

ОСАДКИ ИСТОРИЧЕСКИХ И ПАЛЕОЦУНАМИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ВОСТОЧНОГО  
ПРИМОРЬЯ

Л.А. Ганзей<sup>1</sup>, Н.Г. Разжигаева<sup>1</sup>, Ю. Нишимура<sup>2</sup>, Т.А. Гребенникова<sup>1</sup>, В.М. Кайстренко<sup>3</sup>,  
А.О. Горбунов<sup>3</sup>, Х.А. Арсланов<sup>4</sup>, С.Б. Чернов<sup>4</sup>, Ю.А. Наумов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041;  
e-mail: lganzey@tig.dvo.ru

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии, университет Хоккайдо, г. Саппоро, Япония, 060-0810

<sup>3</sup>ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1а, г. Южно-Сахалинск, 693022

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, В.О., 10 линия 33, г. Санкт-Петербург, 199178

<sup>5</sup>Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, ул. Озерная 2, г. Находка, 692902

Поступила в редакцию 14 января 2014 г.

На побережье Восточного Приморья впервые идентифицированы осадки цунами от землетрясений, очаги которых находились на дне Японского моря. Представлены данные по конкретным участкам побережья от бух. Пластун до бух. Рудная, зал. Ольга и от бух. Валентин до бух. Проселочная. Исторические и позднеголоценовые палеоцунами, следы которых обнаружены в разрезах, были, по-видимому, более масштабными событиями, чем известные цунами XX века. Проанализирован гранулометрический состав цунамигенных осадков, установлены их сходство и различие с другими прибрежно-морскими фациями и определены источники поступления материала. Определены возраст событий, высота заплесков волн и дальность затопления на участках побережья с разным геоморфологическим строением. Полученные материалы могут быть первым шагом для составления геологической летописи цунами для северо-западной части Японского моря.

**Ключевые слова:** исторические и палеоцунами, осадки цунами, голоцен, Восточное Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

Побережье Японского моря относится к одному из районов тихоокеанской окраины России, которое подвергается воздействию сильных цунами [14]. Эпицентры цунамигенных землетрясений в основном расположены на шельфе и подводном склоне Японских островов [12]. В континентальной части этого региона большинство землетрясений являются глубокофокусными, но за время наблюдений (1888–2008 гг.) отмечались и несколько сильных мелкофокусных землетрясений с магнитудой 5–7 [8].

Разрушительные цунами происходят редко, и недостаточное количество исторических наблюдений не позволяет получить надежные данные по повторяемости цунами, выявить их интенсивность, особенности проявления в разных бухтах и воздействие на развитие берегов. Проявление известных цунами XX века на побережье Восточного Приморья имело меньшие масштабы, чем катастрофические цунами на

побережье Японии и в Курило-Камчатском регионе. Единственным способом получения данных о сильнейших цунами для длительных промежутков времени являются геологические методы выявления следов палеоцунами. Изучение осадков исторических и палеоцунами позволяет оценить масштабы и частоту проявления этих событий в прошлом, что является необходимым для оценки цунамиопасности территории.

В XX веке у побережья Приморья произошло 3 крупных цунами: в 1940, 1983, 1993 гг. А.М. Полякова [9, 11] также упоминает о цунами, произошедшем в 1907 г. О первых двух событиях информации очень мало, после цунами 1983, 1993 гг. были проведены обследования берегов, во время которых измерялись высота заплеска, дальность проникновения волн и были собраны сведения очевидцев [3, 9–11]. Другими направлениями работ по изучению цунами на побережье Приморья были оценка ущерба, нанесенного природным и хозяйственным объектам, классифика-

ция берегов по воздействию волн цунами и их районирование по степени цунамиопасности [4, 6, 7]. Исследование осадконакопления осталось вне поля зрения этих работ.

В Курило-Камчатском регионе работы по изучению осадков цунами ведутся с 1993 г. [13, 18, 25]. На побережье Японского моря осадки исторических цунами и палеоцунами были обнаружены на о. Хоккайдо [22–24] и Хонсю [20]. В последние годы изучение осадков палеоцунами также начато на западном побережье Сахалина [2]. Целью данной статьи является идентификация осадков цунами в разрезах береговых низменностей Восточного Приморья, выявление специфических черт осадконакопления при прохождении волн цунами, палеореконструкция событий – выявление их масштаба и частоты в разных бухтах.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу статьи положены материалы экспедиций 2010–2013 гг. по побережью Восточного Приморья: бух. Пластун, Озера, Китовое ребро, зал. Опричник, бух. Лангоу I, Лидовка, Рудная Пристань, зал. Ольга, бух. Валентин, Кит, Заря, Проселочная (рис. 1). Поиск осадков цунами проводился с помощью методических приемов, используемых при аналогичных исследованиях в Курило-Камчатском регионе [13, 18, 19, 25], на Японских островах [21–23] и в других районах.

Основными объектами изучения были озерно-болотные отложения береговых низменностей, расположенные за пределами зоны влияния сильных штормов. Разрезы изучались по профилям, заложенным от линии уреза вглубь суши, гипсометрическое положение разрезов определялось с помощью нивелирования. Описано и опробовано 55 разрезов – шурфы и скважины ручного бурения. Во всех разрезах опробовались прослой песка для последующей идентификации их происхождения, на ключевых точках отбирались также вмещающие отложения для определения палеоэкологической обстановки во время прохождения цунами. Были опробованы пляж и штормовые валы как возможные источники материала, переносимого цунами, и для определения критериев отличия цунамигенных осадков от других прибрежно-морских фаций.

Изучение осадков включало гранулометрический и диатомовый анализы. Гранулометрический анализ выполнен на ситах с шагом  $\gamma$ , гранулометрические параметры рассчитывались методом моментов (в шкале  $\phi$ ) с помощью пакета программ GRADISTAT 4.0 [16]. Определение возраста палеоцунами основано на данных радиоуглеродного датирования вмещающих отложений, выполненного в СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Перевод радиоуглеродных дат в кален-

дарные (табл.) проводился с помощью программы «CalPal 2007» Кельнского университета ([www.calpal.de](http://www.calpal.de)). Для возрастной привязки использовались также данные тефростратиграфии. Микрозондовый анализ вулканического стекла выполнен в ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

На побережье изученных бухт осадки цунами представлены тонкими прослоями песка, имеющими покровное залегание и протягивающимися вглубь суши за пределы действия штормовых волн. Штормовые нагоны в этой части побережья незначительны [26].

Слои имеют четкие границы, их мощность, как правило, несколько см, в отдельных случаях достигает 15 см (некоторые линзы – до 23 см) и уменьшается вглубь суши (рис. 2). По мере удаления от береговой линии уменьшается и размерность материала. Паводковые отложения, как правило, представлены суглинками или заиленными умеренно и плохо сортированными песками, не выдержаны по простиранию и включают только пресноводные диатомеи с обилием реофилов – видов, характерных для текучих вод. Ниже приводятся данные по конкретным изученным бухтам.

*Бухта Пластун* – наиболее северная точка исследований. Цунами 1993 г. проявилось здесь в виде быстрых приливов и отливов, плавное колебание уровня было не более 1.3 м [3]. Обследование торфяников проводилось в вершине бухты, где заболочены низкая морская терраса и приустьевая часть руч. Осинового. Мощность торфяников на расстоянии 105–130 м от береговой линии не превышает 1 м. Прослой песка не обнаружены.

*Бухта Озера (Духовские озера)*. На побережье бухты расположено несколько озер лагунного типа, отчлененных от моря штормовыми валами и пересыпями. Берега озер сильно заболочены. Хорошо выраженные прослой песков (мощностью до 15 см) были обнаружены в торфянике, расположенном между штормовым валом (высота до 3.7 м) и небольшим озером, на побережье около оз. Мраморное (рис. 2 а, 3). Всего обнаружено до четырех прослоев песка. Отдельные прослой имеют хорошо выраженную градиционную стратификацию, что свидетельствует об осаждении материала из суспензии. Два прослоя прослеживаются на расстояние до 100 м от уреза. Цунамигенное происхождение осадков подтверждают данные диатомового анализа. Из морских диатомей встречены сублиторальные бентосные *Cocconeis scutellum*, *C. costata*, *Delphineis surirella*, *Lyrella lyra* и южнобореальный планктонный *Actinocyclus octonarius*, об-

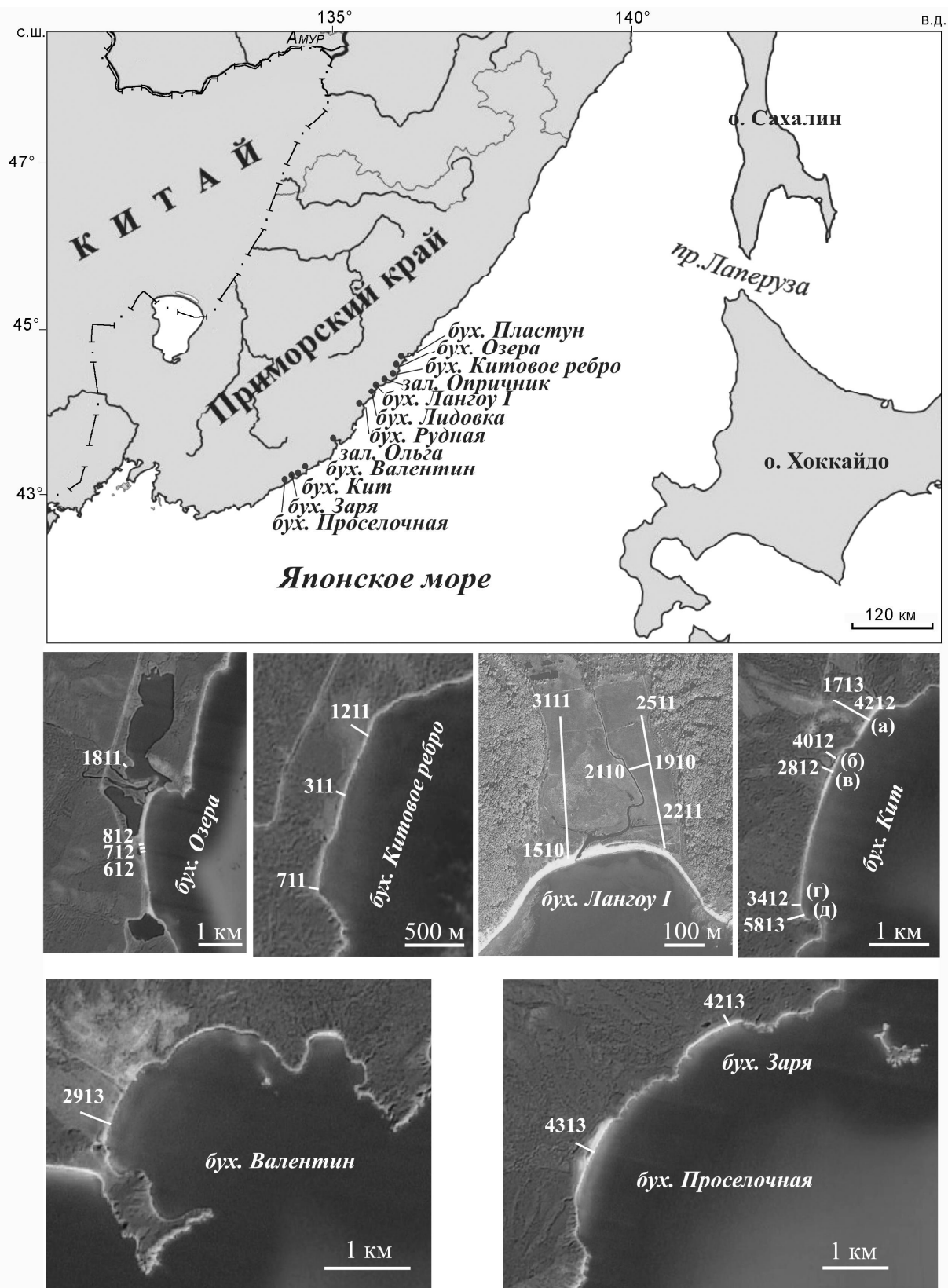


Рис. 1. Схема района работ.

Таблица 1. Список радиоуглеродных дат из разрезов голоценовых отложений, включающих осадки цунами, Восточное Приморье.

№ п/п	№ образца	Интервал, м	Материал	<sup>14</sup> C дата	Калиброванный возраст	№ лабораторный
Духовские озера (о. Мраморное)						
1	1a/812	0.14–0.16	торф	150 ± 90	≤ 200	ЛУ-7101
2	2/812	0.28–0.30	торф	580 ± 80	600 ± 50	ЛУ-7104
Бухта Китовое ребро						
3	1/711	0.21–0.22	торф	350 ± 60	420 ± 70	ЛУ-6891
4	1/311	0.23–0.25	торф	820 ± 40	750 ± 40	ЛУ-6890
Зал. Опричник						
5	0/2011	0.22–0.24	торф	610 ± 60	610 ± 50	ЛУ-6894
6	1/2011	0.25–0.28	торф	860 ± 50	810 ± 70	ЛУ-6889
7	2/2011	0.40–0.42	торф	1610 ± 90	1530 ± 100	ЛУ-6958
Бухта Лангоу I						
8	1/1510	0.09–0.10	торф	$\delta^{14}\text{C} = 1.99 \pm 1.11 \%$	≤ 200	ЛУ-6561
9	2/1510	0.22–0.23	торф	170 ± 60	≤ 200	ЛУ-6557
10	3/1510	0.26–0.27	торф	530 ± 50	580 ± 50	ЛУ-6558
11	4/1510	0.32–0.33	торф	580 ± 40	600 ± 40	ЛУ-6562
12	2/2310	0.17–0.18	торф	60 ± 30	≤ 200	ЛУ-6559
13	3/2310	0.31–0.32	торф	$\delta^{14}\text{C} = 1.78 \pm 0.86 \%$	≤ 200	ЛУ-6961
14	4/2310	0.64–0.65	торф	2100 ± 60	2090 ± 80	ЛУ-6563
15	6/2310	0.90–0.92	торф	2780 ± 60	2890 ± 70	ЛУ-6556
16	2/2510	0.16–0.17	торф	640 ± 50	620 ± 50	ЛУ-6963
17	3/2510	0.23–0.25	торф	530 ± 70	580 ± 60	ЛУ-6959
18	4/2510	0.28–0.30	торф	470 ± 60	510 ± 50	ЛУ-6560
19	5/2510	0.43–0.48	торф	2630 ± 120	2700 ± 170	ЛУ-6965
20	1/2811	0.11–0.12	торф	120 ± 60	≤ 200	ЛУ-6887
21	2/2811	0.21–0.23	торф	410 ± 60	440 ± 80	ЛУ-6888
Оз. Васьяковское						
22	1/112	0.39–0.41	торф	540 ± 100	570 ± 70	ЛУ-7105
Бухта Валентин						
23	1/2713	0.27–0.28	торф	210 ± 60	190 ± 120	ЛУ-7334
24	2/2713	0.50–0.52	торф	700 ± 80	650 ± 70	ЛУ-7335
Бухта Кит						
25	1/3012	0.20–0.22	торф	$\delta^{14}\text{C} = 9.23 \pm 0.97 \%$	1957–2000 гг.	ЛУ-7080
26	1/4012	0.085–0.095	торф	$\delta^{14}\text{C} = 14.37 \pm 1.44 \%$	1958–1992 гг.	ЛУ-7081
27	1/4212	0.23–0.25	торф	1840 ± 70	1780 ± 80	ЛУ-7062
28	2/4212	0.59–0.64	торф	2540 ± 80	2600 ± 120	ЛУ-7063
29	1/6213	0.24–0.26	торф	1520 ± 60	1430 ± 70	ЛУ-7332
30	2/6213	0.55–0.57	торф	1820 ± 80	1750 ± 100	ЛУ-7333
31	1/2313	0.10–0.12	почва	670 ± 90	630 ± 60	ЛУ-7336
32	1/2812	0.24–0.26	торфянистый алеврит	830 ± 60	790 ± 70	ЛУ-7064
33	2/2812	0.39–0.40	торфянистый алеврит	2290 ± 80	2300 ± 120	ЛУ-7065

Примечание. Значения календарного возраста приведены на основании программы "CalPal" Кельнского университета 2006 г., авторы В. Weninger, О. Joris, У. Danzeglocke (сайт [www.calpal.de](http://www.calpal.de)).

итающие в заливах и бухтах. Комплекс пресноводных диатомей отвечает существованию небольшого мелководного озера с заболоченными берегами.

Осадок цунами представлен крупно- (мода 0.5–0.63 мм) и среднезернистым (мода 0.315–0.4 мм) песком с примесью гравия (рис. 4). По сравнению с

пляжевыми песками материал менее сортирован, содержит больше мелкозернистого песка, присутствует алеврит. Осадки штормового вала включают гравий (до 33 %). Цунами захватывали материал с пляжа, штормового вала и верхней части подводного берегового склона. Радиоуглеродное датирование торфа,

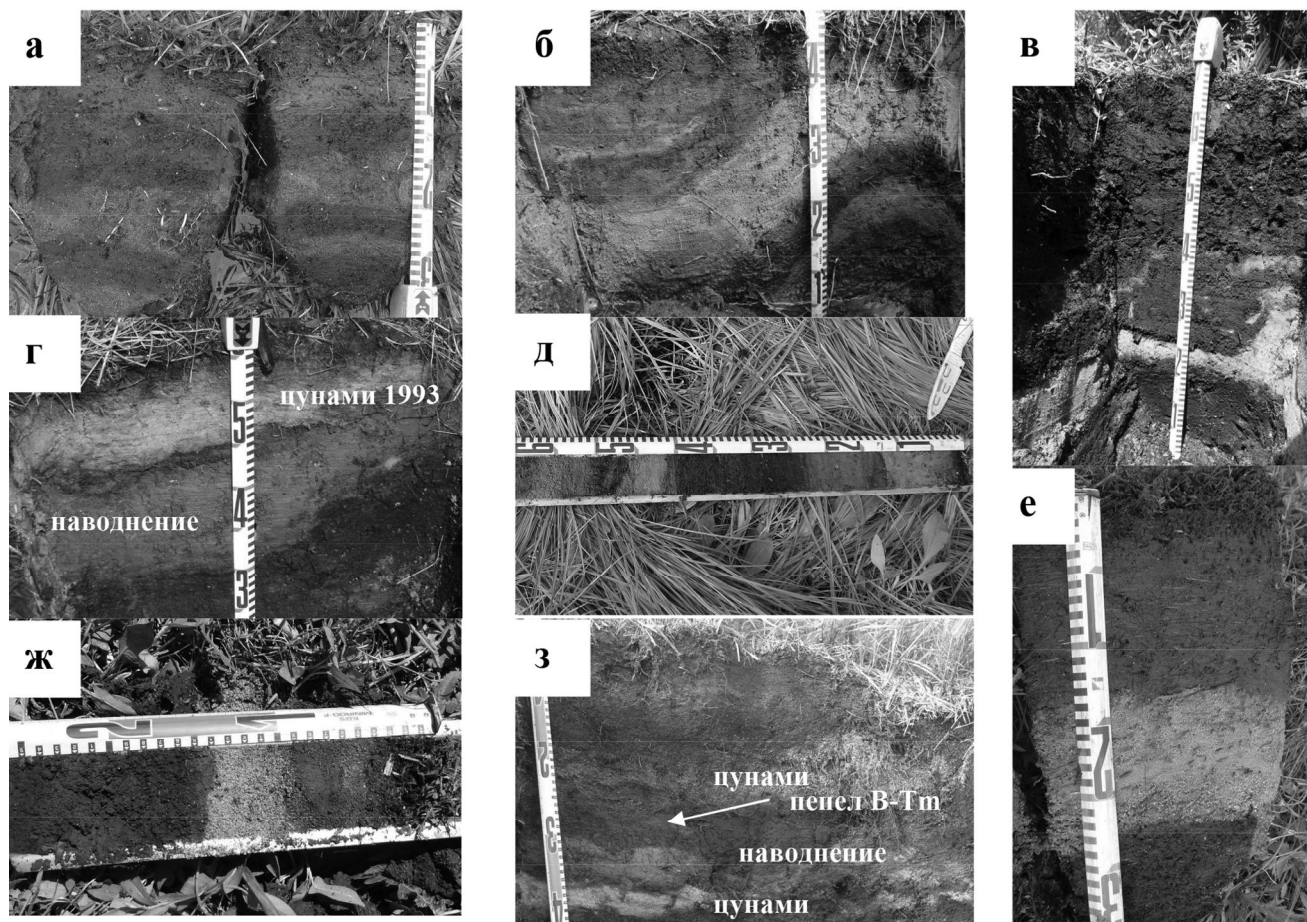


Рис. 2. Цунамигенные пески в разрезах континентальных отложений на побережье Восточного Приморья.

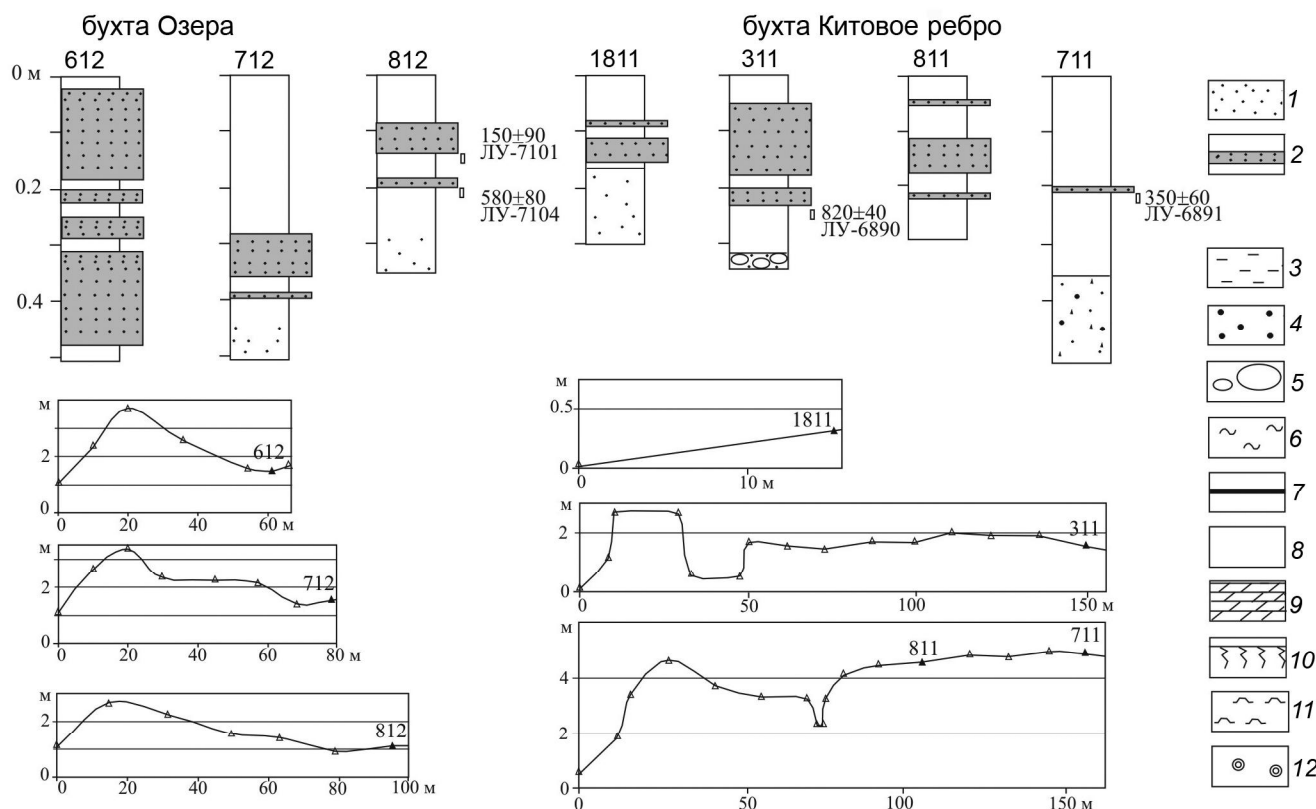
а – бух. Озера, б – бух. Лангоу, в, е, з – бух. Кит, г, д – бух. Валентин, ж – бух. Проселочная

подстилающего прослой песков ( $580 \pm 80$  л.н.,  $600 \pm 50$  кал. л.н., ЛУ-7104;  $150 \pm 90$  л.н.,  $\leq 200$  кал. л.н., ЛУ-7101), показало, что здесь фиксируются следы сильных цунами, произошедших до XX века. За озером, вглубь побережья, пески обнаружены не были, что говорит о том, что дальность заплеска не превышала 100 м.

Два прослоя мелкозернистого песка (мощностью до 4 см) были найдены в 15 м от берега в маломощном торфянике на озерной террасе на южном берегу оз. Духовского, самого большого из озер. В осадках обнаружены 23 таксона морских и солоноватоводных диатомей (до 59 %). Преобладают сублиторальные бентосные *Cocconeis scutellum* (до 20.3 %), *Diploneis interrupta* (до 10 %), солоноватоводные *Melosira moniliformis* (до 10.6 %), *Rhopalodia musculus* (до 11 %), *Planothidium hauckianum* (до 3.9 %). Из сублиторальных планктонных встречены *Achnanthes brevipes* (до 4.6 %), *Actinocyclus octonarius* (до 2 %) и *Paralia sulcata*. Состав диатомей соответствует условиям распресненной лагуны и бухты. Пресноводный

комплекс отвечает условиям мелководного озера. На берегу озера пляж узкий, нет штормовых валов. Скорее всего, найденные песчаные прослои являются следами последних цунами. Морские и солоноватоводные диатомеи могли заноситься как из бухты, так и из озера, в воде которого морские и солоноватоводные формы составляют до 60 % комплекса.

*Бухта Китовое ребро* – открытая бухта с валунно-галечным пляжем. За штормовым валом (высотой до 4.6 м) расположена заболоченная террасовидная поверхность (высотой от 2–5 м в южной и центральной частях бухты и до 5–8 м в северной). В южной и центральной частях бухты в разрезах торфяников в 150 м от берега найдены 2–3 прослоя морских песков (мощностью до 13 см) (рис. 3). Цунамигенное происхождение отложений подтверждают данные диатомового анализа. Найдены морские виды диатомей (до 4.9 %), представленные сублиторальными бентосными *Delphineis surirella* (до 36.8%), *Fallacia pygmaea* (до 2.6 %), *Cocconeis scutellum* (до 1.3 %), *C. costata*, планктонным *Odontella aurita* и неритиче-



**Рис. 3.** Разрезы торфяников, включающих осадки цунами, на побережье бухт Озера и Китовое ребро и профили с указанием местоположения разрезов.

1 – песок, 2 – цунамигенный песок, 3 – алеврит, 4 – гравий, 5 – галька, валуны, 6 – суглинок, 7 – вулканический пепел, 8 – торф, 9 – торфянистый алеврит, 10 – почва, 11 – озерные органогенные илы, 12 – древесина.

ским *Psammodyctus nitidus* (до 3.9 %). В пресноводном комплексе преобладают виды, характерные для заболоченных поверхностей и почв, а также встречаются виды, обитающие в озерах – планктонные *Aulacoseira crenulata* (5.5 %), *A. subarctica* (4.9 %), *A. granulata* (3.1 %) и эпифит *Pseudostaurosira brevistriata* (6.7 %), которые были переотложены цунами.

В разрезе 311 из торфа, залегающего под осадками более древнего цунами, получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $820 \pm 40$  л.н. ( $750 \pm 40$  кал. л.н.), ЛУ-6890. Осадки, представленные крупнозернистым хорошо сортированным песком, залегают на высоте около 1.7 м н.у.м., зона затопления была более 150 м. Возраст цунами совпадает с началом малого ледникового периода, уровень моря был близок к современному [5]. Осадки второго цунами исторического возраста имеют градиационную слоистость, что могло быть связано с длительным стоянием воды. Гранулометрические кривые распределения полимодальные, наиболее хорошо выражена мода 0.16–0.2 мм (рис. 4), что свидетельствует о захвате волной цунами материала из разных источников. На профиле около р. Каменистой (разрез 711) в кровле торфяника на высоте 4.9 м найден прослой мелкозер-

нистого песка, кривая распределения одномодальная (мода 0.16–0.2 мм). Из нижележащего торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $350 \pm 60$  л.н. ( $420 \pm 70$  кал. л.н.), ЛУ-6891. Источником материала цунамигенных песков, скорее всего, являлся подводный береговой склон. Мало-мощный прослой песка, залегающий под дерном на высоте 3.2 м в 70 м от берега, могло оставить одно из последних цунами. Здесь же на поверхности террасы обнаружено старое бревно, которое могло быть принесено цунами.

В северной части бухты, где за штормовым валом (высотой 5.4 м) расположена заболоченная поверхность, был заложен профиль от берега моря вглубь суши на расстояние 193 м (превышение до 8 м), маломощный (до 0.55 м) торфяник вскрыт серией скважин, следов цунами не обнаружено. Это может быть связано с тем, что цунами высотой более 5 м здесь не проявлялись, но возможно объясняется и отсутствием песка в надводной части пляжа и подводном береговом склоне, сложенных валунно-галечным материалом.

*Залив Опричник.* Поиск осадков цунами проводился на болотном массиве в приустьевой части

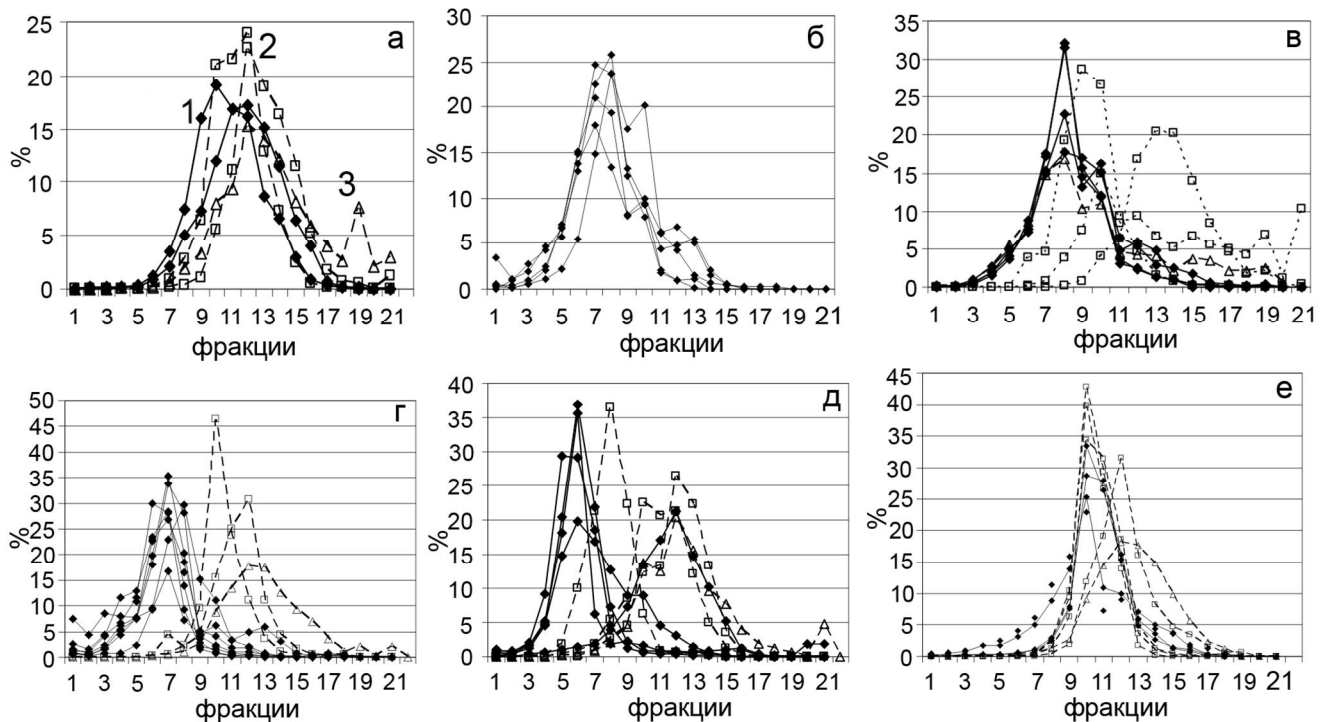


Рис. 4. Гранулометрический состав цунамигенных осадков и других прибрежно-морских фаций.

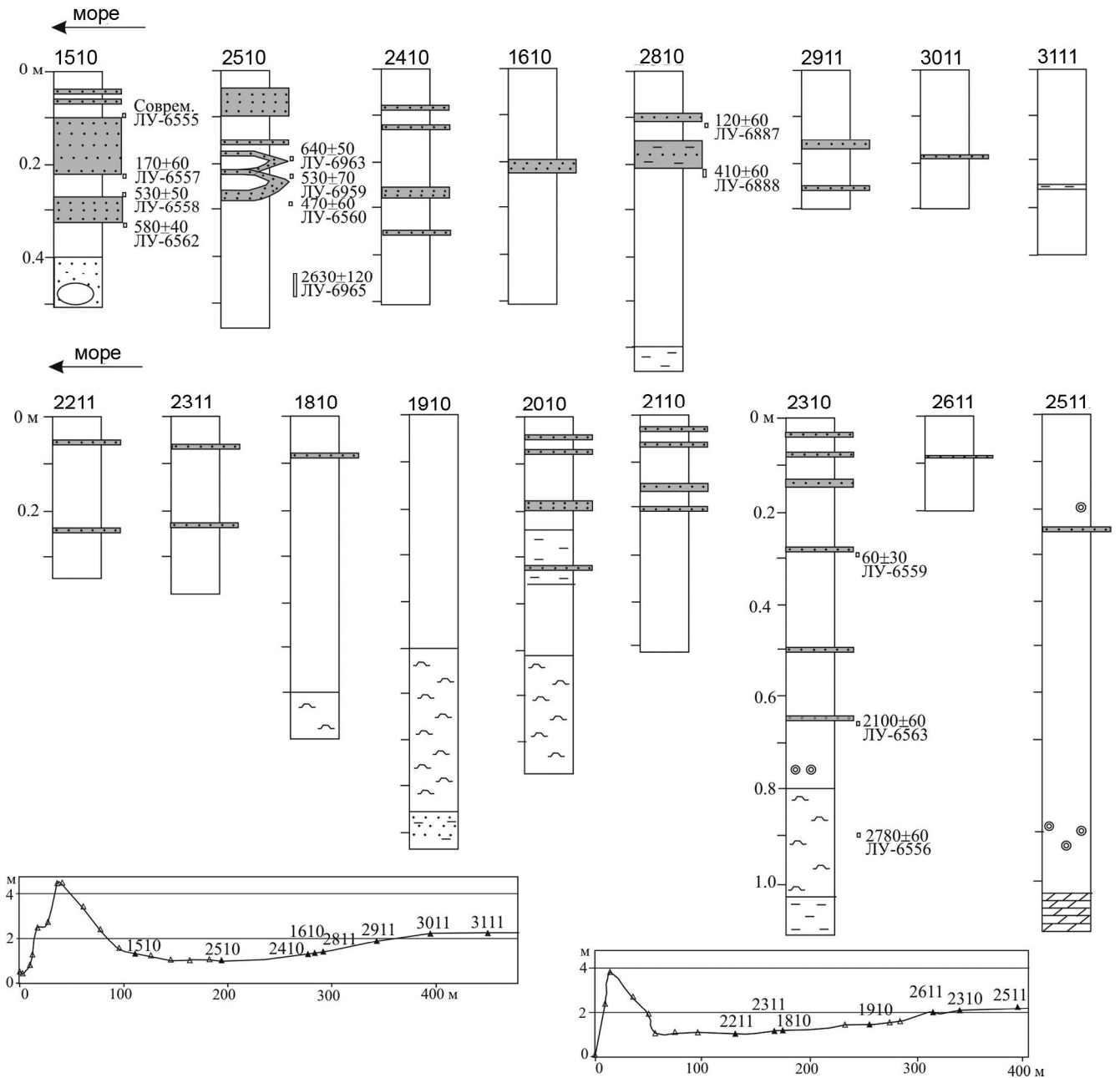
а – бух. Озера, б – бух. Китовое Ребро, в – бух. Лангоу I, г – бух. Валентин, д – бух. Кит, е – бух. Проселочная; 1 – осадки цунами, 2 – пляж, 3 – штормовой вал. Фракции, мм: 1 < 0.05, 2 – 0.05–0.063, 3 – 0.063–0.08, 4 – 0.08–0.1, 5 – 0.1–0.125, 6 – 0.125–0.16, 7 – 0.16–0.2, 8 – 0.2–0.25, 9 – 0.25–0.315, 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.

р. Опричнинка, высота поверхности 0.8–1 м. По словам очевидцев, этот низменный участок затоплялся цунами 1940, 1983, 1993 гг. Высота залеска цунами 1983 г. достигала 3 м [9–11], 1993 г. – 2.79 м [3]. Торф начал накапливаться на лагунных илах около 1610 ± 90 л.н. (1530 ± 100 кал. л.н.) ЛУ-6958. Торфяник включает многочисленные прослойки суглинков, образованные при сильных наводнениях, произошедших в позднем голоцене и в исторический период. Осадков цунами не обнаружено, но в разрезе торфяника (интервалы 0.13–0.20; 0.28–0.30; 0.32–0.35 м) в 156 м от берега приустьевой лагуны встречены редкие створки морских сублиторальных бентосных диатомей (*Diploneis interrupta*, *D. smithii* var. *rhombica*, *Campylodiscus echeneis*) и планктонного *Actinocyclus octonarius*, которые могут свидетельствовать о неоднократном затоплении террасы. Отсутствие прослоев цунамигенных песков в зоне затопления цунами может быть объяснено тем, что пляж и верхняя часть подводного склона залива сложены валунами и нет источника песка.

Бухта Лангоу I оказалась одним из наиболее информативных объектов с точки зрения поиска осадков исторических и палеоцунами. Бухта представляет

собой своеобразную седиментологическую ловушку, сохранившую наиболее подробную геологическую летопись таких событий. Здесь в долине низкопорядкового водотока за штормовым валом (высотой до 4.6 м), сложенным валунно-галечным материалом, расположены приустьевая лагуна и небольшие озера старичного типа, окруженные длительно существующим болотным массивом (высота поверхности 1.5–2 м), который образовался на месте обширной лагуны. Осадки изучались по двум профилям от уреза до 443 м вглубь суши.

В верхней части разрезов торфяников обнаружено до 4 прослоев песка (мощность до 12 см) цунамигенного происхождения, два из них протягиваются вглубь суши на расстояние до 395 м (рис. 5). В отдельных разрезах слои криотурбированы и имеют волнистое залегание (рис. 2 б). Морской генезис песков подтверждается данными диатомового анализа. В осадках обнаружены сублиторальные бентосные *Planolithidium hauckianum*, *Anaulus maritimus*, *Cocconeis costata*, *C. pediculus*, *C. scutellum*, *C. scutellum* var. *parva*, *C. verrucosa*, *C. stauroneiformis*, *Delphineis surirella*, *Diploneis smithii*, *Istmia nervosa*, *Opephora marina*, *Fallacia forcipata*, *F. pygmaea*, *Navicula directa*, план-



**Рис. 5.** Разрезы торфяников, включающих осадки цунами, на побережье бух. Лангоу I и профили с указанием местоположения разрезов.

Условные обозначения на рис. 3.

ктонные *Odontella aurita*, *Thalassiosira bramaputrae* var. *septentrionalis*, неритический *Psammodiscus nitidus* и фрагменты океанических *Coscinodiscus* sp., *Thalassiosira eccentrica*. Наиболее высокое содержание и разнообразие морских и солоноватоводных видов отмечено в более мощных прослоях песка.

Гранулометрический состав цунамигенных осадков сильно отличается от песков, встречающихся пятнами на пляже среди валунно-галечного материала,

и песчаного заполнителя штормового вала. Осадки цунами имеют одномодальные (мода 0.2–0.25 мм), реже бимодальные (появляется мода 0.315–0.4 мм) кривые распределения. При продвижении вглубь суши материал становится тоньше, модальная фракция смещается в интервал 0.16–0.2 мм, увеличивается примесь алеврита (до 23 %). Осадки цунами хорошо или умеренно сортированы. Пляжевые пески, как правило, хуже сортированы, чем осадки цунами, имеют



существенную примесь крупнозернистого песка (до 57.6 %) и гравия (до 43.2 %), часто характеризуются полимодальными кривыми распределения (рис. 4). Основным источником материала, переносимого цунами, являлся подводный береговой склон, в меньшей степени пляж и штормовой вал. Сходство состава разновозрастных осадков цунами говорит о подобии седиментологической ситуации во время прохождения цунами.

Следы наиболее древнего цунами, которое произошло около  $2100 \pm 60$  л.н.,  $2090 \pm 80$  кал. л.н., ЛУ-6563, зафиксированы только в одном разрезе 2310 (рис. 5). Здесь в тонком прослое встречено большое количество морских и солоноватоводных видов диатомей – сублиторальные *Campylodiscus echeis*, *Caloneis westii*, *Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira bramaputrae* var. *septentrionalis*, *Hyalodiscus obsoletus*, *Diploneis smithii*, *D. smithii* var. *rhombica*, *Nitzschia sigma*, *Tryblionella plana*, *T. littoralis*, *Actinocyclus octonarius*, неритические *Actinocyclus curvatulus*, *Thalassiosira gravida*. В этом же разрезе встречен еще один маломощный прослой песка, оставленный более молодым позднеголоценовым цунами. Прослой песков из верхней части разрезов имеют исторический возраст. За последние 600 лет произошли 3–4 события, которые оставили осадки. Под нижним прослоем песка из подстилающего торфа получены  $^{14}\text{C}$ -дата  $580 \pm 40$  л.н.,  $600 \pm 40$  кал. л.н., ЛУ-6562, из перекрывающего –  $530 \pm 50$  л.н.,  $580 \pm 50$  кал. л.н., ЛУ-6558. Инверсия  $^{14}\text{C}$ -дат в разрезе 2510 может объясняться тем, что цунами сопровождалось эрозией и осадки включают куски более древнего торфа, перенесенные волной. Цунами, которое предположительно произошло в XIX-начале XX века, оставило прослой песка, под которым из торфа получены  $^{14}\text{C}$ -даты  $170 \pm 60$  л.н. ( $\leq 200$  кал. л.н.), ЛУ-6561;  $120 \pm 60$  л.н. ( $\leq 200$  кал. л.н.), ЛУ-6887. Осадками цунами XX века, вероятно, являются небольшие линзы и гнезда песка, обнаруженные в 106 м от береговой линии.

**Бухта Лидовка.** Бухта интересна тем, что здесь наблюдались высокие заплески цунами 1983 г. – до 7 м, дальность проникновения волн превышала 800 м [9–11]. Бухта не представляет собой удобного объекта для поиска осадков цунами, поскольку в бухту впадает р. Лидовка (5 порядка) и водоток 2-го порядка, в нижнем течении меандрирующие. Береговая низменность часто затопливается во время сильных наводнений, и нет подходящих условий для сохранности осадков. За пределами пляжа и береговых валов долина активно осваивалась, заложена серия ирригационных каналов. В разрезах береговой низменности среди суглинков встречены тонкие прослои и мало-

мощные линзы песка, которые плохо прослеживаются вглубь суши и имеют аллювиальный генезис – обнаружены только пресноводные диатомеи. Единичные створки морского вида *Cocconeis scutellum* встречены в поверхностном слое торфа в 750 м от берега и могли быть принесены цунами 1983 г.

**Бухта Рудная** относится к наиболее цунами-опасным бухтам Приморья [4]. Во время цунами 1983, 1993 гг. здесь наблюдались высокие заплески (4.5 и 3.78 м), зона проникновения волн достигала 70 и 140 м, соответственно [3, 9–11]. По свидетельствам местных жителей, цунами 1940 г. было еще более интенсивным. Высота первой волны достигала 5 м, проникновение волн было до 300 м. Предполагается, что цунами на данном участке побережья могло быть усилено подводным оползнем, вызванным землетрясением [4]. В зону затопления цунами могла попадать лагуна, отделенная от акватории бухты широкой песчаной пересыпью и пляжем. Бурение осадков лагуны, проведенное со льда в 1974 г., показало, что верхняя часть разреза сложена илами мощностью 1–1.7 м [15]. В северной части лагуны в кровле колонок под слоем жидкого ила обнаружен прослой мелкозернистого песка (мощностью 2–10 см), который могло оставить одно из сильных цунами исторического возраста. Поиск следов цунами на низменных участках в приустьевой зоне р. Рудной затруднен из-за частых сильных наводнений. Прослой песка, обнаруженные на болоте, расположенном за оз. Васьковское, имеют континентальное происхождение.

**Залив Ольга.** Во время цунами 1983 г. высота подъема уровня моря была небольшая (до 0.8 м), по реке прошел бор на расстояние до 3 км. При обследовании цунами в пойме р. Аввакумовки в зоне затопления был обнаружен тонкий слой осадков, лежащий на траве [9]. В 1993 г. высота заплеска цунами достигала 1.23 м, дальность – 67 м [3]. В вершине залива расположена обширная болотистая низменность, возникающая за счет активной аккумуляции материала и выдвигения береговой линии при снижении уровня моря в позднем голоцене [5]. Поиск следов цунами проводился на болотах, расположенных за 1 и 2 штормовыми валами в 125–165 м от береговой линии, и за первым озером в 783 м от уреза, осадки цунами не обнаружены.

**Бухта Валентин** относится к открытому типу. Во время цунами 1983 г., высота которого оценивалась в 3 м, дальность – 70 м, по пойме реки волна прошла до 0.5 км вглубь суши. В зоне затопления был обнаружен морской мусор и наносы [9]. Цунами 1993 г. было более сильным, высота заплеска – 4 м, в южной части бухты были уничтожены покосы и огороды на рассто-

янии 250 м от берега [3]. В разрезах континентальных отложений встречено до 4 прослоев мелкозернистого песка морского происхождения (рис. 2 д, б). Верхний прослой (мощностью до 10 см) был оставлен цунами 1993 г. и прослеживается до 280 м от берега (рис. 2 г). Осадки хорошо сортированы (коэффициент сортировки  $\sigma$  0.45–0.60), имеют одномодальные кривые распределения (мода 0.16–0.2 мм), включают примесь алеврита (до 16.7 %). Материал, скорее всего, переносился с подводного берегового склона, поскольку пляж и штормовой вал сложены средне- и крупнозернистым песком (рис. 4 г). В осадках цунами обнаружено 13 видов морских и солоноватоводных диатомей, что составляет 40% от общего количества створок. Доминируют бентосные *Delphineis surirella* (19.2 %), *Anaulus maritimus* (12.6 %), встречены *Fallacia forcipata*, *F. dithmarsica*, *Triceratium arctica*, *Cocconeis decipiens*, *Cocconeis scutellum*, *Gomphonema kamtschatika*, *Opephora marina*, *Plagiogramma* aff. *vanheurckii*, планктонный *Paralia sulcata*, солоноватоводный *Melosira moniliformis* и др. Здесь же встречены фрагменты глубоководных видов рода *Coscinodiscus*. Среди пресноводных видов на фоне преобладания форм, характерных для слабо заболоченной, умеренно увлажненной долины, обнаружено высокое содержание озерно-реофильных видов: *Stauroforma exiguiformis* (до 42 %), *Staurosira venter* (до 22 %) и временно планктонный *Tabellaria flocculosa* (11 %), присутствуют планктонные *Aulacoseira italica*, *A. subarctica*, *A. distans*. Скорее всего, эти виды имеют аллохтонную природу.

К осадкам цунами 1983 г. отнесен маломощный прослой хорошо сортированного ( $\sigma$  0.55) песка, обнаруженный в 122 м от берега. Осадок более тонкий (модальная фракция 0.125–1.6 мм), чем пески цунами 1993 г. В нем встречено до 10 видов морских диатомей (2.6 %) – бентосные *Anaulus maritimus*, *Cocconeis scutellum*, *C. scutellum* var. *parva*, *Delphineis surirella*, *Diploneis interrupta*, планктонный *Odontella aurita* и фрагменты *Triceratium* sp., океанических и неритических *Actinocyclus curvatulus*, *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. oculus-iridis*, *Thalassiosira* sp.

Осадки палеоцунами обнаружены в 130 м от уреза, представлены двумя прослоями мелкозернистых песков, залегающими среди озерных алевритов (рис. 6). Верхний прослой сложен плохо сортированным ( $\sigma$  1.3) материалом, кривая распределения полимодальная, наиболее выражена мода 0.16–0.2 мм (рис. 4 г). По-видимому, осадок является смесью материала из разных источников, поступившего как с подводного берегового склона, так и с пляжа, штормового вала и за счет эрозии озерных осадков. Каждому из этих источников соответствует одна из мод

на кривой распределения. Морское происхождение песка подтверждается находками морских и солоноватоводных диатомей – обнаружено 9 видов (4.1 %): сублиторальные бентосные *Anaulus maritimus*, *Delphineis surirella*, *Diploneis interrupta*, *Mastogloia pumila*, *Amphora coffeaeformis*, *A. proteus*, планктонные *Odontella aurita*, *Thalassiosira bramaputrae* var. *septentrionalis*, фрагмент глубоководного *Thalassiosira* sp. Из перекрывающего торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $700 \pm 80$  л.н. ( $650 \pm 70$  кал. л.н.), ЛУ-7335.

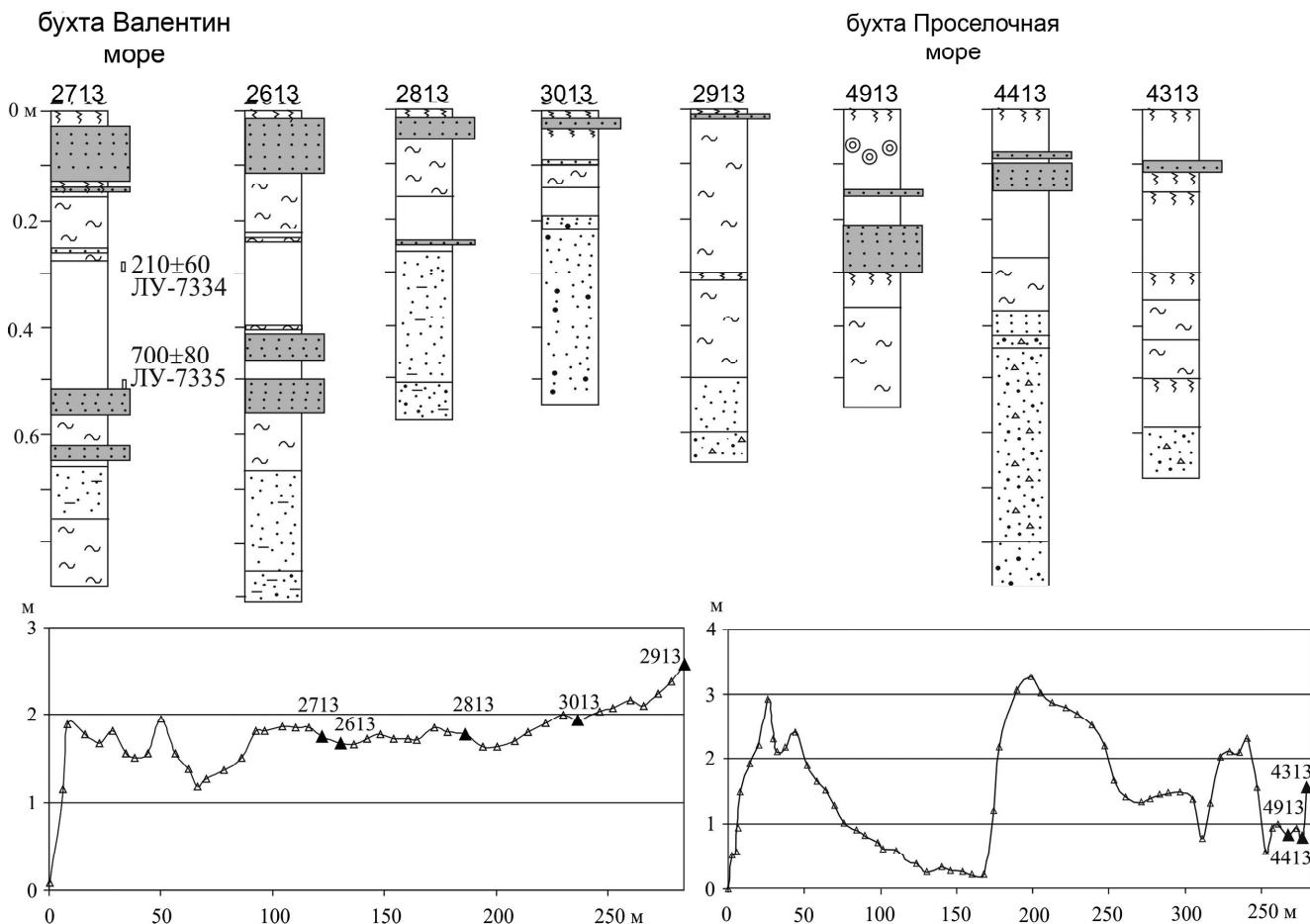
Нижний прослой представлен хорошо сортированным ( $\sigma$  0.54) материалом (мода 0.2–0.25 мм), близким по своим характеристикам к осадкам цунами 1993 г. Материал также поступал, в основном, с подводного берегового склона. В песке найдены 4 морских вида диатомей (2.3 %): *Anaulus maritimus*, *Delphineis surirella*, *Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira* sp.

*Бухта Кум* является одной из цунамиопасных бухт Приморья [4, 11]. Высота заплеска цунами 1993 г. в бух. Кит была максимальной и достигала 4.34 м, дальность – 85 м [3].

Осадки наиболее древнего цунами обнаружены в разрезах 2.5 м лагунной террасы, приуроченной к Лагунной пади, и в разрезе торфяника, расположенного за штормовым валом (высотой 5.3 м) в северной части бухты (рис. 2 з, 7).

Осадки представлены мелкозернистым, хорошо и умеренно сортированным ( $\sigma$  0.54–0.78) песком с одномодальной кривой распределения (мода 0.125–0.16 мм). Материал более тонкий, чем на пляже и штормовом валу (рис. 4). Цунамигенное происхождение песка подтверждают находки морских диатомей. В разрезе в Лагунной пади большее содержание морских видов (5.9 %) обнаружено в слое алеврита, лежащего на песке, где найдены сублиторальные бентосные *Diploneis interrupta*, *D. smithii*, *Plagiogramma staurophorum*, планктонный *Thalassiosira bramaputrae* и океанический *Rhizosolenia hebetata*. В северной части бухты в одновозрастных осадках цунами из морских видов найдены сублиторальные бентосные *Delphineis surirella*, *D. delicatus*, *Cocconeis scutellum*, *Triceratium coelatum* и фрагменты глубоководных видов рода *Coscinodiscus* (в сумме 2–3 %). Пресноводные диатомеи представлены смесью болотных и озерно-реофильных видов. Среди них преобладают болотные *Eunotia hexaglyphis*, *E. serra*, *E. fallax*, *E. glacialis* и представители рода *Pinnularia*, встречены также озерно-речные планктонные *Aulacoseira granulata*, а из обрастаний – *Stauroforma exiguiformis*, которые, скорее всего, аллохтонные.

На дне бухты мелкозернистые пески выходят двумя полосами на глубинах 0–4 м и 7–15 м, разде-



**Рис. 6.** Разрезы озерно-болотных отложений, включающих осадки цунами, на побережье бухт Валентин и Проселочная и профили с указанием местоположения разрезов.

Условные обозначения на рис. 3.

ленные полев алевро-пелитовых илов [4]. По-видимому, цунами захватило материал со дна бухты, в том числе и илы, и на поверхности осадков была тонкая илистая корка. Высота цунами была более 4–5 м, дальность заплеска – более 150 м. Из подстилающих органогенных отложений получены  $^{14}\text{C}$ -даты  $2290 \pm 80$  л.н. ( $2300 \pm 120$  кал. л.н.), ЛУ-7065,  $2540 \pm 80$  л.н. ( $2600 \pm 120$  кал. л.н.), ЛУ-7063, свидетельствующие, что цунами произошло в позднем голоцене.

В северной части бухты в 146 м от уреза в верхней части торфяника найден мощный слой песка с градиционной слоистостью (рис. 2 е). В основании слоя выходит крупнозернистый, плохо сортированный песок, который резко переходит в мелкозернистый и среднезернистый, сортировка улучшается. Можно предположить, что в разрезе фиксируется прохождение двух волн. Кривые распределения полимодальные с одной-двумя хорошо выраженными модами (рис. 4). Осадки представляют собой смесь материала, который поступал с полей мелкозерни-

стых песков на подводном склоне, а также цунами захватывало материал с пляжа и штормового вала. Каждому источнику соответствует пик на кривой распределения. Цунамигенный материал хуже сортирован ( $\sigma$  0.82–1.00), чем осадки пляжа. Встречено 5 видов морских и солонатоводных диатомей (до 33 %): сублиторальные бентосные *Delphineis surirella* (до 29 %), *Cocconeis costata* (1.4 %), *C. scutellum*, *Amphora proteus*, *Plagiogramma staurophorum* и присутствуют *Lyrella lyra*, *Cocconeis dirupta*, *Opephora tarina*, планктонный *Odontella aurita*. Пресноводные представлены смесью видов из озерных и болотных обстановок. Из подстилающего торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $1840 \pm 70$  л.н. ( $1780 \pm 80$  кал. л.н.), ЛУ-7062. Этот прослой песка прослежен в разрезе торфяника на расстояние около 300 м, что подтверждается  $^{14}\text{C}$ -датой  $1820 \pm 80$  л.н. ( $1750 \pm 100$  кал. л.н.), ЛУ-7333, полученной из подстилающего торфа. Мощность осадка не выдержана, встречаются линзы мощностью до 23 см, облекающие куски торфа, ко-

торые были занесены волной цунами на поверхность болота (рис. 2 в). За счет таких включений в некоторых колонках этот слой распадается на два. Это свидетельствует, что цунами сопровождалось сильной эрозией на берегу и переносом значительного количества эродированного материала.

Из морских диатомей в осадках встречены бентосные *Cocconeis scutellum*, *Delphineis surirella*, *Rhabdonema arcuatum*, *Amphora costata*, *Gomphonema kamtschatica*, *Opephora marina*, солоноватоводный *Melosira lineata*, фрагменты неритического *Chaetoceros* sp. и глубоководных видов рода *Coscinodiscus*. Наиболее богатый состав морских видов обнаружен в мощной линзе песка в 200 м от берега – 24 вида морских и солоноватоводных диатомей (до 37.7 %). Доминируют сублиторальные бентосные *Delphineis surirella* (20 %), *Anaulus maritimus* (2.8 %), *Opephora marina* (2.3 %), планктонный *Odontella aurita* (1/9 %), солоноватоводный *Melosira moniliformis* (2.3 %), неритический *Porosira glacialis* (1.4 %), присутствуют океанические *Rhizosolenia hebetata*, фрагменты видов родов *Thalassiosira* и *Coscinodiscus*. Здесь же обнаружены пресноводные эпифиты *Stauroforma exiguiformis* (8.8 %), *Staurosira venter*, *Pseudostaurosira brevistriata*, не характерные для болотных обстановок и занесенные цунами из других биотопов.

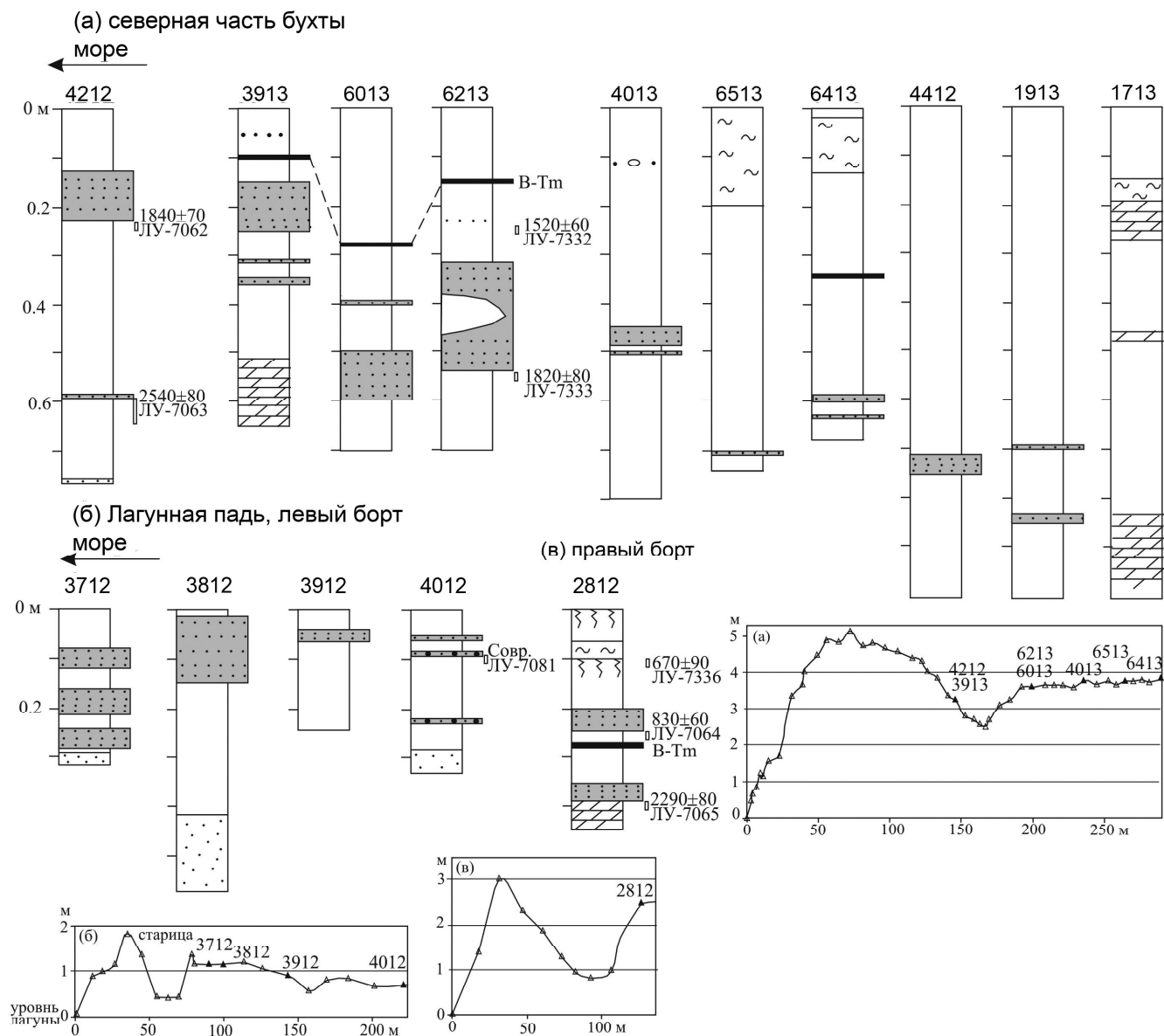
В верхней части разреза 2.5 м лагунной террасы в 120 м от уреза среди континентальных отложений встречен прослой (4 см) крупно-среднезернистого умеренно сортированного ( $\sigma$  0.75) песка (рис. 2 з). В песке найдены морские сублиторальные бентосные диатомей *Diploneis smithii* var. *rhombica*, *D. interrupta*, *D. smithii* var. *pumila*, *Cocconeis scutellum*. Здесь же отмечено появление не характерных для вмещающих континентальных отложений пресноводных – планктонного *Aulacoseira distans* (11 %) и бентосных *Navicula peregrina* (1 %), *Cosmioneis pusilla* (2.8 %), которые, скорее всего, также принесены цунами. Морские диатомей также отмечены в перекрывающем слое более тонкого материала. Цунами произошло около  $830 \pm 60$  14С л.н. ( $790 \pm 70$  кал. л.н.), ЛУ-7064, что близко по возрасту к палеоцунами, осадки которого обнаружены в бух. Валентин. Возраст палеоцунами в бух. Кит подтверждает находка ниже по разрезу линзы вулканического пепла В-Тм влк. Байтоушань, катастрофическое извержение которого произошло в 969 г. н.э. [17]. Источник пепла идентифицирован по вулканическому стеклу, которое имеет высококалийный состав ( $K_2O$  4.94–6.38 %). Цунами, в основном, переносило материал с пляжа и штормового вала, а тонкий материал – с подводного берегового склона и

из озера и, по-видимому, было меньшего масштаба, чем событие, произошедшее около 2.3–2.4 тыс. л.н.

На более низкой поверхности около старицы в разрезе торфяника за штормовым валом (высотой 2 м) обнаружено 3 прослоя средне- мелкозернистого умеренно сортированного песка (мощностью до 9 см), один из которых прослеживается вглубь суши на 220 м (рис. 7). Здесь же встречены маломощные прослоя хорошо окатанного гравия и мелкой гальки (1–3 см) явно морского происхождения. Из разреза торфяника получена современная радиоуглеродная дата ЛУ-7081 (табл.). Осадки могли быть оставлены цунами XX века. На этом участке берега вглубь суши волна могла распространяться по пониженным участкам вокруг приустьевой лагуны и старицы.

В южной части бухты около м. Кит был заложен профиль, по которому пробурено болото с небольшим озерком, расположенное за штормовым валом (высотой 3 м). Торфяник включает прослой светло-серого мелкозернистого, хорошо и умеренно сортированного песка ( $\sigma$  0.53–0.84) морского происхождения, мощность слоя уменьшается от 8 до 1 см по мере продвижения вглубь суши до 123 м (рис. 7). Кривые распределения одномодальные (мода 0.125–0.16 мм). Осадок включает примесь алеврита (до 12.8 %). По своим гранулометрическим характеристикам песок сильно отличается от песка пляжа и штормового вала, сложенных более крупным материалом (рис. 4). Цунами переносило материал с верхней части подводного склона, где поле мелкозернистых песков протягивается до глубин 13–15 м [4]. Из подстилающего торфа получена современная радиоуглеродная дата ЛУ-7080 (табл.). Вероятно, в разрезе торфяника присутствуют осадки цунами 1993 г. Прослой песка (мощностью до 4 см) этого же цунами обнаружен в разрезе торфяника в заболоченной долине небольшого водотока с приустьевой лагуной. В песке встречено 13 морских и солоноватоводных диатомей (до 7.4 %): планктонные *Actinocyclus octonarius*, *Odontella aurita*, из бентосных наиболее часто встречаются *Delphineis surirella*, *Anaulus maritimus*, *Cocconeis scutellum*, *Fallacia dithmarsica*, присутствуют солоноватоводные *Tryblionella plana*, *Nitzschia acuminata*, *Fragilaria pulchella*, *Mastogloia elliptica*, *Melosira moniliformis* и др. Из глубоководных видов отмечены фрагменты видов рода *Coscinodiscus*. В нижней части разрезов в торфе и торфянистых алевритах в 100–150 м от берега встречено до 4 прослоев мелкозернистых песков морского происхождения, что подтверждено данными диатомового анализа.

*Бухта Заря*, на побережье которой расположено одноименное озеро, находится южнее бухты Кит.



**Рис. 7.** Разрезы озерно-болотных отложений, включающих осадки цунами, на побережье бух. Кит и профили с указанием местоположения разрезов.

Местоположение профилей см. рис. 1., условные обозначения см. рис. 3. В северной части бухты нивелировка сделана до разреза 6413.

Здесь за штормовым валом (высотой 5 м) в 155 м от берега найдены три старых буга. Не исключено, что они могли быть занесены на болото цунами 1993 г. Морская вода во время цунами 1993 г. проникала за штормовой вал в озеро Заря, что отрицательно повлияло на популяцию растущего здесь краснокнижного вида – бразении Шребера (*Brasenia schreberi* J. F. Gmel.), что было отмечено через год после цунами в 1994 г. [6]. На болоте была пробурена скважина 5 м, вскрывшая торфяник, который накапливался с большими скоростями (2.1 мм/год) – на глубине 2.21 м

обнаружен пепел В-Тм влк. Байтоушань. Прослоев цунамигенных песков обнаружено не было.

*Бухта Проселочная.* Обследование после цунами 1983, 1993 гг. не производилось. Но, по словам работников Лазовского заповедника, цунами достигало кромки леса на древнем штормовом валу, высоту волны можно оценить – не менее 3 м, дальность затопления – 220 м, по долине реки волна заходила на 380 м. Здесь в кровле разрезов пойменных отложений обнаружено два прослоя среднезернистых песков (мощностью до 9 см), которые могут быть следами цунами

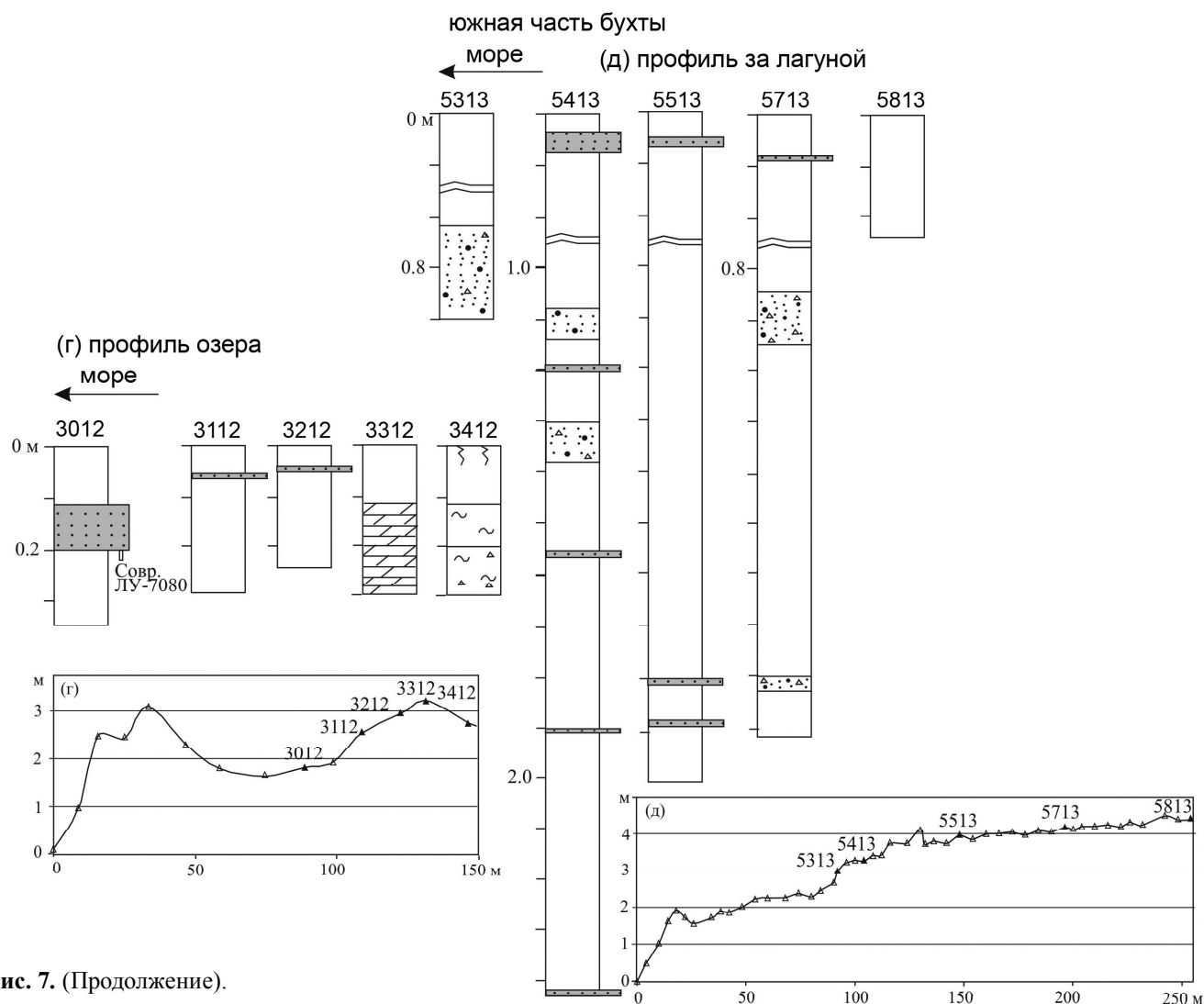


Рис. 7. (Продолжение).

1993 и 1983 гг. (рис. 2 ж, б). Верхний прослой сложен умеренно сортированным ( $\sigma$  0.88–0.94) материалом, на кривой распределения хорошо выражена мода 0.315–0.4 мм, иногда проявляется небольшая мода 0.5–0.63 мм, кривые симметричные (рис. 4 е). Основная часть материала поступала за счет размыва пляжа, другим источником был штормовой вал, мелкозернистый песок и алеврит были перенесены с подводного берегового склона. В осадке обнаружено 28 видов морских и солоноватоводных диатомей (до 9.7%). Наиболее часто встречаются *Amphora coffeaeformis* (до 1.9%), *Delphineis surirella* (до 1.9%), *D. delicatus* (до 0.8%), *Melosira lineata* (до 0.8%), присутствуют *Anomoeoneis sphaerophora*, *Amphora turgida*, *A. wisei*, *Melosira moniliformis*, *M. nummuloides*, *Tryblionella coarctata*, *T. plana*, *T. littoralis*, *Tabularia tabulata*, *T. fasciculata*, *Fallacia forcipata*, *F. pygmaea*, *F. dithmarsica*, *Anaulus maritimus*, *Cocconeis distans*, *C. scutellum*, *Planolithidium hauckianum*.

Нижний прослой сложен хорошо сортированным материалом ( $\sigma$  0.51–0.53), кривые асимметричные (Ка до 0.2), примесь мелкозернистого песка и алеврита очень незначительная, материал переносился с пляжа. В нижнем прослое песка встречено 19 форм (до 23.5%), обычных для мелководных бухт. Доминируют бентосные *Delphineis surirella* (до 6.8%), *D. delicatus* (до 2.9%), солоноватоводные *Melosira lineata* (до 5.9%), *Diploneis pseudoovalis* (до 2.9%), присутствуют *Amphora wisei*, *Fallacia pygmaea*, *F. cryptolyra*, *Diploneis papula*, *Cocconeis distans*, *Fragilaria pulchella*, *Navicula jarrensis*, *Tryblionella littoralis*, *Nitzschia sigma*, *Planolithidium hauckianum*, планктонная *Thalassiosira bramaputrae*, фрагменты глубоководных *Thalassiosira* sp.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Изучение разрезов береговых низменностей Восточного Приморья позволило идентифицировать

следы ряда сильных позднеголоценовых и исторических цунами, произошедших в последние 2.3 тысячи лет. Осадки цунами найдены только на побережье бухт, которые относятся к наиболее цунамиопасным, где при обследовании проявления последних цунами 1983, 1993 гг. [3, 9–11] были замерены наиболее высокие заплески. Проведенные исследования показали, что сильные цунами, сопровождавшиеся эрозией на берегу и оставившие осадки в зоне затопления, – редкие события на побережье Восточного Приморья. Исторические и позднеголоценовые палеоцунами, следы которых обнаружены в разрезах, были, по-видимому, более масштабными событиями, чем известные цунами XX века, которые оставили очень тонкий слой осадков, обнаруженных в бухтах Озера, Лангоу I. Наиболее выраженные слои были найдены в южных частях бухт Валентин, Кит, Проселочная. Возраст позднеголоценовых цунами оценивается около 2.1–2.3 калиб. тыс. л.н., 1.7–1.8 калиб. тыс. л.н., в историческое время до заселения края сильные цунами произошли около 800, 600, 400 и менее 200 л.н. Под историческим временем в отношении проявления цунами, по-видимому, следует рассматривать временной отрезок, начиная с VIII века, для которого существуют летописные свидетельства о прохождении сильных цунами в Япономорском регионе [14].

Позднеголоценовые цунами оставили более выраженные и мощные прослой песков на побережье бух. Кит, в северной части района работ осадки этих цунами обнаружены только в бух. Лангоу I. Более подробная летопись исторических цунами обнаружена в разрезах озерно-болотных отложений северного участка (бухты Озера, Китовое ребро, Лангоу I). Осадки исторических цунами были найдены в бух. Кит, но на низких уровнях, только один прослой протягивается вглубь суши до 200 м и, скорее всего, был оставлен цунами 1993 г. Наиболее хорошо выраженные осадки цунами 1983, 1993 гг. обнаружены на побережье бухт Валентин и Проселочная. Можно предположить, что эпицентры цунамигенных землетрясений, произошедших в позднем голоцене и историческое время, имели разную локализацию на дне Японского моря. Исторические цунами, скорее всего, были вызваны землетрясениями, эпицентры которых располагались в той же области, что и эпицентры цунамигенных землетрясений XX века.

Осадки цунами представлены песками, состав которых во многом зависит от геоморфологического строения дна и побережья бухт, литодинамической ситуации (в первую очередь, изменения объемов рыхлого материала и его состава в прибрежной зоне) и особенности прохождения цунами, что определяет

вклад разных источников питания. Хорошая сохранность цунамигенных песков наблюдается в небольших бухтах, приуроченных к низкопорядковым водотокам. Как правило, здесь за штормовыми валами расположены небольшие лагуны с заболоченными берегами, которые являются своеобразными седиментологическими ловушками. Осадки цунами здесь лучше сохраняются, поскольку в долинах малых водотоков меньше подъем уровня воды в половодье. Для северного участка района исследований наиболее подробная геологическая летопись событий получена для бух. Лангоу I, на побережье которой расположен длительно существующий болотный массив, возникший на месте среднеголоценовой лагуны, от которой осталось небольшое озеро. В бухтах, приуроченных к долинам крупных водотоков, поиск цунамигенных осадков затруднен, поскольку приустьевые зоны часто затопляются во время сильных наводнений, когда может затопляться все днище долины. На обследованном участке побережья подъем уровня в нижних частях речных долин в сильные наводнения может достигать 3–4 м [1]. В нижних течениях рек русла сильно меандрируют, и нет условий для развития длительно существующих болот и озерных водоемов. На южном участке наиболее информативной оказалась бухта Кит, где обнаружены следы 4 палеоцунами.

В бухтах, где развиты валунно-галечные пляжи, источником цунамигенных песков является подводный береговой склон. В бухтах, где пляж и подводный склон покрыт грубообломочным материалом (зал. Опричник, северная часть бух. Китовое ребро), нет достаточного количества песка, который мог бы переотлагаться цунами и формировать видимые прослой, следов затопления в геологических разрезах обнаружить не удалось. Возможно, энергии волн не хватало, чтобы переносить крупный материал, если же переносились единичные валуны и галька, найти их в разрезах очень трудно. Как правило, осадки цунами отличаются от осадков пляжа и штормового вала и сформированы, в основном, из материала, поставляемого с подводного берегового склона. Изучение диатомовых водорослей в цунамигенных осадках показало, что основной перенос материала шел с небольших глубин, т.к. среди морских форм преобладают сублиторальные бентосные виды, обычно обитающие на глубинах до 10–15 м. Особенно активное поступление материала с берегового склона во время цунами происходило в бухтах Валентин, Кит. В бух. Проселочной во время цунами 1993 г. шел вынос материала как с пляжа и штормового вала, так и с подводного склона, в 1983 г. – в основном, с пляжа.

Иная картина наблюдалась при цунами с большими заплесками, во время которых происходила эрозия надводных аккумулятивных форм. В таких бухтах, как Лангоу, разновозрастные осадки цунами имеют близкие гранулометрические характеристики, что свидетельствует о схожести седиментологической ситуации во время прохождения цунами в условиях открытого побережья. Наиболее разнообразные по гранулометрическому составу осадки обнаружены в бух. Кит, где на подводном склоне и в береговой зоне выходят хорошо дифференцированные по крупности наносы, составляющие весь ряд от алевро-пелитовых илов до крупнозернистых песков и гравийно-галечно-го материала.

Результаты проведенных работ будут основой для первой реконструкции геологической летописи событий цунами на побережье Восточного Приморья, возникших в результате землетрясений, очаги которых располагались в Японском море. В Япономорском бассейне в историческое время, в том числе и в XX веке, наблюдалось несколько крупных событий, имевших трагические последствия. Катастрофический характер имели цунами 1993 г. на о-ва Окусири, из исторических цунами – 1833, 1741 гг. и др. Некоторые из этих цунами могли достигать побережья Восточного Приморья. Чтобы определить масштаб проявления цунами и выделить зоны, подверженные наибольшему риску, а также определить, в какое время такие события происходили наиболее часто, необходимо получить данные по всему обрамлению Японского моря. Особое внимание следует уделить побережью Западного Сахалина и Западного Хоккайдо, поскольку в данных районах должны фиксироваться те же события, что и в Приморье, но интенсивность их проявления могла быть различной.

Авторы выражают благодарность Ф.Е. Максимова, Т.В. Тертычной и А.А. Стариковой (СПбГУ) за проведение работ по радиоуглеродному датированию, А.А. Карабцову (ДВГИ ДВО РАН) за микронзондовый анализ вулканического стекла. Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ, гранты 11-05-00497 и 12-И-П4-06. Финансирование экспедиционных исследований проводилось в рамках грантов РФФИ и ДВО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.
2. Горбунов А.О., Кайстренко В.М. Сравнительная гранулометрическая характеристика современных эоловых и погребенных песков в прибрежных торфяниках юга Сахалин // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011. С. 145–146.
3. 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.
4. Игнатов Е.И., Лохин М.Ю., Никифоров А.В., Фроль В.В. Геоморфологические проблемы цунамиопасности (на примере Японского моря). Смоленск: Маджента, 2008. 128 с.
5. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С. и др. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене // Вестн. ДВО РАН. 1997. № 3. С. 121–143.
6. Короткий А.М., Куликова В.В. Воздействие цунами на прибрежную зону Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 6. С. 34–47.
7. 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.
8. Левин Б.В., Ким Чун Ун, Нагорных Т.В. Сейсмичность Приморья и Приамурья в 1888-2008 гг. // Вестн. ДВО. 2008. № 6. С. 16–22.
9. Полякова А.М. Цунами в Приморье 26 мая 1983 года и его последствия. Владивосток: ТОИ ДВНЦ СССР, 1988. 40 с.
10. Полякова А.М. Проявление цунами на побережье Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 4. С. 73–77.
11. Полякова А.М. Опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в северной части Тихого океана и цунами на побережье Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2012. 182 с.
12. Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непоп К.Н., Королев Ю.П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. 272 с.
13. Разжигаетова Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Харламов А.А., Кайстренко В.М., Арсланов Х.А., Горбунов А.О. Проявление палеоцунами на Малой Курильской гряде в голоцене // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 6. С. 48–57.
14. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1972. 309 с.
15. Чуян Г.Н. История развития голоценовой лагуны Среднего Приморья // Палеогеографические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 127–133.
16. 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.
17. Horn S., Schmincke H.-U. Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano (China/North Korea) ca. 969 AD // Bull. Volcanol. 2000. V. 61. P. 537–555.
18. Iliev A. Ya., Kaistrenko V.M., Gretskaia E.V., Tikhonchuk E.A., Razjigaeva N.G., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Kharlamov A.A. Holocene tsunami traces on Kunashir Island, Kurile Subduction zone // Tsunamis: Case studies and recent developments. New York: Springer Publ., 2005. P. 171–192.
19. MacInnes B.T., Pinegina T.K., Bourgeois J., Razhegava N.G.,



- Kaistrenko V.M., Kravchenovskaya E.A. Field survey and geological effects of the 15 November 2006 Kuril tsunami in the middle Kuril Islands // *Pure and Appl. Geophys.* 2009. V. 166, N 1/2. P. 3–36.
20. Minoura K., Nakaya S. Origin of inter-tidal lake and marsh environments in and around lake Jusan, Tsugaru // *Mem. Geol. Soc. Japan.* 1990. V. 36. P. 71–87. (in Japanese).
21. Nanayama F., Satake K., Furukawa R., Shimokawa K., Atwater B., Shigeno K., Yamaki S. Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kurile trench // *Nature.* 2003. V. 424. P. 660–663.
22. Nanayama F. Sedimentary characteristics and depositional processes of onshore tsunami deposits: an example of sedimentation associated with the 12 July 1993 Hokkaido-Nansei-Oku earthquake tsunami // *Tsunamiites – Features and implication.* Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 63–80.
23. Nishimura Yu., Miyaji N. Tsunami deposits from the 1993 southwest Hokkaido earthquake and the 1640 Hokkaido Komagatake eruption, northern Japan // *Pure and Appl. Geophys.* 1995. V. 144. P. 720–733.
24. Nishimura Yu., Miyaji N., Yoshida M. Survey of tsunami deposits along Western Coast of North Hokkaido, Japan // *Historical Earthquakes.* 1999. V. 15. P. 225–231. (In Japanese).
25. Pinegina T.K., Bourgeois J. Historical and paleo-tsunami deposits on Kamchatka, Russia: long-term chronologies and long-distance correlations // *Natural Hazards and Earth system Sciences.* 2001. V. 1. P. 177–185.
26. Rabinovich A.B., Shevchenko G.V., Sokolova S.E. An estimation of extreme sea levels in the northern part of the Sea of Japan // *La mer.* 1992. V. 30. P. 179–190.

*Рекомендована к печати Б.В. Левиным*

***L.A. Ganzey, N.G. Razjigaeva, Yu. Nishimura, T.A. Grebennikova, V.M. Kaistrenko, A.O. Gorbunov, Kh.A. Arslanov, S.B. Chernov, Yu.A. Naumov***

### **Historical and paleo-tsunami deposits of the Eastern Primorye coast**

Tsunami deposits from the earthquakes, the seismic focuses of which were located on the bottom of the Sea of Japan were first identified on the coast of Eastern Primorye. Evidences on the definite zones of the coast beginning from Plastun Bay to Rudny Bay and from Valentin Bay to Prosyelochny Bay, are presented. Historical and Late Holocene paleo-tsunami, the traces of which have been found in the sections, appeared to be apparently more global events than the known tsunami of the XX century. An analysis was made of the granulometric composition of the tsunamigenic deposits, and their similarity and difference to other coastal-marine facies were shown, and sources of the material supply were found. The age of the events, the altitude of the wave splash, and the distance to which the coast areas with different geomorphology were flooded have been defined. The data obtained can serve the first step to make a geochronology of tsunami for the northeastern part of the Sea of Japan.

***Key words: historical and paleo-tsunami, tsunami deposits, Holocene, Eastern Primorye.***