в историческое время происходили в среднем каждые 55–56 лет. Величина горизонтальных заплесков всех исторических

цунами по разным профилям составляет от 180 до 480 м. Величины вертикальных заплесков на линии максимального заплеска находятся в пределах 3.5–6.3 м (табл. 3, рис. 4, 5).

ВЫВОДЫ

На территории побережья Авачинского залива (район Халактырского пляжа) выявлены отложения пяти исторических цунами (1737, 1792, 1841, 1923 и 1952 гг.).

Величина горизонтальных заплесков исторических цунами не превышала 480 м, вертикальных – 6.3 м на линии максимального заплеска.

Период повторяемости сильных цунами за почти 300-летний период составляет в среднем 55–56 лет.

Прибрежная батиметрия и морфология побережья оказывают значительную роль на вариации высот цунами вдоль берега Халактырского пляжа. В южной его части горизонтальные и вертикальные заплески исторических цунами, как правило, были существенно больше.

Очаги землетрясений ($M \sim 8-9$), вызывающих сильные цунами (5 и более метров) на Халактырском пляже, могут располагаться не только в Авачинском заливе, но и в южной части Кроноцкого залива и напротив Южной Камчатки.

Авторы благодарят за помощь при проведении полевых исследований А.И. Кожурина, Е.А. Зеленина, А.М. Карпачевского.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №№ 15-05-02651 и 15-05-05505.

Таблица 3. Параметры исторических цунами на побережье Авачинского залива (Халактырский пляж).

№ профиля	1	2	3	4	5	6
параметры цунами	(H/L/h)	(H/L/h)	(H/L/h)	(H/L/h)	(H/L/h)	(H/L/h)
цунами 1952	5/210/4.7	3.5/220/4.5	5.5/150/4.3	5.7/210/5.1	6.7/480/5.4	8.4/240/6.3
Тефра АВ1945AD						
Тефра АВ1926AD						
цунами 1923	5/210/4.7	4.8/300/4.5	5.5/190/4.4	5.7/180/4	6.7/420/5.6	8.4/240/6.3
Тефра КШТ ₃						
Тефра АВ1855AD						
цунами 1841	5/210/4.7	4.8/250/3.3	5.5/270/5.4	5.7/260/5.2	6.7/300/4.8	8.4/240/6.3
Тефра АВ1827AD						
цунами 1792	5.7/310/5.2	4.8/250/3.3	5.5/270/5.4	5.7/260/5.2	6.7/280/4.5	8.4/240/6.3
Тефра АВ1779AD						
цунами 1737	5/210/4.7	4.8/340/4.2	5.5/210/4.4	5.7/260/5.2	6.7/420/5.6	8.4/240/6.3
цунами ~1400-1700 г.н.э.	5.7/530/3.5	4.8/340/4.2	5.7/390/5	5.7/260/5.2	6.7/570/5.5	8.4/420/8.5
Тефра АВ550						
Тефра АВ750						

Примечание. H — максимальная высота земной поверхности между урезом моря и линией горизонтального заплеска (м над уровнем моря); L — дальность горизонтального заплеска цунами, м; h — высота земной поверхности на линии горизонтального заплеска (м над уровнем моря); Темно-серая заливка обозначает присутствие тефры в шурфах на профиле, серая заливка — следы тефры, отсутствие заливки — отсутствие тефры.

Список литературы

- Апрелков С.Е.* О древнем извержении Авачинского вулкана и изменении русла р. Авачи // Вопросы географии Камчатки. 1964. Вып. 2. С. 108–109.
- Базанова Л.И.* 12000 лет эруптивной активности Авачинского вулкана: тефростратиграфия // Вулканизм и связанные с ним процессы. Тезисы конференции, посвященной Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 69–70.
- Базанова Л.И., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю.* Потенциальная опасность от извержений Авачинского вулкана // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2001. С. 390–407.
- Базанова Л.И., Брайцева О.А., Пузанков М.Ю., Сулержицкий Л.Д.* Катастрофические плинианские извержения начальной фазы формирования Молодого конуса вулкана Авачинский (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 20–40.
- Базанова Л.И., Брайцева О.А., Дирксен О.В. и др.* Пеплопады крупнейших голоценовых извержений на траверсе Усть-Большерецк – Петропавловск-Камчатский: источники, хронология, частота // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 30–47.
- Баранов Б.В., Лобковский Л.И.* О местоположении и механизме цунамигенных землетрясений Курильской островной дуги // ДАН. 1981. Т. 261. № 3. С. 575–579.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В.* Тефрохронологический метод // Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. Л.: Недра, 1987. С. 227–234.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др.* Сильные и катастрофические эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысячелетий // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 235–252.
- Годзиковская А.А.* Каталог макросейсмических описаний землетрясений Камчатки за доинструментальный период наблюдений (XVIII–XIX вв.). Обнинск: ГС РАН, 2009. 140 с.
- Годзиковская А.А.* Сводка макросейсмических сведений по землетрясениям Камчатки (Доинструментальный и ранний инструментальный период наблюдений). Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. 134 с.
- Гусев А.А.* Сильные землетрясения Камчатки: расположение очагов в инструментальный период // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 39–42.
- Заякин Ю.Я., Лучинина А.А.* Каталог цунами на Камчатке. Обнинск: ВНИИГМИМЦД, 1987. 50 с.
- Кравчуновская Е.А., Пинегина Т.К., Нишимура Ю.* Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз // Материалы III Сахалинской молодежной научной школы, Южно-Сахалинск, 3–6 июня 2008 г. / Отв. ред. Лихачева О.Н. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009. С. 178–179.
- Левин Б.В., Носов М.А.* Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. 360 с.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть I (1737–1909 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 13–28.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть II (1926–1991 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3–24.
- Пинегина Т.К.* Пространственно-временное распределение очагов цунамигенных землетрясений тихоокеанского и беринговоморского побережий Камчатки по отложениям палеоцунами: Автореф. дисс. докт. г.м.-н. Москва, 2014. 43 с.
- Пинегина Т.К., Базанова Л.И., Зеленин Е.А., Кожурин А.И.* Выявление голоценовых мегаземлетрясений вдоль Курило-Камчатской зоны субдукции // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 27 сентября–3 октября 2015 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 373–377.
- Пинегина Т.К., Базанова Л.И., Мелекесцев И.В. и др.* Доисторические цунами на побережье Кроноцкого залива – Камчатка, Россия // Вулканология и сейсмология. 2000. № 2. С. 66–74.
- Пинегина Т.К., Буржуа Д., Базанова Л.И. и др.* Отложения цунами и анализ цунамиопасности на Халактырском пляже в районе Петропавловска-Камчатского, Тихоокеанское побережье Камчатки, Россия // Сборник статей по результатам международной конфе-

- ренции «Локальные цунами: предупреждение и уменьшение риска». Петропавловск-Камчатский, 10-15 сентября 2002 г. М.: Янус-К, 2002. С. 142–151.
- Потапов В.В.* Гидрологическая характеристика Авачинской губы // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9-10. С. 2227–2231.
- Соловьев С.Л., Ферчев М.Д.* Сводка данных о цунами в СССР // *Бюлл. Совета по сейсмологии*. М.: Изд-во АН СССР, 1961. № 9. С. 23–55.
- Соловьев С.Л.* Основные данные о цунами на тихоокеанском побережье СССР, 1737–1976 гг. // *Изучение цунами в открытом океане*. М.: Наука, 1978. С. 61–136.
- Чебров В.Н., Раевская А.А.* Землетрясения Камчатки 1737 года // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2011. № 2. Вып. 18. С. 114–127.
- Bourgeois J., Pinegina T., Ponomareva V., Zaretskaia N.* Holocene tsunamis in the southwestern Bering Sea, Russian Far East, and their tectonic implications // *GSA bulletin*. 2006. V. 118. № 3/4. P. 449–463.
- Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al.* Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // *Quaternary Research*. 1997. V. 47. № 2. P. 125–139.
- Bronk Ramsey C., Lee S.* Recent and Planned Developments of the Program OxCal // *Radiocarbon*. 2013. V. 55. № 2-3. P. 720–730.
- Bursik K.M., Melekestsev I.V., Braitseva O.A.* Most recent deposits of Ksudach volcano, Kamchatka, Russia // *Geophysical Research Letters*. 1993. V. 20. № 17. P. 1815–1818.
- Macias J.L., Sheridan M.F.* Products of the 1907 eruption of Shtyubel' Volcano, Ksudach Caldera, Kamchatka, Russia // *GSA Bulletin*. 1995. V. 107. № 8. P. 969–986.
- MacInnes B., Pinegina T.K., Bourgeois J. et al.* Field survey and geological effects of the 15 November 2006 Kuril tsunami in the middle Kuril Islands // *Pure and applied geophysics*. 2009. V. 166. № 1–2. P. 9–36.
- MacInnes B.T., Weiss R., Bourgeois J., Pinegina T.K.* Slip distribution of the 1952 Kamchatka Great Earthquake based on near-field tsunami deposits and historical records // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2010. № 100. P. 1695–1709.
- Pinegina T.K., Bourgeois J.* Historical and paleotsunami deposits on Kamchatka, Russia: long-term chronologies and long-distance correlations // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2001. V. 1. № 4. P. 177–185.
- Pinegina T., Bourgeois J., Bazanova L. et al.* Millennial – scale record of Holocene tsunamis on the Kronotskiy Bay coast, Kamchatka, Russia // *Quaternary Research*. 2003. V. 59. № 1. P. 36–47.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A. et al.* IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP // *Radiocarbon*. 2013. V. 55. № 4. P. 1869–1887.

NEW DATA ON CHARACTERISTIC OF HISTORICAL TSUNAMI ON THE COAST OF AVACHA BAY (KAMCHATKA)

T.K. Pinegina, L.I. Bazanova

Institute of Volcanology and Seismology FAB RAS; 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky; fax: (4152)297982; e-mail: pinegtk@yandex.ru

In this article we introduce updated characteristics of historical tsunami that struck the coast of Avacha Bay, based on studies of tsunami deposits. In order to control tsunami age we used tephrochronology method.

Keyworld: Avacha Bay, catalogue of historical tsunami, tsunami deposits, tephrochronology.