

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПОЗДНЕГО ГОЛОЦЕНА НА ПОБЕРЕЖЬЕ БУХТЫ ВАЛЕНТИН, ЯПОНСКОЕ МОРЕ

*Н.Г. Разжигаева<sup>1</sup>, Л.А. Ганзей<sup>1</sup>, Ю. Нишимура<sup>2</sup>, Т.А. Гребенникова<sup>1</sup>, Д. Сугавара<sup>3</sup>,  
Ю. Такашимизу<sup>4</sup>, И.И. Лебедев<sup>1</sup>, А.О. Горбунов<sup>5</sup>, Х.А. Арсланов<sup>6</sup>, Ф.Е. Максимов<sup>6</sup>,  
А.Ю. Петров<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041;  
e-mail: [nadyar@tigdvo.ru](mailto:nadyar@tigdvo.ru)

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии, университет Хоккайдо, Саппоро, Япония

<sup>3</sup>Музей истории природы и среды, Шизуока, Япония

<sup>4</sup>Университет Ниигаты, Ниигата, Япония

<sup>5</sup>ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022

<sup>6</sup>ФГБОУВО Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. д. 7–9,  
г. Санкт-Петербург; 199034

Поступила в редакцию 29 января 2019 г.

На основе стратиграфического изучения и радиоуглеродного датирования разрезов разнофациальных отложений установлен масштаб и возраст экстремальных гидрологических событий (цунами, катастрофических нагонов и речных паводков), проявившихся за последние 2 тысячи лет на побережье бух. Валентин. Найдены отложения 4 крупных исторических цунами (1993, 1983, 1644 гг. и XII в.) и палеоцунами, произошедшего 1.7–1.8 тыс. л.н. Закартированы зоны осадконакопления указанных цунами на побережье. Детально изучен состав диатомовых водорослей в цунамигенных песках, показано, что волны цунами переносили как морские и солоноватоводные виды, так и большую часть пресноводных форм, переотложенных из берегового озера. Основная поставка материала шла с глубин менее 5 м. Проведена корреляция событий с опубликованными ранее данными по Японским островам. Сделано предположение, что для этой части побережья Восточного Приморья наиболее опасными являются цунами с очагами около о. Окусири. Цунами, связанные с землетрясениями с очагами, расположенными к северо-западу от о. Хонсю, проявлялись на побережье Приморья слабее. Получены данные о крайней неравномерности повторяемости экстремальных наводнений за последнее тысячелетие. Установлено, что влажная фаза малого оптимума голоцена закончилась в начале-середине XII века. В малый ледниковый период (XIII–XVIII вв.) водность рек была незначительной, выделено только два события, отвечающие теплым эпизодам середины XIV – начала XV вв., сопоставимые с катастрофическими паводками конца XX–начала XXI вв. В осадочном чехле обнаружены только следы двух современных наводнений.

**Ключевые слова:** исторические цунами, палеоцунами, экстремальные паводки, осадконакопление, хронология, поздний голоцен, Японское море.

### ВВЕДЕНИЕ

Побережье Приморья характеризуется высокой интенсивностью и частотой проявления опасных гидрологических событий, связанных как с климатической нестабильностью, так и с проявлением сейсмической активности в районе Японского моря. К таким событиям относятся, прежде всего, сильные паводки, связанные с прохождением тайфунов и глубоких ци-

клонов [8]. В условиях перестройки климатической системы в последние десятилетия [13] вероятность проявления таких явлений возрастает [5, 15]. К более редким событиям относятся цунами, наиболее опасные из которых вызваны сильными подводными землетрясениями с эпицентрами, расположенными в восточной части Японского моря [19, 22, 24]. Отдельные катастрофические цунами в последнее тысячелетие

имели вулканогенную природу (извержение влк. Осима-Осима в 1741 г.) [27, 33] или были вызваны подводными оползнями (цунами 1026 г.) [30]. В XX веке на побережье Приморья было 3 относительно крупных цунами (1940, 1983, 1993 гг.), вызванные землетрясениями с эпицентрами на дне Японского моря около о. Хоккайдо [6, 7, 9, 10, 14, 28, 31].

Ряды натуральных наблюдений за экстремальными гидрологическими явлениями в Приморье являются непродолжительными (с конца XIX века – второй половины XX века). Поэтому большую информативность имеет палеогеографический материал, полученный при изучении строения отложений береговых низменностей, позволяющий установить возраст, масштаб и повторяемость экстремальных гидрологических событий за последние несколько тысяч лет [2, 4, 32]. Эти события, проявляющиеся на фоне климатических изменений в голоцене, несмотря на кратковременность, оказывали большое влияние на развитие берегов и ландшафтов побережья [12].

Цель настоящей статьи – определение генезиса отложений, оценка масштабов, возраста гидрологических событий редкой повторяемости и картирование зон затопления на побережье бух. Валентин. Выбор этой бухты в качестве модельного участка для Восточного Приморья был сделан в ходе многолетних работ, показавших высокую информативность разнофациальных разрезов береговой низменности, зафиксировавших экстремальные гидрологические события разной природы за последние 2 тыс. лет [2, 4, 16].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Результаты, полученные при изучении разрезов вдоль одного топографического профиля в 2013–2014 гг. [2, 3], показали, что бух. Валентин ( $43^{\circ}06'$  с.ш.,  $134^{\circ}18'$  в.д.) является одной из наиболее перспективных для поиска следов экстремальных гидрологических событий на побережье Восточного Приморья. Здесь были найдены осадки цунами 1993 и 1983 гг., а также палеоцунами. В 2016 гг. этот участок был выбран для детальных исследований особенностей осадконакопления во время современных и древних цунами, определения параметров заплесков, а также картирования зон затопления. Для этой цели на береговой низменности были заложены разрезы (шурфы и колонки, отобранные с помощью геослайсера) по сетке с шагом около 50 м (рис. 1). В тыловой части зоны затопления цунами 1993 г. шурфы закладывались более часто для более точного определения границы заплеска. Всего было изучено 47 разрезов. Высотная привязка каждого разреза была определена с помощью нивелирования, сделана поправка на приливно-отливные колебания. Для выделения цунами-



**Рис. 1.** Карта фактического материала. Северная часть Японского моря с эпицентрами сильных цунамигенных землетрясений (а); бухта Валентин и положение участка работ (б); участок детальных работ с положением изученных разрезов (в). Использованы космоснимки Google Earth Pro. 1 – Shiribetsu Trough.

генных песков использовались принятые в международной практике критерии [25, 26, 29, 30]. По результатам описания шурфов и скважин собраны данные по мощности отложений цунами, на основе которых построены карты изопахит, а также определено положение максимальных заплесов волн цунами. В разрезах также были обнаружены прослой суглинков, которые образовались во время сильных паводков.

Изучен гранулометрический состав осадков с использованием набора сит с шагом  $\gamma$ . Для идентификации происхождения прослоев песков и суглинков широко использовался диатомовый анализ. Все отложения цунами включают морские и солоноватоводные виды диатомей, для суглинков, оставленных паводками, характерен только пресноводный комплекс с обилием реофилов. Подготовка проб на диатомовый анализ проводилась по стандартной методике. Определение диатомей велось в постоянных препаратах с помощью микроскопа «Axioscop», при увеличении  $\times 1000$ . На диаграмму вынесены основные таксоны, позволяющие определить изменения экологических условий во время образования отложений. При определении глубин обитания морских бентосных видов на литорали учитывались данные по распространению современных диатомовых водорослей [17, 18].

Возраст отложений определялся по данным радиоуглеродного датирования, проведенного в Институте наук о Земле СПбГУ (табл.). Калибровка дат сделана в программе OxCal 4.3 с использованием калибровочной кривой «IntCal 13» [21].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Аккумулятивные участки берега в вершине бухты Валентин приурочены к устьям водотоков. Наиболее обширная низменность расположена в устье р. Валентиновки (III порядка). В нижнем течении русло прижато к левому борту долины. В южной части располагалось небольшое озеро, оставшееся на месте приустьевой лагуны низкопорядкового водотока, в настоящее время полностью засыпанное при ремонте дороги. В среднем голоцене и, возможно, в начале позднего здесь располагался обширный морской за-

лив. Хорошо выраженные абразионно-денудационные уступы протягиваются до 1 км в глубь суши. В изученных разрезах за исключением цунамигенных песков вскрываются только континентальные фации (рис. 2). В последние 2–2.5 тыс. лет шло развитие преимущественно аллювиальной аккумуляции. Признаков морской переработки аллювиальных отложений нет. Морские отложения, вероятно, залегают под грубообломочным аллювием.

Бухта находится в пределах Валентиновского гранитного интрузива [1]. Переработка кор выветривания на гранитах дает большое количество песчаного материала, что является одним из факторов интенсивной аккумуляции песков в прибрежной зоне. Наличие материала для переотложения также является одним из важных условий для выбора участков, перспективных для поиска осадков палеоцунами.

## ЦУНАМИГЕННЫЕ ПЕСКИ

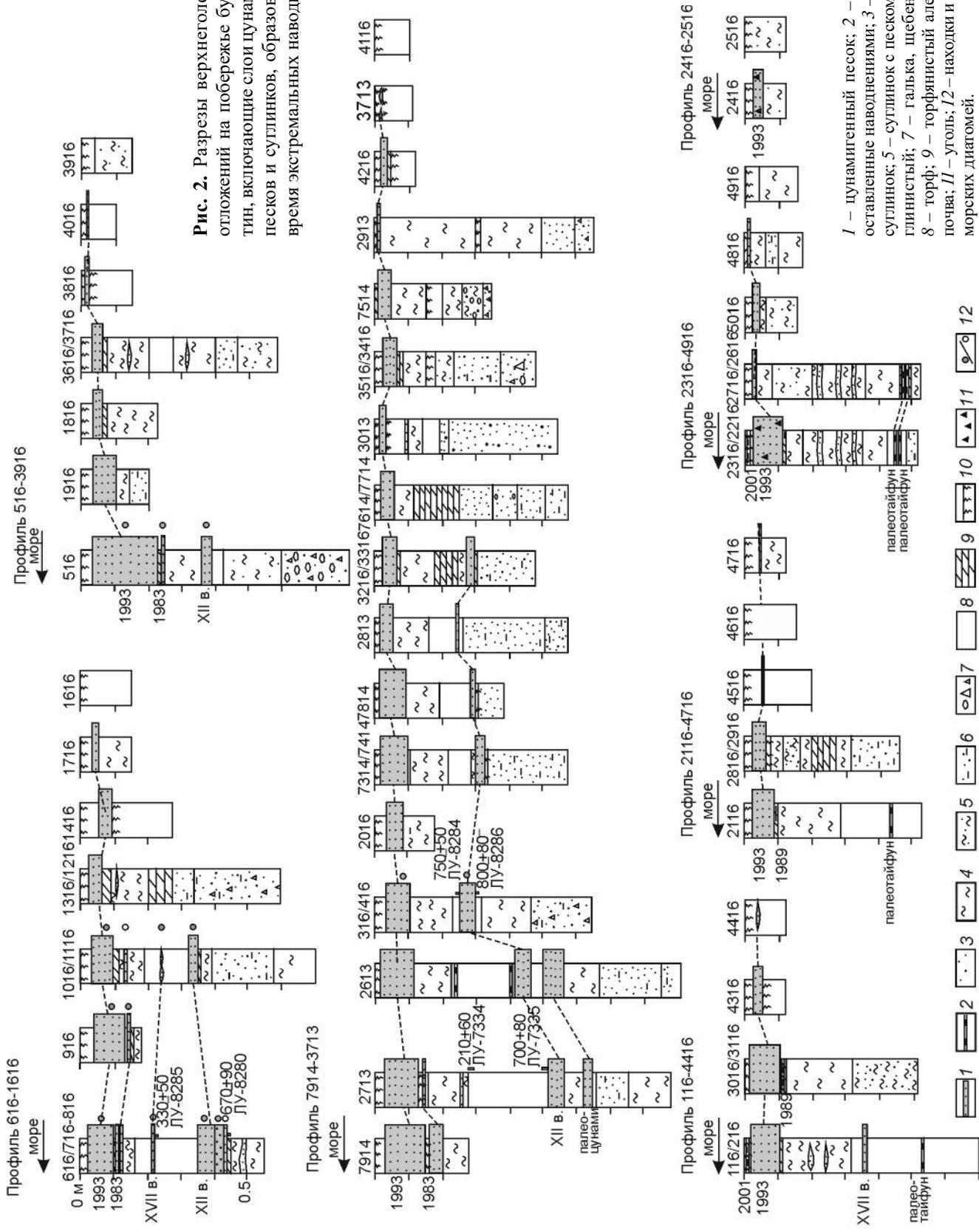
Осадки цунами 1993 г. формируют наиболее протяженный и выраженный покров песков. Зона аккумуляции имела протяженность вдоль берега не менее 700 м (покров сохранился на 350 м) и достигала 300 м в глубь суши, что, вероятно, близко к линии максимального заплеска. Высота заплеска была до 3.4 м. В районе рыбозавода, где к берегу подходит абразионно-денудационный уступ, дальность заплеска была 100 м, высота – 4 м [9].

Мощность осадков меняется в широких пределах (от 0.5 до 19 см), зона, где наблюдалась максимальная мощность осадка, располагалась в наиболее пониженной части около лагуны. Изопахиты (0, 3, 5 см), делящие область аккумуляции примерно на три части близкой площади, показывают фестончатый характер заплеска, обусловленный локальной топографией (рис. 2, 3). Нижний контакт слоя песка с почвой или торфом четкий, в большинстве разрезов без следов эрозии. Волнистый эрозионный контакт зафиксирован только в зоне (разрезы 116, 316), расположенной в центре бухты сразу за штормовым валом. В отдельных случаях, где слой более мощный, как правило, отмечена хорошо выраженная прямая градиционная

**Таблица. Список радиоуглеродных дат из разрезов верхнеголоценовых отложений на побережье бухты Валентин, Восточное Приморье.**

Номер образца	Интервал, м	Материал	$^{14}\text{C}$ -возраст, лет ( $\pm 2\sigma$ )	$^{14}\text{C}$ -калиброванный возраст, лет ( $\pm 2\sigma$ )	Лабораторный номер
1/2713	0.27–0.28	торф	210 $\pm$ 60	200 $\pm$ 110	ЛУ-7334
2/2713	0.50–0.52	торф	700 $\pm$ 80	650 $\pm$ 70	ЛУ-7335
2/316	0.24–0.25	торф	750 $\pm$ 50	690 $\pm$ 40	ЛУ-8284
1/316	0.30–0.31	торф	800 $\pm$ 80	750 $\pm$ 80	ЛУ-8286
1/816	0.23–0.24	торф	330 $\pm$ 50	390 $\pm$ 60	ЛУ-8285
2/816	0.44–0.46	торф	670 $\pm$ 90	620 $\pm$ 70	ЛУ-8280

**Рис. 2.** Разрезы верхнеголоценовых отложений на побережье бух. Вален-тин, включающие слои цунамических песков и суглинков, образованных во время экстремальных наводнений.



1 – цунамический песок; 2 – суглинки, оставленные наводнениями; 3 – песок; 4 – суглинок; 5 – суглинок с песком; 6 – песок глинистый; 7 – галька, щебень, древесина; 8 – торф; 9 – торфянистый алевит; 10 – почва; 11 – уголь; 12 – находки и отсутствие морских диатомей.



**Рис. 3.** Распределение отложений, отвечающих опасным гидрологическим явлениям, и границы заплесков цунами 1983 и 1993 гг. на побережье бух. Валентин.

а – осадочный покров отложений цунами 1993 г. с изопахитами (см); б – положение максимальных заплесков цунами 1993 и 1983 гг., восстановленных на основании распределения цунамигенных песков: 1 – разрезы, в которых обнаружены отложения цунами XVII в., 2 – то же XII в.; в – разрезы, в которых найдены суглинки, оставленные экстремальными наводнениями: 1 – 2001 г., 2 – 1989 г. (тайфун Джуди), 3 – тайфуны малого ледникового периода, 4 – суглинок, образованный при усилении речного стока ~ 200 кал. л.н., 5 – погребенный торфяник.

слоистость (разрез 116) – к подошве (нижние 3 см) материал становится более грубым. Моделирование эрозивно-аккумулятивных процессов свидетельствует, что активная эрозия во время цунами проходила на литорали, пляже и мористом склоне штормового вала [35]. Гранулометрический состав осадков показывает, что основным источником материала был подводный склон [4]. Осадки более тонкозернистые и лучше сортированы (мода 0.16–0.2 мм, средний размер зерен  $M_d$  0.2 мм), чем отложения штормового вала (моды 0.315–0.4 и 0.5–0.63 мм), включают примесь алеврита (до 17 %) и морские диатомеи, обычно отсутствующие на пляже.

Содержание и богатство морских видов диатомовых водорослей в цунамигенных песках сильно отличается на разных участках зоны затопления. В краевых частях покрова встречены единичные створки и отмечено не более 2–3 видов (2 %). Наиболее богатые комплексы (до 15 видов, составляющих до 41.6 % от общего числа створок) приурочены к зоне максимальной аккумуляции материала. Всего в осадках встречено 37 видов морских диатомей. Преобладают морские сублиторальные виды: бентосные бореальный *Anaulus maritimus* (до 12.9 %), северобореальный *Delphineis surirella* (до 19.2 %) и *Fragilariopsis oceanica*, космополиты *Amphicocconeis disculoides* (до 4.8 %), *Catenula adhaerens* (2 %), *Cocconeis scutellum*, *C. decipiens*, *C. costata*, *C. scutellum* var. *parva*, *Diploneis interrupta*, *Fallacia cryptolyra*, *F. dithmarsica*, *F. forcipata*, *Austariella jamalinensis*, *Delphineis delicatus*, *Fogedia finmarchica*, *Opephora marina*, *Plagiogramma stauraphorum*, *P.* aff. *vanheurckii*, *Triceratium arcticum*, *Petroneis granulata*, бореальные *Cocconeis peltoides*, *Pseudogomphonema kamtschaticum*. Эти виды могут обитать до глубин 40–50 м, расселение зависит от прозрачности воды в водоеме. *Cocconeis scutellum*, *C. peltoides*, *Fallacia cryptolyra*, *Tabularia fasciculata* могут обитать в песке под водой на глубине до 0.5 м, а также в зоне заплеска в 1–3 м от уреза на осушке [17]. Планктонные представлены *Odontella aurita*, *Paralia sulcata*. Среди неритических найдены аркто- и северобореальные *Thalassiosira gravida*, *T. kryophila*, *T. decipiens*, *Actinocyclus curvatulus* и *Chaetoceros cinctus*, высокобореальный *Bacterosira constricta*. Отмечены и океанические диатомеи – южнобореальные

*Coscinodiscus asteromphalus*, северобореальный *C. oculus-iris*. Найдены фрагменты сублиторального *Plagiogramma* sp., океанических *Coscinodiscus* sp., *Thalassiosira* sp. и *Triceratium* sp. Поломаные створки глубоководных планктонных видов диатомей в отложениях цунами обычно интерпретируются как свидетельство высокой турбуленции потока [34]. Створки солоноватоводных эпифита *Planothidium hauckianum* (до 7.2 %), *Stenophora pulchella*, *Melosira moniliformis*, *Tabularia fasciculata*, *Fallacia cryptolyra*, *F. forcipata* были занесены из бухты из зоны смешения морских и речных вод. Два последних вида являются гигропсаммонами и могут обитать под водой в песке до 0.5 м от поверхности дна.

Среди пресноводных диатомей из слоя песка, вскрытого в разрезах, расположенных около лагуны, отмечено большое количество диатомей, обитающих в мелководных озерах. Доминируют обрастатели (до 75 %), населяющие водоемы со средними показателями pH и минерализации: циркумнейтральный *Stauroforma exiguiiformis* (до 49 %), алкалифилы *Staurosira venter* (до 22 %), *S. subsalina* (до 7.9 %), а также донный *Nitzschia nana* (до 24.5 %) и временно планктонный ацидофил *Tabellaria flocculosa* (до 14.9 %). Сопутствующими являются временно планктонный ацидофил *Tabellaria fenestrata* (до 3.6 %), имеющий широкую экологическую амплитуду, но предпочитающий олиготрофно-дистрофные воды; обрастатели циркумнейтральные *Fragilaria gracilis*, *Achnanthisidium minutissimum* (4.8 %), алкалифилы *Fragilaria vaucheriae*, *Achnanthes rupestoides* (4.8 %), *Pseudostaurosira brevistriata* (2.8 %); донные: ацидофилы *Cavinula lapidosa* (7.8 %), *Navicula festiva* (3.4 %), циркумнейтральный *Brachysira vitrea*. Отмечен широкий спектр видов родов *Pinnularia* (*P. intermedia* – до 7.4 %, *P. divergentissima* – до 5.4 %, *P. subcapitata* – до 3 %, *P. viridis* – до 2.5 %, *P. divergens* – до 2.2 %, *P. obscura* и др.) и *Nitzschia* (*N. nana*, *N. perminuta*, *N. palea* – до 7.8 % и др.). Присутствуют планктонные виды, обычные для озер и проточных вод с околонеутральной pH: *Aulacoseira granulata*, *A. italica*, *A. ambigua*, *A. distans*. Диатомей, характерных для болот, мало (< 2 %), территория слабо заболочена. Состав диатомовых водорослей свидетельствует, что цунами прошло через озеро, захватывая воду и донные осадки. На удалении от лагуны в пресноводном комплексе наряду с видами, характерными для водоемов, появляются виды, способные переносить временные осушки, которые часто встречаются в почвах: *Pinnularia borealis* (9.5 %), *Luticola mutica* (6.5 %), *Hantzschia amphioxys* (4.7 %).

Осадки цунами 1983 г. встречены только на побережье в южной части бухты (рис. 1, 2, 3). Мощность слоя песка обычно не превышает 1.5 см. Максималь-

ная мощность (5 см) отмечена у северной оконечности лагуны (разрез 7914). Покров простирается в глубь суши до 160 м, слой лежит до 1.9 м н.у.м. Возможно, осадки могли быть частично размыты во время цунами 1993 г. По замерам, проведенным сразу после цунами, высота заплеска в районе пирса была 3 м, зона затопления – 70 м, по пойме реки волна прошла на расстояние не менее 0.5 км [14]. Возможно, в южной части бухты затопливалась и большая зона, но осадок был уничтожен во время цунами 1993 г. У кочегарки был смыт складированный уголь [14], но в осадке он не обнаружен. Эрозионные процессы были слабее выражены, чем при более масштабном цунами 1993 г. Компьютерное моделирование показало, что при прохождении цунами 1983 г. в зону эрозии попала приурезовая зона и пляж [35]. По сравнению с цунами 1993 г. осадок более тонкозернистый (мода 0.125–0.16 мм, Ма 0.16 мм), гранулометрические кривые почти симметричные, коэффициент асимметрии положительный (Ка 0.53), т.е. есть «хвост» мелких фракций, что подтверждает поступление материала с подводного берегового склона. Основная часть материала, вероятно, была захвачена с подводного берегового склона, поскольку пляж и штормовой вал сложены средне- и крупнозернистым песком (моды 0.5–0.63, 0.315–0.4 мм) [3]. Доля этих фракций в цунамигенном песке < 6 %.

В осадках встречено 19 видов морских диатомей (до 2.9 %) – бентосные *Anaulus maritimus*, *Amphicocconeis discoloides*, *Cocconeis scutellum*, *C. scutellum* var. *parva*, *C. costata*, *C. peltoides*, *Delphineis surirella*, *Diploneis interrupta*, *Fallacia cryptolyra*, из планктонных встречены *Odontella aurita* и фрагменты *Triceratium* sp., неритические представлены аркто- и северобореальными *Thalassiosira gravida*, *T. kryophila*, *Actinocyclus curvatulus*, океанические диатомей – южнобореальным *Coscinodiscus asteromphalus*, северобореальным *C. oculus-iris* и фрагментами *Thalassiosira* sp., *Coscinodiscus* sp. Пресноводные виды, как и в песках 1993 г., в основном выносились из лагунного озера (*Stauroforma exiguiiformis* – до 41.1 %, *Tabellaria flocculosa* – до 16.7 %, временно планктонный ацидофил *Tabellaria fenestrata* (2.4 %), *Staurosira venter* (до 3.2 %), *Fragilaria gracilis*, *Navicula peregrina*, *N. rhynchocephala*, *N. cincta*). Среди планктонных видов выделяется *Aulacoseira italica* (2.6 %), присутствуют *A. pfaffiana*, *A. subarctica*, *A. valida*, *A. alpigena*. Здесь обнаружены более богатые списки видов рода *Pinnularia* (20 таксонов) и *Eunotia* (11), но содержание их в сумме невысокое и составляет 6.3% и 4.2 %, соответственно. Высокое участие ацидофильных видов рода *Eunotia* (*E. implicata*, *E. flexuosa*, *E. monodon*, *E. crista-galli* и др.) отмечено лишь на заболоченном

участке (разрез 516). Во вмещающих отложениях (рис. 4) доминируют характерные для слабо заболоченных, слабо обводненных условий *Hantzschia amphioxys* (до 35 %), *Pinnularia isselana* (до 9.7 %), *P. lagerstedtii* (до 13 %), *Neidium bisulcatum* (до 5.6 %).

Для поиска отложений более древних исторических цунами и палеоцунами наиболее перспективными оказались разрезы, включающие погребенный торфяник (протяженность 350×150 м, мощность до 0.38 м), залегающий под слоем суглинка и вскрытый в сниженной части террасы сразу за штормовым валом (высотой 2 м) (рис. 2, 3). Детальные исследования, проведенные в 2016 г., позволили найти следы цунами, ранее отмеченные в других бухтах Восточного Приморья, но не известные для бух. Валентин [2].

Отложения цунами XVII в. найдены в южной части береговой низменности (разрезы 116, 816, 1016) (рис. 2). Покров песка (мощность до 1 см) прослеживается до 180 м от берега, до высоты 1.85 м. Слой прерывистый, песок залегают гнездами. Распространение покрова, в целом, аналогично осадкам цунами 1983 г., можно предположить, что масштаб событий и ход эрозионно-аккумулятивных процессов были близкими.

Гранулометрические кривые распределения имеют хорошо выраженную основную моду (0.16–0.2 мм или 0.1–0.125 мм), что свидетельствует о преобладающей поставке материала с подводного берегового склона. Небольшие моды в области 0.315–0.4 и 0.5–0.63 мм говорят о поступлении материала за счет эрозии пляжа и штормового вала. Доля алеврита достигает 11 %, примесь гравия – до 2 %. По мере удаления от береговой линии осадок становится более тонким, кривые распределения – одномодальными, симметричными, сортировка материала улучшается.

В осадках найдено 7 таксонов морских и солоноватоводных диатомей (6.9 %). Наиболее часто встречаются бентосные сублиторальные виды *Delphineis surirella* (1.9 %), *Catenula adhaerens* (1.3 %), *Anaulus maritimus*, *Cocconeis scutellum*, *Amphicocconeis disculoides*. Найдены также неритический *Bacterosira constricta* и фрагменты океанического *Coscinodiscus* sp. Набор пресноводных видов и их пропорции в песках отличаются от диатомового комплекса вмещающего торфяника (рис. 4). Виды, характерные для стоячих или медленно текущих вод *Stauroforma exiguiformis* (71.9 %), *Aulacoseira italica*, *A. alpigena*, *Tabellaria flocculosa*, *Staurosira subsalina*, *Pseudostaurosira brevistriata* были переотложены волной цунами из озера (разрез 1016). В краевых частях зоны затопления привнос материала из озера был незначителен (разрез 716). Пресноводные диатомеи здесь переоткладывались, в основном, за счет эрозии переувлажненной

почвы. Доминируют *Hantzschia amphioxys* (16.8 %), *Nitzschia nana* (9.8 %), *Caloneis tenuis* (8.7 %), *Nitzschia palea* (5.4%), *Navigeia paludosa* (6.5 %), *Pinnularia viridis* (4.9 %), *P. obscura* (3.3 %). Диатомей, характерных для болот, мало.

Радиоуглеродная дата 330 ± 50 л.н., 390 ± 60 кал. л.н., ЛУ-8285, полученная из подстилающего торфа, позволяет сопоставить это событие с одним из крупных цунами XVII в.

Отложения цунами XII в. также найдены только в южной части бухты (рис. 2, 3). Слой песка, оставленный этим цунами, более мощный (до 9 см). Нижний контакт эрозионный, в некоторых разрезах торфяник был полностью размыт и слой песка залегают на нижележащих аллювиальных суглинках (разрезы 816, 2716, 2616, 3316). Покров прослеживается до 220 м в глубь суши, на высоту до 2.2 м. Местами отмечена градиционная слоистость, отвечающая дифференциации материала при осаждении (разрез 516). В разрезе 716 отмечены следы прохождения двух волн: первая осадилась слой мелкозернистого песка (мощность 1 см), вторая оставила слой крупнозернистого песка (3 см), перекрытый мелкозернистым (5 см).

В южной части бухты (разрезы 716, 1016) пески характеризуются полимодальными кривыми распределения (моды 0.125–0.2; 0.315–0.4; 0.4–0.5 мм) и умеренной сортировкой. Примесь крупнозернистого песка достигает 16 %, гравия – 2.4 %, алеврита – 2.6 %. Цунами сопровождалось не только активной эрозией дна бухты, но и активно размывался пляж и древний штормовой вал. Слой крупнозернистого песка сложен, в основном, материалом, переотложенным за счет размыва штормового вала. К центру бухты (разрезы 316; 516) в песках снижается доля крупных фракций, кривые становятся, практически, одномодальными (0.125–0.16 мм) с небольшим пиком 0.315–0.4 мм, доля алеврита увеличивается до 8 %. Основным источником материала был подводный береговой склон и, в меньшей мере, пляж.

В отложениях встречены 16 таксонов морских и солоноватоводных диатомей (до 4 %). Преобладают сублиторальные бентосные виды: *Delphineis surirella*, *Anaulus maritimus*, *Cocconeis scutellum*, *C. costata*, тепловодный *C. pellucida*, *Isthmia nervosa*, *Plagiogramma staurophorum*, *Amphicocconeis disculoides* и *Rhabdonema arcuatum*. Планктонные включают *Paralia sulcata*, *Hyalodiscus scoticus*. Найдены также океанический южнобореальный *Coscinodiscus asteromphalus*, фрагменты *Triceratium* sp. и неритический северобореальный *Thalassiosira eccentrica*. Солоноватоводные включают *Diploneis interrupta* (до 1.5 %), *Planolithidium hauckianum*. Пресноводные диатомеи были

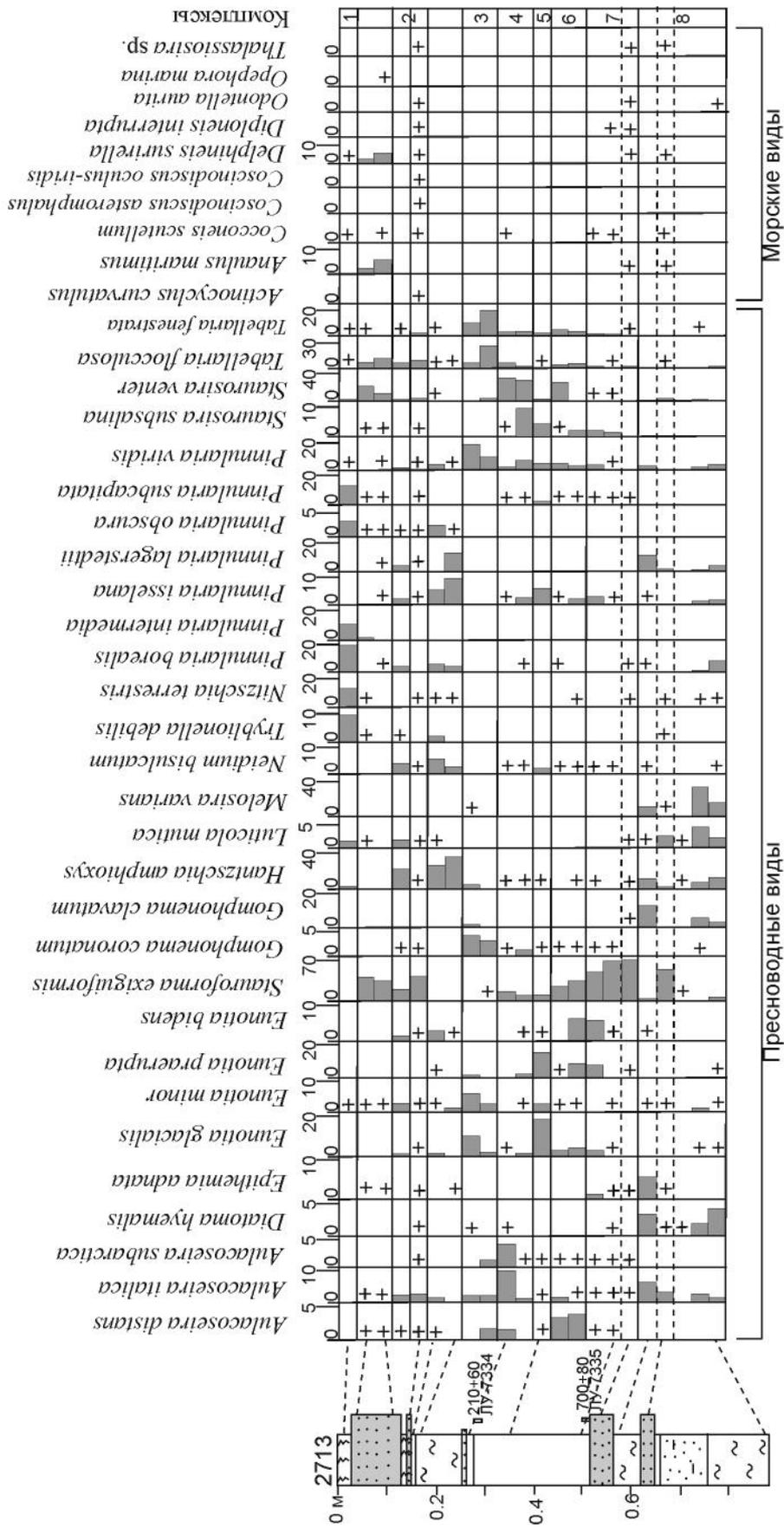


Рис. 4. Распределение диатомей в отложениях разреза 2713.

Условные обозначения см. на рис. 2.

переотложены из мелководного слабо заболоченного озера. Доминирует *Stauroforma exiguiformis* (до 69 %). К сопутствующим можно отнести планктонные *Aulacoseira italica*, *A. alpigena*, временно планктонный *Tabellaria flocculosa*, обрастатели *Staurosira subsalina*, *Pseudostaurosira brevistriata*, а также донные *Pinnularia borealis*, *P. lagerstedtii* и др. Диатомей, характерных для болот, мало.

Из подстилающего торфа была получена  $^{14}\text{C}$  дата  $800 \pm 80$  л.н.,  $750 \pm 80$  кал. л.н., ЛУ-8286,  $^{14}\text{C}$  дата  $670 \pm 90$  л.н.,  $630 \pm 70$  кал. л.н., ЛУ-8280 рассматривается как омоложенная. Из перекрывающего торфа  $^{14}\text{C}$ -даты –  $750 \pm 50$  л.н.,  $690 \pm 40$  кал. л.н., ЛУ-8284 и  $700 \pm 80$  л.н.,  $650 \pm 70$  кал. л.н., ЛУ-7335 (табл.).

*Отложения палеоцунами.* Более древний слой цунамигенных песков встречен только в разрезе 2713 в 100 м от уреза (рис. 2, 3). По аналогии с соседней бух. Кит можно предположить, что здесь сохранились отложения сильного цунами (в бух. Кит – высота заплеска  $> 5$  м, зона затопления  $> 300$  м), которое произошло 1.7–1.8 тыс. кал. л.н. (20–390 гг. н.э.) [2]. В других точках отложения были уничтожены за счет миграции речного русла и в наводнения. Экстремальное наводнение, оставившее мощный слой суглинка, залегающего в почвенном профиле в верхней части лагунной террасы, датировано в бух. Кит около  $1720 \pm 60$  л.н.,  $1640 \pm 70$  кал. л.н. ЛУ-8279 [2].

По своим гранулометрическим характеристикам песок близок к осадкам 1993 года (мода 0.2–0.25 мм). Морское происхождение подтверждают находки диатомей, характерных для литоральной зоны: *Anaulus maritimus*, *Cocconeis scutellum*, *Delphineis surirella* и фрагменты неритического *Thalassiosira* sp. Среди пресноводных преобладают озеро-реофильные диатомей, характерные для текучих вод: эпифит (обрастатель) *Stauroforma exiguiformis*, из планктонных – *Aulacoseira italica* (рис. 4). Материал поступал, в основном, с подводного берегового склона и захватывался из берегового озера.

*Наилки сильных наводнений.* Аллювиальные фации в изученных разрезах представлены русловыми галечниками и разнозернистыми песками, пойменными суглинками, образованными во время экстремальных наводнений, когда затапливалась приустьевая зона р. Валентиновки. В большинстве разрезов русловые отложения, по-видимому, были образованы в плювиальную фазу малого оптимума голоцена, когда были выше расходы воды и увеличивалась частота наводнений [16]. Вероятно, в это время происходила активная аккумуляция материала в приустьевой зоне и быстрое выдвигание береговой линии. Эти отложения перекрыты торфяником малого ледникового периода.

*Наводнение после 1993 г.* Слой серого суглинка (мощность 5–7 мм) встречен в дернине в северной части низменности (разрезы 116, 2216), на расстоянии до 430 м от реки. Суглинок лежит выше цунамигенного песка 1993 г. и, вероятно, был образован во время мощного циклона 7 августа 2001 г., когда за 2 часа была превышена месячная норма осадков (<https://maglipogoda.ru/istoriya-tayfunov-i-moshhnykh-ciklonov-na/>).

*Тайфун Джуди 24–30 июля 1989 г.*, сопровождавшийся проливными дождями, был самым продолжительным за историю наблюдений. Выпало до 375 мм осадков (<https://maglipogoda.ru/istoriya-tayfunov-i-moshhnykh-ciklonov-na/>). Паводок оставил тонкие (до 5 мм) линзы серого суглинка в торфянистых алевритах, лежащих сразу под осадками цунами 1993 г. (разрезы 2116, 3016) (рис. 4). Линзы встречены на расстоянии до 450 м от реки (на высоте 2–2.5 м), но затапливаться могла вся береговая низменность, слой суглинка мог быть уничтожен во время цунами 1993 г. В свою очередь наводнение 1989 г. могло уничтожить маломощный слой цунами 1983 г.

*Наводнения в последние 200 лет.* В верхней части разрезов береговой низменности хорошо выражен слой серого массивного суглинка (мощностью до 12 см). В некоторых точках слой включает тонкие прослойки мелкозернистых песков (разрез 116, 1016), количество которых увеличивается при приближении к р. Валентиновке. В отличие от цунамигенных отложений, эти пески включают только пресноводные диатомей. Суглинок встречен в разрезах, расположенных в нижней части береговой низменности, имеет покровное залегание и перекрывает торфяник, что свидетельствует о резком изменении обстановки осадконакопления, связанном с резким увеличением атмосферного увлажнения. Из подстилающего торфа получена  $^{14}\text{C}$  дата  $210 \pm 50$  л.н.,  $200 \pm 110$  кал. л.н., ЛУ-7334.

В основании суглинка отмечено высокое содержание озерно-реофильных диатомей *Staurosira venter*, *S. subsalina*, *Stauroforma exiguiformis* (рис. 4). Выше доминируют временно планктонные *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*, донный *Pinnularia viridis*, а также болотные *Eunotia glacialis*, *E. minor*. Присутствие планктонных *Aulacoseira italica*, *A. subarctica*, *A. distans* и эпифитов *Staurosira venter*, *Gomphonema coronatum* указывает на речное влияние и прохождение сильных наводнений. Вероятно, в устье низкочастотного водотока в условиях повышенной водности образовалось мелководное озеро. Найдены только пресноводные диатомей, связи с морем не было.

В прослоях песков в суглинке доминируют планктонный *Aulacoseira granulata* (10 %), обрастатель

*Gomphonema parvulum* (6.5 %), на фоне *Tabellaria flocculosa* (7.1 %), и различные донные виды рода *Pinnularia* (*P. eifelana*, *P. frequentis*, *P. rupestris*, *P. viridis*). В качестве сопутствующих можно отметить *Caloneis tenuis*, *Fragilaria gracilis*, *Meridion constrictum* и др. В отдельных точках (разрез 116) ведущими являются характерные для стоячих и медленно текущих вод *Tabellaria fenestrata* (21.9–31.7 %), *T. flocculosa* (до 7 %), обрастатели циркумнейтральные *Encyonema silesiacum* (до 5.6 %), *Gomphonema coronatum* (до 3.1 %) и предпочитающие проточные хорошо аэрированные воды *Hannaea arcus* var. *recta* (до 7.9 %), *Ulnaria ulna* (до 7 %). Здесь же в заметном количестве найдены характерные для болот *Eunotia implicata* (12.5 %) и *E. minor* (3.2 %). В кровле суглинка (рис. 4) появляются виды, характерные для слабо обводненных условий, – *Hantzschia amphioxys* (до 35 %), *Pinnularia isselana* (до 9.7 %), *P. lagerstedtii* (до 13 %), *Neidium bisulcatum* (до 5.6 %).

**Наводнения малого ледникового периода.** В погребенном торфянике (разрезы 2713, 2613, 2116, 2216, 2616) обнаружены 1-2 тонких (до 1 см) слойка серых суглинков, отвечавших затоплению береговой низменности в экстремальные паводки малого ледникового периода. В составе диатомей (рис. 4) наряду с видами, характерными для болотных обстановок (*Eunotia glacialis*, *E. praerupta*, *E. bidens*), высокого содержания достигают озерно-реофильные эпифиты *Staurisira venter*, *Stauriforma exiguiformis*, планктонные *Aulacoseira italica*, *A. subarctica*, *A. distans*. Наиболее выражен слой, образованный около 560–590 кал. л.н. Второе наводнение прошло через 10–20 лет.

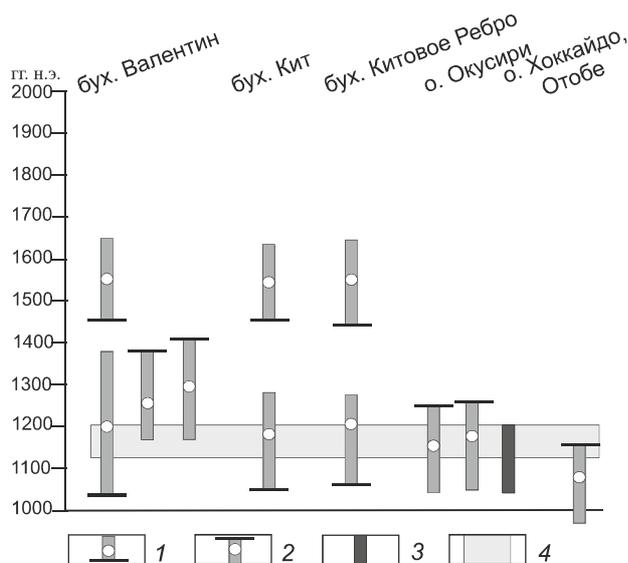
#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Проявление сильных цунами.** Анализ распределения осадков цунами 1993 и 1983 гг. показывает, что положение осадочных покровов несколько отличается от величин горизонтальных и вертикальных заплесков, замеренных при обследовании берега, проведенных сразу после цунами [9, 14]. Следует учитывать, что замеры проводились в районе причала и рыбоперерабатывающего завода на участке развития абразионно-денудационного берега с прислоненной к нему выровненной антропогенной площадкой на месте морской террасы. Поиск же осадков цунами проведен в южной части бухты, где за штормовым валом расположена небольшая депрессия, часть которой занимало береговое озеро. Это сниженная часть береговой низменности играла роль седиментологической ловушки, где шло осаждение материала во время цунами. Дальность заплеска цунами 1993 г. здесь была существенно больше (на 200 м), чем в северной части бухты, высота заплесков несколько ниже (~ на 0.6 м).

Такая же картина отмечена и для цунами 1983 г.: зона затопления на аккумулятивном берегу была в 2.5 раза больше, чем горизонтальный заплеск у причала, высота заплеска наоборот была ниже на 1 м. Разница в параметрах отчасти связана с разным строением берега. Картирование покровов современных осадков позволило уточнить характер заплеска в разных частях бухты. Тот факт, что зона осадконакопления не всегда достигает линии максимального заплеска по высоте, в целом, соответствует наблюдениям, сделанным после современных крупных цунами [26]. Большую роль в консервации и захоронении покровов цунамигенных песков играет и разная сохранность осадка на разных формах рельефа. В Приморье одним из факторов, которые сильно влияют на возможность сохранения геологических следов цунами, являются частые наводнения, которые могут полностью уничтожить осадки даже при наличии источника материала (широкого песчаного пляжа и обилия песка на подводном склоне) и высоких заплесках [2]. Наблюдения, сделанные после современных цунами, показывают, что по долинам рек горизонтальный заплеск намного выше, так волна цунами 1983 г. прошла на расстояние не менее 0.5 км [14], но восстановить эти параметры не представляется возможным. В таких условиях следует понимать, что картирование разновозрастных покровов цунамигенных песков позволяет восстанавливать минимальные величины заплесков палеособытий.

В изученных разрезах не найдены осадки Тетюхинского цунами 1940 г., наиболее ярко проявившегося в бух. Рудная (до 5 м) [6, 10]. Можно предположить, что в вершине бух. Валентин цунами не вышло за пределы древнего штормового вала (высотой 2 м).

На побережье бух. Валентин не найдены и осадки цунами 1741 г., крупнейшего в Япономорском регионе за исторический период [22, 24]. Цунами было вызвано извержением с обрушением (коллапсом) конуса влк. Осима-Осима, расположенного на одноименном острове около Юго-Западного Хоккайдо [33]. Высота волн на Хоккайдо достигала 15 м [27]. Осадки этого цунами были найдены на о. Окусири и юго-западе Хоккайдо, они залегают в разрезах чуть выше прослоя вулканического пепла Ко-д извержения влк. Комагатаке в 1640 г. [25]. В то же время в бух. Валентин  $^{14}\text{C}$  дата  $210 \pm 50$  л.н.,  $200 \pm 110$  кал. л.н., ЛУ-7334, полученная из торфа, подстилающего суглинков в верхней части разрезов, с вероятностью 73.7 % попадает в возрастной диапазон 1625–1893 гг., к которому и относится цунами 1741 г. Возможно, осадки этого цунами могли не сохраниться за счет частых наводнений, начавшихся около 200 л.н. Возможно, в этой части побережья Восточного Приморья цунами потеряло свою силу и не оставило осадочных покровов.



**Рис. 5.** Сравнение калиброванных значений возраста цунами XVII и XVIII вв., проявившихся на побережье Приморья и Японских островах [23, 25].

1 – возраст подстилающего торфа: разброс и среднее значение; 2 – возраст перекрывающего торфа: разброс и среднее значение; 3 – возраст оползня на о. Окусири [25], 4 – возраст сейсмогенных турбидитов на дне Японского моря [25].

Большой интерес представляет находка отложенный цунами XVII в. Дата ЛУ-8285 ( $330 \pm 50$  л.н.,  $390 \pm 60$  кал. л.н.) из подстилающего торфа с вероятностью 95.4 % охватывает диапазон от 1454 до 1649 гг. (рис. 5). В это время в Японском море были зафиксированы два сильных цунами – 26 ноября 1614 г., вызванное землетрясением ( $M=7.7$ ), эпицентр которого находился к юго-западу от о-ва Садо, и 18 октября 1644 г., эпицентр землетрясения ( $M = 6.9$ ) был около г. Хондзе (Honjo), префектура Акита (Akita), северо-запад о. Хонсю [22, 24]. Высота волн на Японских островах достигала 4 м. На северо-западе Хонсю были многочисленные разрушения, сильные повреждения получил замок Хондзе (Honjo), в г. Кисаката (Kisagata) погибли 117 человек [22].

Вероятно, на побережье Восточного Приморья более интенсивно могло проявиться цунами 1644 г. Пески, оставленные этим цунами, найдены в бух. Кит, Китовой Ребро, Лангоу I [2, 4]. На побережье юго-западного Хоккайдо цунамигенных отложений этого возраста не обнаружено [25], возможно, потому, что это была периферийная зона распространения цунами, а максимум волновой энергии был направлен в сторону берегов Приморья.

Распределение осадков цунами XII в. на берегу бух. Валентин в целом близко к цунами 1993 г., хотя

покров песков имеет меньшую мощность и протяженность (рис. 2, 3). Можно предположить, что источник находился примерно в одной области – около о. Окусири. Этим можно объяснить, почему цунами XII в. не зафиксировано в японских летописях, где подробные записи для южной части Японского моря и о. Хонсю велись с VII века [22].

$^{14}\text{C}$  дата ЛУ-8286 из торфа, подстилающего цунами XII в. в бух. Валентин, с вероятностью 95.4 % отвечает широкому диапазону 1035–1381 гг., среднее значение которого  $1200 \pm 76$  г. Из перекрывающего торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата ЛУ-8284, охватывающая 1169–1384 гг., среднее значение  $1258 \pm 41$  г. Близкие  $^{14}\text{C}$ -даты получены для цунамигенных песков в бух. Кит ( $830 \pm 60$  л.н.,  $770 \pm 60$  кал. л.н., ЛУ-7064) – интервал 1043–1279 гг., средняя  $1185 \pm 64$  г., и бух. Китовое Ребро ( $820 \pm 40$  л.н.,  $740 \pm 40$  кал. л.н., ЛУ-6890) – разброс 1058–1277 гг., средняя  $1212 \pm 42$  г. В бух. Кит вертикальный заплеск был 2.5 м, дальность – 120 м. Как и в 1993 г., на северном участке берега цунами проявилось слабее: заплеск был 1.7 м, дальность 150 м [2].

Отложения цунами этого возраста были найдены на о-вах Окусири и Хоккайдо [25]. Пески залегают на высотах до 5.75 м, зоны затопления превышали 450 м. Из вышележащих органических отложений получены  $^{14}\text{C}$  даты  $860 \pm 30$  и  $870 \pm 30$  л.н., что соответствует XII в. (средние значения  $1176 \pm 48$  и  $1162 \pm 52$  гг.). Хронологические данные по Восточному Приморью также позволяют ограничить время прохождения цунами второй половиной XII века. Предполагается, что цунами было сейсмогенным [25]. На дне Японского моря (Shiribetsu Trough) обнаружены близкие по возрасту сейсмогенные турбидиты [23]. На о. Окусири в западной части есть крупный сейсмооползень ( $1 \times 3$  км), датированный 1040–1275 гг. [20]. Цунами не зафиксировано в японских летописях [24], но по геологическим данным предполагается, что очаг находился в районе о. Окусири или его южной оконечности [25]. Данные по Приморью подтверждают это предположение.

Палеоцунами, произошедшее ~1.7–1.8 тыс. кал. л.н., осадки которого найдены на побережье бух. Валентин и Кит [2], проявилось и на побережье о. Окусири, минимальную высоту заплеска оценивают около 6–7 м [25].

Данные по гранулометрическому составу песков свидетельствуют, что во всех случаях основная поставка материала во время цунами шла с подводного берегового склона. Только цунами XII в. наряду с эрозией дна бухты вызвало активный размыв пляжа и штормового вала, причем более активное переотложение материала из подводных аккумулятивных форм шло в южной части бухты. В целом, сходный состав

осадков позволяет предположить, что ход эрозионно-аккумулятивных процессов цунами XVII в. был близок к цунами 1983 г., а цунами XII в. – к цунами 1993 г.

Во всех цунамигенных песках обнаружены морские и солоноватоводные диатомеи. Преобладают сублиторальные бентосные виды, обитающие на глубинах до 5–10 м [18]. Часто встречаются виды-гидропсаммоны, способные обитать в толще песка (до 0.5 м) и в зоне заплеска. В небольшом количестве найдены также неритические и океанические формы, занесенные волной цунами с глубоководных участков моря. Наличие фрагментов створок свидетельствует о высокой турбулентности потока. Солоноватоводные виды, скорее всего, переносились из зоны смешения морских и пресных вод. Наибольшее число морских и солоноватоводных видов отмечено в осадках цунами 1993 г., наиболее масштабного события на данном участке побережья. Основной перенос материала, вероятно, шел с глубин до 5 м. Набор пресноводных видов в разновозрастных цунамигенных песках также схожий и сильно отличается от вмещающих континентальных отложений. Преобладают озерно-реофильные диатомеи, которые могли заноситься из озера, которое попадало в зону затопления всех цунами. Перенос шел как с водой, так и из донных осадков.

*Проявление экстремальных наводнений.* Строевые разрезы береговой низменности бух. Валентин свидетельствует о крайней неравномерности повторяемости сильных паводков за последнюю тысячу лет. Плувиальная фаза малого оптимума голоцена, когда в приустьевой зоне происходила активная аккумуляция руслового аллювия в условиях высокой водности водотоков, хорошо сопоставляется с данными по западному макросклону Сихотэ-Алиня. В бассейне р. Бикин начало периода с обильным речным стоком и сильными частыми паводками датировано ~1260 кал. л.н., снижение частоты наводнений установлено только на границе с малым ледниковым периодом (720 кал. л.н.) [16]. Высокий речной сток и частые паводки в условиях средневекового потепления, вероятно, обусловлены метеорологическими условиями, близкими к современным климатическим изменениям, для которых характерно падение приземного атмосферного давления, усиление циклонической активности и повторяемости тропических и внетропических циклонов, приносящих ливневые осадки [15].

Снижение водности водотоков, впадающих в бух. Валентин, по-видимому, произошло в первой половине–сердине XII века. Торфяник на аллювии начал формироваться ~800–820 кал. л.н. В малый ледниковый период на изученном участке зафиксировано 1–2 экстремальных паводка. Возраст событий хорошо сопоставляется с данными по бух. Кит, где слой

суглинка, образованный во время сильного наводнения, датирован около  $670 \pm 90$  л.н.,  $630 \pm 60$  кал. л.н., ЛУ-7336 [2]. Дата получена по подстилающей почве. Возможно, в бухтах фиксируются разновозрастные события, отвечающие теплой фазе середины XIV–начала XV вв. [11]. Близкий по возрасту сильный паводок датирован около  $610 \pm 60$  л.н.,  $600 \pm 40$  кал. л.н., ЛУ-6894 на побережье зал. Опричник, где в разрезе торфяника в устье р. Опричнинки хорошо выражены прослой суглинков, оставленные во время сильных паводков. В бассейне р. Бикин усиление частоты сильных паводков установлено для периода около 645–550 кал. л.н. Следующий этап обильного речного стока (около 490–420 кал. л.н.), проявившийся на западном макросклоне и совпадающий с потеплениями конца XV–первой половины XVI вв. [16], на побережье бух. Валентин не проявился.

Усиление паводковой активности на побережье бух. Валентин около 200 л.н. хорошо совпадает с данным по усилению частоты сильных паводков в бассейне р. Бикин в условиях прогрессирующего потепления в конце малого ледникового периода в последние 220 кал. лет [16]. Из событий последних десятилетий в поверхностной почве найдено только два слоя суглинка, которые являются следом тайфуна Джуди (1989 г.) и наводнения, произошедшего в результате глубокого циклона 7 августа 2001 г. Осадки паводков меньшей интенсивности локализованы около р. Валентиновки. В отличие от бух. Кит [2], покров суглинков, образованный во время затопления побережья бух. Валентин во время тайфуна Джуди, имеет небольшую мощность, и их образование не привело к экологическим изменениям.

## ВЫВОДЫ

В отложениях побережья бух. Валентин зафиксировано 4 крупных цунами, произошедших за последнюю тысячу лет. Наиболее сильным, сопровождавшимся более интенсивной эрозией и оставившим более мощный и протяженный покров песков, было цунами 1993 г. Сопоставимым с ним по интенсивности и ходу эрозионно-аккумулятивных процессов, вероятно, является цунами XII в. Цунами 1983 г. и 1644 г. были близкими по проявлению. Вероятно, для этой части побережья Восточного Приморья наиболее опасными являются цунами, очаги которых находятся в районе о. Окусири. События эти редкие, их разделяет ~700 лет, о повторяемости можно говорить, только имея более длительные временные ряды наблюдений. Цунами, связанные с землетрясениями с эпицентрами, расположенными около северо-западного Хонсю, проявлялись слабее.

Получены данные об отсутствии характерного периода повторяемости экстремальных наводнений в Восточном Приморье за последнее тысячелетие. Плувиальная фаза малого оптимума голоцена, сопровождавшаяся активной аккумуляцией аллювия в приустьевой зоне, закончилась в начале–середине XII века. В малый ледниковый период водность рек была незначительной. Выделены только два события, сопоставимые с катастрофическими паводками конца XX–начала XXI вв., отвечающие кратковременной теплой фазе середины XIV–начала XV вв. Из современных событий в осадочном чехле обнаружены только следы тайфуна Джуди (1989 г.) и наводнения, вызванного сильным циклоном 7 августа 2001 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток», проект 18-5-003.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валуи Г.А. Петрология гранитоидов и дифференциация расплавов в малоглубинных условиях. Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс. Владивосток: Дальнаука, 2014. 245 с.
2. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Кайстренко В.М., Горбунов А.О., Арсланов Х.А., Чернов С.Б., Наумов Ю.А. Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 1. С. 79–95.
3. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Горбунов А.О., Кайстренко В.М., Наумов Ю.А., Лебедев И.И. Осадки цунами 1983 и 1993 гг. на побережье Приморья // Океанология. 2017. Т. 57, № 4. С. 628–640. <https://doi.org/10.1134/S0001437017040075>.
4. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Арсланов Х.А., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Горбунов А.О., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Харламов А.А. Проявление палеоцунами на побережье Приморья в голоцене // Геоморфология. 2018. № 2. С. 20–31.
5. Гарцман Б.И., Шапов В.В., Губарева Т.С. и др. Речные системы Дальнего Востока России: четверть века исследований. Владивосток: Дальнаука, 2015. 492 с.
6. 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.
7. Го Ч.Н., Иващенко А.И., Симонов К.В., Соловьев С.Л. Проявление япономорского цунами 26 мая 1983 года на побережье СССР // Накат цунами на берег. Горький: ИПФ АН СССР, 1985. С. 171–180.
8. Голицын Г.С., Васильев А.А., Куличков С.Н. и др. Природные опасности России. Т. 5. Гидрометеорологические опасности. М.: Крук, 2001. 295 с.
9. 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.
10. Игнатов Е.И., Лохин М.Ю., Никифоров А.В., Фроль В.В. Геоморфологические проблемы цунамиопасности (на примере Японского моря). Смоленск: Маджента, 2008. 128 с.
11. Клименко В.В. Климат: непрочитанная глава истории. М.: Изд. Дом МЭИ, 2009. 408 с.
12. Короткий А.М., Куликова В.В. Воздействие цунами на прибрежную зону Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 6. С. 34–47.
13. Лобанов В.Б., Данченков М.А., Лучин Е.В., Мезенцева Л.И., Пономарев В.И., Соколов О.В., Трусенкова О.О., Устинова Е.И., Ушакова Р.Н., Хен Г.В. Дальневосточные моря России. Раздел 5.4 // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. С. 684–743.
14. Полякова А.М. Опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в северной части Тихого океана и цунами в побережье Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2012. 182 с.
15. Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П. Особенности климатических режимов в северной части Азиатско-Тихоокеанского региона // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, 2015. Вып. 1 (21). С. 67–72.
16. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Арсланов Х.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П. Изменения интенсивности наводнений в Приморье в позднем голоцене: палеоаналоги современной ситуации // Геосистемы в Северо-Восточной Азии. Типы, современное состояние и перспективы развития. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2018. С. 232–236.
17. Рябушко Л.И. Микрофитобентос Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 416 с.
18. Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) залива Восток Японского моря // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2014. № 2. С. 4–17.
19. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 312 с.
20. Amemiya K., Miyasaka S., Katoh T. Age and depositional landform of kamuiyama debris avalanche, Okushiri Island, Hokkaido // Abstracts of the 105th annual meeting of the Geological Society of Japan, Matsumoto, 1998. P. 372.
21. Bronk Ramsey C. Methods for summarizing radiocarbon datasets // Radiocarbon. 2017. V. 59, N 2. P. 1809–1833.
22. Iida K. Catalog of tsunamis in Japan and its neighboring countries. Toyota: Aichi Institute of Technology, 1984. 52 p.
23. Ikehara K. Paleoseismicity analysis in west off Hokkaido using earthquake-induced sediments // Chikyu Monthly. 2000. N 28. P. 134–138.
24. Hatori T., Katayama M. Tsunami behavior and source areas of historical tsunamis in the Japan Sea // Bull. Earthquake Res. Inst. 1977. V. 52. P. 49–70.
25. Kawakami G., Nishina K., Kase Y., Tajika J., Hayashi K., Hirose W., Sagayama T., Watanabe T., Ishimaru S., Koshimizu K., Takahashi R., Hirakawa K. Stratigraphic records of tsunami along the Japan Sea, southwest Hokkaido, northern Japan // Island Arc. 2017. V. 26. P. 1–18. <https://doi.org/0.1111/iar.12197>.
26. Nakamura Y., Nishimura Y., Putra P.S. Local variation of inundation, sedimentary characteristics, and mineral assemblages of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Misawa

- coast, Aomori, Japan // *Sediment. Geol.* 2012. V. 282. P. 216–227.
27. Nishimura Yu. Volcanism-induced tsunamis and tsunamites // *Tsunamites – features and implications.* Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 163–184.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51552-0.00011-4>
28. Nishimura Y., 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. 719–733.
29. Nishimura Y., Suzuki M., Miyaji N., Yoshida M., Murata D. Deposits of historical tsunami identified at Ayukawa coast, Kumaishi, Oshima Peninsula, Hokkaido // *Chikyu Monthly.* 2000. Spec. Iss. N 28. P. 147–153.
30. Minoura K., Sugawara D., Yamanoi T., Yamada T. Aftershocks of subduction-zone earthquakes: Potential tsunami hazards along the Japan Sea Coast // *Tohoku J. Exp. Med.* 2015. V. 237. P. 91–102.
31. Okamura Y. Relationships between geological structure and earthquake source faults along the eastern margin of the Japan Sea // *J. Geol. Soc. Japan.* 2010. V. 116. P. 582–591.
32. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Arslanov Kh.A., Ivanova E.D., Ganzey K.S., Kharlamov A.A. Historical tsunami records on Russian Island, the Sea of Japan // *Pure and Applied Geophysics,* 2018. V. 175, N 4. P. 1507–1523.
33. Satake K. Volcanic origin of the Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea // *Earth Planet. Space.* 2007. V. 59. P. 381–390.  
<https://doi.org/10.1186/BF03352698>.
34. Sawai Yu., Jankaew K., Martin M.E., Prendergast A., Choowong M., Charoentitirat T. Diatom assemblages in tsunami deposits associated with the 2004 Indian Ocean tsunami at Phra Thong Island, Thailand // *Marine Micropaleontology.* 2009. V. 73. P. 70–79.
35. Sugawara D., Nishimura Y., Takashimizu Y., Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Lebedev I., Borisov R. Reconstruction of earthquakes and tsunamis in the Japan Sea using sedimentary deposits in the Primorye coast, Russia: implication from numerical modeling // 10th Biannual Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska subduction processes (JKASP-2018). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 20–26 August, 2018. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2018. P. 216–218.

*Рекомендована к печати И.Б. Цой*

после доработки 15.07.2019 г.  
принята к печати 13.11.2019 г.

*N.G. Razjigaeva, L.A. Ganzey, Yu. Nishimura, T.A. Grebennikova, D. Sugawara, Y. Takashimizu,  
I.I. Lebedev, A.O. Gorbunov, Kh.A. Arslanov, F.E. Maksimov, A.Yu. Petrov*

### **Reconstruction of late Holocene extreme hydrological events of the Valentin Bay coast, the Sea of Japan**

The scale and age of extreme hydrological events that have manifested over the past 2000 years on the coast of the Valentin Bay is established on the basis of stratigraphic study and radiocarbon dating of sections of different facies deposits. The deposits of 4 major historical tsunamis (1993, 1983, 1644 and XII century) and paleo-tsunami, which occurred 1700–1800 cal. yr. BP, were found. Sedimentation zones were mapped. The composition of diatoms in tsunami sands has been studied in detail. It is shown that tsunami waves carried both marine and brackish-water species, as well as most of the freshwater forms redeposited from the coastal lake. The main supply of material was from the depths up to 5 m. The correlation of events with the data obtained on the Japanese Islands was carried out. It has been suggested that the most dangerous for this part of the coast of Eastern Primorye are tsunamis caused by submarine earthquakes with epicenters located near the Okushiri Island. The tsunamis associated with earthquakes with epicenters located near the northwestern Honshu Island, were less pronounced. The data on the irregularity of the frequency of extreme floods over the last millennium has been obtained. It was established that the pluvial phase of the Warm Medieval Period ended in the early to mid-XII century. During the Little Ice Age, the water content of the rivers was insignificant, only two events were identified that correspond to the warm phase of the mid-14th century – early 15th century, comparable to the catastrophic floods of the late 20th – early 21st century. Only two modern floods traces were recorded in the sedimentary cover of the Valentin Bay coast.

**Key words:** historical tsunami, paleotsunami, floods, sedimentation, chronology, Late Holocene, Sea of Japan.