Геологические следы субдукционных голоценовых землетрясений и цунами на восточном побережье Камчатки

Пинегина Т.К.

Geologic traces of subduction Holocene earthquakes and tsunamis on the eastern coast of Kamchatka

Pinegina T.K.

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

Представлены результаты, полученные в 2024 г. в ходе продолжающихся палеосейсмологических исследований повторяемости и параметров катастрофических землетрясений и цунами в районе Курило-Камчатской зоны субдукции.

Введение

В ходе исследований 2024 г. впервые было проведено детальное картирование отложений исторических цунами 1923 и 1952 гг. на участке Халактырского пляжа побережья Авачинского залива от оз. Котельное до устья р. Налычева; выявлены следы сильного голоценового субдукционного землетрясения. геологические произошедшего напротив южной Камчатки в начале позднего голоцена. Проведенные в 2024 г. исследования являются частью многолетних комплексных палеосейсмологических исследований на побережьях Камчатки и Курильских островов.

Методы и подходы

В ходе экспедиционных палеосейсмологических работ изучалось геологическое и геоморфологическое строение морской аккумулятивной террасы на побережье. В почвенно-пирокластических чехлах (ППЧ), перекрывающих древнюю часть террасы, проводилась идентификация отложений цунами, штормов редкой повторяемости, а также следов вертикальных косейсмических деформаций побережья, сопровождающих сильнейшие землетрясения в зоне субдукции. Косейсмические опускания на аккумулятивных побережьях запечатлены в геологическом строении морских террас в виде погребенных уступов размыва [4]. Датирование отложений цунами, штормов, погребенных уступов и береговых валов проводилось с помощью метода тефрохронологии – по изученным и датированным ранее горизонтам вулканических пеплов [1]. На основе описания многих десятков геологических разрезов в шурфах, проводилось картирование границ горизонтальных седиментологических заплесков сильнейших исторических цунами 1952, 1923 гг. В ходе исследований выполнялись геолого-геоморфологические маршруты, шурфовочные работы с описанием разрезов и отбором образцов, измерения топографических профилей с помощью нивелира, аэрофотосъемка ключевых участков побережья с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На основе съемок с БПЛА строились высокоточные цифровые модели местности (ЦММ) и ортофотопланы.

Полученные результаты

Во время проведения исследований вдоль части побережья Халактырского пляжа общей длиной более 15 км закладывались неглубокие шурфы, в которых описывались отложения цунами 1952 и 1923 гг. (рис. 1). Отложения цунами в данном районе представлены темно-серыми песками, аналогичными штормовым, их мощность в среднем варьирует от нескольких мм до нескольких см. Отложения этих цунами имеют хорошую сохранность в геологических разрезах. Ниже по разрезу располагается горизонт тефры извержения Конуса Штюбеля вулкана Ксудач (КШт₃) 1907 г. нашей эры [1], который позволяет однозначно отделить отложения недавних исторических цунами от более древних (рис. 2).



Рис. 1. Положение профилей, вдоль которых закладывались шурфы и картировались отложения цунами на побережье. Во врезке в левом верхнем углу показано положение района работ.

Кроме того, в центральной и северо-восточной части Халактырского пляжа в разрезах залегает вулканический шлак от исторического извержения вулкана Авачинский 1945 г. (АВ 1945) [2]. Данная тефра имела узкую ось пеплопада, и на побережье Халактырского пляжа быстро выклинивается. Мощность горизонта варьирует в среднем от 2 до 8 см, но иногда увеличивается до 20 см за счет переноса талыми водами или передува. Размерность зерен черного и темно-коричневого шлака – в среднем до 1-2 мм, иногда до 0.5 см. Тефра этого извержения отделяет отложения цунами 1923 г. от отложений 1952 г.

Таким образом, проведенное нами картирование практически исключает ошибку в идентификации отложений и позволяет аккуратно выделить зоны затопления для цунами 1952 и 1923 гг. Ниже тефры Кшт₃ в ЮЗ части исследованного района залегает грубый темный гравий – тефра «Кука» от извержения Авачинского вулкана 1797 г. (АВ 1797, рис. 2).



Рис. 2. Маркирующие горизонты тефры в береговых разрезах Халактырского пляжа на участке от оз. Котельного до р. Налычева.

В СВ части района встречается темный шлак от извержения Авачинского вулкана 1827 г. (АВ 1827; в ЮЗ части пляжа он представлен в единичных шурфах тонкой серовато-розоватой тефрой). Отложения цунами, залегающие стратиграфически выше этой тефры, относятся к 1841 г. [3]. Всего в ходе картирования было заложено и описано 68 шурфов. Пример горизонтов с отложениями цунами показан на рис. 3.



Рис. 3. Отложения цунами 1923 и 1952 гг. Горизонт отложений цунами 1923 г. состоит из чистого песка, горизонт 1952 г. перемешан со шлаком АВ 1945 и отделен почвой от горизонта цунами 1923 г.

На побережье Авачинского залива на ключевых участках была проведена аэрофотосъемка с БПЛА, оснащенного камерой высокого разрешения (4К). На этих участках закладывались шурфы на полный профиль ППЧ. В них описывались геологические разрезы и определялся возраст каждого берегового вала – по нижнему горизонту вулканической тефры, перекрывающей штормовые отложения палеопляжа. Время от начала формирования берегового вала и до того момента, когда он становится неактивным, т.е. выходит из зоны штормовой досягаемости, на Халактырском пляже составляет в среднем 50-75 лет [3]. Эти данные получены на основе возраста древнейшей тефры в ППЧ вала, поделенном на количество береговых валов в сторону моря, включая данный вал.

В ходе исследований на одном из ключевых участков были обнаружены два соседних береговых вала, имеющих большую разницу в возрасте. Шурфы 17 и 18 расположены на двух соседних береговых валах, 18 – ближе к морю. Большая разница валов по возрасту (порядка 3 тыс. (?) лет), и по высоте (древний вал ниже на 1-1.5 м) указывают на длительный существенный размыв морской террасы в промежуток времени между формированием сохранившихся в рельефе соседних береговых валов, что свидетельствует о косейсмическом опускании берега (рис. 4), [4].

Выводы

Детальное картирование отложений исторических цунами на побережье Авачинского залива на участке от оз. Котельного до р. Налычева показало, что, как правило, горизонтальный заплеск цунами 1923 г. в исследуемом районе был более дальним, чем заплеск цунами 1952 г. Вместе с тем, в направлении с ЮЗ на СВ вдоль Халактырского пляжа дальность заплеска 1923 г. уменьшалась, а 1952 г. – увеличивалась. Вероятно, сказывалось экранирующее действие Налычевского мыса и полуострова Шипунского. Очаг землетрясения 1923 г. располагался в южной части Кроноцкого залива, в отличие от очага 1952 г., располагавшегося вдоль южной Камчатки и северных Курил.

Выявлены следы сильного субдукционного палеоземлетрясения, сопровождавшегося крупноамплитудным (порядка 1-1.5 м) опусканием побережья Авачинского залива.



Рис. 4. Пример ЦММ, полученной по результатам аэрофотосъемки с БПЛА (слева). Цветовая шкала ЦММ построена в зависимости от углов уклона рельефа и хорошо подчеркивает положение береговых валов, дорог и прочих антропогенных нарушений. Красными квадратами с цифрами показано положение и номера шурфов. Желтая линия на ЦММ – положение топографического профиля А-Б. На врезке справа внизу показан топопрофиль А-Б, построенный по ЦММ; красные прямоугольники и цифры – положение и номера шурфов. Красная пунктирная линия – примерное положение погребенного уступа размыва террасы в результате косейсмического опускания. Справа сверху – фото шурфов 17 и 18. Желтые стрелки показывают нижние горизонты тефры Авачинского вулкана (АВ) в основании ППЧ и их корреляцию между шурфами (для AB550); коды тефры (предполагаемые по предварительной полевой интерпретации до проведения аналитических исследований) – их ¹⁴С возраст, округленный до 50 лет по [3, 4].

Работа проведена в рамках темы НИР № FWME-2024-0010 Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Список литературы

- 1. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Сильные и катастрофические эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысяч лет / Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 235-252.
- 2. 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.
- 3. *Pinegina T.K., Bazanova L.I., Zelenin E.A. et al.* Holocene Tsunamis in Avachinsky Bay, Kamchatka, Russia // Pure and Applied Geophysics. 2018. V. 175. P. 1485-1506. https://doi.org/10.1007/s00024-018-1830-0
- 4. *Pinegina T.K., Bourgeois J., Bazanova L.I. et al.* Coseismic coastal subsidence associated with unusually wide rupture of prehistoric earthquakes on the Kamchatka subduction zone: A record in buried erosional scarps and tsunami deposits // Quaternary Science Reviews. 2020. V. 233. Art. 106171. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106171