

УДК 551.6:551.466.62(571.63)

ПРОЯВЛЕНИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ЦУНАМИ НА О. РУССКИЙ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ

¹Ганзей Л.А., ¹Разжигаева Н.Г., ¹Гребенникова Т.А., ²Арсланов Х.А.,
¹Иванова Е.Д., ¹Ганзей К.С.

¹ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: lganzey@tig.dvo.ru;

²Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, e-mail: arslanovkh@mail.ru

Приводятся данные по проявлению цунами на о. Русский за последние 600–700 лет. Реконструкции сделаны на основе изучения разрезов торфяников на побережье бух. Спокойная (восточное побережье острова), включающих прослойки цунамигенных песков. Для идентификации морского происхождения песка использованы данные изучения диатомовых водорослей и бентосных фораминифер. Изучен гранулометрический состав цунамигенных осадков и определены источники материала. Возраст событий установлен на основе радиоуглеродного датирования подстилающих органических отложений. Определены вертикальные и горизонтальные заплески цунами. Сильные цунами исторического возраста были более масштабными событиями, чем цунами XX века, с учетом снижения уровня моря в малый ледниковый период зона затопления могла достигать 200–250 м. На восточном и южном побережье острова найдены также осадки цунами 1983 и 1993 гг.

Ключевые слова: цунами, осадки, радиоуглеродное датирование, малый ледниковый период, Японское море

MANIFESTATION OF HISTORICAL TSUNAMI ON RUSSIAN ISLAND, SEA OF JAPAN

¹Ganzev L.A., ¹Razhigaeva N.G., ¹Grebennikova T.A., ²Arslanov Kh.A.,
¹Ivanova E.D., ¹Ganzev K.S.

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: lganzey@tig.dvo.ru;

²St-Petersburg State University, St-Petersburg, e-mail: arslanovkh@mail.ru

The data on the manifestation of the tsunamis on the Russian Island in the last 600–700 years are discussed. Reconstruction is based on the study of peat bog sections on the coast of Spokoinaya Bay with tsunami sand layers. The study of diatoms and benthic foraminifera were used for identification of marine sand origin. Grain size composition of the deposits allow to define the sources of the material. The age of tsunami is based on radiocarbon dating of underlying organic deposits. The vertical and horizontal runup of some tsunami were estimated. Strong historical tsunamis were larger events than the tsunamis of XX century, inundation area could reach 200–250 m with considering sea level drop at the Little Ice Age. The deposits of tsunami 1983 and 1993 were found on the eastern and southern coast of the island.

Keywords: tsunami, deposits, radiocarbon dating, Little Ice Age, Sea of Japan

Остров Русский, который является частью г. Владивостока, после проведения Саммита АТЭС в 2012 г. и постройки моста, связавшего его с п-овом Муравьева-Амурского, активно осваивается [1]. Особенно большой туристический поток направлен на побережье, где расположен ряд турбаз, используются пляжи, а в летний сезон вырастают целые палаточные городки. В этой связи важно знать, какие катастрофические процессы проявляются в береговой зоне. Одним из опасных явлений, характерных для берегов Японского моря, являются цунами. Сюда проникают цунами, очаги которых расположены в Тихом океане [6], но наиболее сильные цунами связаны с землетрясениями, эпицентры которых расположены на дне Японского моря и локализируются узкой полосой на шельфе вдоль Японских островов [9]. Из 17 цунами, произошедших в бас-

сейне Японского моря за последние 65 лет, на побережье Приморья было зафиксировано только пять событий [6]. В конце XX века в северной части Японского моря произошли два сильных цунами 26 мая 1983 г. и 12 июля 1993 г., вызванные подводными землетрясениями (M 7.7-7.8) с подвижками дна. Эпицентры находились в 30 км от северо-западного побережья о. Хонсю и к западу от юго-западного побережья Хоккайдо вблизи острова Окушири [3, 4, 7, 12, 15]. Эти цунами достигли побережья Приморья и были самыми крупными из исторических событий наряду с цунами 1 августа 1940 г., о котором сохранилось очень мало сведений [9].

Короткий период наблюдений не позволяет получить надежные данные по повторяемости цунами, выявить их масштаб и воздействие на развитие берегов. Единственным способом получения данных

о сильных цунами в прошлом являются геологические методы выявления следов палеоцунами, запечатленных в виде прослоев песка в разрезах береговых низменностей. Изучение осадков палеоцунами позволяет оценить масштабы и частоту проявления этих событий, что является необходимым для оценки цунамиопасности территории. Первые результаты по распространению осадков цунами и хронологии событий за последние 2,5 тыс. лет получены для побережья Восточного Приморья [2, 8]. Целью настоящего исследования является реконструкция проявления цунами, проходивших в историческое время на побережье о. Русский.

Материалы и методы исследования

Поиск разрезов, включающих цунамигенные осадки, проведен на восточном и южном побережье о. Русский в 2015 г. (рис. 1). Основными объектами изучения были торфяники, расположенные за пределами зоны влияния сильных штормов.

вод радиоуглеродных дат в календарные проводился с помощью программы «OxCal 4.2».

Результаты исследования и их обсуждение

Уникальные условия для осадконакопления при малых заплесках волн цунами (до 1–1,5 м) существовали на восточном побережье о. Русский в закрытой бух. Спокойная, где расположена заболоченная низкая морская терраса, которая находится вне зоны действия сильных штормов и не подвержена наводнениям. Бухта очень мелководная (глубины менее 1 м), образовалась в результате формирования большой аккумулятивной формы типа двойного томболо, соединившего небольшой палеоостров (ныне м. Ахлестышева) с берегом о. Русский с образованием барьерного озера Глудовского. Вход в бухту закрывает небольшой остров Ахлестышева. На побережье

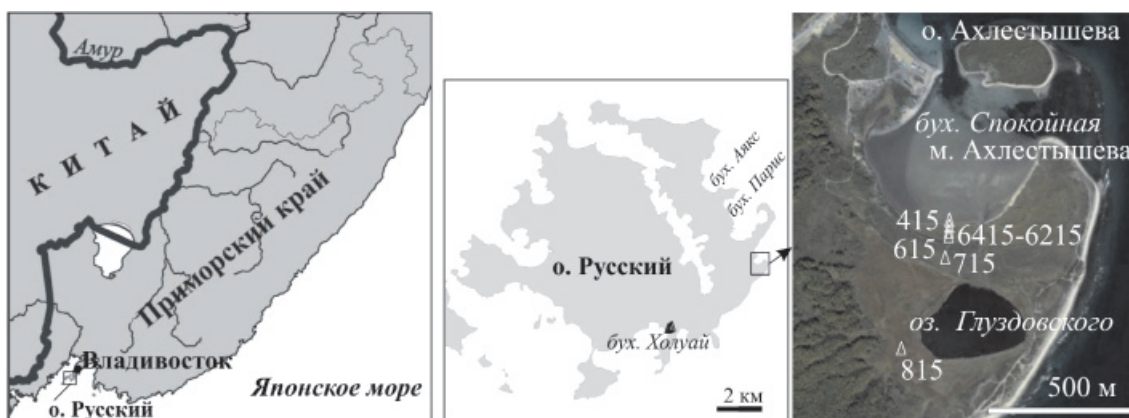


Рис. 1. Схема района работ

Разрезы изучались по профилям от линии уреза вглубь суши, закладывались шурфы, проводилось ручное бурение и опробование с использованием геослайсера. Гипсометрическое положение разрезов определялось с помощью нивелирования. Во всех разрезах опробовались прослойки песка для последующей идентификации их происхождения, на ключевых точках отбирались также вмещающие отложения для определения палеоэкологической обстановки во время прохождения цунами. В качестве опорного для палеореконовки выбран разрез 615, расположенный в 39 м от тыловой зоны пляжа. Были опробованы осушка, пляж и штормовой вал как возможные источники материала. Изучение осадков включало гранулометрический, диатомовый и фораминиферовый анализы. Гранулометрический анализ сделан на ситах с шагом γ , гранулометрические параметры рассчитывались методом моментов (в шкале ϕ) с помощью пакета программ GRADISTAT 4.0. Определение возраста палеоцунами основано на данных радиоуглеродного датирования вмещающих отложений, выполненного в СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Пере-

бухты вокруг озера расположен обширный болотный массив. Высота барьерной формы со стороны открытого моря достигает 4–5 м, высота древнего штормового вала во внутренней части бухты, сложенного гравийно-галечным материалом, 2,75 м. В пределах бухты современный штормовой вал имеет высоту около 0,7 м, пляж (шириной до 5–8 м) осушается только в отлив, ниже расположена почти горизонтальная осушка (шириной до 10 м).

Бурение торфяников вокруг озера Глудовского показало, что цунами в эту часть береговой низменности не проникало, т.е. высоты волн цунами в среднем-позднем голоцене на этом участке о. Русский не превышали 2,7 м. Многочисленные прослойки морских песков были найдены только в нижней

зоне болотистой низменности (высотой до 1,3 м), расположенной между современным и древним штормовыми валами (рис. 2). Некоторые прослои песков в разрезах, расположенных около современного штормового вала, возможно, образовались во время экстремальных штормов, сопровождавшихся нагонами. Однако наблюдения показывают, что даже в сильные шторма, например во время тайфуна Гони 26 августа 2015 г., проникновение волн ограничивалось современным штормовым валом (горизонтальный заплеск в бух. Спокойная был до 3–4 м, в устье протоки – до 8 м). Разрезы, которые находятся за пределами штормового вала, скорее всего, включают слои песков цунамигенного происхождения.

Этот участок мог затопляться во время цунами 1993 и 1983 г. Обследования после цунами 1993 г. на о. Русский не проводилось. Данные по этому цунами получены только для некоторых районов побережья в районе г. Владивосток, где высота запле-

ска была от 0,3 до 0,9 м. На побережье Уссурийского залива в бухтах Горностай и Соболев высота заплеска достигала 1,3–1,5 м, максимальные величины (до 2,2 м) были зафиксированы в бух. Чумаки и в районе м. Энгельма [3, 4]. Цунами 1983 г. в районе Владивостока было более интенсивным, чем цунами 1993 г. Сразу после цунами обследование было проведено на восточном побережье о. Русский, величина заплеска была от 0,5 м (бух. Парис) до 1,5 м (бухты Аякс и Житкова), зона затопления достигала 36 м [7]. В районе Владивостока (материковое побережье) высота заплеска менялась от 0,66 м (бух. Золотой Рог, мареографный пункт) до 3–4 м (бух. Горностай), максимум 5–6 м был зафиксирован в ковше бух. Тихая [3, 4, 7]. Во время обследований побережья, проведенных сразу после цунами, осадки не изучались.

На побережье бух. Спокойная в кровле торфяников под дерном найдены гнезда светло-серого мелкозернистого песка

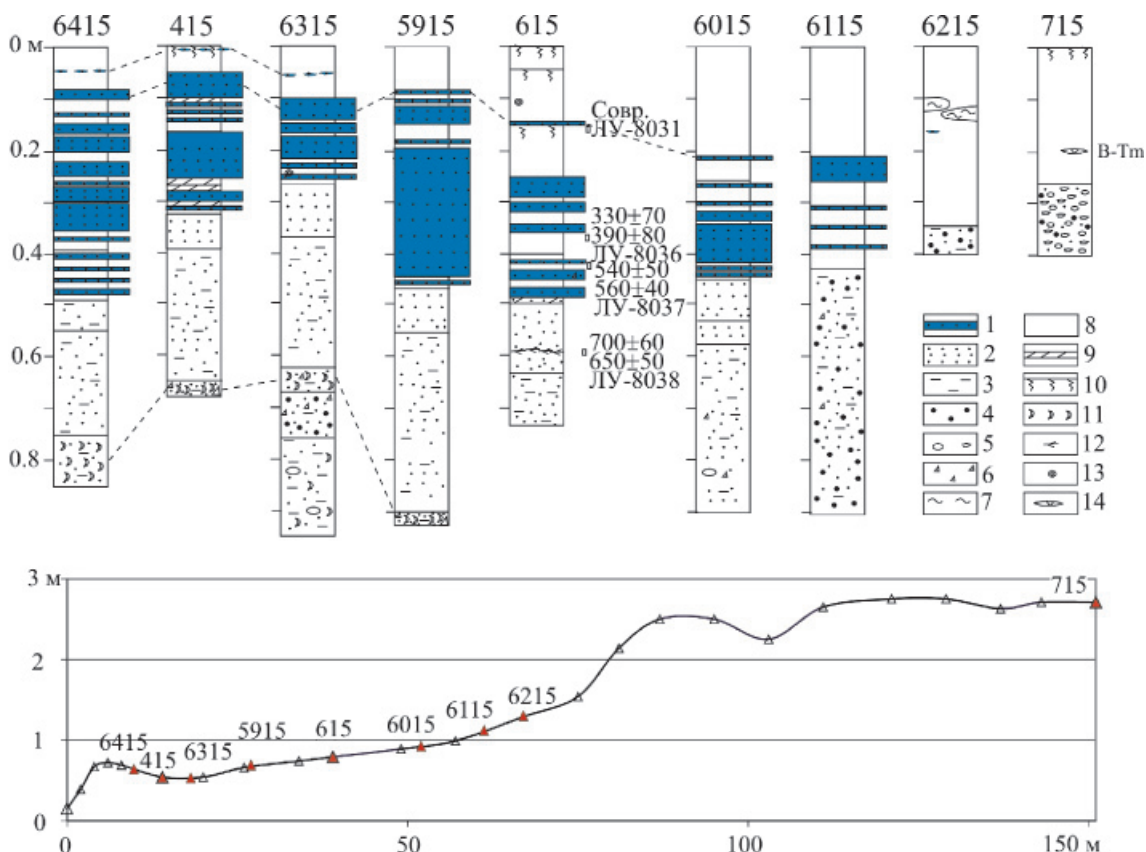


Рис. 2. Разрезы торфяников с цунамигенными песками на побережье бух. Спокойная (профиль построен от уровня прилива):

- 1 – прослой морских песков в торфянике; 2 – песок; 3 – алеврит; 4 – гравий;
5 – галька разной окатанности; 6 – дресва; 7 – суглинок; 8 – торф; 9 – торфянистый алеврит;
10 – почва; 11 – обломки раковин; 12 – зостера; 13 – древесина;
14 – вулканический пепел В-Тм влк. Байтоушань (извержение 969 г. н.э.)

с примесью среднезернистого, которые прослеживаются на расстояние 18 м от уровня прилива (высота залегания около 0,5 м). Вероятно, этот осадок оставило цунами 1993 г. Здесь же обнаружены старые бревна, залегающие хорошо выдержанной полосой вдоль береговой линии. В отличие от пляжа, сложенного разномодальным песком, осадки цунами характеризуются одно- и бимодальными кривыми распределения (моды 0,2–0,25, 0,315–0,4 мм), содержат примесь алеврита (до 15%) и лучше сортированы (рис. 3). Материал переносился в основном с пляжа, а тонкие фракции – со дна бухты, что подтверждают и данные диатомового анализа. В осадке обнаружено 27 морских и солоноватоводных видов диатомей (17,5–69,8% от общего содержания створок), встречены фрагменты пелагических *Thalassiosira decipiens*, *Thalassiosira* sp., *Coscinodiscus* sp., сублиторальные планктонные *Paralia sulcata*, *Hyalodiscus scoticus* и бентосные *Aulacodiscus affinis*, *Diploneis smithii*, *Cocconeis scutellum*, *C. scutellum* var. *parva*, *Amphora marina*, *Opephora olsenii*, *Grammatophora oceanica*, *Navicula cancellata* var. *retusa*. Среди солоноватоводных высокого обилия достигают *Diploneis interrupta* (до 63,9%), *Planolithidium hauckianum* (6,7%), *Fallacia pygmaea* (2,5%), присутствуют *Cosmioneis lundstroemii*, *Fallacia cryptolyra*, *Tryblionella marginulata*, *Rhopalodia musculus*, *Nitzschia vitrea*, *N. vitrea* var. *salinarum*, *N. sigma*, *Diploneis smithii* var. *pumila*, *Halamphora coffeaeformis*. Пресноводные виды отвечают слабо заболо-

ченным условиям. Присутствуют *Pinnularia lagerstedtii* (до 25,9%), *Diploneis oblongella* (до 21,2%), *Rossithidium nodosum* (5%), *Nitzschia amphibia*, *N. terrestris*, *N. palea*, *Eunotia bilunaris*, аэрофилы *Tryblionella debilis*, *Luticola mutica*, пресноводно-солоноватоводные *Cosmioneis pusilla* (15,3%), *Craticula halophila*, *Cocconeis pediculus* и др. В осадке также найдены единичные агглютинирующие виды бентосных фораминифер *Jadammina macrescens* и *Miliammina fusca*, раковины прикреплены к остаткам водорослей. Эти виды относятся к эвригалинному типу, хорошо приспособлены к условиям пониженной и неустойчивой солености, широко распространены в литоральной зоне, на маршах и в мелководных лагунах [14].

Ниже залегает слой песка, который, вероятно, является следом цунами 1983 г. Осадок имеет покровное залегание, хорошо выражен по простиранию и прослежен на расстояние до 50 м вглубь суши от уровня прилива (высота залегания до 0,7 м). Современный возраст осадка подтверждает ¹⁴C-дата ЛУ-8031, полученная из нижележащего торфа, который формировался после 1955 г. ($\delta^{14}\text{C} = 3,82 \pm 0,83\%$). Максимальная мощность (5 см) наблюдается в понижении за штормовым валом, в тыловой зоне заплеска мощность уменьшается до 1 см. Осадок представлен мелко-среднезернистым песком с примесью крупнозернистого (до 22,6%), гравия (до 5,8%) и алеврита (до 6,7%). Гранулометрическая кривая распределения одно-модальная (мода 0,315–0,4 мм), иногда –

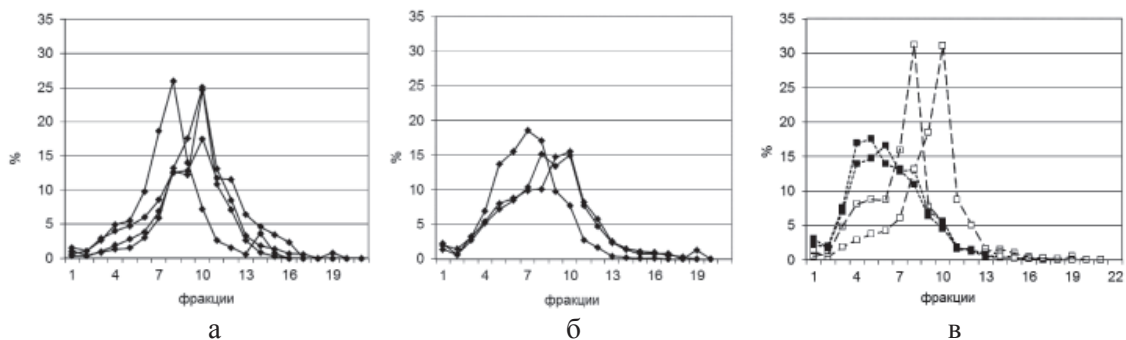


Рис. 3. Гранулометрический состав разнофациальных морских осадков: а – осадки цунами, образованные в основном за счет материала пляжа (1 – 1993 г., 2 – 1983 г., 3 – 1833 г., 4 – 1614 или 1644 гг.); б – осадки цунами, образованные при существенной подаче материала с подводного берегового склона (1 – 1741 г., 2 – XIV–XVI вв., 3 – 1341 г.); в – осадки пляжа (1 – современный, 2 – древний) и подводного берегового склона (3). 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

бимодальная, появляется мода 0,2–0,25 мм. Основная часть материала захватывалась с пляжа и осушки. Морское происхождение песка подтверждают данные диатомового анализа: встречено 20 разновидностей морских и солоноватоводных диатомей (79,5%) (рис. 4). Доминирует характерный для заливов и бухт *Paralia sulcata* (17,1%), присутствуют планктонный *Petronella marina*, бентосные *Amphora marina* (2,9%), *Cocconeis scutellum* (1,9%), *Opephora olsenii*, *Grammatophora angulosa*, *Amphora proteus*, *Triceratium arcticum*, *Mastogloia pumila*, *Cocconeis costata*. В числе солоноватоводных видов высокого обилия достигают *Planothidium hauckianum* (29%), *Rhopalodia musculus* (16,2%), *Fallacia rugata* (4,3%), *Diploneis interrupta* (1,4%). Пресноводные диатомеи представлены в основном, видами, населяющими водоемы со средними или слегка повышенными показателями pH воды: *Amphora ovalis*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Cosmionella pusilla*, *Diploneis oblongella*, *Navicula peregrina* и др.

Ниже по разрезу вскрывается переслаивание плохо разложившегося травяного торфа, торфянистых алевролитов и зеленовато-серых мелко-среднезернистых песков (мощность слоев до 4 см). Отложения сформировались в малый ледниковый период (рис. 2). Уровень моря в это время был на 0,5 м ниже современного [5], поэтому прослой морских песков в континен-

тальной части разреза могли быть образованы только за счет аномально высоких заплесков, которые, вероятнее всего, связаны с прохождением цунами. Морское происхождение песка подтверждают данные диатомового анализа, причем морские диатомеи встречаются в изобилии и в слоях торфа между прослоями песка, что говорит об интенсивном просачивании морской воды через маломощные торфяники, накопление которых неоднократно прерывалось при прохождении цунами (рис. 3). Один из тонких прослоев песка в верхней части торфяников могло оставить и цунами 1940 г., сведения о проявлении которого на побережье Приморья очень скудные [9].

С XIV по XIX век цунами были довольно частыми явлениями в бассейне Японского моря, в это время по летописным свидетельствам наблюдалось до 14 сильных событий [9, 10, 11]. В разрезе береговой низменности бух. Спокойная фиксируется как минимум 4 события, осадки которых протягиваются до 60 м вглубь суши от современного уровня прилива. По масштабу эти цунами намного превосходили цунами 1983, 1993 гг.

В разрезе 615 хорошо выражены три слоя песка, образованные в XVII–XIX веках (рис. 2). Верхний (мощностью 4 см) представлен мелко-среднезернистым песком с примесью крупнозернистого (10,5%)

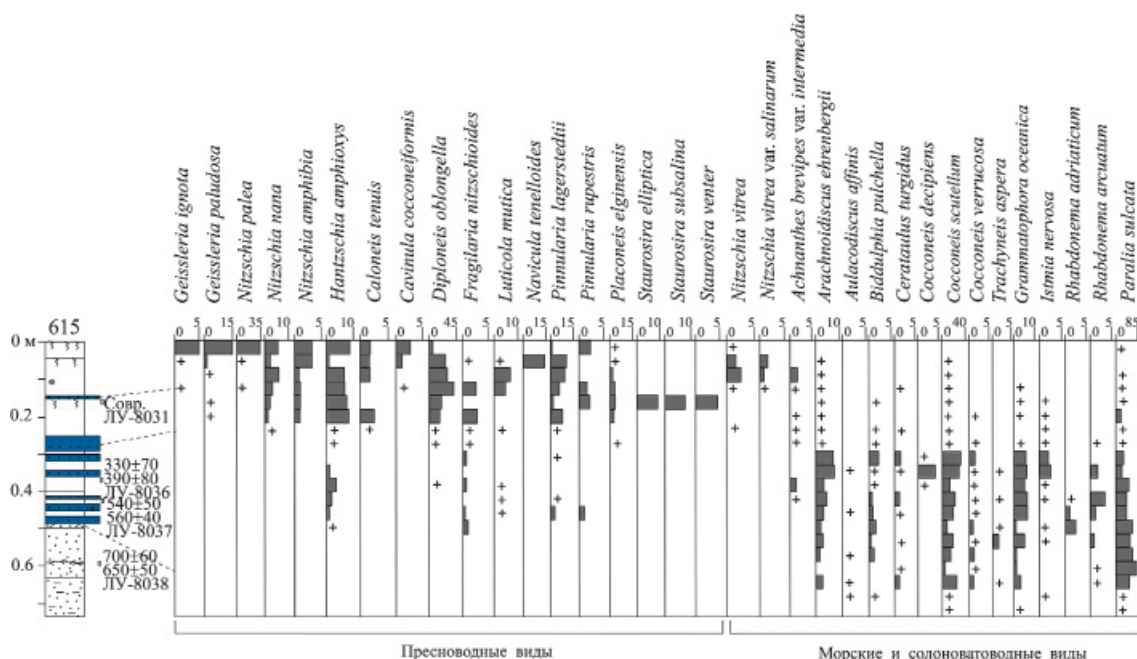


Рис. 4. Распределение диатомей в разнофациальных отложениях на побережье бух. Спокойная (разрез 615)

и алеврита (9,5%). Осадок хорошо сортирован, мода 0,315–0,4 мм. Материал переносился в основном, с пляжа, что подтверждается и низким содержанием створок диатомей. Из морских и солоноватоводных диатомей (в сумме 47,1%) наиболее часто встречаются сублиторальный планктонный *Paralia sulcata* (27,1%), бентосные *Cocconeis scutellum* (8,6%), *Arachnoidiscus ehrenbergii*, *Biddulphia pulchella*, *Cocconeis scutellum* var. *parva*, *Cerataulus turgidus*, *Cocconeis distans*, *Istmia nervosa*, *Tryblionella plana*. Створки крупных видов имеют плохую сохранность. Скорее всего, осадок фиксирует прохождение сильного цунами 7 декабря 1833 г., вызванного землетрясением Shonai-oki (M 7,5–7,8), эпицентр которого находился к северо-востоку от о. Садо. Цунами имело катастрофический характер: на побережье о. Хонсю в районе г. Ниигата высота заплеска достигала 5–6 м, к г. Камо цунами подошло с высотой до 9 м, волны распространились на север до о. Хоккайдо и на юг – до п-ва Ното [9, 10, 11]. На восточном побережье о. Русский высота заплеска была более 1 м, зона затопления – более 50 м. Поскольку цунами проходило в декабре, скорее всего вода была с обломками льда, что усиливало эрозию. Возможно, с этим связана и плохая сохранность створок диатомовых водорослей.

Ниже выходит слой (мощностью 2 см) мелко-среднезернистого умеренно сортированного песка с примесью алеврита (12%). По-видимому, волна наряду с пляжевым захватывала большое количество материала с подводного берегового склона. Песок включает гнезда ила. Насыщенность осадков створками диатомей высокая: морские и солоноватоводные диатомей составляют 97% от общего состава. Доминируют бентосный *Cocconeis scutellum* (36,6%), планктонный *Paralia sulcata* (32%), также обнаружены сублиторальные бентосные *Arachnoidiscus ehrenbergii* (7,5%), *Grammatophora oceanica* (6%), *Biddulphia pulchella* (2,2%), *Istmia nervosa* (2%), *Cocconeis verrucosa* (1,5%), *C. distans* (1,5%), *Grammatophora angulosa* (1,5%), *Diploneis smithii* и планктонный *Actinoptychus senarius*. Возможно, на о. Русский фиксируется след сильного цунами, которое произошло 29 августа 1741 г. и было вызвано крупным подводным оползнем во время извержения вул-

кана Ошима-Ошима на небольшом острове, расположенном к западу от Южного Хоккайдо. Это цунами было крупнейшим в регионе за исторический период и наблюдалось на всем западном побережье Японии, особенно сильно проявилось на Юго-Западном Хоккайдо (высота волн по летописям – до 13 м, по устным сообщениям – до 34 м), на Северо-Западном Хонсю (высота волн – до 6 м) и о. Садо (высота волн – до 5 м, по устным сообщениям – до 8 м), п-ов Ното (4 м), вызвало многочисленные разрушения и большое количество жертв [9, 10, 11, 13]. Цунами достигло побережья Цусимского пролива, в районе Гохтсу (о. Хонсю) высота заплеска была 2 м. На восточном побережье Корейского п-ова это цунами зафиксировано на участке протяженностью 320 км, высота волн достигала 3–4 м [13].

Мощный слой среднезернистого песка (до 25 см в понижениях рельефа) оставило цунами, произошедшее в XVII веке. Из подстилающего торфа получена ¹⁴C-дата 330 ± 70 л.н., 390 ± 80 кал. л.н., ЛУ-8036. Осадок хорошо сортирован (мода 0,315–0,4 мм) и по структурным характеристикам сходен с пляжевым песком и материалом современной осушки. Нижний контакт слоя эрозионный. В осадках найдено 15 видов и разновидностей морских и солоноватоводных диатомей (90%). Доминируют сублиторальные планктонный *Paralia sulcata* (52,5%) и бентосный *Cocconeis scutellum* (16,3%). Сопутствующими являются бентосные *Grammatophora oceanica* и *Arachnoidiscus ehrenbergii*, многие створки последнего имеют плохую сохранность. Здесь же присутствуют фрагменты океанических *Coscinodiscus* sp., *C. asteromphalus*. Среди пресноводных (8 форм) чаще других встречаются *Hantzschia amphioxys*, вид, населяющий мелководные водоемы разного типа, включая лужи и влажные места, и *Fragilaria nitzschoides*, характерный для маломинерализованных вод. Вертикальный заплеск цунами был не менее 1,5 м, горизонтальный – более 200 м (с учетом более низкого уровня моря в регрессию). Осадки цунами, произошедшего около 400 кал. л.н., хорошо выражены на побережье Восточного Приморья, где величина заплеска оценивается до 5 м [7]. В XVII веке крупные цунами в Японском море были 26 ноября 1614 г. (префектура Ниигата) и в октябре 1644 г.

(префектура Акита) [9]. Первое цунами было вызвано сильным землетрясением (M 7.7), эпицентр которого находился к юго-западу от о. Садо, второе (M 6.9) имело эпицентр около северо-западного побережья о. Хонсю. Цунами привели к большим разрушениям и человеческим жертвам на западном побережье Японских островов, высота волн достигала 6 м [9, 10, 11].

Нижняя часть торфяника фиксирует прохождение 3–4 цунами XIV–XVI веков. В верхней части интервала выделены два тонких прослоя (мощность 3–8 мм) средне-мелкозернистого хорошо сортированного песка (мода 0,2–0,25 мм) с редкой дресвой, возможно, отвечающие одному событию. Материал в основном, захватывался с пляжа и осушки (рис. 3). Дресва могла переноситься с мысов. В осадках встречено 27 таксонов морских и солоноватоводных диатомей (до 97,1%). Доминируют *Paralia sulcata* (до 51,3%) и *Cocconeis scutellum* (до 45,7%). Заметного участия достигают бентосные *Grammatophora oceanica* (до 8%), *Cocconeis scutellum* var. *parva* (3,8%), *Biddulphia pulchella* (2,1%), *Arachnoidiscus ehrenbergii* (1,7%), *Stenophora pulchella* (1,1%). Присутствуют планктонные *Actinoptychus senarius*, *Odontella aurita*, бентосные *Cerataulus turgidus*, *Cocconeis californica*, *C. distans*, *C. verrucosa*, *Diploneis chersonensis*, *D. smithii*, *Istmia nervosa*, *Rhabdonema adriaticum*, *R. arcuatum*, *Surirella fastuosa*, *Trachyneis aspera*, *Achnanthes brevipes* var. *intermedia*, *Aulacodiscus affinis*, фрагменты глубоководных *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp., *Rhizosolenia* sp. Из пресноводных встречены *Pinnularia eifelana*, *P. lagerstedtii*, *P. rupestris*, *Placoneis clementis* и другие виды, характерные для озерно-болотных обстановок. Из торфа, залегающего под нижним слоем получена ¹⁴C-дата 540 ± 50 л.н., 560 ± 40 кал. л.н., ЛУ-8037. Вероятно, следы этого же цунами были найдены на побережье Восточного Приморья. В ряде бухт здесь был обнаружен хорошо выраженный слой песка, оставленный цунами около 600 л.н. (¹⁴C-даты 580 ± 80 л.н., 600 ± 50 кал. л.н., ЛУ-7104; 580 ± 40 л.н., 600 ± 40 кал. л.н., ЛУ-6562; 530 ± 50 л.н., 580 ± 50 кал. л.н., ЛУ-6558), высота заплеска волн была более 4 м. [2, 8]. Трудно привязать это цунами, проявившееся на о. Русский, к конкретному

событию. В японских летописях есть данные о сильном цунамигенном землетрясении (M 7) с эпицентром в районе о. Садо в 1448 г. [10]. Но, возможно, на побережье Приморья фиксируется и другое событие, не отраженное в летописях. Если эпицентр землетрясения, вызвавшего цунами, находился около Западного Хоккайдо, на заселенных берегах о. Хонсю это цунами могло быть не разрушительным.

В изученном разрезе в интервале 0,43–0,45 м выходит слой средне-мелкозернистого песка (мода 0,2–0,25 мм), по структуре сходный с осадками осушки. Морских и солоноватоводных встречено 15 таксонов (95,5%). Доминирует *Paralia sulcata* (66,3%), сопутствующими являются *Cocconeis scutellum* (10,7%). *C. scutellum* var. *parva* (5,6%), присутствуют *Arachnoidiscus ehrenbergii* (2,2%), *Biddulphia pulchella* (1,7%), *Cocconeis distans* (1,1%), *Grammatophora oceanica* (1,1%), *Rhabdonema adriaticum* (2,2%), *Amphora proteus*, *Cocconeis decipiens*, *Trachyneis aspera*, *Istmia nervosa*, *Diploneis dydima*, *Planothidium haukianum* и фрагмент глубоководного *Coscinodiscus* sp. Состав пресноводных диатомей тот же. В осадке найдены фрагменты морских ракообразных и бентосные фораминиферы (2,2 экз./г) – многочисленные *Jadammina macrescens*, единичные *Miliammina fusca*, прикрепленные к водорослям. Возможно, этот осадок является следом одного из цунами XIV–XV веков.

Самым ранним событием, которое фиксируется в разрезе торфяника бух. Спокойная, могло быть цунами, произошедшее в XIV веке. Одно из известных крупных событий в Япономорском регионе было в 1341 г., эпицентр землетрясения (M 7) находился около северо-западной оконечности о. Хонсю, цунами повлекло много жертв на западном побережье о. Хоккайдо и севере Хонсю [10, 11]. В изученном разрезе на о. Русский осадок представлен слоем (мощность 2 см) мелкозернистого песка (мода 0,16–0,2 мм) с примесью алевролита (12,3%). Поставка материала шла в основном со дна бухты. Морских и солоноватоводных диатомей встречено 11 таксонов (98,7%). Доминируют *Paralia sulcata* (67,1%) и *Cocconeis scutellum* (17,1%). К сопутствующим отнесены бентосные *Arachnoidiscus ehrenbergii* (1,9%), *Biddulphia pulchella* (1,3%), *Cocconeis*

verrucosa (1,3%), *Grammatophora oceanica* (1,3%), *Aulacodiscus affinis*, *Catenula adhaerens*, *Cocconeis scutellum* var. *parva*, *Cocconeis distans*, *Planothidium haukianum*. Состав пресноводных диатомей не меняется. В осадке найдены фрагменты морских ракообразных и бентосные фораминиферы (0,8 экз./г), все раковины прикреплены к остаткам водорослей. Встречены многочисленные *Jadammina macrescens* и единичные экземпляры *Cribrostomoides jeffreysii* – эпифаунальный вид, свободно перемещающийся по поверхности осадка, часто прикрепляется к водорослям, имеет широкое распространение от мелководий до внешнего шельфа [14].

Торфяник подстилают среднезернистые хорошо сортированные пески древнего пляжа, которые накапливались в завершающую фазу трансгрессии на границе малого оптимума и малого ледникового периода. Возраст осадков подтверждается ^{14}C -датой 700 ± 60 л.н., 650 ± 50 кал. л.н., ЛУ-8038 из линзы торфа, сложенного *Zostera marina*. В основании разреза выходят морские отложения, представленные мелкозернистыми заиленными песками (моды 0,1-0,125; 0,125-0,16 мм), сформированные в последнюю малоамплитудную трансгрессию малого оптимума голоцена [5]. Примесь алеврита достигает 28,6%, материал умеренно сортирован. Количество диатомей в осадках небольшое, наиболее часто встречается *Paralia sulcata* (до 80%) и *Cocconeis scutellum*, многие створки крупных видов (*Arachnoidiscus ehrenbergii*, *Biddulphia pulchella*, *Ceratoneis turgidus*, *Istmia nervosa*) имеют плохую сохранность, что может быть связано с активной гидродинамикой в условиях небольшой глубины. В осадках встречены единичные бентосные фораминиферы (*Cribrostomoides jeffreysii*, *Jadammina macrescens*). В слое с обилием обломков раковин моллюсков найдены единичные виды бентосных фораминифер: мелководный эпифаунальный *Haplophragmoides hancocki*, а также *Buccella frigida* и *Cribrorhynchium asterineum*, имеющие широкий диапазон обитания от прибрежных лагун до внешнего шельфа [14]. Кровля морских отложений этой трансгрессии лежит на отметках до 0,39 м (пляжевая фация) и до 0,17 м (фация подводного склона), что говорит о том, что подъем уровня моря был около 0,5 м.

Осадки современных цунами найдены в бух. Холуай на южном берегу острова Русский. Берег здесь сильно антропогенно изменен – песок из аккумулятивных форм брался для строительства крепости в начале XX века. В вершине бухты на заболоченных участках, расположенных в 100 м от берега за штормовым валом, под слоем маломощной почвы найден прослой разнозернистого песка с гравием. В осадке встречены морские диатомей: неритический южнобореальный *Thalassionema nitzschioides* и бентосный *Cocconeis scutellum*. Скорее всего, осадок оставило одно из цунами XX века, заплеск был более 1 м.

Заключение

На о. Русский на побережье закрытой бухты Спокойная обнаружена подробная геологическая летопись сильных цунами, произошедших в последние 600–700 лет. Бухта является уникальным объектом для изучения таких событий и представляет собой своеобразную седиментологическую ловушку, поскольку закрыта от влияния сильных штормов, в прибрежной зоне достаточно песчаного материала, чтобы оставлять хорошо выраженные песчаные покровы в зоне затопления цунами, нет крупного водотока, способного размывать покровы осадков во время наводнений. Цунамигенные осадки локализованы в узкой зоне, ширина которой не превышает 60 м, что свидетельствует о небольших высотах и дальности заплесков цунами. С учетом снижения уровня моря в малый ледниковый период зона затопления и аккумуляции материала могла достигать 200–250 м, т.е. сильные цунами этого возраста были более масштабными событиями, чем цунами XX века. Осадки, принесенные цунами, по структурным характеристикам не являются полными аналогами осадков пляжа и подводного берегового склона, а представляют собой смесь материала из разных источников, представленного в разных пропорциях, что зависит от характеристик волны и хода эрозионно-аккумулятивных процессов. Наиболее крупные цунами сопровождалась эрозией дна бухты и входных мысов. Более слабые цунами в основном захватывали материал с пляжа и осушки. Специфика цунамигенных осадков, найденных на побережье бух. Спокойная, заключается в том, что переоткладывался

в основном материал из морских источников, поэтому осадки включают большое количество морских и солоноватоводных диатомей, встречены бентосные фораминиферы и фрагменты ракообразных. Несмотря на небольшие величины заплесков, цунами могут представлять серьезную опасность для многочисленных туристов и временных построек, расположенных на пляже и низких уровнях рельефа, что необходимо учитывать при рекреационном освоении территории о. Русский.

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

Список литературы

1. Ганзей К.С., Киселёва А.Г., Пшеничникова Н.Ф. Ландшафты острова Русский: Карта. Масштаб 1:25000. – Владивосток: ООО «Колорит», 2016.
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. Горбунова Г.В., Диденко Г.В., Дьяченко В.Д. и др. Обследование проявления цунами 12-13 июля 1993 года на побережье Приморского края // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – Т. 8. – С. 7–28.
4. Го Ч.Н., Иващенко А.И., Симонов К.В., Соловьев С.Л. Проявления Япономорского цунами 26 мая 1983 года на побережье СССР // Накат цунами на берег. – Горький: ИПФ АН СССР, 1985. – С. 171–180.
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. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Чой Б.Х., Ли Д.С. Сравнительная оценка цунамиопасности Япономорского побережья России на основе численного моделирования // Океанология. – 2004. – Т. 44, № 2. – С. 179–188.
7. Полякова А.М. Опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в северной части Тихого океана и цунами у побережья Приморья. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 182 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. The historical tsunami database. National Geographical data center. <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu.shtml> (дата обращения: 29.03.16).
11. Hatori T., Katayama M. Tsunami behavior and source areas of historical tsunamis in the Japan Sea // Bulletin Earthquake Research Institute. – 1977. – Vol. 52. – P. 49–70.
12. Nishimura Yu., Miyaji N. Tsunami deposits from the 1993 southwest Hokkaido earthquake and the 1640 Hokkaido Komagatake eruption, northern Japan // Pure and Applied Geophysics. – 1995. – Vol. 144. – P. 720–733.
13. Satake K. Volcanic origin of the Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea // Earth Planet Space. – 2007. – Vol. 59. – P. 381–390.
14. Sen Gupta B.K. Foraminifera in marginal marine environments // Modern Foraminifera. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – 2002. – P. 141–160.
15. Tsuji Y., Kato K., Arai K., Ueda K. Run-up height distribution of tsunami due to the southwest Hokkaido earthquake along coast of southwest Japan // Kaiyo Monthly. – 1994. – Vol. 7. – P. 110–122.