

УДК 551.21

ОСАДКИ ЦУНАМИ 1983 И 1993 ГОДОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ПРИМОРЬЯ

© 2017 г. Л.А. Ганзей¹, Н.Г. Разжигаева¹, Ю. Нишимура², Т.А. Гребенникова¹,
А.О. Горбунов³, В.М. Кайстренко³, Ю.А. Наумов⁴, И.И. Лебедев⁵¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия
e-mail: lganzeu@tig.dvo.ru²Институт вулканологии и сейсмологии, университет Хоккайдо, Саппоро, Япония
e-mail: yns@mail.sci.hokudai.ac.jp³Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
e-mail: victor@imgg.ru⁴ВГУЭС, Находка, Приморский край, Россия
e-mail: naumov_ua@mail.ru⁵Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
e-mail: ilya.lebedev.1994@bk.ru

Поступила в редакцию 09.11.2015 г.

После доработки 01.07.2016 г.

На побережье Восточного Приморья найдены осадки двух наиболее сильных цунами XX века, эпицентры которых находились в Японском море к западу от побережья Хоккайдо. Проанализировано распространение и сохранность осадков в бухтах разного геоморфологического строения. Наиболее хорошо осадочные покровы выражены в верхней части разрезов береговых низменностей в бухтах, где величина заплеска волн превышала 3 м, наилучшая сохранность осадков наблюдается в бухтах, приуроченных к низкопорядковым водотокам. Проанализировано изменение структурного состава цунамигенных осадков по мере удаления от береговой линии, определены источники материала. Волны цунами переносили песок не только с пляжей, древних штормовых валов и террас, но и с подводного берегового склона, а также захватывали материал из приустьевых лагун и береговых озер, которые находились в зоне затопления. Осадки включают морские диатомеи, среди которых преобладают сублиторальные планктонные и бентосные виды, что свидетельствует о том, что материал поступал с глубин не более 15 м. Встречаются глубоководные виды диатомей и их фрагменты. Среди пресноводных диатомей присутствуют виды, имеющие разную экологическую принадлежность, что свидетельствует об эрозии и переотложении материала из разных источников.

DOI: 10.7868/S0030157417040116

ВВЕДЕНИЕ

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 (М 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 [4, 5, 8, 13]. Эти цунами достигли побережья Приморья и были самыми крупными из исторических событий наряду с цунами 1940 г, о котором сохранилось очень мало сведений [2, 16]. Из 17 цунами, произошедших в бассейне Японского моря за последние 65 лет, на побережье Приморья было зафиксировано только пять событий [8].

Сразу после прохождения цунами 1983, 1993 гг. были проведены обследования районов затопления, опрос свидетелей, описаны разрушения и измерены величины заплесков [3, 4, 11–13]. Наиболее ярко эти цунами проявились на побережье

Восточного Приморья. Цунами 1983 г. в районе б. Рудная, возможно, было усилено подводным оползнем, связанным с землетрясением [6]. Максимальный заплеск цунами 7 м (зона затопления 800 м) замерен на побережье б. Лидовка [11]. В 1993 г. волны наибольших высот наблюдались на участке побережья б. Валентин — б. Кит (до 4.34 м) и б. Рудная (3.78 м) [4]. В Южном Приморье величины заплеска цунами были существенно ниже и на побережье зал. Петра Великого обычно не превышали 1–1.5 м. Геоморфологические наблюдения, проведенные после цунами 1983 и 1993 гг., показали активный размыв аккумулятивных форм, попавших в зону затопления, особенно в узких ингрессионных бухтах, приустьевых лагунах и эстуариях [7]. Анализ особенностей осадконакопления остался вне поля зрения этих исследований, лишь для отдельных точек было упоминание о находках тонкозернистого материала в зоне затопления [11] или пятен песка на поверхности почв и торфяников [7].

На основе данных о проявлении цунами XX века были уточнены параметры риска цунами в разных типах бухт Приморского края [8]. С учетом данных по проявлению исторических цунами на основе численного моделирования была сделана попытка оценить возможность проявления гипотетических событий в будущем в Япономорском регионе [9, 14]. Одним из направлений работ при оценке цунамиопасности побережья является изучение отложений цунами, дающих информацию о проявлении сильных событий в прошлом. В методическом плане изучение осадков цунами XX века на побережье Приморья имеет большую важность для Япономорского региона. Информация о сохранности следов этих цунами в геологических разрезах является основой при изучении проявления наиболее сильных цунами в прошлом. На берегах Японских островов, наиболее приближенных к эпицентрам землетрясений, сопровождавшихся цунами, были найдены только осадки цунами 1993 г. в отдельных точках на побережье Юго-Западного Хоккайдо [20, 21]. Возможности для проведения работ по изучению осадков палеоцунами на западном побережье Японских островов ограничены, береговые низменности сильно освоены и здесь трудно найти природные разрезы торфяников.

С 2010 г. на побережье Восточного Приморья начаты работы по изучению осадков палео- и исторических цунами [1, 15]. Основное внимание было уделено бухтам, где были замерены максимальные заплески сразу после цунами 1983, 1993 гг. На этих участках побережья в кровле

разрезов были найдены осадки современных цунами. Целью настоящей работы является выявление особенностей осадконакопления при прохождении цунами 1983, 1993 гг., распределение участков аккумуляции осадков в зоне затопления и анализ их сохранности в разрезах на участках побережья, имеющих разное строение, где волны цунами имели разную интенсивность. В задачи входило также выявление отличий цунамигенных осадков от других прибрежно-морских фаций, определение источников поступления материала и глубин, с которой он переоткадывался с подводного берегового склона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск осадков цунами 1983 и 1993 гг. проводился во время экспедиций 2010–2015 гг. Район работ включал побережье Приморья от б. Удобная до б. Анна (рис. 1). Основными объектами изучения были береговые низменности, расположенные за пределами зоны влияния сильных штормов. От линии уреза вглубь суши по трансектам проводилось бурение и закладывались шурфы. Гипсометрическое положение разрезов определялось с помощью нивелирования. Изучались также естественные обнажения. К осадкам цунами XX века отнесены прослой песка в верхней части разрезов. Для идентификации их происхождения применялся диатомовый анализ. Были опробованы также пляж, штормовые валы и морские террасы, как возможные источники материала. Гранулометрический анализ выполнен на ситах с шагом γ , гранулометрические параметры

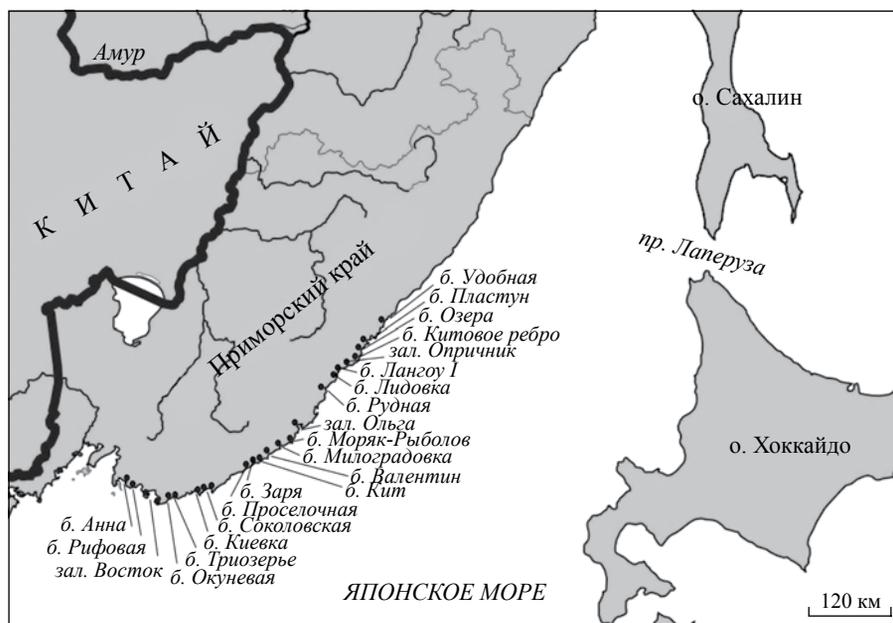


Рис. 1. Бухты, где проводился поиск осадков цунами 1983 и 1993 гг.

рассчитывались методом моментов (в шкале Φ) с помощью пакета программ GRADISTAT 4.0 [17]. Гранулометрический состав алевропелитовых осадков определялся лазерно-дифракционным методом на приборе "Analysette-22 MicroTec plus".

РЕЗУЛЬТАТЫ

При обследовании побережья Приморья осадки цунами 1983, 1993 гг. были найдены на побережье бухт, где величина заплеска волн, как правило, превышала 3 м (рис. 1). Ниже рассматриваются бухты, где удалось обнаружить хорошо выраженные покровы цунамигенных осадков.

Бухта Удобная открытого типа расположена в 11 км к юго-западу от б. Серебрянка (п. Терней). На побережье в южной части находится озеро Благодати меромиктического типа [19] (глубиной до 2 м), отделенное от моря фрагментом террасы последнего межледниковья (высотой до 7.5 м) и позднеголоценовой косой. На заболоченном берегу озера в 500 м от моря и в 12–38 м от уреза озера под дерном найден прослой крупно-среднезернистого песка (мощностью до 5 см), скорее всего образованный цунами 1983 г. Осадок хорошо выражен в разрезе, имеет покровное залегание, образуя пятно 50 × 200 м в пределах низкой

лагунной террасы на высоте до 0.65 м над урезом озера (1.35 м н.у.м.).

Сортировка материала умеренная, осадок содержит примесь гравия (до 18%) и мелкозернистого песка (до 30%) и характеризуется бимодальными гранулометрическими кривыми распределения (моды 0.315–0.4, 0.63–0.8 или 0.5–0.63 мм), причем мода в области крупных фракций совпадает с кривой распределения пляжевых песков, где практически отсутствуют мелкозернистые фракции и алеврит (рис. 2). Волна цунами захватывала осадок со дна озера-лагуны, а грубый материал — с пляжа.

В цунамигенных песках обнаружено 19 разновидностей морских и солоноватоводных диатомей (до 11% от общего содержания створок), встречены неритический *Thalassionema nitzschioides*, сублиторальный планктонный *Actinocyclus octonarius*, бентосные *Cocconeis scutellum*, *C. scutellum* var. *parva*, *Opephora olsenii*, *Tryblionella plana*. Среди солоноватоводных отмечены планктонный *Thalassionema bramaputrae*, бентосные *Nitzschia sigma*, *N. vitrea*, *Fragilaria pulchella*, *Halamphora coffeaeformis*, *H. acutiuscula*, *Campylodiscus echeneis*, *Mastogloia smithii* и др. Среди пресноводных видов на фоне доминирования форм, характерных для слабо обводненных местообитаний, обнаружены

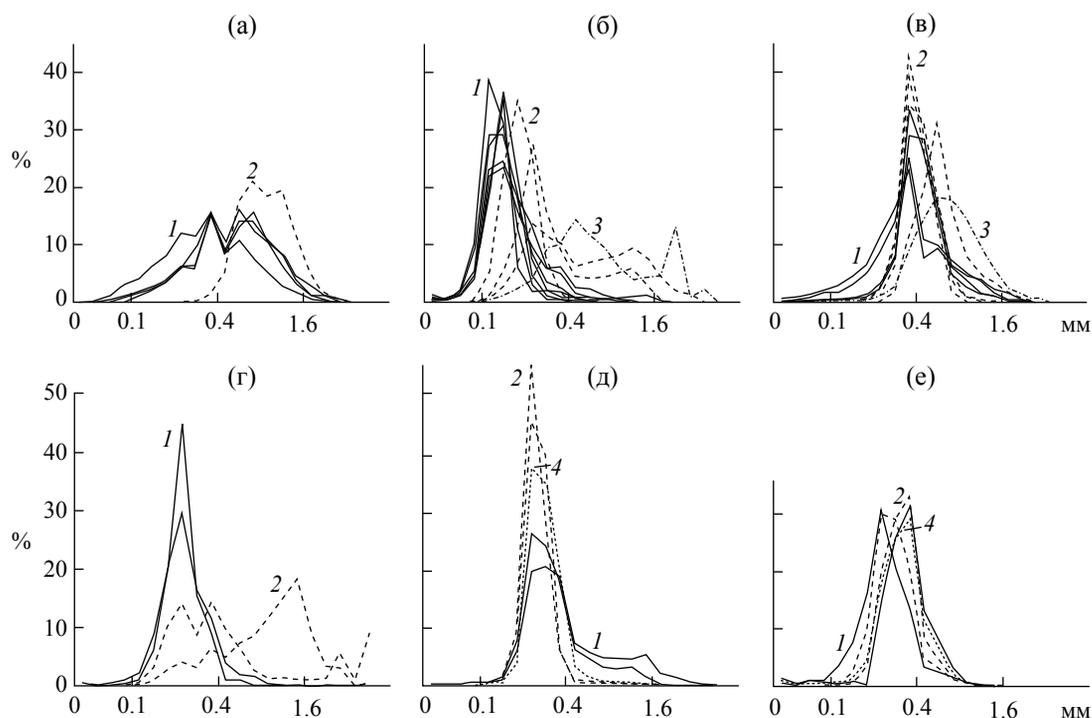


Рис. 2. Гранулометрические кривые распределения песков, оставленных цунами 1983 и 1993 гг. и других прибрежно-морских фаций на побережье Приморья: (а) — б. Удобная, (б) — б. Кит, (в) — б. Проселочная, (г) — б. Киевка, (д) — б. Триозерье, (е) — оз. Лебединое, зал. Восток. Осадки: 1 — цунами; 2 — пляж; 3 — штормовой вал; 4 — барьерная форма или морская терраса.

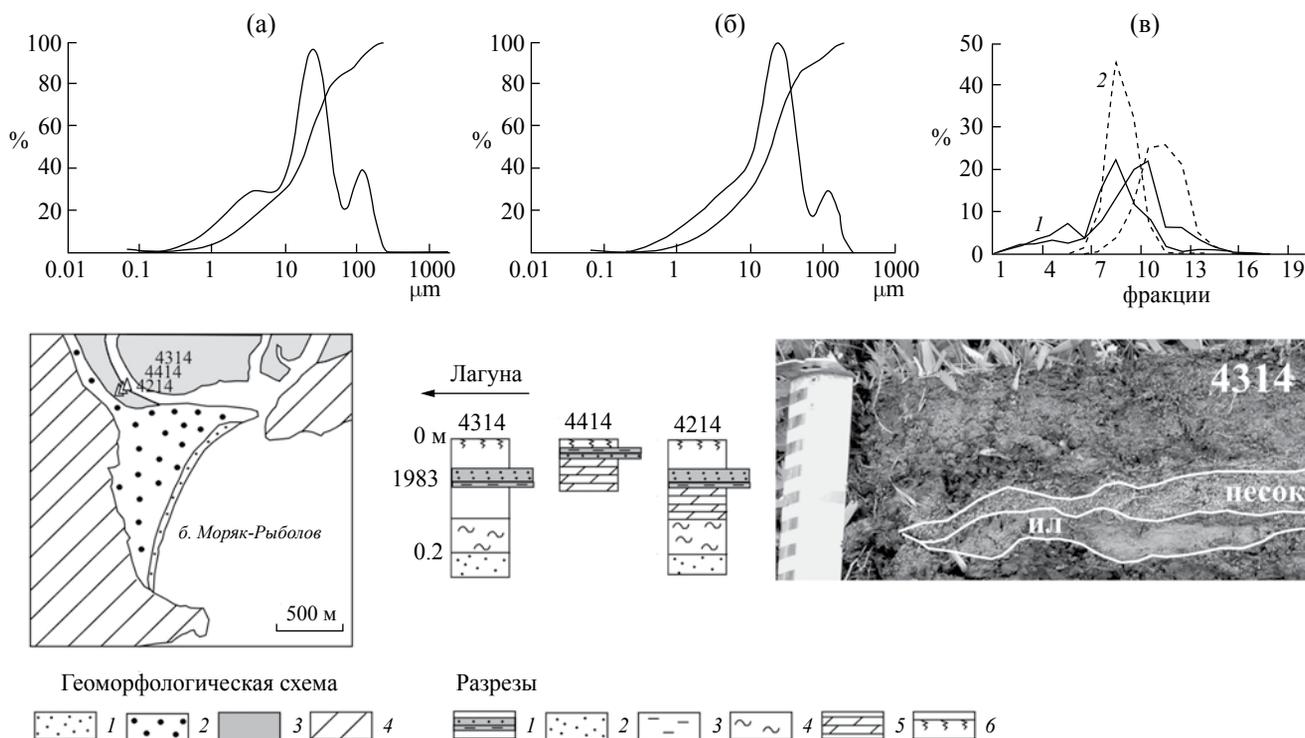


Рис. 3. Геоморфологическая схема побережья б. Морьяк-Рыболов и разрезы, включающие осадки цунами 1983 г., с их гранулометрической характеристикой: (а, б) — цунамигенные илы (разрезы 4314, 4214), (в) — пески: 1 — цунамигенные, 2 — пляжа. Геоморфологическая схема: 1 — пляж, 2 — барьерная форма, 3 — лагунная терраса, 4 — склоны. Разрезы: 1 — цунамигенные пески и илы, 2 — песок, 3 — алеврит, 4 — суглинок, 5 — торфянистый алеврит, 6 — почва.

виды, привнесенные цунами из озера (*Cosmioneis pussila* 17%, *Staurosira subsalina* 6%, *S. elliptica*, *Planothidium delicatulum* 5.3%, *P. frequentissimum* 4.8%, *Pseudostaurosira brevistriata* 1.9%, *Staurosirella pinnata* и др.).

Бухта Лангоу I расположена в 1.5 км к северу от б. Лидовка на участке берега, где заплески цунами 1983, 1993 гг. достигали 4–7 м [3, 4, 11, 13]. Здесь за штормовым валом (высотой до 4 м), сложенным валунно-галечным материалом, расположено небольшое барьерное озеро, окруженное длительно существующим болотным массивом (высота поверхности 1.5–2 м), который образовался на месте обширной лагуны в нижней части долины низкопорядкового водотока. В кровле торфяника встречены два прослоя зеленовато-серого мелкозернистого песка (мощностью 1–2 см), часто представленные в виде гнезд, которые прослеживаются до 340 м вглубь суши. Максимальная мощность осадка (до 6 см) отмечена в понижении около озера, где осадок включает переотложенные цунами куски торфа, образованные за счет размыва торфяника. Скорее всего, это осадки цунами 1983 г., которое было более мощным на этом участке побережья. Гранулометрические характеристики осадков цунами 1983, 1993 гг. похожи. Кривые распределения одно- и бимодальные, наиболее

хорошо выражена мода 0.2–0.25 мм, часто встречается мода 0.315–0.4 мм. Состав материала отличается от песков, встречающихся пятнами на валунно-галечном пляже, и песчаного заполнителя штормового вала. Основная поставка материала шла с подводного берегового склона.

Морское происхождение осадков подтверждается данными диатомового анализа. Встречены сублиторальные диатомеи: планктонный *Thalassiosira bramaputrae* var. *septentrionalis*, бентосные *Cocconeis scutellum*, *Delphineis surirella*, *Istmia nervosa*, *Lyrella lyra*, *Tryblionella plana*, *Triceratium* sp., фрагменты океанических *Coscinodiscus* sp. и солоноватоводные *Navicula salinarum*, *Tryblionella littoralis*, *Nitzschia sigma*. Среди пресноводных по сравнению с вмещающим торфом, отмечается увеличение содержания ацидофильных видов диатомей, характерных для болотных обстановок, что связано, скорее всего, с размывом торфяника.

Бухта Морьяк-Рыболов. Цунами 1983 г. было более сильным, чем 1993 г. [3, 4, 11, 13], волны проникли в обширную приустьевую лагуну р. Маргаритовка, которая на участке порта переуглублена (глубины до 12 м). Цунами началось с отлива, после резкого ухода воды начался подъем уровня моря. Вторая волна была самой большой (высота уровня достигала 2.5 м над урезом воды)

[3, 11, 13], но не затопляла барьерную форму, на которой стоит поселок. Осадки цунами (мощность до 4 см) обнаружены под дерном (на глубине 3–5 см) на заболоченном берегу приустьевой лагуны в 1 км от устья. По свидетельствам очевидцев, этот участок находился в зоне затопления цунами. В разрезах встречено два прослоя алевритового ила, подстилающий и перекрывающий слой песка, отвечающих прохождению двух волн (рис. 3). Гранулометрические кривые цунамигенных илов полимодальные, наиболее хорошо выражена мода 20–30 мкм, присутствует примесь пелита (мода 3–4 мкм) и мелкого песка (мода 100–200 мкм). Частицы <100 мкм составляют до 93% осадка, в том числе <10 мкм — до 30%. Состав песка меняется по протяжению слоя в глубь суши от среднезернистого (мода 0.315–0.4 мм) до мелкозернистого (моды 0.2–0.25; 0.1–0.125 мм), примесь алевритовых фракций увеличивается до 14.7%. Материал плохо сортирован. Модальные фракции пляжевых песков на урезе 0.2–0.25 мм, в тыловой части 0.315–0.5 мм, алевритовых фракций нет. Материал поступал как с пляжа, так и с подводного берегового склона. Вероятно, большая часть тонкого материала захватывалась цунами со дна лагуны и осаждалась в зоне затопления при стоянии воды.

В илах встречено до 20 форм морских и солоноватоводных диатомей (до 32.8%). С удалением от берега лагуны количество морских видов в осадках снижается до 9 форм (4.4%). Преобладают сублиторальные виды, характерные для бухт и заливов: планктонные *Actinocyclus octonarius* (10.4%), *Paralia sulcata* (5.5%), бентосные *Hyalodiscus scoticus* (2.2%), *Diploneis smithii* var. *rhombica*, *Tryblionella plana*, солоноватоводные планктонные *Thalassiosira bramauptrae* var. *septentrionalis* (1.6%), *T. bramauptrae*, бентосные *Campylodiscus echeneis* (2.2%), *Melosira moniliformis* var. *octogona* (2.2%), *Halamphora acutiuscula* (1.1%), *Nitzschia vitrea* (2.2%), *Fragilaria pulchella*, *Tryblionella littoralis*. Найдены фрагменты океанического южнобореального *Coscinodiscus asteromphalus*. Пресноводный комплекс включает большое количество видов, характерных для слабо заболоченной речной долины: бентосные *Pinnularia lagerstedtii* (12.2%), *P. schoenfelderi* (8.9%), *P. viridis* (7.8%), *Nitzschia palea* (6.7%). Здесь же в значительном количестве встречены *Cosmioneis pusilla* (5.2%), присутствуют планктонные *Aulacoseira italica*, *A. granulata*, *A. alpigena*. В прослое песка встречено 23 морских и солоноватоводных формы (в сумме до 50%, из них 12% — солоноватоводные). Преобладают сублиторальные виды, характерные для бухт и заливов: планктонные *Actinocyclus octonarius* (21.3%), *Paralia sulcata* (4.3%), *Petronia marina* (1.6%), бентосные *Cocconeis scutellum* (1.1%), *Delphineis delicatus* (1.1%),

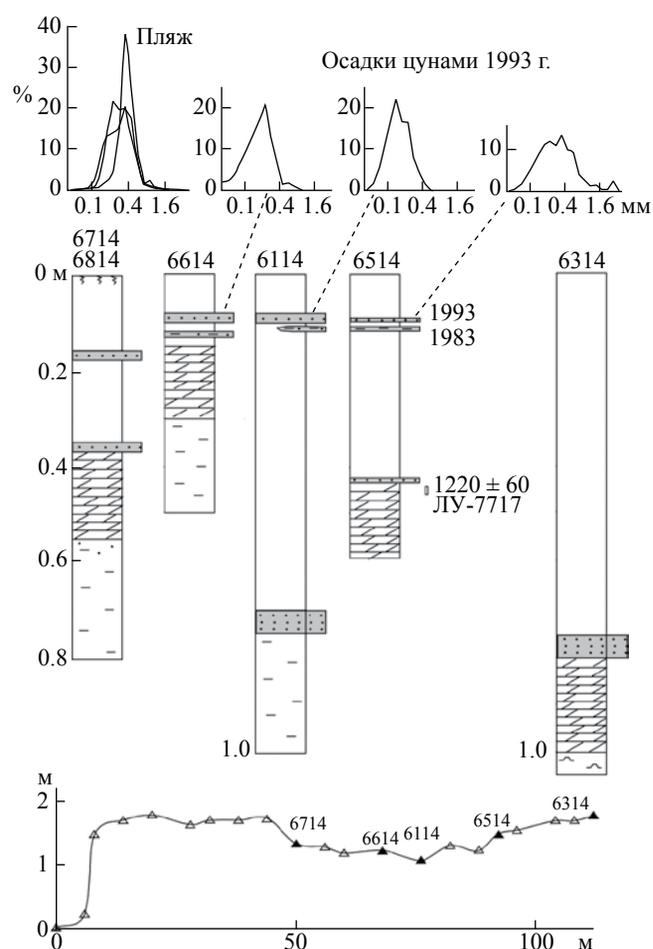


Рис. 4. Разрезы, включающие осадки цунами 1983 и 1993 гг., на побережье б. Милоградовка и их гранулометрическая характеристика.

Nitzschia granulata (1.1%), *Tryblionella marginulata* (1.6%). Здесь также же встречены фрагменты *Coscinodiscus asteromphalus*. Из числа солоноватоводных, характерных для сильно распресненных вод, выделяются *Thalassiosira bramauptrae* (3.7%), *Campylodiscus echeneis* (2.1%). Состав пресноводной флоры характерен для слабо заболоченной речной долины. Доминируют *Cosmioneis pusilla* (6.4%), *Navicula cincta* (5.3%), *Pinnularia eifelana* (3.2%), *Diatoma mesodon* (2.1%), *Epithemia adnata* (1.6%), *Rhopaladia gibberula* (1.6%), *Ulnaria ulna* (1.6%).

Бухта Милоградовка представляет собой открытую бухту, приуроченную к устью крупного водотока — р. Милоградовки. Река впадает в протяженную лагуну, отделенную от бухты косой (длиной 840 м), сформированной потоком наносов, идущем с севера. Протока, соединяющая лагуну с морем, прижата к южному мысу. Осадки цунами 1983 и 1993 гг. найдены в разрезах торфяника болотного массива, расположенного около протоки и сформированного на месте заросшего

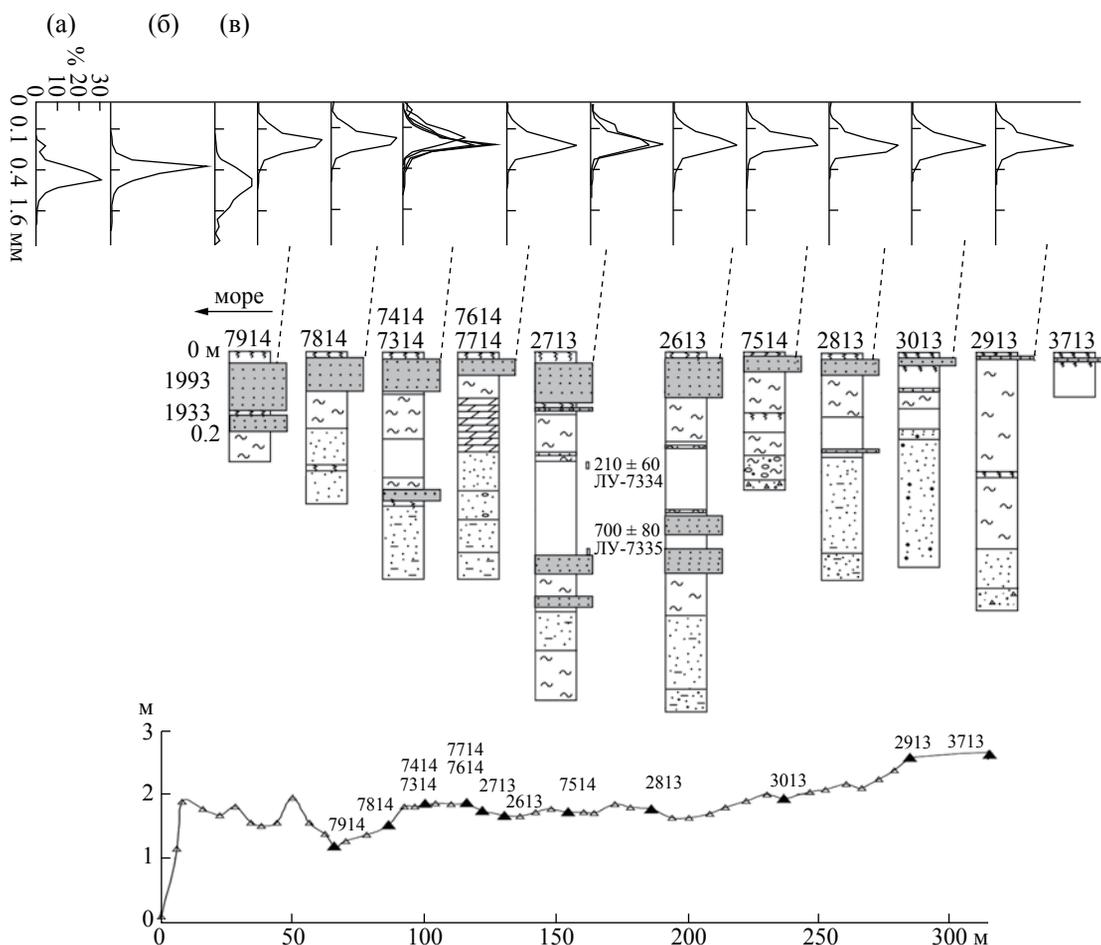


Рис. 5. Разрезы, включающие осадки цунами 1983 и 1993 гг., на побережье б. Валентин и granulometricкие характеристики осадков цунами 1993 г., пляжа (а, б) и штормового вала (в).

озера. Здесь же на поверхности болота обнаружены старые бревна, лежащие двумя полосами в 76 и 112 м от уреза лагуны, явно занесенные с моря. Осадки исторических цунами найдены в кровле торфяников в понижении за штормовым валом и прослеживаются на расстояние до 92 м в глубь суши (рис. 4). Цунами 1983 г. оставило слой зеленовато-серого алевритистого песка и алевритового ила, залегающего линзами и гнездами (мощностью до 1 см). Осадки имеют одномодальную кривую распределения (мода 0.08–0.125 мм), доля алеврита 39.9%. В глубь суши увеличивается доля мелкого алеврита (до 69%). Волна цунами переносила тонкий материал со дна лагуны. Из морских диатомей здесь встречен только сублитторальный бентосный *Cocconeis scutellum*. Состав пресноводной флоры типичен для распресненной лагуны и заболоченной долины. Доминируют планктонные *Aulacoseira granulata* (49.6%), *Aulacosiera alpigena* (16%). Из числа бентосных и обрастаний наиболее значимы *Rhopalodia gibberula* (1.6%), *Navicula pseudosilicula* (1.6%), *Diploneis ovalis* (1.2%), *Encyonema neogratile* (1.2%), *Caloneis tenuis* (1.2%).

Отмечается высокое разнообразие видов родов *Eunotia* и *Pinnularia*, характерных для болот.

Цунами 1993 г., вероятно, имело больший масштаб. Осадки представлены хорошо выраженным слоем песка (мощность до 2 см). Осадки цунами умеренно сортированы и характеризуются широкой модой 0.16–0.4 мм, включают примесь гравия (5.6%), крупнозернистого песка (15.7%) и алеврита (6.3%). Мелкозернистый хорошо сортированный песок, который аккумулировался в понижении рельефа, был перенесен из лагуны, наблюдается утоньшение материала вглубь суши: мода меняется от 0.2–0.25 до 0.125–0.16 мм, содержание алевритовой фракции возрастает до 17.7%. Волны цунами размывали, в основном, пляж и барьерную форму, сложенные преимущественно среднезернистым песком, и захватывали материал из лагуны.

В осадке обнаружено 13 форм морских и солоноватоводных диатомей (3.4%). Большая часть встреченных видов солоноватоводные: планктонный *Thalassiosira bramaputrae*, бентосные

Planothidium hauckianum, *Caloneis amphisbaena* var. *salinarum*, *Fallacia pygmaea*, *Fragilaria pulchella*, *Navicula jarrensis*, *Tabularia fasciculata*, *Nitzschia vitrea*. Из морских встречены *Actinocyclus octonarius*, *Cocconeis scutellum* и фрагменты океанических *Coscinodiscus asteromphalus*, *Coscinodiscus oculus-iridis*. Пресноводные диатомеи представляют собой смесь видов, характерных для речных, озерных вод и болотных обстановок: планктонные *Aulacoseira granulata* (до 19%), *A. alpigena* (до 9.6%), *A. italica* (1.1%), *Tabellaria flocculosa* (8.5%), *T. fenestrata* (до 7.6%), бентосные и обрастания *Caloneis tenuis* (3.5%), *Nitzschia perminuta* (3.2%), *Stauroforma exiguiformis* (18.9%), *Staurosira venter* (8.9%), *S. subsalina* (1.7%), *Cavinula lapidosa* (3.4%), *Decussata placenta* (2%), *Frustulia crassinervia* (2.7%), *F. saxonica* (3.1%), *Nitzschia nana* (3.8%), *Pinnularia eifelana* (8.9%), *P. schoenfelderi* (1.4%), *P. viridis* (3.4%), *P. microstauron*, включая широкий спектр видов родов *Eunotia*.

Бухта Валентин открыта в южном и юго-восточном направлении и делится мысами на две части, аккумулятивный участок берега приурочен к устью р. Валентиновка в южной половине. Здесь расположены порт и рыбокомбинат, где проводились обследования после цунами. В 1983 г. цунами началось с резкого падения уровня моря (не менее 4.5 м), обнажилось около 60 м дна бухты. Наблюдалось три волны, вода прошла на 0.5 км вглубь суши по пойме реки, высота заплеска достигала 3 м, в районе рыбокомбината вода выходила на берег на 50–70 м, в зоне затопления был обнаружен морской мусор, плавник, морская трава, около реки — наносы [3, 11, 13]. Цунами 1993 г. имело больший масштаб, наблюдалось три волны, максимальная высота заплеска составила 4 м, в районе рыбокомбината зона затопления достигала 100 м, затопление береговой низменности, располагающейся по правому борту от устья реки, было не менее 250 м, здесь были уничтожены покосы и огороды [4].

Осадки цунами 1983, 1993 гг. обнаружены в разрезах береговой низменности в южной части бухты в виде двух прослоев желтого мелкозернистого хорошо сортированного песка. Зона осадконакопления во время цунами 1983 г. достигала 122 м, где в понижении рельефа обнаружен тонкий прослой песка (1 см), залегающий пятнами (рис. 5). Максимальная мощность осадков (5 см) отмечена в понижении за штормовым валом (в 70 м от берега), приуроченного к приустьевой лагуне небольшого ручья. Песок хорошо сортирован (σ 0.55), кривые распределения одномодальные (мода 0.125–1.6 мм), примесь алеврита достигает 15.2%. Материал, скорее всего, переносился с подводного берегового склона, поскольку пляж и штормовой вал сложен

средне- и крупнозернистым песком (моды 0.5–0.63, 0.315–0.4 мм). Вынос материала с подводного берегового склона подтверждают и данные диатомового анализа. В осадках встречено 15 видов морских диатомей (до 2.6%) — бентосные *Anaulus maritimus*, *Cocconeis scutellum*, *Cocconeis costata*, *C. scutellum* var. *parva*, *Delphineis surirella*, *Diploneis interrupta*, *Lyrella cryptolyra*, из планктонных встречены *Odontella aurita* и фрагменты *Triceratium* sp., неритические представлены аркто- и северобореальными *Thalassiosira gravida*, *T. kryophila*, *Actinocyclus curvatulus* и океанические диатомеи — южнобореальными *Coscinodiscus asteromphalus*, северобореальными *C. oculus-iridis* и фрагментами *Thalassiosira* sp. Состав пресноводных диатомей, найденных в осадках, свидетельствует о том, что волна цунами прошла через приустьевую лагуну. Встречены бентосные *Stauroforma exiguiformis* (31%), *Achnantheidium minutissimum* (3%), *Diatoma mesodon* (1.0%), *Psammothidium marginulatum* (1.5%), *Rhopalodia gibba* (1.2%) и планктонные *Aulacoseira italica* (16.1%), *Tabellaria flocculosa* (12.9%). Содержание диатомей, характерных для болот, небольшое. Пресноводные диатомеи из цунамигенных песков, найденных в тыловой части зоны затопления, включают бентосные виды, характерные для проточных вод и мелководных небольших озер — *Stauroforma exiguiformis* (до 42%), *Staurosira venter* (до 22%) и временно планктонный *Tabellaria flocculosa* (11%), присутствуют планктонные *Aulacoseira italica*, *A. subarctica*, *A. distans*. Скорее всего, створки этих видов аллохтонные.

Зона осадконакопления во время цунами 1993 г. была более протяженная, осадки имеют плащеобразное залегание и хорошо прослеживаются вглубь суши на расстояние около 300 м. Максимальная мощность (до 11 см) отмечена в понижении, приуроченной к приустьевой лагуне ручья, там же, где наблюдаются наиболее хорошо выраженные осадки цунами 1983 г. При продвижении вглубь суши мощность слоя уменьшается от 8 до 1 см, в понижении рельефа в 122–130 м от уреза, мощность слоя составляет 10 см. Осадки хорошо сортированы (σ 0.45–0.60), имеют одномодальные кривые распределения (мода 0.16–0.2 мм), включают примесь алеврита (до 16.7%). По профилю вглубь суши мода меняется от узкого (0.16–0.2 мм) до более широкого диапазона (0.125–0.25 мм) (рис. 5). Степень сортировки несколько снижается в понижениях рельефа, где осаждался материал при более долгом стоянии воды, на перегибах рельефа материал более сортирован. Отмечены некоторые изменения в структуре наиболее мощного слоя осадка по вертикали. В основании слоя залегают более сортированный материал, в кровле увеличивается примесь мелких фракций, доля алеврита возрастает от 6.6 до

22%, что можно объяснить осаждением материала из стоячей воды. В целом пески цунами 1993 г. также отличаются от песков пляжа и штормового вала — цунами, в основном, переносило материал со дна бухты.

В осадках цунами 1993 г. обнаружено 17 видов морских и солоноватоводных диатомей (до 40%). Доминируют морские сублиторальные бентосные *Delphineis surirella* (19.2%), *Anaulus maritimus* (12.6%), встречены *Triceratium arctica*, *Cocconeis decipiens*, *C. scutellum*, *Gomphonema kamtschatica*, *Nitzschia grunowii*, *Opephora marina*, *Plagiogramma* aff. *vanheurckii*, планктонные *Odontella aurita*, *Paralia sulcata*, солоноватоводные *Diploneis interrupta*, *Fallacia forcipata*, *F. dithmarsica*, *Melosira moniliformis*, *Planolithidium hauckianum* и фрагменты глубоководного *Coscinodiscus* sp. Состав пресноводных диатомей в осадках цунами 1993 и 1983 гг. имеет сходство, преобладают виды, характерные для речных и озерных вод: *Stauroforma exiguiformis* (35.6%), *Staurosira venter* (4.8%), *Achnanthidium minutissimum* (4.8%), *Pseudostaurosira brevistriata* (2.8%), временно планктонные *Tabellaria flocculosa* (9.9%), *T. fenestrata* (4.2%).

Бухта Кит относится к открытому типу, разделена м. Круглый на две части — северную и южную. Здесь также более интенсивно проявилось цунами 1993 г., высота заплеска достигала 4.34 м, дальность — 85 м [4]. Высота волны цунами 1983 г. не превышала 2 м, накат максимальной волны достигал 15 м [3]. В северной части бухты осадки современных цунами не найдено, хотя болотный массив в районе пос. Глазковка полностью затопливался. Вероятно, волна распротранялась по долине р. Осиновая, поскольку древний штормовой вал, за которым расположено болото, имеет высоту около 5 м.

Осадки современных цунами обнаружены в южной части бухты. Здесь в урочище Лагунная падь в кровле торфяника, расположенного за штормовым валом (высотой 2 м), найдены прослой средне- мелкозернистых умеренно сортированных песков (мощностью до 9 см). Один из прослоев песков, который прослеживается вглубь суши на 220 м, является песком цунами 1993 г. Слой среднезернистого песка встречен с правого борта ручья на пойме под дерном в 230 м от уреза. Осадки включают морские *Cocconeis scutellum* var. *parva*, *Tryblionella plana* и солоноватоводные диатомей (*Fragilaria pulchella*, *Nitzschia sigma*, *Melosira lineata*). Волна затопливала всю низину вокруг приустьевой лагуны и старицы.

Осадки цунами 1993 г. были также найдены в кровле торфяника болотного массива, расположенного около м. Кит. Поиски следов цунами проводились по двум трансектам в районе

небольшого озера, расположенного за штормовым валом (высотой 3 м), и на болоте, протягивающемся вдоль долины низкопорядкового водотока за приустьевой лагуной. В районе озера найден прослой светло-серого мелкозернистого песка, который прослеживается до 150 м вглубь суши, мощность слоя уменьшается от 8 до 1 см. Наибольшая мощность осадка наблюдается в понижении около озера. Песок хорошо и умеренно сортирован (σ 0.53–0.84), содержит примесь алеврита (до 12.8%) и гравия (до 4.3%). Кривые распределения одномодальные (мода 0.125–0.16 мм). По мере продвижения вглубь суши гравий исчезает, количество алеврита уменьшается, сортировка материала улучшается. По структурным характеристикам цунамигенный песок сильно отличается от осадков пляжа и штормового вала, которые сложены разнозернистым песком с гравием, на урезе мелкозернистый песок имеет моду 0.16–0.2 мм (рис. 2). Основным источником материала, который захватывало цунами, были донные осадки бухты, где в верхней части подводного склона до глубин 13–15 м расположено поле мелкозернистых песков [6]. С пляжа и штормового вала поставка была незначительной. В цунамигенных песках встречено 20 видов морских и солоноватоводных диатомей (46%), доминируют сублиторальные бентосные *Delphineis surirella* (20.7%), *Anaulus maritimus* (4.1%), *Cocconeis scutellum* var. *parva* (3%), планктонный *Odontella aurita* (4.1%), солоноватоводные *Fallacia pygmaea* (2.6%), *Melosira moniliformis* (3%), присутствуют фрагменты неритического *Thalassiosira gravida* и океанических *Coscinodiscus oculus-iridis*, *C. asteromphalus*. Наличие планктонных *Aulacoseira granulata* (5.9%), *A. crenulata* (1.2%), *Tabellaria flocculosa* (5.9%) и обрастателей *Staurosirella pinnata*, *Staurosira subsalina* среди пресноводных диатомей наряду с видами, типичным для болотных обстановок, подтверждает, что волна цунами прошла через озеро.

В долине низкопорядкового водотока за лагуной в разрезе торфяника прослой мелкозернистого песка цунами 1993 г. прослеживается на расстояние более 200 м и залегает на высоте до 4 м н.у.м. Максимальная мощность (4 см) прослоя отмечена в 104 м от уреза на участке перед небольшим уступом. По мере продвижения вглубь суши мощность осадка уменьшается до 1 см, материал становится тоньше — увеличивается примесь алеврита (до 12.4%), мода смещается от 0.125–0.16 мм до 0.1–0.125 мм. На участках, где зафиксирована максимальная мощность осадка, одномодальные гранулометрические кривые распределения осложнены небольшим пиком фракции 0.315–0.4 мм. По-видимому, в эту зону шла более активная поставка материала со штормового вала, осадки которого характеризуются

бимодальной кривой с основной модой в этой области. Основным источником материала, переносимого цунами, также была верхняя часть подводного берегового склона, что подтверждают и данные диатомового анализа. В цунамигенном песке встречено 19 видов морских и солоноватоводных диатомей (до 7.4%). Встречены сублиторальные планктонные *Actinocyclus octonarius*, *Odontella aurita*, бентосные *Delphineis surirella*, *Anaulus maritimus*, *Amphora* aff. *costata*, *Cocconeis scutellum*, *C. decipiens*, *Diploneis papula*, *Tryblionella plana*, *Fallacia dithmarsica*, *Eunotogramma marinum*, из глубоководных видов отмечены фрагменты видов рода *Coscinodiscus*. Присутствие солоноватоводных *Campylodiscus echeensis*, *Fallacia forcipata*, *Tryblionella acuminata*, *Fragilaria pulchella*, *Mastogloia elliptica*, *Melosira moniliformis*, *Diploneis smithii* var. *pumila* свидетельствует о поступлении материала из приустьевой лагуны.

Бухта Проселочная вдается в сушу незначительно, имеет широкий пляж (до 170 м), прислоненный к древнему штормовому валу (высотой 3.5 м), поросшему лесом. По словам работников Лазовского заповедника, цунами 1993 г. достигало кромки леса. Высота заплеска была не менее 3 м, дальность затопления — 220 м, по долине реки вода заходила на 380 м. Зона осадконакопления была локализована на участке впадения реки в приустьевую лагуну перед уступом террасы. Здесь, в кровле разрезов пойменных отложений, обнаружено два прослоя среднезернистых песков. Осадок цунами 1983 г. более мощный (до 9 см), сложен хорошо сортированным материалом (σ 0.51–0.53), кривые распределения одномодальные (мода 0.315–0.4 мм), асимметричные (Ка до –0.2), примесь гравия (3.2%), мелкозернистого песка (до 4.9%) и алеврита (1.2%) очень незначительная. По гранулометрическим характеристикам цунамигенный песок идентичен осадкам пляжа, который был основным источником материала (рис. 2). Встречено 6 видов морских диатомей (20.6%), обычных для мелководных бухт. Доминируют *Delphineis surirella* (6.8%), *D. delicatus* (2.9%), присутствуют *Amphora wisei*, *Diploneis papula*, солоноватоводный *Melosira lineata* (5.9%) и *Fallacia cryptolyra* переотложены из приустьевой лагуны.

Песок, оставленный цунами 1993 г., имеет меньшую мощность (до 1.5 см). На гранулометрических кривых распределения хорошо выражена мода 0.315–0.4 мм, проявляется небольшая мода 0.5–0.63 мм, кривые симметричные. По сравнению с осадками цунами 1983 г. материал менее сортирован (σ 0.88–0.94), присутствует примесь гравия (до 6.7%), более высоко содержание мелкопесчаных фракций (до 24.2%) и алеврита (3.6%) (рис. 2). Цунами, в основном, захватывало материала с пляжа, другим источником был

штормовой вал, сложенный крупнозернистым песком (мода 0.5–0.63 мм) с гравием (19.2%), мелкозернистый песок и алеврит были перенесены с подводного берегового склона и из приустьевой лагуны. В осадке обнаружено 12 видов морских и солоноватоводных диатомей (8.7%). Наиболее часто встречаются морские *Tryblionella plana*, *T. coarctata* и солоноватоводные *Melosira lineata*, *M. moniliformis*, *M. nummuloides*, *Tabularia tabulata*, *T. fasciculata*, *Fallacia forcipata*.

Бухта Киевка приурочена к долине крупного водотока VI порядка и открыта в южном направлении. После цунами 1983 г. обследования не проводилось. Во время цунами 1993 г. в юго-восточной части б. Киевка высота заплеска была 1.58 м, дальность проникновения воды — 31 м [4]. Поиск осадков цунами проводился в этой же части бухты. Здесь, за штормовым валом (высота 1.2 м), в разрезе слабо заболоченной низкой морской террасы в 70–80 м от уреза под дерном обнаружен прослой (мощность 2 см) желтого мелкозернистого песка, максимальная мощность (до 11 см) зафиксирована в понижении рельефа. Вероятно, этот осадок оставило цунами 1983 г., которое ярче проявилось на участке побережья в районе б. Соколовская, где цунами 1983 г. было более интенсивным — уровень воды повышался до 3 м [3, 4, 11, 13].

Цунамигенный песок хорошо сортирован, гранулометрические кривые распределения одномодальные (мода 0.2–0.25 мм), симметричные и сильно отличаются от структурных характеристик осадков пляжа, сложенного разнозернистым плохо сортированным песком и гравием (до 49.5%) (рис. 2). Кривые распределения пляжевых песков полимодальные (моды 0.2–0.25, 0.315–0.4, 1.25–1.6, 3–4 мм). Содержание гравия в цунамигенном осадке не превышает 0.6%. Основным источником материала, перенесенного волной цунами, были осадки подводного берегового склона, с пляжа поставка была незначительна. В цунамигенных песках обнаружены морские бентосные *Cocconeis decipiens*, *Delphineis delicatus*, *D. surirella*, *Grammatophora marina* и солоноватоводный *Fallacia pygmaea* (в сумме 3.8%) Пресноводные диатомей характерны для слабо заболоченной долины, доминируют виды, способные обитать при незначительном увлажнении (*Hantzschia amphioxys* — 12.6%, *Pinnularia obscura* — 6.3%, *P. lagerstedtii* — 2.5%), а также обычные для речных вод (*Nitzschia perminuta* — 7.5%, *P. brebissonii* — 3.8%, *Craticula cuspidata* — 3.8%, *Gomphonema parvulum* — 3.8%, *Eunotia bilunaris* — 2.5%, *Frustulia vulgaris* — 2.5% и др.).

Бухта Триозерье также относится к открытому типу, характерной чертой является наличие озер

на побережье и широкое развитие аккумулятивных песчаных форм. Побережье бухты сильно подвержено антропогенной переработке, здесь построено несколько турбаз и приезжает большое количество отдыхающих. В 1983 г. волны цунами перехлестнули 3–4-метровую террасу, проникли на 150–200 м в глубь суши и в южное озеро, где была почти полностью уничтожена водная растительность. Высота заплеска была около 3 м. Во время цунами 1993 г. морская вода затопила участок северного озера, уровень которого поднялся на 25 см. Зона затопления была более 220 м. Наибольшая эрозия происходила в северо-восточной части бухты, где в результате двух цунами была почти полностью размыта 2–3-метровая морская терраса [7].

Слой песка (мощностью до 10 см), обнаруженный на восточном берегу южного озера под дерном, скорее всего был образован во время цунами 1983 г. В отличие от пляжевого, цунамигенный песок менее сортирован, включает довольно существенную примесь крупнозернистого песка (до 14.5%) и гравия (до 12.8%). В основании слоя материал более грубый. Гранулометрические кривые распределения одномодальные, мода 0.2–0.25 мм (в основании слоя 0.25–0.315 мм) лежит в тех же пределах, что и песка пляжа и морской террасы (рис. 2), которые и являются главным источником материала, перенесенного волной цунами. Часть грубого материала, вероятно, поступала за счет эрозии склоновых отложений. В цунамигенном песке обнаружены морские диатомеи, характерные для заливов и бухт: сублиторальные планктонный *Actinocyclus octonarius*, бентосный *Cocconeis scutellum*, пелагические *Coscinodiscus* sp., *Stephanopyxis* sp. и солоноватоводные *Navicula jarrensis*, *Campylodiscus echeensis*, *Nitzschia sigma*. Среди пресноводных, наряду с видами, обитающими в слабо увлажненных условиях, встречены планктонные *Aulacoseira granulata*, *Diatoma anceps*, *Stauriforma exiguiformis* и др., которые могли быть занесены волной цунами из озера, вода которого содержит только пресноводные диатомеи.

Залив Восток. На этом участке побережья цунами 1983, 1993 гг. были менее интенсивными, чем на побережье Восточного Приморья [3, 4, 11, 13]. Высота заплеска цунами 1983 г. в районе б. Гайдамак составляла до 1.8 м [11, 13]. Пески морского происхождения, которые могли быть перенесены цунами 1983 и 1993 гг., обнаружены на берегу солоноватого оз. Лебединое (восточное побережье зал. Восток) в районе протоки, через которую волна цунами проникала в озеро. Мощность осадка цунами 1983 г. составляет 1 см, цунами 1993 г. — 4 см, их разделяет слой суглинка, который, скорее всего, образовался во время сильного наводнения,

вызванного тайфуном Джуди в 1989 г., слой суглинка хорошо выражен в кровле торфяников по всему побережью озера. Осадок цунами 1983 г. представлен мелкозернистым хорошо сортированным песком (мода 0.2–0.25 мм), более тонким, чем песок, слагающий барьерную форму (рис. 2). Скорее всего, переотложение материала шло с пляжа, со дна бухты и дна протоки. Об интенсивном поступлении материала с подводного берегового склона бухты свидетельствует и присутствие морских диатомей, не характерных для озерной воды. В песке встречено 23 морские и солоноватоводно-морские видов (48.4%), доминируют сублиторальные бентосные *Petronella marina* (11.3%), *Nitzschia granulata* (4.7%), *Opephora olsenii* (9.9%), *Catenula adhaerens* (6.6%), планктонные представлены *Actinocyclus octonarius*, *Odontella aurita*. Среди солоноватоводных диатомей наиболее высоким обилием отличаются *Planolithidium hauckianum* (5.6%) и *Halamphora acutiuscula* (1.9%). По-видимому, цунами вызвало сильные хаотичные течения в протоке, создаваемые проходящими и отходящими волнами, которые были отмечены на других участках побережья [11].

Цунами 1993 г. на побережье в районе оз. Лебединое, вероятно, было менее интенсивным. Структурные характеристики осадка аналогичны среднезернистым хорошо сортированным пескам, слагающим тыловую часть пляжа и барьерную форму, сложенную песком (мода 0.315–0.4 мм), которые размывались во время цунами. В прослойке песка найдено 15 разновидностей морских и солоноватоводных диатомей (20.7%). Наиболее часто встречаются *Rhopalodia musculus*, *R. musculus* var. *mirabilis*, *Nitzschia vitrea*, *Halamphora acutiuscula*, *Fragilaria pulchella*, *Cocconeis scutellum*. Ближе к протоке в осадке встречены также солоноватоводные *Mastogloia smithii*, *Diploneis smithii* var. *pumila*, *Planolithidium hauckianum*, *Tabularia tabulata*. Состав морских форм в песке отличается от диатомового комплекса в озерной воде, в осадке не встречен бентосный солоноватоводный *Mastogloia pumila*, который является доминантом в воде.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Цунами 1983, 1993 гг., несмотря на небольшую интенсивность проявления по сравнению с транскеаническими или сильными локальными событиями, в ряде бухт Приморья оставили осадки в виде покрова или отдельных пятен, которые удалось найти в кровле разрезов береговых низменностей спустя 20–30 лет после событий. Находки этих осадков на побережье, удаленном от эпицентров землетрясений, вызвавших цунами, являются уникальными. На Западном Хоккайдо осадки цунами 1993 г. были обнаружены локально

на п-ве Ошима, расположенном напротив о. Окусири — около г. Тайсей [20, 21], где максимальная высота заплесков волн цунами была 6.8 и 8.6 м [22], и около г. Еношима, где заплеск волн цунами был 3.7 м [21].

В Приморье осадки цунами 1983, 1993 гг. найдены в бухтах, где величина заплеска волн, как правило, превышала 3 м. Наибольшая сохранность осадков наблюдается в бухтах, приуроченных к низкопорядковым водотокам. В бухтах, в которые впадают крупные реки, осадочные покровы сохраняются хуже и, скорее всего, были размывы во время наводнений. Так, в бухтах Опричник, Лидовка, Рудная Пристань, где наблюдались высокие заплески цунами, в ходе наших исследований осадки не были найдены.

Обычно в разрезах встречается один прослой песков, отвечающий более сильному цунами, проявившемуся в конкретном месте. В редких случаях на побережье удалось найти осадки цунами и 1983, и 1993 гг. (бухты Милоградовка, Валентин, Проселочная, оз. Лебединое в зал. Восток).

Поскольку высота и дальность заплеска цунами были небольшими, осадки локализованы в узкой зоне, ширина которой редко превышает 100 м. Максимальная протяженность покрова осадков вглубь суши 300 м зафиксирована на побережье бух. Валентин. Наибольшие мощности осадков наблюдаются в бухтах, где много песчаных наносов в береговой зоне. Обычно такие участки приурочены к крупным водотокам или расположены на побережье, где в области сноса распространены граниты (бухты Валентин, Кит, Триозерье), поскольку при разрушении кор выветривания на этих породах образуется большое количество песчано-гравийного материала. Максимальная мощность осадков цунами 1983 г. отмечена на побережье б. Триозерье, цунами 1993 г. — б. Валентин. Мощность слоя цунамигенных осадков увеличивается в локальных понижениях рельефа. В целом, толщина слоя осадков цунами 1993 г. значительно меньше, чем осадков этого же цунами на побережье Западного Хоккайдо вблизи эпицентра землетрясения и цунами, где мощность достигала 28 см [20]. Причем на пологих берегах в районе г. Тайсей слой цунамигенных песков не превышал 3 см, а на участках берега, где расположены уплощенные поверхности, занятые рисовыми полями, в районе г. Еношима, мощность цунамигенных песков достигала 15 см, покровы осадков прослеживались на расстояние до 100 м [21]. На побережье Приморья прослеживается те же закономерности, установленные для других районов [10, 18], мощность осадков уменьшается в глубь суши и материал становится более тонким.

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 [7]. Наиболее активная эрозия происходила там, где был сильный обратный поток. 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. В отличие от участков побережья о. Хоккайдо, близких к эпицентру [20, 21], осадков, сформированных обратным потоком, на побережье Приморья не было обнаружено.

Данные по структурному составу цунамигенных осадков и составу диатомовых водорослей показали, что волны цунами переносили материал не только с пляжей и древних штормовых валов и террас, но и с подводного берегового склона, а также захватывали материал из приустьевых лагун и береговых озер, которые находились в зоне затопления. Осадки цунами, как правило, хорошо сортированы и обычно степень сортировки лучше, чем у песков древних штормовых валов, и несколько хуже, чем у пляжевых песков. В отличие от песков пляжа и штормовых валов, цунамигенные осадки, как правило, содержат примесь более тонкого материала (мелкозернистого песка и алеврита). В отдельных бухтах, где основным источником материала был подводный береговой склон, состав цунамигенных осадков сильно отличается от песков пляжа и штормовых валов (бухты Лангоу, Кит, Валентин, Киевка). В других случаях состав цунамигенных песков почти идентичен пляжу, например, в б. Проселочная, где развит широкий и протяженный пляж, который был основным источником материала. На берегах барьерных озер даже при небольших величинах заплесков цунами были образованы осадки, имеющие локальное распространение и залегающие небольшими пятнами на заболоченных берегах около протока, где проходила активная эрозия сильными течениями, вызванными проходящими и отходящими волнами цунами.

Среди морских диатомей, в основном, встречаются сублиторальные бентосные и планктонные виды, что свидетельствует о том, что материал поступал с глубин не более 15 м. Почти во всех точках в осадках в незначительных количествах встречаются и глубоководные виды диатомей. Большая часть створок морских диатомей целая, но встречаются и фрагменты, что свидетельствует о высокой турбулентности потока. Почти во всех бухтах среди пресноводных диатомей в цунамигенных осадках встречены виды, имеющие экологическую принадлежность, не соответствующую

биотопу на участке аккумуляции. Это связано с тем, что волна цунами проходила через приустьевые лагуны или лагунные озера, захватывала и переносила воду и донные осадки.

Хотя каждое цунами представляло собой серию волн [3, 4, 11], только в одном случае — на побережье б. Моряк-Рыболов, в строении осадков фиксируется прохождение двух волн, т.е. строение осадочных покровов менее сложное, чем на побережье, расположенном на небольшом расстоянии от эпицентра [20]. В отдельных случаях в осадках наблюдается градиционная слоистость, что отражает осаждение материала в зоне затопления из стоячей воды.

Полученный материал позволил выделить следующие особенности осадконакопления во время прохождения последних крупных исторических цунами на побережье Приморья: 1. Осадки, как правило, встречаются в бухтах, где величина заплеска цунами превышала 3 м; 2. Осадки хорошо сохранились в верхней части разрезов береговых низменностей бухт, приуроченных к низкопорядковым водотокам; 3. Хорошо выраженные покровы осадков простираются до 300 м вглубь суши, в некоторых случаях осадки представлены небольшими пятнами или залегают гнездами; 4. В большинстве бухт основным источником материала был подводный береговой склон; на берегах, имеющих широкие песчаные пляжи, осадок образовался даже при небольших заплесках волн за счет эрозии пляжа; 5. Обнаружены разрезы, подтверждающие прохождение двух волн цунами во время одного события.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ (гранты № 11-05-00497, № 14-05-10047, № 15-05-00179) и ДВО № 15-1-1-048э.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганзей Л.А., Разжигаяева Н.Г., Нишимура Ю. и др. Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеанская геология. 2015. № 1. С. 79–95.
2. 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.
3. 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.
4. 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. 29–44.
5. Разжигаяева Н.Г., Ганзей Л.А., Нишимура Ю. и др. Хронология цунами, оставивших следы в разрезах береговых низменностей Восточного Приморья // Докл. РАН. 2014. Т. 459. № 5. С. 635–638.
6. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1972. 309 с.
7. Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т. 8. С. 7–28.
8. Гусьяков В.К., Иващенко А.И. Сейсмологические условия возникновения Окуширского землетрясения и цунами 12 июля 1993 года // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т. 8. С. 45–54.
9. Игнатов Е.И., Лохин М.Ю., Никифоров А.В., Фроль В.В. Геоморфологические проблемы цунами-опасности (на примере Японского моря). Смоленск: Маджента, 2008. 128 с.
10. Короткий А.М., Куликова В.В. Воздействие цунами на прибрежную зону Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 6. С. 34–47.
11. Кофф Г.Л. Риски цунами на морских побережьях (на примере южной и восточной частей Приморского края и побережья Хабаровского края). Владивосток: Дальнаука, 2010. 80 с.
12. 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.
13. Пинегина Т.К., Разжигаяева Н.Г. Исследования палеоцунами на дальневосточном побережье России // Мировой океан. Т. 1. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. М.: Научный мир, 2013. С. 488–498.
14. Полякова А.М. Цунами в Приморье 26 мая 1983 года и его последствия. Владивосток: ТОИ ДВНЦ СССР, 1988. 40 с.
15. Полякова А.М. Проявление цунами на побережье Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 4. С. 73–77.
16. Полякова А.М. Опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в северной части Тихого океана и цунами в побережья Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2012. 182 с.
17. Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В. и др. Сеймотектонические условия возникновения очагов цунами в северной части Японского моря и Окуширское цунамигенное землетрясение 12 июля 1993 года // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т. 8. С. 29–44.

17. *Blott S.J., Pye K.* GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated deposits // *Earth Surface and Landforms*. 2001. V. 26. P. 1237–1248.
18. *Dawson A.G., Shi S.* Tsunami deposits // *Pure and Applied Geophysics*. 2000. V. 157. P. 875–897.
19. *Lutsenko T.N., Chernova E.N., Lysenko E.V., Ryzhakov D.S.* Organic Matter in the Small Lakes of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve // *Achievements in the Life Sciences*. 2015. V. 9. P. 32–36.
20. *Nanayama F., Shigeno K., Satake K. et al.* Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-nansei-oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei, southwestern Hokkaido, northern Japan // *Sedimentary Geology*. 2000. V. 135. P. 255–264.
21. *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. V. 144. P. 720–733.
22. *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. V. 7. P. 110–122.

Deposits of Tsunami 1983 and 1993 Years in the Primorye Coast

**L.A. Ganzey, N.G. Razjigaeva, Yu. Nishimura, T.A. Grebennikova, A.O. Gorbunov,
V.M. Kaistrenko, Yu.A. Naumov, I.I. Lebedev**

On the Eastern coast of Primorye deposits of two strongest tsunamis of the XX century were found, which had their epicenters in the Sea of Japan to the west from Hokkaido coast. The distribution and preservation of sediments in the bays of different geomorphological structure were analyzed. The most well sedimentary shifts are expressed in the upper part of the sections of coastal lowlands in the bays, where the magnitude of the waves were more than 3 m, the best preservation of sediments observed in the bays dedicated to little streams. The structural composition changes of tsunamigenic deposits with distance from the shoreline were analyzed identified the sources of material. Tsunami waves were transferred sand not only from the beaches, ancient storm ridges and terraces, but also from the underwater coastal slope, and took material from estuarine lagoons and coastal lakes that were in the flood zone. Deposits include marine diatoms, which are dominated by sublittoral benthic and planktonic species, which suggests that the material came from a depth lesser than 15 meters. There are meet deep-sea species of diatoms and their fragments. Among the freshwater diatoms there are species with different ecological identity, indicating erosion and redeposition of material from various sources.