

УДК 551.435.3:551.466.63→551.89(−925.17)

© 2018 г. Л.А. ГАНЗЕЙ^{1,*}, Н.Г. РАЗЖИГАЕВА¹, Х.А. АРСЛАНОВ²,
Ю. НИШИМУРА³, Т.А. ГРЕБЕННИКОВА¹, А.О. ГОРБУНОВ⁴,
Ф.Е. МАКСИМОВ², А.Ю. ПЕТРОВ², А.А. ХАРЛАМОВ⁵

СЛЕДЫ ПАЛЕОЦУНАМИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ПРИМОРЬЯ В ГОЛОЦЕНЕ

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт вулканологии и сейсмологии, университет Хоккайдо, Саппоро, Япония

⁴Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

⁵Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*E-mail: lganzev@tig.dvo.ru

Поступила в редакцию 27.02.2017

Проведена реконструкция параметров сильных цунами в историческое время и в позднем голоцене, основанная на изучении осадков в разрезах прибрежных низменностей на участке морского побережья большой протяженности Восточного и Южного Приморья (от бух. Удобная до бух. Анна и о-ва Русский). Установлено, что осадки палеоцунами лучше сохраняются на прибрежных низменностях в устьях низкопорядковых водотоков. При идентификации цунами-генных осадков применялись литолого-фациальные методы и диатомовый анализ. Определены источники поступления материала и оценены параметры цунами в разных бухтах. Определение возраста событий основано на данных радиоуглеродного датирования, вмещающих органогенные отложения и тефростратиграфии. Выполнена корреляция событий, выделенных в частных разрезах, и результаты сопоставлены с данными по региону. Крупные цунами в япономорском регионе происходят каждые 200 лет, хотя не исключены ситуации, когда сильные цунами могут проходить чаще, через небольшие промежутки времени.

Ключевые слова: прибрежные низменности, палеоцунами, цунамигенные пески, Японское море.

DOI: 10.7868/S0435428118020025

MANIFESTATION OF PALEOTSUNAMI ON THE COAST OF PRIMORYE IN THE HOLOCENE

L.A. GANZEY^{1,*}, N.G. RAZZHIGAIEVA¹, Kh.A. ARSLANOV², Yu. NISHIMURA³,
T.A. GREBENNIKOVA¹, A.O. GORBUNOV⁴, F.E. MAKSIMOV², A. Yu. PETROV²,
AND A.A. KHARLAMOV⁵

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia

³Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, Japan

⁴Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

⁵Shirshov' Insitute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

*E-mail: lganzev@tig.dvo.ru

Summary

The manifestation of strong tsunamis in historical time and in the Late Holocene was revealed in the deposits of coastal lowlands along the seacoast of the Eastern and Southern Primorye (from Udobnaya Bay to Anna Bay and Russian Island), the Sea of Japan, the Russian Far East. The lithological methods and diatom

analysis were used for identifying of tsunamigenic deposits. The sources of the material and the parameters of the tsunami were estimated for different bays. Determination of the age of the events was based on radio-carbon dating of hosting organogenic deposits and tephrostratigraphy. The correlation of events was made between individual sections, and the results were compared with paleotsunami data over the region. It was found that in the Sea of Japan coasts, large tsunami occur every 200 years, though the situations of shorter recurrence interval for strong tsunami can not be excluded also.

Keywords: coastal lowlands, Holocene, paleotsunami deposits, Sea of Japan.

Одним из факторов, влияющих на развитие побережья Приморья, являются сильные цунами, вызванные подводными землетрясениями, эпицентры которых сосредоточены узкой полосой на дне Японского моря вдоль одноименных островов [1–3]. Береговая морфосистема – одна из наиболее динамичных, она быстро реагирует на внешние воздействия [4]. Главной особенностью ее функционирования является смещение зоны приобоя (прямого потока заплеска волн), проявляющееся в динамике форм рельефа и в особенностях литодинамических процессов. Хотя сильные цунами (высота волны > 4 м) происходят редко, они сопровождаются интенсивными эрозионными процессами, вызывают существенные изменения в строении побережья и, по своему суммарному воздействию, могут превосходить эффект катастрофических штормов [5–7]. Наблюдения за проявлением современных цунами показали, что, как и в других районах [8], наибольшим воздействиям подвергаются аккумулятивные формы, которые имеют незначительную высоту над уровнем моря и сложены рыхлыми отложениями [5]. Недостаточное количество исторических наблюдений в Приморье не позволяет получить надежные данные по повторяемости и интенсивности цунами. Летописные свидетельства о прохождении таких событий, вызвавших большие разрушения и человеческие жертвы, имеются только для Японских островов и Кореи [1, 9–11]. В историческое время катастрофические последствия имели цунами с высотой более 5 м, произошедшие в 1341, 1741, 1833 гг. в япономорском регионе. Известны и другие цунами с высокими заплесками (701, 1026, 1614, 1644, 1793, 1799, 1804, 1872 гг.). В XX в. крупные цунами произошли в 1940, 1983 и 1993 гг. [1, 3, 5, 12]. Последнее цунами было настоящей катастрофой для о-ва Окусири, где высота волны достигла 30.6 м [13]. Проявление известных цунами XX в. на побережье Приморья имело меньшие масштабы. Сразу после цунами 1983, 1993 гг. были проведены обследования побережья, что позволило измерить высоты вертикального (до 5–7 м) и горизонтального (> 800 м) заплесков и оценить разрушительное воздействие на берег [3, 14, 15]. На побережье Восточного и Южного Приморья в 2010–2016 гг. начаты работы по поиску осадков цунами в разрезах прибрежных низменностей [16–18]. Цель настоящей статьи – провести реконструкцию проявления отдельных событий в бухтах, отличающихся морфологическим строением подводного берегового склона и побережья, провести корреляцию с данными по сопредельным территориям и выяснить повторяемость крупных событий в регионе. Район работ имеет протяженность более 500 км: от бух. Удобная на севере до бух. Анна на юге, а также включает о-в Русский (рис. 1).

Основными объектами изучения были прибрежные низменности¹ за пределами зоны влияния сильных штормов. Наиболее информативными для поиска прослоев цунами-генных осадков являются разрезы озерно-болотных отложений, которые изучались по профилям, проложенным от линии уреза вглубь суши. Вдоль профилей закладывались шурфы, и проводилось бурение. Гипсометрическое положение разрезов определялось с помощью нивелирной топографической съемки от уреза моря. При идентификации цунамигенных осадков и определении источников поступления материала применялись литолого-фациальный, гранулометрический и диатомовый анализы. Определение возраста палеоцунами основано на данных радиоуглеродного датирования вмещающих

¹ Низменные уплощенные участки полигенетического происхождения, сложенные не только морскими, но и континентальными фациями (аллювиальными, озерными, болотными (торф) отложениями).



Рис. 1. Схема района работ

органогенных отложений, выполненного в СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Перевод радиоуглеродных дат в календарные проводился с помощью программы OxCal 4.2.

Для реконструкции проявления палеоцунами важно было изучить особенности осадконакопления на берегу в результате крупных современных цунами. Цунами 1983, 1993 гг. оставили осадки в виде покровов и отдельных пятен песка, которые удалось найти в кровле разрезов прибрежных низменностей спустя 20–30 лет после событий (рис. 2). Как правило, осадки встречаются на побережье, где величина заплеска волн превышала 3 м. Наилучшая сохранность осадков отмечена в бухтах, приуроченных к низкопорядковым водотокам. Там, где впадают крупные реки, осадочные покровы имеют плохую сохранность, что связано с частыми паводками на таких водотоках. Так, в бухтах Опричник, Лидовка, Рудная Пристань хотя и наблюдались высокие заплески цунами, но цунамигенные осадки найдены не были [16].

Последние крупные цунами в Приморье разделены небольшим промежутком времени. Обычно в разрезах встречается один прослой песка, отвечающий более сильному цунами, проявившемуся в конкретном месте. Два прослоя цунамигенных песков, оставленных цунами 1983 и 1993 гг., удалось найти в бухтах Милоградовка, Валентин, Кит, Проселочная, зал. Восток (около оз. Лебедино), бух. Спокойная (о-в Русский). Поскольку высота и дальность заплеска цунами были небольшими, осадки локализованы в узкой зоне, ширина которой редко превышает 100 м. Максимальная протяженность покрова осадков цунами 1993 г. зафиксирована на побережье бух. Валентин (до 300 м вглубь суши). Здесь за штормовым валом (высота над урезом около 2 м) расположена обширная низменность (высотой до 2–3 м), сложенная разнофациальными верхнеголоценовыми отложениями с преобладанием аллювиальных фаций и линзами торфа в понижениях рельефа. За валом расположена ложбина, в южной части бухты занятая небольшой приустьевой лагуной, также попавшая в зону затопления (в 2016 г. лагуна была засыпана).

Наибольшие мощности осадков наблюдаются в бухтах, где в береговой зоне доминируют песчаные наносы. Обычно такая ситуация характерна для участков побережья, где в области сноса распространены коры выветривания на гранитах, при разрушении которых образуется большое количество песчано-гравийного материала (бухты Валентин, Кит, Триозерье). Максимальная мощность осадков цунами 1983 г. отмечена на побережье бух. Триозерье (до 10 см), цунами 1993 г. — бух. Валентин (до 11 см). В целом,

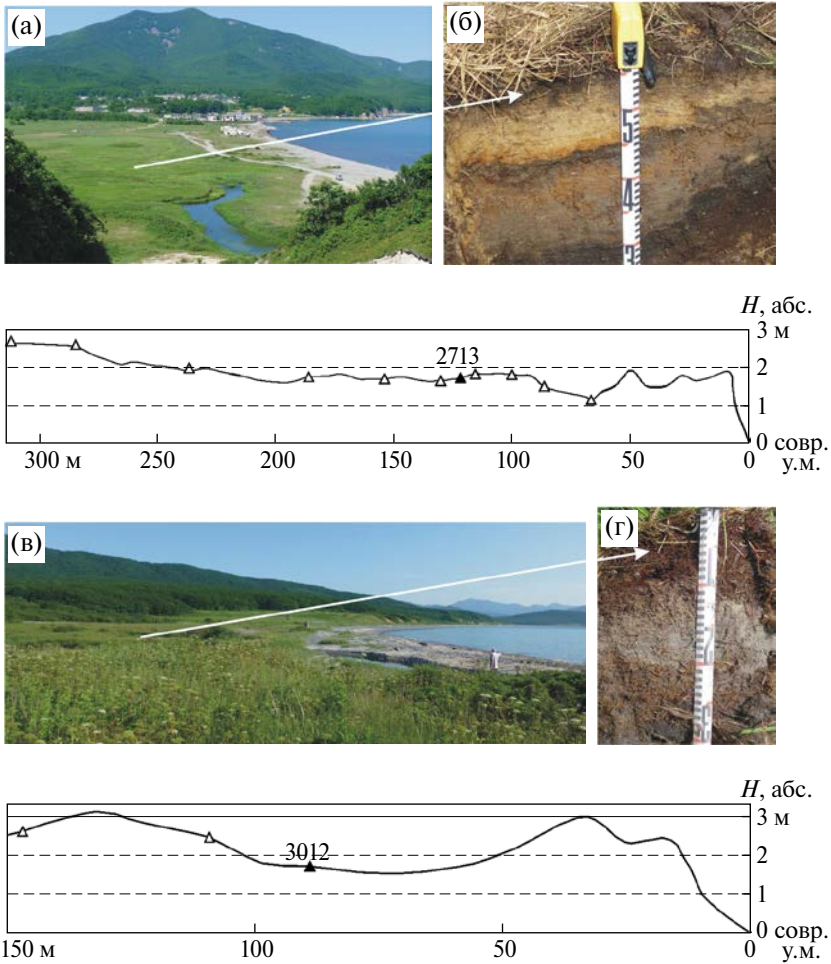


Рис. 2. Осадки цунами 1993 г. на побережье бухт Валентин (а), (б) и Кит (в), (г). Здесь и далее на профиле треугольниками обозначено положение изученных разрезов, залитым треугольником обозначены разрезы, для которых приведены фото

толщина слоя осадков цунами 1993 г. значительно меньше, чем осадков этого же цунами на побережье Западного Хоккайдо вблизи эпицентра землетрясения, где мощность осадков достигала 28 см [13].

Геоморфологические наблюдения, проведенные после прохождения цунами 1983, 1993 гг. на побережье Приморья, показали, что в ряде бухт цунами вызвало активную эрозию и существенные изменения в строении аккумулятивных участков берега [5, 7]. Наиболее активная эрозия происходила там, где был сильный обратный поток (бухты Триозерье, Черная и др.). Накопление осадков цунами 1983, 1993 гг. происходило, в основном, за счет прямого потока и во время стояния воды на участках, где обратный поток не был интенсивным. Осадков, сформированных обратным потоком, не было обнаружено. Изучение гранулометрического состава осадков и данные диатомового анализа показывают, что волны цунами захватывали и перекладывали материал с подводного берегового склона (в основном, с глубин до 15 м), пляжа, древних штурмовых валов и морских террас. Среди морских диатомей преобладают сублиторальные бентосные и планктонные виды, глубоководные виды встречаются в незначительных количествах.

Наряду с целыми створками диатомей встречаются и их фрагменты, что свидетельствует о высокой турбулентности потока. Среди пресноводных диатомей в цунамигенных осадках встречены виды, имеющие разную экологическую принадлежность, часто не соответствующую биотопу на участке аккумуляции. В отдельных бухтах состав диатомей свидетельствует, что волна цунами проходила через приустьевые лагуны или лагунные озера, где захватывала и переносила воду и донные осадки.

Наиболее подробная геологическая летопись сильных цунами, произошедших в последние 600–700 лет, обнаружена на побережье бухты Спокойная на о-ве Русский [17]. Бухта является закрытой и представляет собой своеобразную седиментологическую ловушку, здесь не сказывается влияние сильных штормов, в прибрежной зоне достаточно песчаного материала для формирования хорошо выраженных песчаных покровов в зоне затопления цунами, нет крупного водотока, способного размывать осадки во время наводнений. Наблюдения за последними тайфунами показали, что даже в сильные шторма 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). Во время тайфуна Лайнрок 31 августа 2016 г. штормовой нагон был более значительным, прибрежная низменность затоплялась до 16 м вглубь суши, но поток не был высокотурбулентным и покрова осадков не образовывалось.

Цунамигенные пески обнаружены в разрезах торфяника низкой морской террасы (высотой 1–1.5 м), приклоненной к древнему штормовому валу (высотой 2.5–2.8 м), сложенному гравийно-галечным материалом. Осадки цунами локализованы в узкой зоне, ширина которой не превышает 60 м (рис. 3), что свидетельствует о небольших высотах

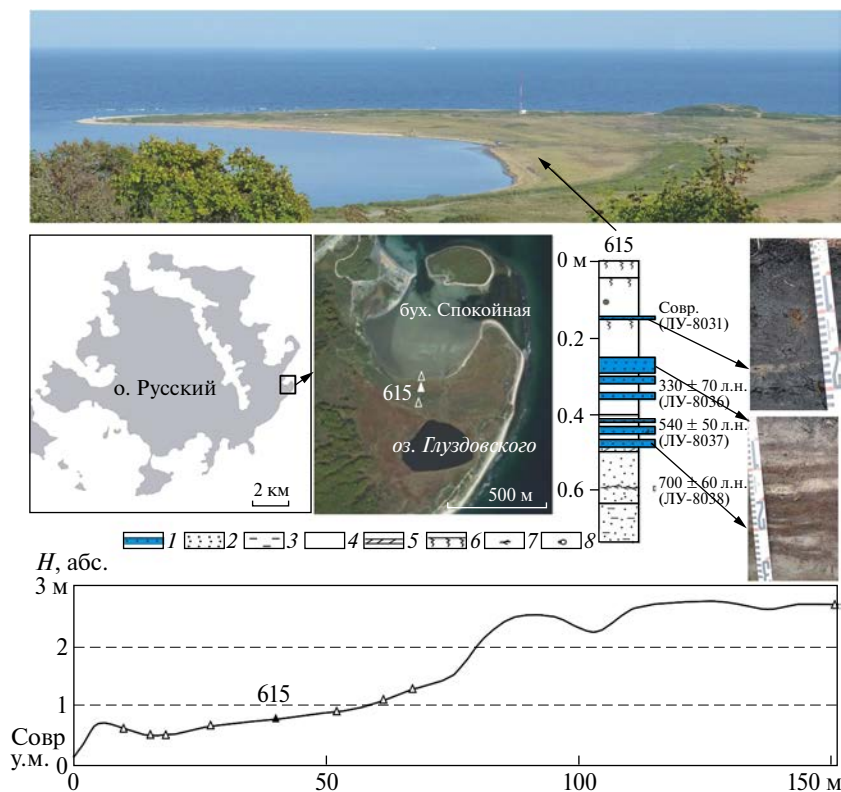


Рис. 3. Осадки цунами исторического возраста в разрезе торфяника на побережье бухты Спокойная (о-в Русский)

1 – прослой морских песков в торфянике, 2 – песок, 3 – алеврит, 4 – торф, 5 – торфянистый алеврит, 6 – почва, 7 – зостера, 8 – древесина

заплесков и дальности проникновения волн. Торфяник подстилает пески древнего пляжа, которые накапливались в завершающую фазу трансгрессии малого оптимума голоцена (^{14}C -дата 700 ± 60 л.н. / 650 ± 50 кал.л.н. — ЛУ-8038 из прослоя, сложенного *Zostera marina*). Ниже выходят отложения подводного склона, насыщенные обломками раковин моллюсков. Специфика цунамигенных осадков, найденных на побережье бух. Спокойная, заключается в том, что переоткладывался, в основном, морской материал, поэтому осадки включают большое количество морских и солоноватоводных диатомей, встречаются бентосные фораминиферы и фрагменты ракообразных. С учетом снижения уровня моря в малый ледниковый период зона затопления могла достигать 200–250 м, то есть сильные цунами этого возраста были более масштабными событиями, чем таковые XX в.

Помимо осадков современных цунами здесь были обнаружены следы событий 1833, 1741 гг., XVII в. (1614 или 1644 гг.), 3–4 цунами XIV–XVI вв. Цунами 7 декабря 1833 г., вызванное землетрясением Shonai-oki (M 7.5–7.8), эпицентр которого находился к северо-востоку от о-ва Садо, имело катастрофический характер: на побережье о-ва Хонсю высота заплеска достигала 9 м [1, 9, 10]. На восточном побережье о-ва Русский высота заплеска была более 1 м, зона затопления — более 50 м. Плохая сохранность створок диатомовых водорослей свидетельствует об активной эрозии даже при небольшом заплеске, что, скорее всего, было связано с насыщенностью воды обломками льда. Как показало изучение осадков Тохоку цунами 2011 г. на Южных Курилах, такая картина типична для цунами со льдом в закрытых бухтах [19].

Один из прослоев морского песка могло оставить сильное цунами 29 августа 1741 г., которое было вызвано крупным подводным оползнем во время извержения вулкана Ошима-Ошима на острове к западу от Южного Хоккайдо [10]. Это цунами было крупнейшим в регионе за исторический период и особенно сильно проявилось на Юго-Западном Хоккайдо, где высота волн по летописям достигала 13 м, по устным сообщениям — до 34 м. На о-ве Хонсю высота волн была до 6 м, на о-ве Садо — до 5 м. Цунами достигло побережья Цусимского пролива (высота заплеска на о-ве Хонсю 2 м) и Корейского п-ова (высота заплеска волн до 4 м) [11].

На побережье Восточного Приморья в ряде бухт в верхней части торфяников найдены прослой песков морского происхождения, которые могли оставить как цунами 1833 г., так и 1741 г. (рис. 4). В бух. Лангоу I из подстилающего торфа получены ^{14}C -даты 170 ± 60 л.н. / 160 ± 90 кал.л.н. (ЛУ-6557); 120 ± 60 л.н. / 140 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-6887), в районе Духовских озер около оз. Мраморное — 150 ± 90 л.н. / 170 ± 110 кал.л.н. (ЛУ-7101) [16]. Более вероятно, что на этом участке побережья проявилось цунами 1741 г., поскольку оно было более масштабным.

В нескольких бухтах найдены прослой цунамигенных песков, которые датируются XVII в. Осадки этого возраста обнаружены в бухтах Кит (350 ± 50 л.н. / 400 ± 60 кал.л.н. — ЛУ-8277), Валентин (330 ± 50 л.н. / 390 ± 60 кал.л.н. — ЛУ-8285), Китовое Ребро (350 ± 60 л.н. / 400 ± 70 кал.л.н. — ЛУ-6891), Лангоу I (410 ± 60 л.н. / 430 ± 70 кал.л.н. — ЛУ-6888). Крупные цунами в Японском море были 26 ноября 1614 г. (эпицентр находился к юго-западу от о-ва Садо) и октябре 1644 г. (эпицентр около северо-западного побережья о-ва Хонсю). Цунами привели к большим разрушениям и человеческим жертвам на западном побережье Японских островов [1]. Можно предположить, что волны достигли побережья Восточного Приморья, где величина заплеска была не менее 5 м, а зона затопления — более 500 м от береговой линии [16]. Осадки этих близких по возрасту цунами трудно разделить.

На о-ве Русский выявлены следы цунами, произошедшего в XV в. (540 ± 50 л.н. / 570 ± 40 кал.л.н. — ЛУ-8037). Близкий возраст имеет прослой морского песка, найденный на побережье в открытой части бух. Соколовская (500 ± 80 л. / 530 ± 80 кал.л. — ЛУ-7719) в 100 м от уреза за штормовым валом. В кутовой части оз. Васьяковское (побережье бух. Рудная) на берегу под слоем почвы найден хорошо выраженный прослой песка, залегающий на торфянистом алевролите, из которого получена ^{14}C -дата 540 ± 100 л.н. / 550 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-7105). Хотя в осадке обнаружены только пресноводные диатомеи [16], не

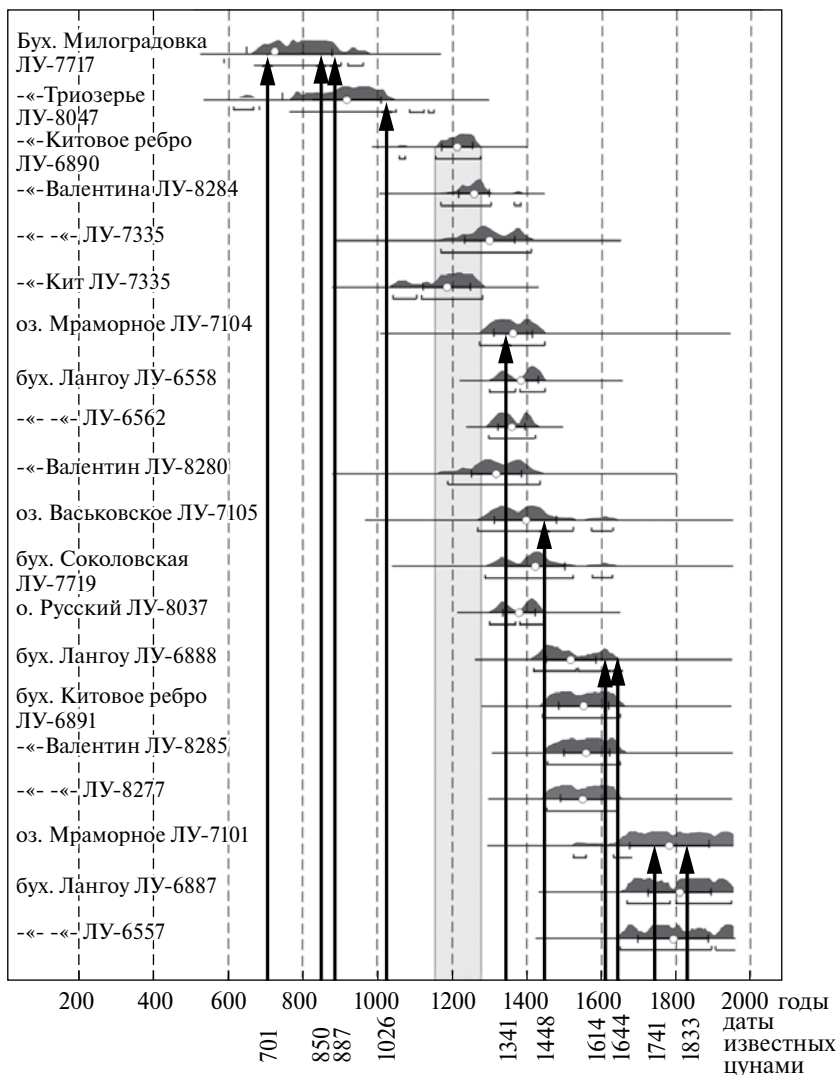


Рис. 4. Калиброванные значения радиоуглеродных дат из органических отложений, подстилающих и перекрывающих прослой цунамигенных песков, и возраст известных исторических цунами в Японском море. Серым отмечен период, когда произошло цунами, не отмеченное в летописях

исключено что его образование связано с прохождением цунами, зашедшего в обширное береговое озеро и вызвавшее колебание его уровня и затопление берега. В японских летописях есть данные о цунамигенном землетрясении (M 7) с эпицентром в районе о-ва Садо в 1448 г. [10].

Одно из известных крупных событий в япономорском регионе было в 1341 г., эпицентр землетрясения находился около северо-западной оконечности о-ва Хонсю, цунами повлекло много жертв на западном побережье о-ва Хоккайдо и севере Хонсю [9, 10]. Возможно, самое древнее событие, следы которого удалось обнаружить на о-ве Русский, можно сопоставить с этим цунами. В ряде бухт Восточного Приморья был обнаружен хорошо выраженный слой песка, оставленный цунами, произошедшим около 600 л.н.: побережье бухт Валентин (670 ± 90 л.н. / 630 ± 70 кал.л.н. – ЛУ-8280), Лангоу I (580 ± 40 л.н. / 590 ± 40 кал.л.н. – ЛУ-6562; 530 ± 50 л.н. / 560 ± 40 кал.л.н. – ЛУ-6558), около

оз. Мраморное (580 ± 80 л.н. / 590 ± 50 кал.л.н. – ЛУ-7104). Высота заплеска волн была более 4 м.

На побережье Восточного Приморья обнаружены осадки цунами, которое произошло около 700–800 кал.л.н. В бух. Кит в разрезе 2.5 м лагунной террасы из подстилающих отложений получена ^{14}C -дата 830 ± 60 л.н. / 770 ± 60 кал.л.н. (ЛУ-7064). Ниже по разрезу найдена линза вулканического пепла В-Тп влк. Байтоушань, катастрофическое извержение которого произошло в 969 г.н.э. Осадки этого же цунами найдены в отложениях прибрежной низменности бух. Валентин в 120–150 м от берега (700 ± 80 л.н. / 650 ± 70 кал.л.н. – ЛУ-7335; 750 ± 50 л.н. / 690 ± 40 кал.л.н. – ЛУ-8284; 800 ± 80 л.н. / 750 ± 80 кал.л.н. – ЛУ-8286), высота заплеска была более 2 м. В открытой бух. Китовое ребро также найден прослой морского песка этого возраста (820 ± 40 л. / 740 ± 40 кал.л. – ЛУ-6890), высота заплеска цунами достигала 3 м [16]. Вероятно, это же цунами оставило тонкий прослой песка в 470 м от берега в бух. Лангоу I. Цунами такого возраста не отмечено в японских летописях. Можно предположить, что эпицентр цунамигенного землетрясения был около о-ва Хоккайдо и на о-ве Хонсю оно ярко не проявилось.

В бух. Триозерье в разрезе торфяника в 250 м от уреза обнаружен тонкий прослой песка, включающий окатанные зерна кварца и полевого шпата, которые могли быть перенесены с прибрежного мелководья. Здесь же встречено вулканическое стекло, схожее по морфологии с маркирующим вулканическим пеплом В-Тп. Из вмещающего торфа получена ^{14}C -дата 1100 ± 80 л.н. / 1030 ± 90 кал.л.н. (ЛУ-8047). 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. [20]. Это гигантское цунами (высота волны 10 м) было вызвано сильным землетрясением (М 7.5), очаг которого находился в юго-восточной части Японского моря в 10 км от берега напротив равнины Масуда. Возможно, это цунами достигло бух. Триозерье.

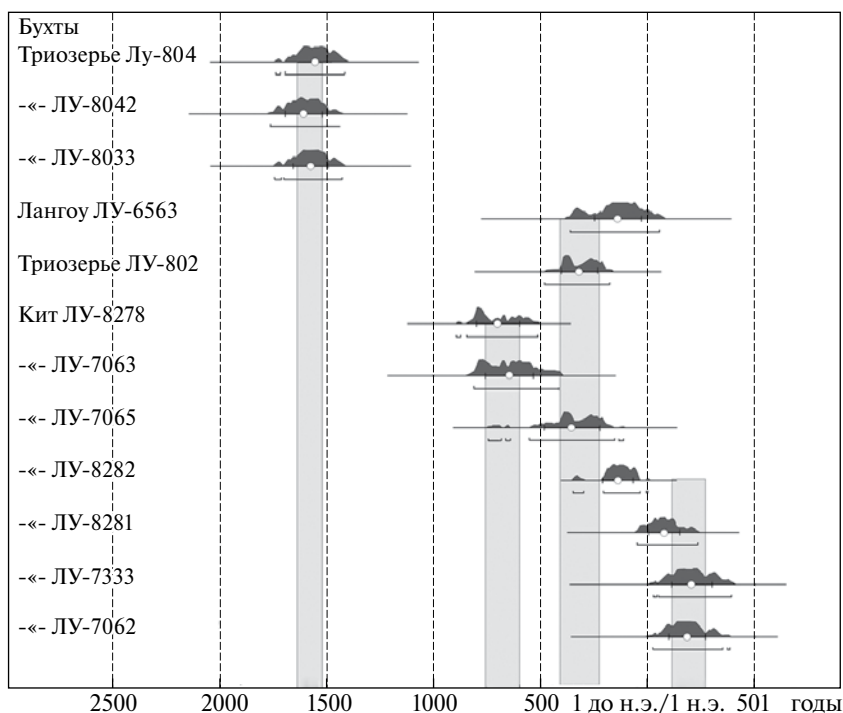


Рис. 5. Калиброванные значения радиоуглеродных дат из органических отложений, подстилающих и перекрывающих прослой позднеголоценовых цунамигенных песков

В бух. Милоградовка в разрезе торфяника встречен песок, оставленный цунами, которое произошло около 1220 ± 60 л.н. / 1150 ± 70 кал.л.н. (ЛУ-7717). Осадок залегают в понижении за древним штормовым валом в 90 м от уреза приустьевой лагуны р. Милоградовка. На данном этапе изучения трудно привязать найденный осадок к конкретному событию. База данных по историческим цунами [10] включает несколько сильных цунами VIII–IX в., эпицентры которых находились к западу от о-ва Хонсю.

В разрезах торфяников Восточного Приморья были обнаружены следы 3–4 позднеголоценовых цунами (рис. 5). Одно из сильных событий произошло около 1840 ± 70 л.н. / 1770 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-7062); 1820 ± 80 л.н. / 1750 ± 90 кал.л.н. (ЛУ-7333), 1930 ± 60 л.н. / 1870 ± 70 кал.л.н. (ЛУ-8281). Следы этого события обнаружены на побережье бух. Кит, где прослой морской песка прослежен на расстоянии более 300 м вглубь суши. Цунами сопровождалось сильной эрозией на берегу и переносом значительного количества эродированного материала. Мощность осадка не выдержана, встречаются линзы до 23 см, облегающие куски торфа, которые были занесены волной цунами на поверхность болота (рис. 6). За счет таких включений в некоторых колонках этот слой распадается на два. В песке встречены остатки крупного ствола, по его древесине получена ^{14}C -дата 2110 ± 40 л.н. / 2090 ± 70 кал.л.н. (ЛУ-8282). Событие произошло в интервале 20–390 г.н.э.

В нескольких бухтах были найдены осадки цунами, произошедших около 2.3–2.6 тыс. кал.л.н. Высота заплеска цунами была более 4–5 м, дальность – более 150 м. Из подстилающих органогенных отложений в бух. Кит были получены ^{14}C -даты 2290 ± 80 л.н. / 2310 ± 130 кал.л.н. (ЛУ-7065); 2540 ± 80 л.н. / 2600 ± 110 кал.л.н. (ЛУ-7063), 2580 ± 60 л.н. / 2650 ± 100 кал.л.н. (ЛУ-8278), в бух. Триозерье – 2280 ± 60 л.н. / 2270 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-8028). В этот же возрастной интервал попадает ^{14}C -дата 2100 ± 80 л.н. / 2090 ± 110 кал.л.н. (ЛУ-6563), полученная под прослоем цунамигенного песка, обнаруженного в отложениях палеозера бух. Лангоу I. Калиброванные значения возраста этого события имеют несколько вероятностных пиков, поэтому нельзя исключать, что фиксируются два разных события.

Наиболее древнее событие зафиксировано в разрезах на побережье бух. Триозерье [18]. Здесь в 250 м от берега в почвенном профиле, лежащем на делювиальных суглинках, обнаружен прослой песка, имеющий покровное залегание, который прослеживается узкой полосой, параллельной береговой линии, и выклинивается по мере продвижения вглубь суши. Контакты с нижележащими отложениями резкие, что говорит о быстром захоронении при кратковременном событии. Мощность слоя до 25 см, залегают

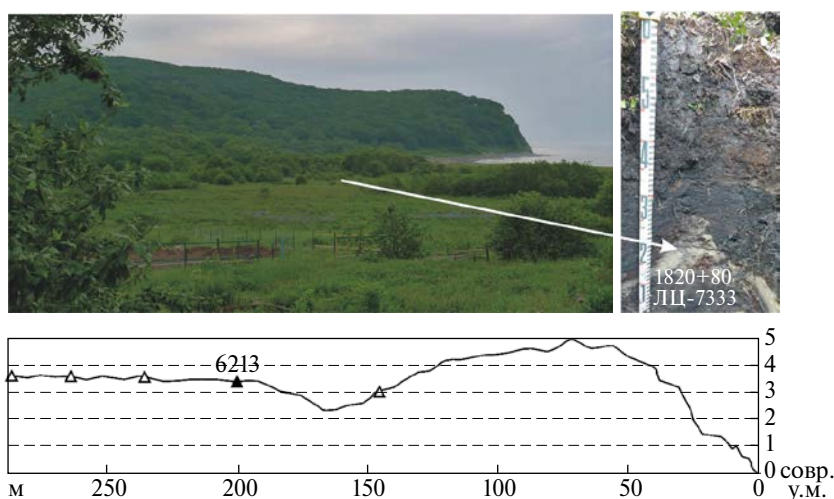


Рис. 6. Прослой цунамигенного песка в разрезе торфяника в северной части бух. Кит

на высоте до 2.1 м над у.м. Из подстилающей почвы получена ^{14}C -дата 3290 ± 70 л.н. / 3520 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-8033). Осадок этого же цунами обнаружен в разрезе среднеголоценовой лагунной террасы, где он залегает под торфяником (мощностью 1 м). Слой песка включает маломощную линзу торфа. Из нее и вышележащего торфа получены близкие ^{14}C -даты 3270 ± 70 л.н. / 3500 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-8048) и 3320 ± 70 л.н. / 3560 ± 80 кал.л.н. (ЛУ-8042). Анализ графиков калибровочных значений позволяет предположить, что песок образован во время события, произошедшего около 1620–1520 гг. до н.э. В это время уровень Японского моря был на 1 м ниже современного [21], с учетом этого заплеск цунами можно оценить как не менее 3 м. Цунами затапливало практически всю прибрежную низменность, включая озера, захватывало 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.

Заключение

Изучение разрезов прибрежных низменностей Приморья позволило идентифицировать следы сильных цунами, произошедших в последние 3.5 тыс. лет. На побережье Восточного Приморья осадки цунами найдены в бухтах, которые относятся к наиболее цунамиопасным, где во время цунами 1983 и 1993 гг. были высокие заплески. Наиболее информативными для поисков осадков палеоцунами являются прибрежные низменности в устьях низкопорядковых водотоков, где осадки лучше сохраняются по сравнению с приустьевыми частями крупных водотоков. Мощность покровов зависит как от интенсивности проявления цунами, так и от литодинамической ситуации в береговой зоне. Как правило, хорошо выраженные покровы образовывались в бухтах, где много песчаного материала на подводном склоне и в береговых аккумулятивных формах. В Южном Приморье осадки цунами встречаются фрагментарно, исключением является закрытая бух. Спокойная на о-ве Русский, на побережье которой найдены многочисленные прослои цунамигенных песков, оставленных за последние 700 лет.

Летопись палеоцунами, восстановленная по их геологическим следам, не может рассматриваться, как полная, но имеющийся фактический материал позволяет предположить, что крупные цунами в япономорском регионе происходят в среднем каждые 200 лет, хотя не исключены ситуации, когда такие явления могут проходить чаще, через небольшие промежутки времени.

Исторические и позднеголоценовые цунами, следы которых обнаружены в разрезах, были, по-видимому, более масштабными событиями, чем известные цунами XX в. В большинстве бухт осадки палеоцунами имеют большую мощность и образуют более протяженные покровы. Анализ их распределения показывает, что зоны затопления немалого превышали горизонтальный заплеск современных цунами.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-05-00179 по программе “Дальний Восток”, проект 18-5-003. В 2016 г. полевые исследования проводились также по гранту РНФ 14-50-00095.

Acknowledgements. This work was financially supported by the RFBR, project 15-05-00179 and program “Far East”, project 18-5-003. Field works in 2016 were also supported by the RSF, project 14–50–00095.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 312 с.
2. 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.
3. Полякова А.М. Опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в северной части Тихого океана и цунами побережья Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2012. 182 с.

4. *Игнатов Е.И.* Береговая морфосистема как объект геоморфологических исследований // Геоморфология. 2005. № 2. С. 3–11.
5. *Короткий А.М., Куликова В.В.* Воздействие цунами на прибрежную зону Приморья // Вестник ДВО РАН. 2008. № 6. С. 34–47.
6. *Короткий А.М., Коробов В.В., Шорникова В.В., Скрыльник Г.П.* Опасные природные процессы и их влияние на устойчивость геосистем (юг Дальнего востока) // Вестник ДВО РАН. 2005. № 5. С. 42–58.
7. *Игнатов Е.И., Лохин М.Ю., Никифоров А.В., Фроль В.В.* Геоморфологические проблемы цунамиопасности (на примере Японского моря). Смоленск: Маджента, 2008. 128 с.
8. *Ионин А.С., Каплин П.А.* Влияние рельефа побережий на деформацию волн цунами // Вопросы геоморфологии и палеогеографии морских побережий и шельфа. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2010. С. 251–257.
9. *Hatori T. and Katayama M.* Tsunami behavior and source areas of historical tsunamis in the Japan Sea // Bul. Earthquake Research Institute. 1977. Vol. 52. P. 49–70.
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.
11. *Satake K.* Volcanic origin of the Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea // Earth Planet Space. 2007. Vol. 59. P. 381–390.
12. *Го Ч.Н., Леонидова Н.И., Леонов Н.Н.* Некоторые данные о цунами 1 августа 1940 г. в Японском море // Волны цунами. Южно-Сахалинск: СахКНИИ, 1972. С. 279–283.
13. *Nanayama F., Shigeno K., Satake K., Shimokawa K., Koitabashi S., Miyasaka S., and Ishii M.* Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-nansei-oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei, Southwestern Hokkaido, Northern Japan // Sedimentary Geology. 2000. Vol. 135. P. 255–264.
14. *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.
15. *Горбунова Г.В., Диденко Г.В., Дьяченко В.Д., Нагорных Т.В., Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Харламов А.А., Шелепов Г.П.* 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.
16. *Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Кайстренко В.М., Горбунов А.О., Арсланов Х.А., Чернов С.Б., Наумов Ю.А.* Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеанская геология. 2015. № 1. С. 79–95.
17. *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.
18. *Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю., Арсланов Х.А., Гребенникова Т.А., Лебедев И.И., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Горбунов А.О., Наумов Ю.А.* Проявление палеоцунами в позднем голоцене на побережье бухты Триозерье, Японское море // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 166–172.
19. *Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Ivanova E.D., Kharlamov A.A., Kaistrenko V.M., and Shishkin A.A.* Coastal sedimentation associated with the Tohoku tsunami of 11 March 2011 in South Kuril Islands, NW Pacific Ocean // J. of Pure and Appl. Geophysics. 2013. Vol. 170. № 6–8. P. 1081–1102.
20. *Minoura K. and Nakata T.* Discovery of an ancient tsunami deposits in coastal sequences of Southwest Japan: Verification of a large historic tsunami // The Island Arc. 1994. Vol. 3. P. 66–72.
21. *Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С., Разжигаева Н.Г., Волков В.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Базарова В.Б., Макарова Т.Р.* Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене // Вестник ДВО РАН. 1997. № 3. С. 121–143.

REFERENCES

1. Solovjev S.L. and Go Ch.N. *Katalog tsunami na zapadnom poberezhje Tihogo okeana* (Catalogue of tsunami on the western Pacific coast). Moscow: Nauka (Publ.), 1974. 312 p.
2. *Kurkin A.A., Pelinovskii E.N., Choi B.H., and Lee J.S.* Comparative estimation of the tsunami hazard for the Russian coast of the Sea of Japan based on numerical simulation. *Oceanologiya*. 2004. Vol. 44. No. 2. P. 179–188. (in Russ.)
3. Polyakova A.M. *Opasnye i osobo opasnye gidrometeorologicheskie javleniya v severnoj chasti Tihogo okeana i tsunami v poberezhja Primorja* (Dangerous and especially angerous hydrometeorological phenomena

- in the Northern Pacific and tsunami waves near the Primorye coast). Vladivostok: Dalnauka (Publ.), 2012. 182 p.
4. Ignatov E.I. Coastal morfosystem as an object of geomorphologic research. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2005. No. 2. P. 3–11. (in Russ.)
 5. Korotky A.M. and Kulikova V.V. The effect of tsunamis on the coastal zone of Primorye. *Vestn. DVO RAN*. 2008. No. 6. P. 34–47. (in Russ.)
 6. Korotky A.M., Korobov V.V., Shornikova V.V., and Skrylnik G.P. Hazardous natural processes and their impact on stability of geosystems (South of the Far East). *Vestn. DVO RAN*. 2005. No. 5. P. 42–58. (in Russ.)
 7. Ignatov E.I., Lokhin M. Yu., Nikiforov A.V., and Frol' V.V. *Geomorfologicheskie problemy tsunamiopasnosti (na primere Japonskogo morja)* (Geomorphological problems of the tsunamic hazards with reference to the Sea of Japan). Smolensk: Madzhenta (Publ.), 2008. 128 p.
 8. Ionin A.S. and Kaplin P.A. Effect of coastal topography on the deformation of tsunami waves, in *Voprosy geomorfologii i paleogeografii morskikh poberezhij i shelf'a* (Questions of geomorphology and paleogeography of seacoasts and shelf), Moscow: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2010. P. 251–257.
 9. Hatori T. and Katayama M. Tsunami behavior and source areas of historical tsunamis in the Japan Sea. *Bulletin Earthquake Research Institute*. 1977. Vol. 52. P. 49–70.
 10. Historical tsunami database for the Pacific, 47 BC to present version 2.4 of February 21, 2005. http://tsun.sccc.ru/On_line_Cat_r.htm.
 11. Satake K. Volcanic origin of the Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea. *Earth Planet Space*. 2007. Vol. 59. P. 381–390.
 12. Go Ch.N., Leonidova N.I., and Leonov N.N. Some data about tsunami August 1, 1940 in the Sea of Japan, in *Volny tsunami* (Tsunami waves). Juzhno-Sahalinsk: SahISRI (Publ.), 1972. P. 279–283.
 13. Nanayama F., Shigeno K., Satake K., Shimokawa K., Koitabashi S., Miyasaka S., and Ishii M. Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-nansei-oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei, southwestern Hokkaido, northern Japan. *Sedimentary Geology*. 2000. Vol. 135. P. 255–264.
 14. Go Ch.N., Ivaschenko A.I., Simonov K.V., and Solov'ev S.L. Manifestations of Japan Sea tsunami May 26, 1983 on the coast of the USSR, in *Nakat tsunami na bereg* (Tsunami rolling on coast). Gorky: IPF AN SSSR (Publ.), 1985. P. 171–180.
 15. Gorbunova G.V., Didenko G.V., D'yachenko V.D., Nagornyykh T.V., Poplavskii A.A., Poplavskaya L.N., Kharlamov A.A., and Shelepov G.P. Investigations of tsunami manifestations of 12–13 July, 1993 the Primorsky Krai coast, in *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tihogo okeana s Evraziej* (Geodynamics of tectonosphere of the Pacific-Eurasia conjunction zone). Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG DVO RAN (Publ.), 1997. Vol. 8. P. 7–28.
 16. Ganzey L.A., Razjigaeva N.G., Nishimura Yu., Grebennikova T.A., Kaistrenko V.M., Gorbunov A.O., Arslanov Kh.A., Chernov S.B., and Naumov Yu.A. Deposits of Historical and Paleotsunamis on the Coast of Eastern Primorye. *Tihookean. Geol.* 2015. Vol. 9. No. 1. P. 64–79. (in Russ.)
 17. Ganzey L.A., Razzhigaeva N.G., Grebennikova T.A., Arslanov Kh.A., Ivanova E.D., and Ganzey K.S. Historical tsunami records on Russian Island, Sea of Japan, in *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya* (Advances in current natural sciences), 2016. No. 5. P. 116–124.
 18. Ganzey L.A., Razzhigaeva N.G., Nishimura Yu., Arslanov Kh.A., Grebennikova T.A., Lebedev I.I., Maksimov F.E., Petrov A. Yu., Gorbunov A.O., and Naumov Yu.A. Manifestation of Late Holocene paleotsunami on Triozer'e Bay coast, Sea of Japan, in *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya* (Advances in current natural sciences), 2016. No. 8. P. 166–172.
 19. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Ivanova E.D., Kharlamov A.A., Kaistrenko V.M., and Shishkin A.A. Coastal sedimentation associated with the Tohoku tsunami of 11 March 2011 in South Kuril Islands, NW Pacific Ocean. *J. of Pure and Appl. Geophysics*. 2013. Vol. 170. No. 6–8. P. 1081–1102.
 20. Minoura K. and Nakata T. Discovery of an ancient tsunami deposits in coastal sequences of southwest Japan: Verification of a large historic tsunami. *The Island Arc*. 1994. Vol. 3. P. 66–72.
 21. Korotky A.M., Grebennikova T.A., Pushkar' V.S., Razjigaeva N.G., Volkov V.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Bazarova V.B., and Makarova T.R. Climatic changes in the southern Russian FarEast during late Pleistocene-Holocene. *Vestn. DVO RAN*. 1997. No. 3. P. 121–143. (in Russ.)