

УДК 551.24

ПОВТОРЯЕМОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ ЦУНАМИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КРОНОЦКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Пинегина Т.К.¹, Базанова Л.И.¹, Зеленин Е.А.², Выдрин Д.С.^{3,4}, Хомчановский А.Л.¹, Батанов Ф.И.¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, pinegtk@yandex.ru

²Геологический институт РАН, г. Москва

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

⁴Институт океанологии им. П.П. Шишова, г. Москва

Введение

Впервые на побережье Кроноцкого залива в районе р. Кедровая были проведены полевые палеосейсмологические исследования направленные на выявление отложений цунами и геологических следов вертикальных косейсмических деформаций в среднем-позднем голоцене (рис. 1А).

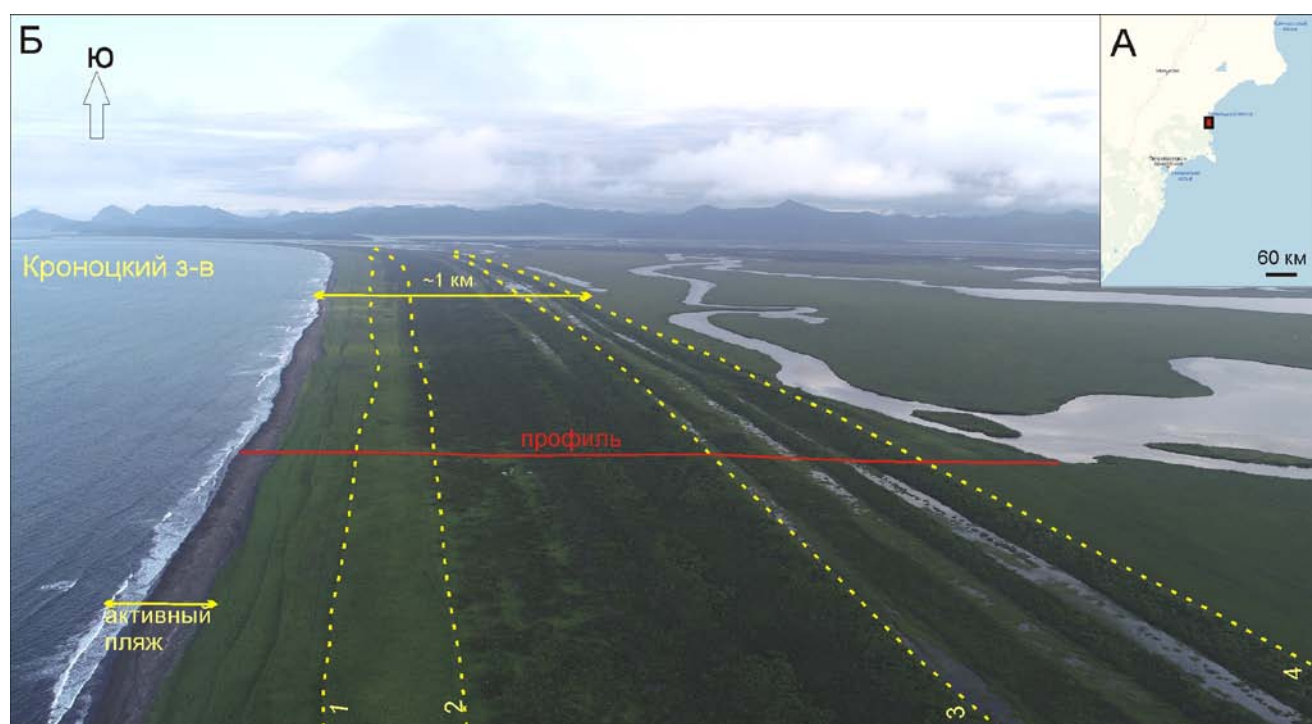


Рис. 1. А – Район палеосейсмологических исследований на побережье Кроноцкого залива. Б – Фрагмент перспективного аэрофотоснимка сделанного БПЛА Phantom 4-PRO в районе детальных работ. Красной линией отмечено положение топографического профиля, вдоль которого были заложены шурфы, описаны разрезы и сделано георадарное профилирование. Пунктирными линиями с номерами показано положение погребенных уступов размыва, связанных с косейсмическими опусканиями побережья. Положение уступа 3 показано предположительно.

Методика исследований

Через морскую террасу вкосте простираения береговых валов был измерен топографический профиль и вдоль него на каждом береговом валу закладывались шурфы (рис. 1Б). В шурфах описывались разрезы и отбирались на гранулометрический и химический анализы отложения цунами и вулканических пеплов (тефры). Подробно методика идентификации отложений цунами изложена в работе [3]. Возраст самой нижней тефры, сохранившейся в почвенно-пирокластических отложениях перекрывающих береговой вал, указывает на время, когда вал становится реликтовым, зарастает густой растительностью и на нем начинает формироваться почва [3]. В тех случаях, когда два соседних береговых вала значительно отличались по возрасту (на несколько сотен лет и более), между ними мог находиться уступ размыва, погребенный под штормовыми отложениями перекрывающего его более молодого берегового вала. Такие уступы могут образовываться после резкого (косейсмического)

опускания суши относительно уровня моря [4, 6]. В отличие от уступов экзогенного генезиса, они выдержаны по простиранию на десятки километров и образуются одновременно с отложениями цунами, сопровождавшими данное землетрясение. Наличие косейсмических опусканий (либо поднятий) находит отражение и в форме топографического профиля, измеренного через морскую аккумулятивную террасу.

Участки террасы, перспективные для поиска погребенных уступов размыта были прозондированы георадаром «Око» с антеннами 250 и 100-50 МГц, на георадарных профилях были намечены их вероятные местоположения, после чего погребенные уступы вскрывались в канавах [4].

С помощью беспилотного летательного аппарата Phantom 4-PRO была произведена аэросъемка местности (рис. 1), на основе которой были созданы детальная цифровая модель местности (ЦММ) с разрешением 10 см и ортофотоплан территории [4]. ЦММ использовалась для определения величин вертикальных и горизонтальных заплесков цунами и амплитуд косейсмических опусканий в разных частях района исследований.

Корреляция отложений цунами и их датировки проводились с помощью метода тефрохронологии и тефростратиграфии [5], а также в ряде случаев из разрезов отбирались образцы органики на радиоуглеродное (^{14}C) датирование.

Полученные результаты

В результате радиоуглеродного датирования образцов торфа из опорных разрезов, электронной микроскопии образцов тефры и определения составов вулканического стекла, прослой тефры в районе наших исследований были опознаны и соотнесены с изученными ранее извержениями [5, 7]. На этой основе была создана надежная тефрохронологическая шкала для побережья Кроноцкого залива и определен возраст отложений и форм рельефа, связанных с цунами и косейсмическими деформациями (рис. 2А, Б).

В геологических разрезах и торфяных кернах мы идентифицировали отложения 30 цунами произошедших за последние ~5200 лет. Наиболее полная летопись событий цунами и их параметров была получена для последних ~2000 лет, включая и исторические цунами 1737, 1792, 1841, 1923, 1952 гг. В двух шурфах были идентифицированы отложения наиболее сильного исторического трансокеанического цунами от Чилийского землетрясения 1960 г. Горизонты с отложениями 1960 г. расположены слишком близко к активному пляжу и, вероятно, на протяжении тысяч лет не сохранятся. Таким образом, большая часть выявленных нами цунами, скорее всего, связана с местными очагами, расположенными вдоль Камчатской зоны субдукции.

Мы провели реконструкцию положения древних береговых линий и высот морской аккумулятивной террасы для среднего - позднего голоцена и получили возможность сравнить параметры вертикальных и горизонтальных заплесков исторических и палеоцунами по их отложениям. В тех местах, где береговые валы достигают высот 8-9 метров, горизонтальные заплески, как правило, не превышали полукилометра. По заболоченной низменности, отгороженной от моря всего 1-2 береговыми валами, цунами распространялись на несколько километров вглубь берега.

По полученным данным, средняя повторяемость сильных цунами в Кроноцком заливе составляет 70-90 лет. При этом, очаги цунамигенных землетрясений могли располагаться напротив Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов (судя по положению очагов исторических событий).

В результате изучения геологического строения морской аккумулятивной террасы мы выявили геологические следы трех палеоземлетрясений, сопровождавшихся крупноамплитудными (1-2 м) вертикальными косейсмическими опусканиями побережья Кроноцкого залива. Последнее событие (самое молодое), произошло относительно недавно, т.к. оно стратиграфически зажато между тефрой Авачинского вулкана АВ700 ~1300-1350 года нашей эры (г.н.э.) и тефрой одного из молодых извержений Жупановского вулкана. Полученная нами ^{14}C дата (180 ± 40 лет) указывает на исторический возраст этого извержения (рис.2), однако калиброванный возраст подходит для двух из известных исторических извержений - 1882 или 1776 г.н.э. (рис. 3). Данные об этих извержениях были опубликованы в 1869 и 1899 гг. [1, 2].

Еще одно вероятное косейсмическое опускание (четвертое) удалось идентифицировать по резкой смене условий осадконакопления в прибрежном торфянике (рис. 2 А). Это опускание также выражено и в топографии береговых валов, однако из-за близости грунтовых вод нам не удалось прокопать шурф на необходимую глубину и выяснить возраст опущенного вала. На возраст опускания может указывать ^{14}C дата из образца торфа перекрытого суглинками в разрезе 995 (3830 ± 25 ^{14}C л.н.). Разрез 995 расположен примерно в 2 км. от современной береговой линии на месте заросшей торфом лагуны.

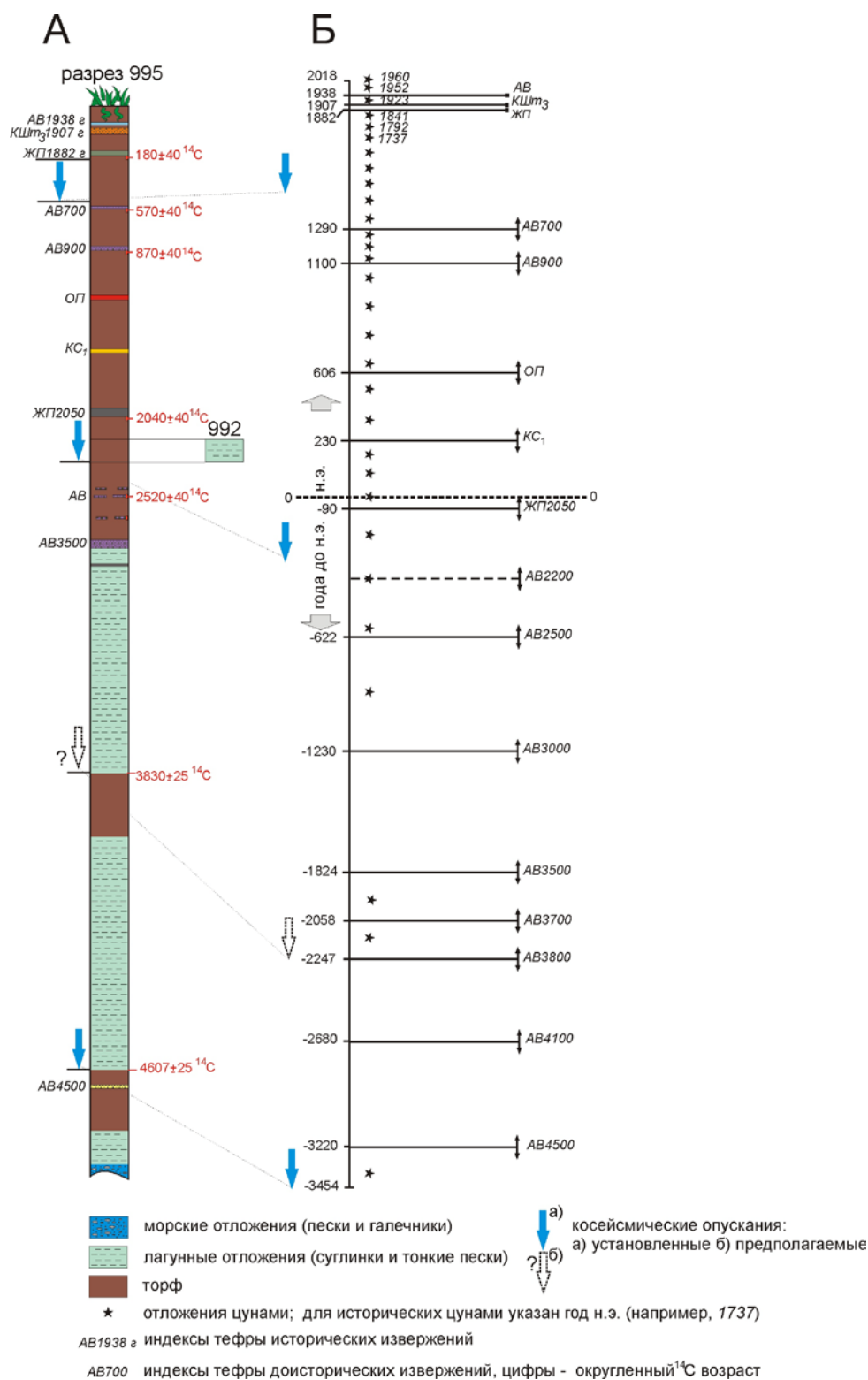


Рис. 2. А - Опорный тейфростратиграфический разрез с данными радиоуглеродного датирования; Б – сводная тейфрохронологическая колонка в калиброванном календарном возрасте, с положением на ней горизонтов тефры, отложений цунами и временем косейсмических деформаций.

Заключение

Параметры палеоцунами в Кроноцком заливе, восстановленные по их отложениям, сопоставимы с историческими цунами.

Количество отложений цунами обнаруженных в Кроноцком заливе (30 за ~5200 лет) немного меньше, чем в Авачинском (33 за ~4200 лет) [7], однако без проведения тщательного анализа нельзя

делать вывод о разной повторяемости в этих заливах. Разница может быть обусловлена большей высотой береговых валов в Кроноцком заливе, либо худшей сохранностью отложений.

Из 30 событий цунами, выявленных для последних ~5200 лет в Кроноцком заливе, лишь 3 или 4 сопровождалось косейсмическими опусканиями побережья, что свидетельствует о «нетипичности» очагов цунамигенерирующих землетрясений.

Ранее нами были получены данные о возрасте, повторяемости и амплитуде вертикальных косейсмических деформаций на побережье Авачинского залива [6]. Оказалось, что возраст косейсмических опусканий в Кроноцком заливе не соответствует косейсмическим опусканиям, выявленным на побережье Авачинского залива.

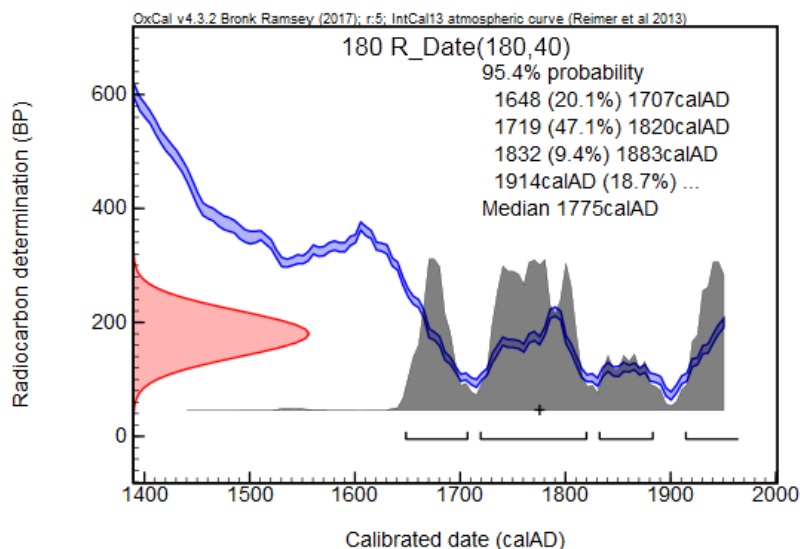


Рис. 3. Калиброванные даты для тефры Жупановского вулкана. Полученные временные промежутки не позволили определить, к какому именно историческому извержению (1882 или 1776 гг.) относится тефра в разрезах района исследований. Калибровка проведена в программе OxCal 4.3 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html>).

Работа проведена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-00407 (рук. Т. Пинегина), «Программы приоритетных научных исследований в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (проект 18-5-003, рук. Т. Пинегина), Российского Министерства образования и науки (грант № 14.W03.31.0033, рук. Н. Шапиро); подготовка публикации выполнена в рамках государственной темы № 0282-2018-0019 (ИВиС ДВО РАН).

Список литературы

1. Маргаритов В. Камчатка и ее обитатели // Записки Приамурского отдела Императорского Русского Географического общества. Хабаровск. 1899. Том V. Вып.1.
2. Сгибнев А. Исторический очерк главнейших событий на Камчатке // Морской сборник. СПб, 1869. № 6, 7.
3. Пинегина Т.К. Пространственно-временное распределение очагов цунамигенных землетрясений тихоокеанского и берингоморского побережий Камчатки по отложениям палеоцунами: Автореферат докт. дисс. геолог.-минерал. наук. Москва, 2014. 43 с.
4. Пинегина Т.К., Базанова Л.И., Зеленин Е.А., Хомчановский А.Л., Выдрин Д.С., Батанов Ф.И. Первые данные о вертикальных косейсмических деформациях на побережье Кроноцкого залива по результатам палеосейсмологических исследований // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, г. Петропавловск-Камчатский, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 167–170.
5. Braitseva O. A., Ponomareva V. V., Sulerzhitsky L. D., Melekestsev I. V., Bailey J. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Research. 1997. Vol. 47. No. 2. P. 125–139.
6. Pinegina T.K., Bazanova L.I., Bourgeois J. et al. Paleotsunami deposits and buried erosional scarps from co-seismic subsidence along Avachinsky Bay coast (Kamchatka) // 10th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska subduction processes (JKASP-2018). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 20th-26th August, 2018. Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 2018. P. 182–184.
7. Pinegina T. K., Bazanova L. I., Zelenin E. A., Bourgeois J., Kozhurin A. I., Medvedev I. P., Vydrin D. S. Holocene Tsunamis in Avachinsky Bay, Kamchatka, Russia // Pure and Applied Geophysics. 2018. Vol. 175. No. 4. P. 1485–1506.