УДК 551.8:551.466.62

ПРОЯВЛЕНИЕ ПАЛЕОЦУНАМИ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БУХТЫ ТРИОЗЕРЬЕ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ

[1] Ганзей Л.А., [1]Разжигаева Н.Г., [2]Нишимура Ю., [3]Арсланов Х.А., [1]Гребенникова Т.А., [1,4]Лебедев И.И., [3]Максимов Ф.Е., [3]Петров А.Ю., [5]Горбунов А.О., [6]Наумов Ю.А.

[1]ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: lganzey@tig.dvo.ru;
[2]Институт вулканологии и сейсмологии, университет Хоккайдо, Саппоро, e-mail: yns@mail.sci.hokudai.ac.jp;
[3]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e-mail: arslanovkh@mail.ru;
[4]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: ilya.lebedev1994@bk.ru;
[5]ФГБУН «Институт морской геологии и геофизики» ДВО РАН, Южно-Сахалинск, e-mail: briiz@yandex.ru;
[6]Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (филиал), Находка, e-mail: naumov_ua@mail.ru

Проведен поиск отложений палеоцунами на побережье бухты Триозерье, входящей в одну из активно развивающихся рекреационных зон на побережье Восточного Приморья. Установлены следы двух палеоцунами, прошедших до нашей эры, и найден маломощный прослой песка морского происхождения, который может быть следом цунами 1026 г., одного из крупнейших событий Япономорского региона. Морское происхождение песков подтверждено данными диатомового анализа. Для определения источников материала использован гранулометрический анализ. Возрастная привязка событий палеоцунами сделана на основе радиоуглеродного датирования органогенных отложений. В одном разрезе найден маркирующий пепел B-Tm влк. Байтоушань (969 г.). Определение масштаба палеоцунами показало, что эти события были более сильными, чем известные цунами конца XX века (1983, 1993 гг.). Зона затопления охватывала тыловую часть береговой низменности с озерами, цунами сопровождались активной эрозией.

Ключевые слова: палеоцунами, осадки, радиоуглеродное датирование, поздний голоцен, бухта Триозерье, Японское море

MANIFESTATION OF LATE HOLOCENE PALEOTSUNAMI ON TRIOZER'E BAY COAST, SEA OF JAPAN

[1]Ganzey L.A., [1]Razzhigaeva N.G., [2]Nishimura Yu., [3]Arslanov Kh.A., [1]Grebennikova T.A., [1,4]Lebedev I.I., [3]Maksimov F.E., [3]Petrov A.Yu., [5]Gorbunov A.O., [6]Naumov Yu.A.

[1]Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: lganzey@tig.dvo.ru;
[2]Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Sapporo, e-mail: yns@mail.sci.hokudai.ac.jp;
[3]St-Petersburg State University, St-Petersburg, e-mail: arslanovkh@mail.ru;
[4]Far East Federal University, Vladivostok, e-mail: ilya.lebedev1994@bk.ru;
[5]Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, e-mail: briiz@yandex.ru;
[6]Vladivostok State University of Economics and Service (branch), Nakhodka, e-mail: naumov_ua@mail.ru

The search of paleotsunami deposits on the Triozer'e Bay coast, one of the actively developing recreational areas of East Primorye was carried out. The traces of two paleotsunami passed BC were established. The thin sand layer of marine origin, which may be the trace of 1026 AD tsunami, one of the major events in the Japan Sea region was found too. Marine origin of the sands was confirmed by diatom analysis. Grain size analysis was used to determine the source of the material. Age of paleotsunami is defined based on radiocarbon dating of biogenic deposits. Marker ash B-Tm of Baitoushan Volcano (969 AD) were found in one section. The reconstruction of paleotsunami scales show that these events were more intensive than known tsunami of the end of XX century (1983, 1993 AD). Inundation area covered the back part of the coastal lowland with lakes, tsunami caused active erosion.

Keywords: paleotsunami, deposits, radiocarbon dating, late Holocene, Triozer'e Bay, Sea of Japan

Информация о проявлении палеоцунами в позднем голоцене и их масштабе особенно актуальна для участков побережья Приморья, которые активно осваиваются и являются востребованной рекреационной зоной [3]. На восточном побережье Приморья к таким территориям относится рекреационная зона «Триозерье», расположенная в 13 км северо-восточнее мыса Поворотного и включающая бухты Триозерье, Окуневая и Спокойная. В бухте Триозерье расположено 5 баз отдыха, на которых может отдыхать одновременно до 1 тыс. человек. Базы расположены на расстоянии от 100 до

250 м от берега на высотах, редко превышающих 3–4 м, и могут попадать в потенциальную зону затопления крупных цунами. Во время цунами 1983 г. волна перехлестнула 3–4-метровую террасу, произошел размыв косы, отделяющей протоку из Южного и Среднего озер, морская вода проникла в Южное озеро, зона затопления достигла 200 м. Цунами 1993 г. также затапливало террасу, заболоченное Северное озеро покрылось слоем морской воды (до 25 см) [6]. Хотя цунами 1983 и 1993 гг. на побережье бухты имели заплески около 3 м и сопровождались эрозией – в северо-восточной части бухты была практически полностью размыта 2–3 м терраса [6], осадки этих цунами в 2015 г. обнаружены в единичных точках. Только на берегу южного озера под дерном найден слой песка, оставленный предположительно цунами 1983 г. [4]. Сведений о прохождении более ранних цунами на этом участке побережья нет, работы по поиску палеоцунами на побережье Восточного Приморья проводились севернее бух. Киевка [2]. Цель настоящей работы – выявить следы палеоцунами в отложениях береговой низменности бух. Триозерье, установить их возраст, характеристики заплеска волн и зоны затопления.

Работы по поиску осадков цунами проводились в 2015 г. (рис. 1). Основное внимание уделялось террасовидным поверхностям, которые находятся за пределами зоны влияния сильных штормов. В разных частях бухты было заложено несколько профилей от уреза моря вглубь суши, а также выполнено опробование в отдельных точках, которые находились около озер в зоне затопления цунами 1983, 1993 гг. Для идентификации происхождения прослоев песка использовались данные литолого-фациального и диатомового анализов. Опробовались также пляж и низкая морская терраса как возможные источники материала. Определение возраста отложений основано на данных радиоуглеродного датирования погребенных почв и торфяника, вмещающих прослои песка. Датирование выполнено в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана, Институт наук о Земле СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Перевод радиоуглеродных дат в календарные проводился с помощью программы «OxCal 4.2» [12, 13].

Результаты исследования и их обсуждение

Побережье бух. Триозерье представлено аккумулятивными образованиями и низкими денудационными поверхностями. Бухта расположена в пределах развития обширного Успенского гранитного массива [1], на котором развиты коры выветривания, что

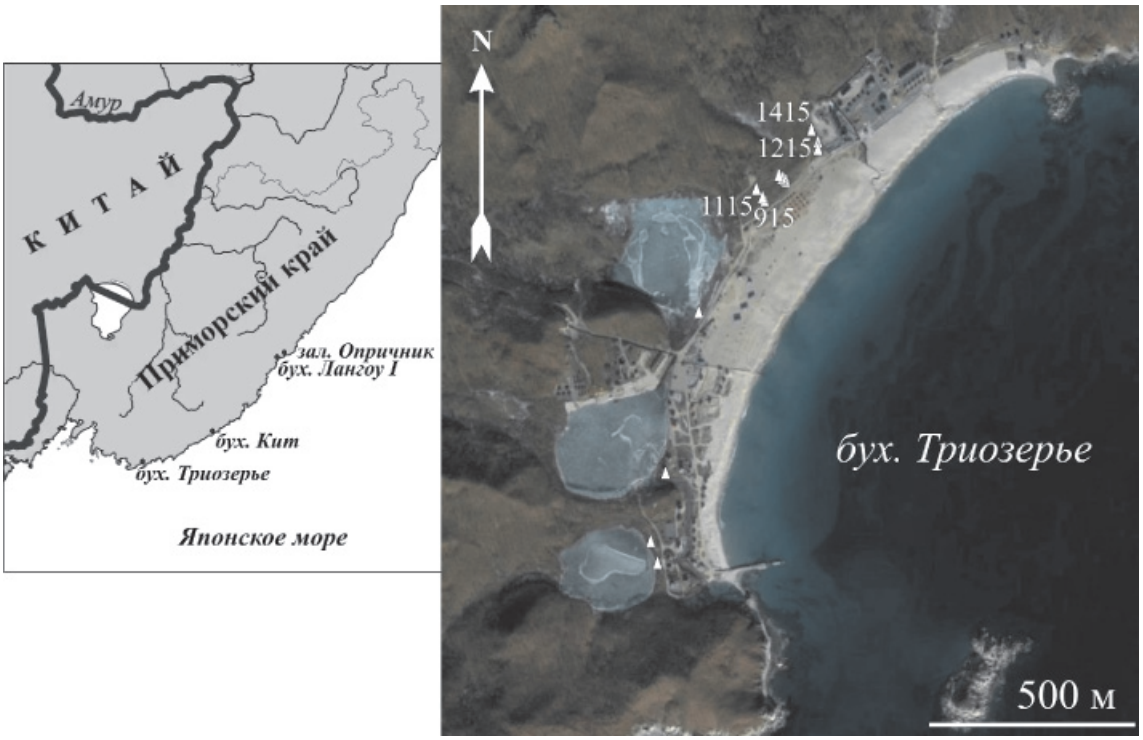

Рис. 1. Район работ, треугольниками обозначены изученные разрезы

определяет большое количество песчаного материала в береговой зоне. В южной и северной части к берегу моря близко подходят отроги мелкогорья, часто обрываясь древними абразионно-денудационными клифами или отвесными скалами высотой от 10–20 до 40–80 метров. Сильное абразионное подрезание берега привело к образованию сети глубоковрезанных долин и оврагов, а на участках аккумуляции – трех мелководных заболоченных озер, представляющих собой блокированные устья водотоков. Уровень озер сильно колеблется, в засушливые периоды северное и южное озера превращаются в низинные болота и зеркало воды полностью покрывается водными растениями [7]. В тыловой части береговой низменности расположены слабо наклоненные заболоченные поверхности – делювиальные шлейфы и среднеголоценовые морские террасы. Низкая морская терраса сохранилась фрагментами около озер и в южной части бухты. В вершине бухты расположен широкий пляж (шириной до 170 м в северной части бухты), тыловая часть которого возникла на месте древних штормовых валов и морской террасы, практически полностью переработанных человеком. До активного освоения в начале 1990 г. максимальная ширина пляжа была около 80 м, была хорошо выражена серия штормовых валов [7], в настоящее время полностью разрушенных. С низкой морской террасы, пляжа и подводного берегового склона проводилась массовая выемка грунта [7]. В настоящее время пляж на урезе и в средней части сложен среднезернистым хорошо сортированным песком, в тыловой части – гравием (80%) с примесью в основном крупнозернистого песка. Вероятно, этим же материалом была сложена разрушенная на этом участке морская терраса. Подводный склон бухты характеризуется небольшим уклоном, максимальная глубина – до 23 м в северной части бухты.

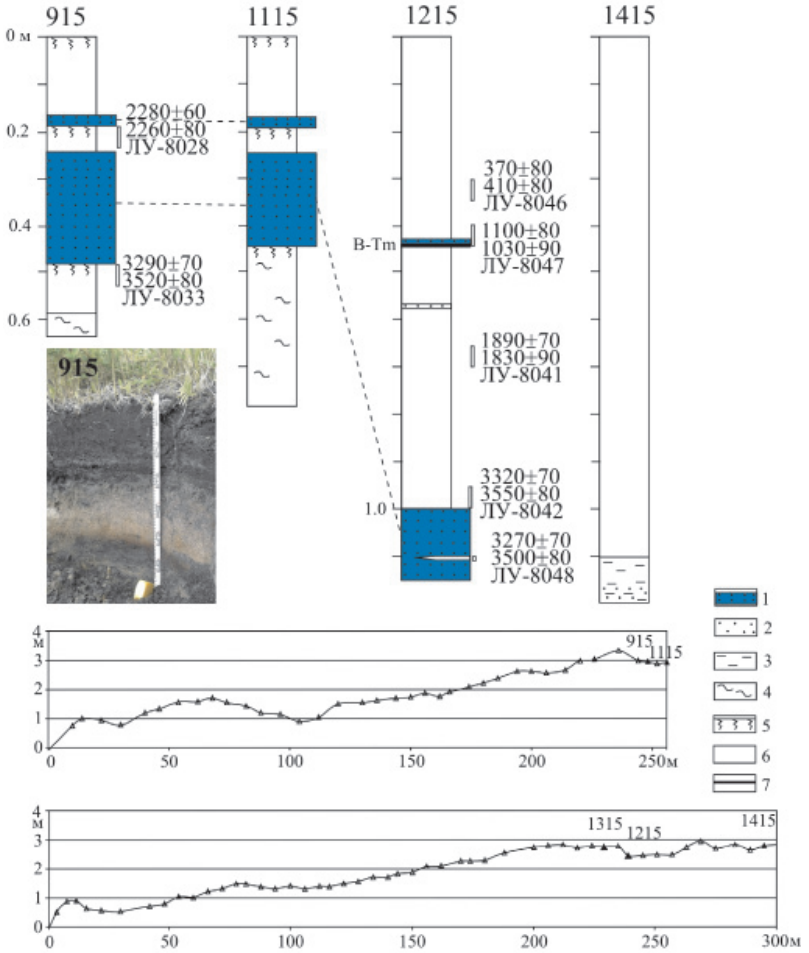

Рис. 2. Разрезы голоценовых отложений на побережье бух. Триозерье, включающие цунамигенные пески: 1 – цунамигенный песок; 2 – песок; 3 – алеврит; 4 – суглинок; 5 – почва; 6 – торф; 7 – вулканический пепел

Наиболее информативными с точки зрения поиска осадков палеоцунами оказались разрезы голоценовых отложений в северной части бухты (рис. 1). Здесь в 250 м от берега в почвенном профиле, лежащем на делювиальных суглинках, обнаружены два прослоя светло-серого и желтовато-серого средне-крупнозернистого умеренно сортированного неслоистого песка и гравия (рис. 2). Пески имеют покровное залегание, прослеживаются узкой полосой параллельной береговой линии и выклиниваются в тыловой части береговой низменности. Контакты с нижележащими отложениями резкие, что говорит о быстром захоронении при разовых кратковременных событиях.

Верхний прослой песка залегает на высоте до 2,4 м над у.м. и имеет мощность до 3 см. Гранулометрический состав характеризуется бимодальной кривой распределения, моды 0,5–0,63; 0,315–0,4 мм (рис. 3). Примесь гравия составляет 6,3 %, мелкого песка – 3 %, алеврита – 1,5 %. Сортировка материала значительно уступает пляжевым пескам. Основным источником материала, который захватывало цунами, был пляж и верхняя часть подводного берегового склона, перенос материала с террасы был незначительным.

Морское происхождение песка подтверждают находки морских видов диатомей – встречены единичные фрагменты сублиторальных бентосных *Cocconeis scutellum, Diploneis crabro,* солоноватоводный *Ctenophora pulchella* и фрагменты пелагического *Thalassiosira* sp. Основу комплекса составляют пресноводные виды, характерные для умеренно заболоченных ландшафтов. Доминируют *Pinnularia borealis* (24,1 %), *Eunotia praerupta* (13,6 %) и другие виды, способные обитать на слабо увлажненных местах. Заметной концентрации достигает циркумнейтральный планктонный *Aulacoseira alpigena* (3 %) и обычные для заболоченных водоемов, случайно планктонные ацидофильные *Tabellaria flocculosa* (9 %), *T. fenestrara* (5,5 %) и обрастатели *Eunotia fallax* (3,5 %), *E. glacialis* (3,5 %), *E. suecica* (3 %). Находка этих видов свидетельствует о том, что зона затопления цунами достигла озер, и волна цунами захватывала воду из озер и, возможно, переотлагала озерные осадки.

Под прослоем песка из почвы получена ^{14}C-дата 2280 ± 60 л., 2260 ± 80 кал. л., ЛУ-8028. Осадок цунами близкого возраста был найден на побережье бух. Кит (^{14}C-дата 2290 ± 80 л., 2300 ± 120 кал. л., ЛУ-7065), где высота цунами оценивается около 4–5 м [2]. Калиброванные значения возраста этого события имеют несколько вероятностных пиков (рис. 4). Анализ графиков позволяет предположить, что наиболее вероятные интервалы календарного возраста – 410–350 или 300–210 г. до н.э. В этот же возрастной интервал попадает ^{14}C-дата 2100 ± 80 л., 2090 ± 100 кал. л., ЛУ-6563, полученная под прослоем цунамигенного песка, обнаруженного в отложения палеоозера бух. Лангоу I [8].

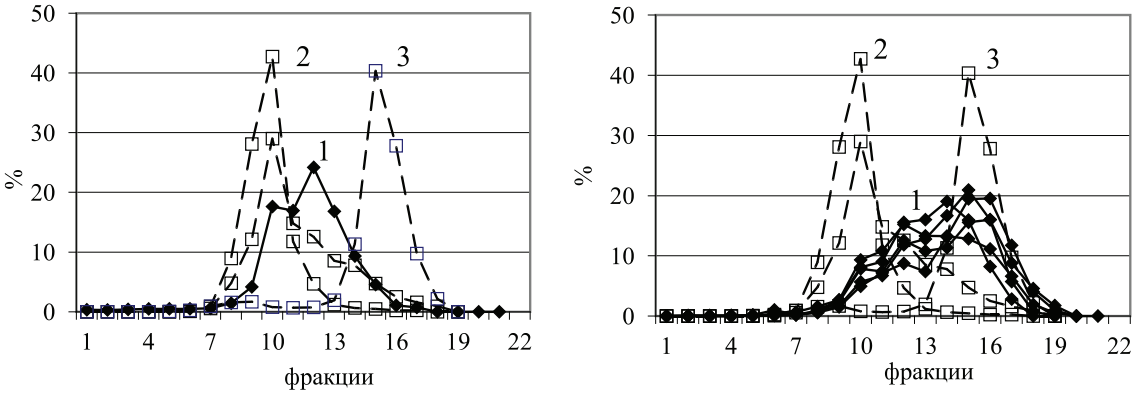

Рис. 3. Гранулометрические кривые распределения отложений палеоцунами (1) и пляжа (2 – урез и средняя часть, 3 – тыловая часть) бух. Триозерье: а – палеоцунами, произошедшее в интервалах 410–350 или 300–210 г. до н.э.; б – палеоцунами, произошедшее около 1620–1520 гг. до н.э. Фракции: 1 – < 0,05; 2 – 0,05–0,063; 3 – 0,063–0,08; 4 – 0,08–0,1; 5 – 0,1–0,125; 6 – 0,125–0,16; 7 – 0,16–0,2; 8 – 0,2–0,25; 9 – 0,25–0,315; 10 – 0,315–0,4; 11 – 0,4–0,5; 12 – 0,5–0,63; 13 – 0,63–0,8; 14 – 0,8–1; 15 – 1–1,25; 16 – 1,25–1,6; 17 – 1,6–2; 18 – 2–3; 19 – 3–4; 20 – 4–5; 21 – > 5 мм

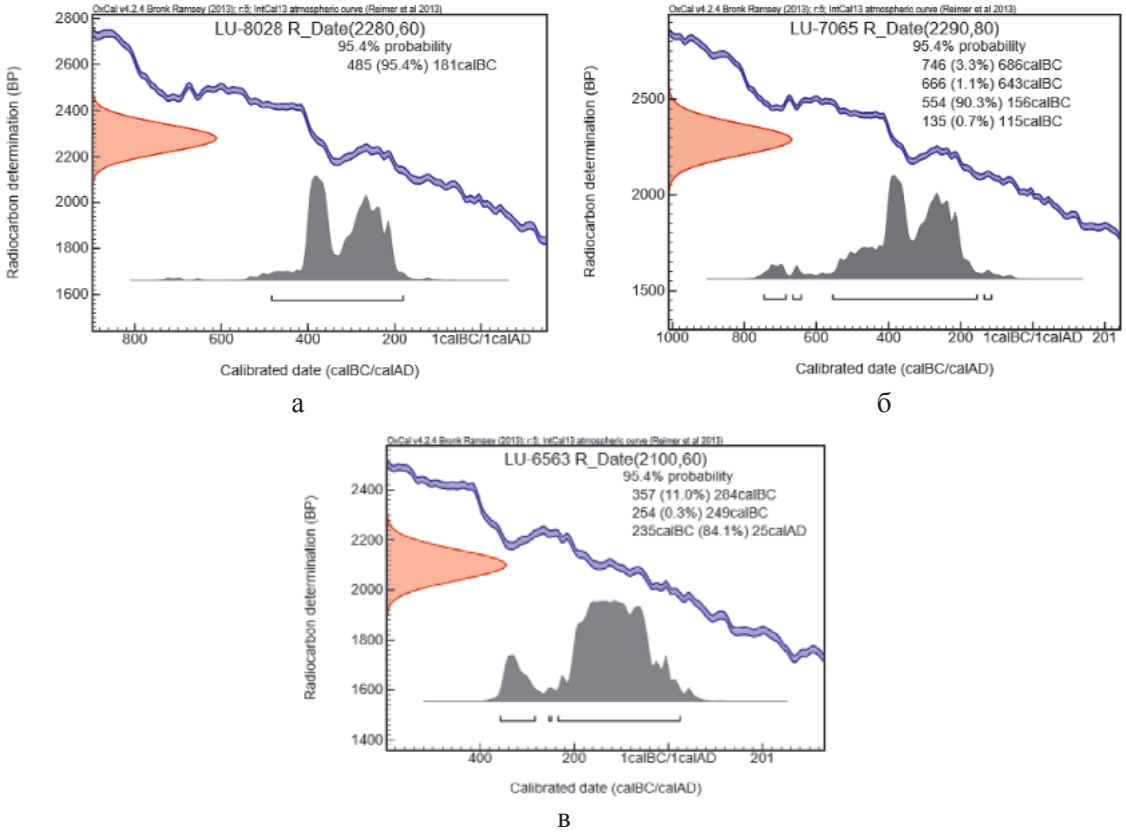

Рис. 4. Радиоуглеродный возраст палеоцунами и его калибровочные значения по [12, 13]: а – бух. Триозерье; б – бух. Кит; в – бух. Лангоу I

Нижний прослой цунамигенных осадков имеет мощность до 25 см, залегает на высоте до 2,1 м над у.м. и также выклинивается в тыловой части низменности. Материал умеренно сортирован, представлен гравием (до 55,7 %) и крупнозернистым песком (до 41,8 %) с примесью среднезернистого (до 22,8 %) и мелкозернистого (2,3 %). Кривые распределения би- и полимодальные, наиболее выражены моды 1,25–1,6 и 0,5–0,63 мм. Цунамигенный осадок представляет собой смесь материала из разных источников, основным источником материала была низкая морская терраса, которая в настоящее время полностью разрушена. Цунамигенный осадок похож на материал, слагающий тыловую часть современного пляжа, где ранее располагалась эта терраса, и хуже сортирован, чем пляжевые осадки.

Цунамигенный осадок включает створки морских диатомей и их фрагменты. Встречены сублиторальные южнобореальный планктонный *Actinocyclus octonarius* и северобореальный бентосный *Cocconeis scutellum,* океанические арктобореальный *Rhizosolenia hebetata* и *Coscinodiscus* sp. Среди пресноводных присутствуют временно планктонный *Tabellaria flocculosa* (до 11,3 %), бентосные *Brachysira brebissonii* (4,5 %), *Frustulia saxonica* (4.6 %), обрастатели *Eunotia bigibba* (5,1 %), *E. lapponica* (3,7 %), *E. incisa* (3,2 %) и другие виды, характерные для сильно обводненных болотных обстановок. В больших количествах найдены виды, типичные для озер: планктонные *Aulacoseira alpigena* (до 29,7 %), *Aulacoseira granulata* (2 %), *A. italica* (3,7 %) и обрастатель *Stauroforma exiguiformis* (8,7 %). Цунами затапливало практически всю береговую низменность, включая озера, захватывало и озерную воду, и донные осадки. По-видимому, это цунами сопровождалось большей эрозией и интенсивно перерабатывало материал с пляжа, морских террас, пересыпей, дна озер и торфяников.

Из подстилающей почвы получена ^{14}C-дата 3290 ± 70 л., 3520 ± 80 кал. л., ЛУ-8033. По-видимому, осадок этого же цунами с близкими структурными характеристиками вскрыт траншеей, идущей перпендикулярно береговой линии на участке развития среднеголоценовой лагунной террасы –

разрез 1215 (рис. 1, 2). Здесь под торфяником (мощностью 1 м) обнаружен слой светло-серого крупнозернистого песка с гравием (мощностью 25 см), включающего маломощную линзу торфа. Из вышележащего торфа и линзы торфа получены близкие ^{14}C-даты 3320 ± 70 л., 3550 ± 80 кал. л., ЛУ-8042 и 3270 ± 70 л., 3500 ± 80 кал. л., ЛУ-8048. Анализ графиков калибровочных значений (рис. 5, а–в) позволяет предположить, что песок образован во время того же события, произошедшего около 1620–1520 гг. до н.э. В это время уровень Японского моря был на 1 м ниже современного [5], с учетом этого заплеск цунами можно оценить не менее 3 м.

Два тонких прослоя песка (мощностью несколько мм) были обнаружены также и в разрезе торфяника. Верхний представлен светло-серым мелкозернистым песком, часть зерен кварца и полевого шпата имеет сглаженную поверхность – можно предполагать, что материал поступал с прибрежного мелководья. Здесь же встречено редкое вулканическое стекло, которое по морфологии схоже с маркирующим пеплом B-Tm, образованным во время извержения влк. Байтоушань в 969 г. Это подтверждает ^{14}C-дата 1100 ± 80 л., 1030 ± 90 кал. л., ЛУ-8047 из вмещающего торфа (рис. 5, г). Калибровочные значения этой даты охватывают временной интервал, в который попадает одно из сильнейших исторических цунами в Японском море, произошедшее 16 июня 1026 г. н.э. [10, 11, 14]. Это гигантское цунами (высота волны 10 м) было вызвано сильным землетрясением (M 7,5), очаг которого находился в юго-восточной части Японского моря в 10 км от берега напротив равнины Масуда, префектура Шимане (Shimane). Цунами вызвало многочисленные разрушения и жертвы (погибло 1000 человек) на западном побережье о. Хонсю [10, 14]. Осадки этого цунами (мощностью 10 см), представленные мелко-среднезернистым песком с примесью крупнозернистого песка и гравия, были найдены на равнине Масуда в 500 м от береговой линии [11]. Возможно, следы этого цунами найдены на побережье бух. Триозерье, которая могла входить в периферийную зону распространения волн.

Прослой крупнозернистого песка, найденный в разрезе торфяника 1215 в инт. 0,55–0,60 м, образовался, скорее всего,

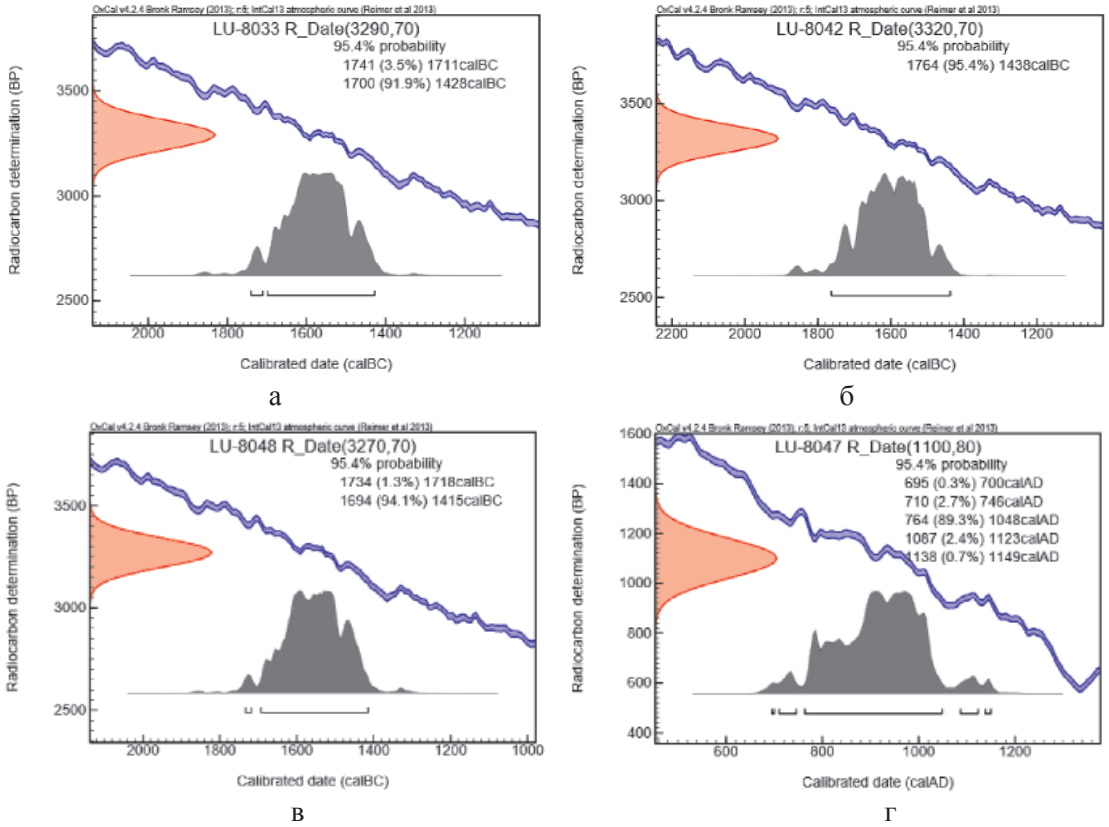

Рис. 5. Радиоуглеродный возраст палеоцунами бух. Триозерье и его калибровочные значения (а, б, в) и радиоуглеродный возраст торфа из разреза 1215, включающего цунамигенный песок и вулканический пепел B-Tm и его калибровочные значения (г) по [12, 13]

за счет плоскостного смыва в результате прохождения сильного тайфуна. Расчетный возраст этого прослоя оценивается около 1407–1570 кал. л. Следы сильного наводнения этого же возраста (^{14}C-дата 1520 ± 60 л., 1420 ± 60 кал. л., ЛУ-7332), представленные тонким прослоем разнозернистого песка в разрезе торфяника, обнаружены на побережье бух. Кит. Близкая ^{14}C-дата 1610 ± 90 л., 1510 ± 100 кал. л., ЛУ-6958 получена из торфянистых алевритов, подстилающий прослой суглинков, образованных в сильное наводнение, в приустьевой зоне р. Опричнинка, бух. Опричник [2].

Заключение

На побережье бух. Триозерье обнаружены осадки палеоцунами, в том числе произошедшие до нашей эры, что может дополнить сведения о сильных цунами, приведенные в имеющихся каталогах [9, 10, 14]. Предполагается, что масштаб палеоцунами, осадки которых обнаружены на побережье бух. Триозерье, был большим, чем два последних крупных цунами XX века. Зона затопления охватывала тыловую часть береговой низменности с озерами, цунами сопровождались активной эрозией. Основная поставка материала во время цунами XI века шла с пляжа, цунами в интервалах 410–350 или 300–210 гг. до н.э. – с пляжа и подводного берегового склона, цунами 1620–1520 гг. до н.э – с морской террасы и барьерных форм, окружающих озера, это цунами сопровождалось наибольшей эрозией с образованием мощного покрова песков.

Хотя цунами на побережье Восточного Приморья не имеют такого катастрофического проявления, как на западном побережье Японских островов, приближенном к очагам цунамигенных землетрясений, они представляют большую опасность в бухтах, где активно развиваются зоны отдыха. В случае прохождения летом и в начале осени такие события могут иметь трагические последствия и привести к большим жертвам, поскольку большинство баз отдыха построены в пределах возможной зоны затопления сильных цунами, а палатки зачастую ставят прямо на пляжах. В бух. Триозерье все имеющиеся базы попадают в зону риска, а официально устроенные места для палаточных городков и небольшие домики в зоне современного пляжа способны вместить до 760 человек единовременно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-05-00179.

Список литературы

1. Валуй Г.А. Петрология гранитоидов и дифференциация расплавов в малоглубинных условиях (Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс). – Владивосток: Дальнаука, 2014. – 246 с.

2. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю. и др. Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеанская геология. – 2015. – № 1. – С. 79–95.

3. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Арсланов Х.А., Иванова Е.Д., Ганзей К.С. Проявление исторических цунами на о. Русский, Японское море // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5. – С. 116–124.

4. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Горбунов А.О., Кайстренко В.М., Наумов Ю.А., Лебедев И.И. Осадки цунами 1983 и 1993 годов на побережье Приморья // Океанология. – в печати.

5. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С. и др. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене // Вестник ДВО РАН. – 1997. – № 3. – С. 121–143.

6. Короткий А.М., Куликова В.В. Воздействие цунами на прибрежную зону Приморья // Вестник ДВО РАН. – 2008. – № 6. – С. 34–47.

7. Преловский В.И., Короткий А.М., Пузанова И.Ю., Саболдашев С.А. Бассейновый принцип формирования рекреационных систем Приморья. – Владивосток: ДВО РАН, 1996. –149 с.

8. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Нишимура Ю. и др. Хронология цунами, оставивших следы в разрезах береговых низменностей Восточного Приморья // ДАН. – 2014. – Т. 459, № 5. – С. 635–638.

9. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. – М.: Наука, 1972. – 309 с.

10. Historical tsunami database for the Pacific, 47 BC to present version 2.4 of February 21, 2005. http://tsun.sscc.ru/On_line_Cat_r.htm. (дата обращения: 17.06.16).

11. Minoura K., Nakata T. Discovery of an ancient tsunami deposits in coastal sequences of southwest apan: Verification of a large historic tsunami // The Island Arc. – 1994. – Vol. 3. – P. 66–72.

12. Ramsey B.C. 2009 Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. – 2009. – Vol. 51. № 1. – P. 337–360.

13. Ramsey B.C. OxCal (computer program). Version 4.2. Oxford: University of Oxford Radiocarbon Unit. https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html (дата обращения: 17.06.16).

14. The historical tsunami database. National Geographical data center. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu.shtml (дата обращения: 17.06.16).