

ПРОБЛЕМА ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ МЕГАЦУНАМИ НА ЮЖНЫХ КУРИЛАХ

*Н.Г. Разжигаева<sup>1</sup>, Л.А. Ганзей<sup>1</sup>, Т.А. Гребенникова<sup>1</sup>, А.А. Харламов<sup>2</sup>, Х.А. Арсланов<sup>3</sup>,  
В.М. Кайстренко<sup>4</sup>, А.О. Горбунов<sup>4</sup>, А.Ю. Петров<sup>3</sup>*

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

<sup>2</sup>ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Нахимовский пр-т 36, г. Москва, 117997

<sup>3</sup>ФГБОУВПО Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. д. 7-9,  
г. Санкт-Петербург, 199034

<sup>4</sup>ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022

Поступила в редакцию 4 апреля 2016 г.

Палеореко́нструкции проведены на основе изучения распространения цунамигенных осадков в разрезах береговых низменностей. Следы необычно сильных цунами наиболее подробно зафиксированы в разрезах озерно-болотных отложений Малой Курильской гряды, на о-вах Большой Курильской гряды они встречаются фрагментарно. Для понимания особенностей осадконакопления при прохождении сильных и мегацунами проанализировано распространение и состав осадков современных сильных цунами (Шикотанское цунами 1994 г. и цунами 1894 г., проявившиеся локально, и трансокеанического Тохоку цунами 2011 г.). Проведена межрегиональная корреляция событий, произошедших за последние ~ 2.5 тыс. л. и сделана оценка их пространственного масштаба. Выделены крупные события в XVII, XIII веках, около 1, 1.4–1.6, 1.7–1.8, 2–2.1 тыс. л. н. Приведены новые данные по хронологии сильных цунами, начиная со среднего голоцена. Уникальным разрезом является естественное обнажение торфяника с многочисленными прослоями цунамигенных песков на тихоокеанской стороне о. Зеленый (бух. Рудня), накопление которого продолжалось весь голоцен. Выявлены наиболее крупные палеоцунами, которые могут рассматриваться как кандидаты в мегацунами, проявившиеся на Южных Курилах за последние ~7.5 тыс. л.

**Ключевые слова:** исторические и палеоцунами, мегацунами, цунамигенные осадки, хронология, голоцен, Южные Курилы.

ВВЕДЕНИЕ

Для Дальнего Востока России очень мало летописных свидетельств о цунами, произошедших до XX века, поэтому при оценке цунамиопасности побережья особое значение имеют данные по проявлению крупных цунами в историческое время и в недавнем геологическом прошлом. Особую важность представляет выяснение частоты проявления мегацунами, то есть цунами трансокеанического масштаба, вызванных катастрофическими землетрясениями ( $M \geq 9$ ), реконструкция их параметров на берегах разного типа, определение возраста и межрегиональная корреляция событий [45]. Недостаточное количество исторических наблюдений не позволяет получить надежные данные о проявлении мегацунами, их интенсивности, особенностях воздействия на природную среду

и развитие берегов. Единственным способом получения данных о сильнейших цунами, происходивших в прошлом, является выявление следов палеоцунами, запечатленных в голоценовых разрезах в виде прослоев морского песка, простирающихся далеко за пределы зоны штормового воздействия. Актуальность исследований определяется тем, что большая часть побережий Тихоокеанской России относится к сейсмоактивной зоне, где часто происходят землетрясения, сопровождающиеся цунами [10, 18, 19, 20]. Дальневосточное побережье находится также в зоне воздействия трансокеанических цунами, очаги которых находятся около Южной и Северной Америки.

В результате многолетних работ по изучению отложений палеоцунами на юге Курильских островов для отдельных участков были получены деталь-

ные геологические летописи крупных цунами [1, 14, 16, 17, 27]. Следующий этап исследований должен включать проведение межрегиональной корреляции событий, оценку их пространственного масштаба, и на этой основе выделение следов мегацунами и частоты их проявления на берегах разного типа в разных районах.

Проявления цунами мегамасштаба, произошедшие на разных участках периферии Тихого океана в течение двух последних столетий, задокументированы недостаточно детально, за исключением двух японских, произошедших в 1933 и 2011 годах [26, 32, 49] и одного Чилийского в 1960 г. [24, 45]. К мегацунами относятся и последние события – Индонезийское 2004 г. и Тохоку 2011 г., имевшие трансокеанический масштаб [23, 31]. Осадки этих цунами, как и других сильных цунами, произошедших в последние десятилетия, хорошо изучены на участках побережий с разным геоморфологическим строением и литодинамической ситуацией, где цунами имели разные интенсивность и характер проявления [26, 32, 49]. Эти данные являются базой для понимания особенностей осадконакопления во время цунами и оценки информативности состава цунамигенных осадков и их пространственного распределения для палеорекоkonструкций. В то же время не все методические вопросы при выделении мегацунами в прошлом остаются ясными: какие цунами из разряда сильных, проявившихся на конкретных участках побережья, можно рассматривать как мегасобытия, а какие были сильные, но имели локальное распространение.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Палеорекоkonструкции событий цунами проведены на основе материалов, полученных во время экспедиционных работ в 2001–2015 гг. (рис. 1). Основными объектами изучения были отложения береговых низменностей, в пределах которых закладывались профили от уреза воды вглубь суши с измерением с помощью нивелирования высотных отметок точек заложения шурфов или скважин ручного бурения. Наиболее информативными с точки зрения сохранности цунамигенных осадков являются озерно-болотные отложения. Проведенные исследования показали, что прослои цунамигенных осадков наиболее хорошо выражены на тихоокеанском побережье островов. При реконструкции высоты и дальности заплесков палеоцунами по возможности учитывалось положение уровня моря на момент события (по положению древних береговых линий), а также высотные отметки форм рельефа, которые расположены между береговой линией и линией максимального заплеска цунами [16]. Оценка возможных параметров палеоцунами для



Рис. 1. Схема района работ по поиску осадков палеоцунами.

о. Шикотан сделана с учетом того, что остров опустился во время землетрясения 1994 г. [6]. Для выделения цунамигенных осадков применялись общепринятые методические приемы [13, 25, 39] с учетом региональных особенностей проявления экстремальных штормов [2]. Для подтверждения генезиса осадков цунами и их характеристики проводились литолого-фациальный и диатомовый анализы. Возраст событий определялся на основе радиоуглеродного датирования подстилающих органогенных отложений (Геологический институт РАН, г. Москва и Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург). Калибровка радиоуглеродных дат в календарные выполнена с помощью программы «CalPal-2007» Кёльнского университета, авторы В. Weningер, О. Joris, U. Danzeglocke (<http://www.calpal-online.de>). Также использовались данные тефростратиграфии, так как в разрезах присутствуют маркирующие вулканические пеплы вулканов Большой Курильской гряды и о. Хоккайдо [43]. Корреляция пепловых прослоев

проводилась на основе изучения химического состава вулканического стекла, микрозондовый анализ выполнен на сканирующем электронном микроскопе SAMSCAN-4 с полупроводниковым спектрометром AN-10000 (Радиевый институт им. В.Г. Хлопина, г. Санкт-Петербург).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

##### Информативность осадков современных цунами для реконструкции мегацунами

Инструментальные наблюдения, которые проводятся в районе Южных Курил с середины XX века, регистрировали многочисленные цунами разной интенсивности [19], но в разрезах торфяников на побережье обнаружены осадки, оставленные только 2–3 цунами. Отсутствие песков цунами может объясняться тем, что большинство этих волн имело высоту заплеска менее 5 м. Такие цунами, как правило, не сопровождаются интенсивной эрозией и не оставляют протяженных осадочных покровов [25]. Часть осадков предыдущих событий могла быть уничтожена последующими цунами, если они проходили через незначительные интервалы времени.

Для палеореконструкций проявления цунами трансокеанического масштаба в прошлом и оценки их повторяемости важно понять, чем отличаются осадки, образованные в периферийной зоне распространения волн цунами, от осадков, образованных в зоне максимальных заплесков. В методическом плане, с нашей точки зрения, оказались очень полезными результаты изучения осадков современных цунами – Тохоку 2011 г. [41, 42] и Шикотанского 1994 г. [15] на Южных Курилах.

Тохоку цунами имело трансокеанический характер, основная энергия волн была направлена в сторону северо-востока о. Хонсю и Тихого океана, Курильские острова оказались в периферийной зоне распространения цунами, расстояние до северной границы очага составило 750–800 км. Замеры высоты заплесков, сделанные очевидцами на Южных Курилах сразу после прохождения цунами, варьировались от 0.5 до 3 м, максимум был отмечен в бух. Крабовая, о. Шикотан [8, 28]. Обследование проявления Тохоку цунами на Южных Курилах, проведенное через полгода после землетрясения, показало, что на побережье изученных островов заплеск был не более 3–4 м, максимальные заплески (около 5 м) были замерены на северо-востоке о. Зеленый и о. Шикотан в районе м. Край Света [28]. Покровы песков и илов, протягивающиеся до 106 м вглубь суши, обнаружены только в закрытых бухтах, имевших ледяной покров [41, 42]. Волны цунами взломали лед, что вызвало даже при

небольших величинах заплеска эрозию дна на мелководье и разрушение торфяников на низменных участках побережья. Осаждение тонкого материала, вероятно, было связано с продолжительным стоянием воды и выпадением материала как из придонного слоя, так и из суспензии, когда волна достигла максимума и потеряла свою энергию. Повторное обследование побережья в 2012–2014 гг. показало хорошую сохранность осадков цунами через несколько лет после события.

На тихоокеанском побережье Шикотана во время прохождения цунами льда не было. Следы цунами через полгода после события маркировались только полосой морского мусора, деревяшками, травой, водорослями, зостерой (*Zostera marina*) и пр. В открытых бухтах встречены только редкие валуны, галька и пятна песка. Такие осадки в разрезах не сохраняются. Подобную картину мы наблюдали на островах Зеленый и Танфильева на юге Малой Курильской гряды. Покровы цунамигенных осадков обнаружены только в южной части закрытой бухты Малая Церковная, отделенной от океана о. Айвазовского. Здесь цунами образовало покров алевритистых песков и песчанистых алевритов (мощностью до 14 см), протягивающийся до 78 м вглубь суши. Покров осадков местами стратифицирован с хорошо выраженной градиционной слоистостью, что указывает на прохождение нескольких волн цунами и стояние воды. Изучение состава бентосных фораминифер и диатомей в осадках Тохоку цунами в разных бухтах Южных Курил показало, что основным источником материала были разнофациальные отложения, эродированные в пределах верхней части берегового склона и побережья [5, 41, 42]. Хорошая сохранность микрофоссилий и наличие колоний морских сублиторальных диатомей свидетельствуют о низкой турбулентности потока и небольшой дальности переноса.

Другим событием, которое ярко проявилось на Южных Курилах, было Шикотанское цунами 1994 г., высота заплеска которого составляла на о. Шикотан 5–7 м [6, 7]. Поиски осадков цунами 1994 г. были проведены через год [4] и через 10–15 лет после события [15]. Несмотря на то, что цунами было одним из наиболее сильных событий за исторический период, осадки были найдены лишь в нескольких точках на тихоокеанской стороне островов Шикотан (бух. Дмитрова, Агатова, Церковная и Малая Церковная), Танфильева и Кунашир. На побережье о. Шикотан со стороны Южно-Курильского пролива, где зона затопления достигала 450 м [7], осадки не были обнаружены. После прохождения цунами песок залегал пятнами или узкими полосами. После захоронения песок этого цунами обнаружен в верхней части тор-

фяников и почвенных профилей под слоем дерна или моховой подушкой, мощность осадков не превышает 2 см. Зона осадконакопления располагалась на разном удалении от уреза моря (от 130 до 470 м). Во всех случаях зона накопления осадков не достигала границы зоны затопления. Наиболее благоприятные условия для осаждения и захоронения осадков цунами создавались в нижней части заболоченных долин в пределах небольших понижений за древними штормовыми валами. Сравнение гранулометрического состава осадков Тохоку цунами и цунами 1994 г. в бух. Малая Церковная показывает, что в осадках цунами 1994 г. больше крупных фракций, как правило, они полимодальные. Вероятно, это связано с тем, что цунами 1994 г. проявлялось сильнее и вызвало большую эрозию, материал поставлялся с большей территории из разных источников, в том числе перерабатывался склоновый материал.

На юге Малой Курильской гряды также были обнаружены осадки цунами, произошедшего сравнительно недавно. На о. Зеленый в бух. Рудня под дерном обнаружен прослой средне-мелкозернистого песка (мощностью до 2–3 см) явно морского происхождения, который хорошо прослеживается в разрезах торфяников до высоты более 10 м. Предполагается, что он был образован в конце XIX века, поскольку залегает выше прослоев маркирующих вулканических пеплов Та-а влк. Тарумаи (1739 г.) и Ко-с2 влк. Комагатаке (1694 г.). Возрастная привязка этого прослоя представляет большой интерес, поскольку за годы инструментальных наблюдений таких событий на юге Курил не было зафиксировано. Можно предположить, что на о. Зеленый ярко проявилось цунами 22.03.1894 (М 8.2), следы которого обнаружены на побережье Восточного Хоккайдо [36]. Возможно, осадки этого же цунами встречены и на о. Юрий в кровле торфяника на перешейке бух. Широкая и на западном побережье о. Танфильева на побережье бух. Грозная, где прослой песка в кровле торфяника прослеживается на расстоянии 150 м.

Изучение осадков этих трех исторических цунами наряду с Симуширским цунами 2006 г., заплеск которого на Средних Курилах достигал 20 м [11, 30], имеет большое значение для понимания ситуации, которую мы восстанавливаем при реконструкции палеособытий. Если в разрезах встречаются подобные осадки, трудно предположить, каков был пространственный масштаб событий, для этого нужно иметь данные по одновозрастным цунами, проявившимся в сопредельных регионах. Но и межрегиональные корреляции не всегда будут однозначными для выделения мегацунами. Как показало изучение осадков Тохоку цунами на Южных Курилах, даже такое собы-

тие в районе, расположенном недалеко от очага, но оказавшемся в периферийной зоне распространения волн цунами, будет плохо зафиксировано в геологических разрезах. Поэтому следы сильных событий, оставивших хорошо выраженные осадки на побережьях разных бухт на разных островах, которые хорошо коррелируются по возрасту, можно на данном этапе изучения рассматривать лишь как кандидаты в мегацунами, поскольку они могут оказаться следами сильных локальных цунами.

### Временные ограничения палеореконокструкций

Геологические летописи палеоцунами, как правило, охватывают временной интервал 6–7 тыс.  $^{14}\text{C}$  лет. Такие ограничения палеореконокструкций связаны в первую очередь с изменением положения уровня моря в голоценовую трансгрессию. Береговая линия располагалась к началу голоцена на отметках около 40–45 м ниже современного уровня моря, в начале среднего голоцена – на отметках около -25 м, и достигла современных отметок около 6 тыс.  $^{14}\text{C}$  лет назад [9, 21, 44]. В случае прохождения мегацунами в начале голоцена высота их заплесков вряд ли могла превышать отметки выше современного уровня моря. Например, максимальные высоты заплесков Чилийского цунами 1960 г. – 25 м [24], Тохоку цунами 2011 г. – 41 м [31], Индонезийского цунами 2004 г. – 34.5 м [23].

При учете положения уровня моря на разные временные срезы голоцена одним из вопросов является, насколько значительными были неотектонические движения. Землетрясения здесь могут сопровождаться косейсмическими подвижками. Например, во время землетрясения 1994 г. о. Шикотан опустился на 0.5–0.7 м [6]. Однако положение кровли морских голоценовых отложений на побережье закрытых бухт о. Шикотан свидетельствует, что кумулятивный эффект неотектонических движений в среднем-позднем голоцене был незначителен. В кровле этих осадков выходит прослой маркирующего вулканического пепла Та-с влк. Тарумаи (2.4–2.5 кал. тыс. л. н.). В разрезах береговых торфяников на малых островах на юге гряды не встречено отложений трансгрессивных фаз среднего-позднего голоцена, здесь найдены разрезы торфяников, залегающие на 1.5 м ниже современного уровня моря. Находки на островах морских толщ среднего-позднего плейстоцена говорят о том, что скорости нисходящих движений в позднем плейстоцене-голоцене не были значительными и, скорее всего, движения были разнонаправленными (за счет косейсмических и интерсейсмических движений). Анализ положения кровли морских отложений, образованных в трансгрессивные фазы среднего-позднего

голоцена, на юге Большой Курильской гряды [29, 40] показал, что и здесь не было значительных скоростей неотектонических движений. Таким образом, на Южных Курилах возможно восстановление палеоцунами только для среднего-позднего голоцена, когда уровень моря стал близок к современному.

### Реконструкция наиболее сильных палеоцунами в голоцене

Проявление палеоцунами на разных островах изучено с разной степенью детальности. Наименее изученным является побережье о. Уруп, где с тихоокеанской стороны работы проводились только в бух. Осьма [12] и о. Итуруп, где поиск осадков палеоцунами проводился на побережье зал. Касатка [1, 3]. На о. Кунашир были обследованы практически все береговые низменности со стороны Южно-Курильского пролива и пролива Измены [27, 38], но наиболее детальная летопись проявления палеоцунами получена для Малой Курильской гряды [14, 16, 17]. Поиск осадков палеоцунами проводился в тех же бухтах, где изучались осадки современных цунами. Особенно информативным оказалось тихоокеанское побережье о. Шикотан, где обнаружены следы разных по интенсивности событий, но вглубь суши (до 700 м) прослеживаются только следы наиболее сильных цунами. Разрезы отложений береговых низменностей, расположенных в вершинах закрытых бухт со стороны Южно-Курильского пролива, включают многочисленные прослой цунамигенных илов, которые отвечают крупным событиям, сопровождавшимся эрозией. Следует учитывать, что если цунами проходило, когда в бухтах существовал ледовый покров, то волна, насыщенная льдом, могла вызвать сильную эрозию и оставить слой осадков даже при небольших заплесках. На малых островах на юге гряды обнаружены только осадки крупных цунами, сопровождавшихся эрозией.

Изучение следов палеоцунами в разрезах голоценовых отложений Южных Курил показало, что проявление этих событий в недавнем геологическом прошлом имело больший масштаб, чем в XX веке. Из исторических событий наиболее сильно проявилось цунами XVII века, следы которого зафиксированы в ряде разрезов на разных островах (рис. 2). На о. Шикотан из торфа, залегающего под верхним прослоем цунамигенных песков, который прослеживается вглубь суши в разрезах торфяников, на побережье разных бухт получены  $^{14}\text{C}$ -даты:  $400 \pm 60$  л. н.,  $440 \pm 80$  кал. л. н., ЛУ-6321;  $280 \pm 40$  л. н.,  $370 \pm 60$  кал. л. н., ЛУ-6322;  $260 \pm 80$  л. н.,  $300 \pm 140$  кал. л. н., ЛУ-6116;  $290 \pm 80$  л. н.,  $330 \pm 130$  кал. л. н., ЛУ-5764. Зона затопления в бух. Аэродромная (северная часть бух. Димитрова) и в вершине бух. Димитрова достигала

750 м, высота заплеска была не менее 7 м. Цунами проявилось и со стороны Южно-Курильского пролива, на побережье закрытых бухт Крабовая и Отрадная в верхней части торфяников найдены прослой илов с морскими диатомеями, под которыми из торфа получены  $^{14}\text{C}$ -даты:  $350 \pm 110$  л. н.,  $390 \pm 110$  кал. л. н., ЛУ-7058;  $390 \pm 40$  л. н.,  $430 \pm 70$  кал. л. н., ЛУ-7088. Зона затопления достигала 0.7 км при высоте заплеска более 3–5 м. Осадки этого цунами найдены в бух. Церковная на небольшом о. Айвазовского, расположенном к востоку от Шикотана. Здесь в юго-восточной части острова торфяник, расположенный на высотах 6–9 м, выполняет открытую к океану долину временного водотока. Заплеск цунами здесь был не менее 8 м. На о. Полонского возраст этого цунами оценивается цифрой около 300 лет, выше прослоя цунамигенного песка обнаружены вулканические пеплы Ко-с2 и Та-а, из нижележащего торфа получены  $^{14}\text{C}$ -даты:  $190 \pm 90$  л. н.,  $200 \pm 130$  кал. л. н., ЛУ-6590;  $200 \pm 60$  л. н.,  $190 \pm 120$  кал. л. н., ЛУ-6591. Прослой песка в разрезах торфяников бухт Щелыкина и Южная прослежен на расстояние более 700 м от берега, высота заплеска была более 6 м. Присутствие фрагментов створок океанических и неритических видов диатомей *Coscinodiscus* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp. в кровле торфяника центрального болотного массива может свидетельствовать, что волна цунами могла затапливать практически весь остров, в этом случае величина заплеска была более 10 м. На о. Зеленый цунами XVII века было очень сильным, высота волны могла превышать 10 м. Цунамигенный песок (мощность до 3–5 см) залегает под пепловыми прослоями Ко-с2 и Та-а и наиболее хорошо выражен в северной части острова ( $^{14}\text{C}$ -дата:  $260 \pm 40$  л. н.,  $310 \pm 100$  кал. л. н., ГИН-12543). На о. Юрий осадки этого цунами выходят под прослоем вулканического пепла Ко-с2, прослеживаются до высоты более 10 м и содержат не только морские диатомеи, но и обломки радиоларий. Из нижележащего торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата:  $370 \pm 50$  л. н., ГИН-13008. Осадки цунами XVII века встречены и на восточном побережье о. Кунашир – в разрезах торфяников Южно-Курильского и Серноводского перешейков [27]. На низком Серноводском перешейке зона затопления могла превышать 1 км при высоте заплеска более 4 м.

Осадки цунами XVII века широко распространены на побережье Восточного Хоккайдо [34, 36, 37, 45, 47]. Предполагается, что это цунами было связано с необычно сильным землетрясением (М 8.6?) [35], которое вызвало косейсмический подъем большого участка берега (около 50 км) Восточного Хоккайдо [22]. Выше осадков этого цунами залегают прослой пеплов Та-б (1667), Ко-с2 и Та-а. Японские исследо-

ватели относят это цунами к необычным событиям, судя по распространению осадков, это самое крупное недавнее событие. Зона затопления во время этого цунами намного превышала горизонтальный заплеск известных цунами XX и XIX веков и составляла 1–4 км вглубь суши при высоте заплеска до 18 м [46], например, на низменности Киригаппу достигала 3 км [34, 35, 45]. На основе численного моделирования предполагаемый очаг цунами располагался к востоку от о. Хоккайдо [46]. Осадки этого цунами обнаружены в разрезах торфяников на п-ове Немуро [36, 37]. Следы двух сильных цунами XVII века найдены в донных осадках оз. Токотан на побережье зал. Аккеши южнее п-ова Немуро [44]. Осадки цунами XVII века найдены и на севере о. Хонсю (префектура Аомори), предполагается два наиболее вероятных источника: землетрясение Кейчо (М 8.1) 1611 г. или сильное землетрясение XVII века (М 8.5), сопровождавшееся цунами, осадки которого найдены на тихоокеанском побережье Хоккайдо [50].

В некоторых разрезах торфяников встречаются осадки цунами, которое произошло около 500 л. н. Скорее всего, это цунами было менее интенсивным, поэтому осадки этого события встречаются фрагментарно, например, в бух. Южной о. Полонского, где осадок прослеживается до 500 м вглубь суши (до высоты 2.5 м).

Сильное позднеголоценовое цунами произошло около 700 л. н. (рис. 2). На о. Шикотан по торфу, подстилающему цунамигенные пески в разных частях тихоокеанской стороны острова, получены  $^{14}\text{C}$ -даты:  $670 \pm 70$  л. н.,  $640 \pm 60$  кал. л. н., ЛУ-5932;  $790 \pm 60$  л. н.,  $740 \pm 50$  кал. л. н., ЛУ-6143. Высота заплеска была не менее 7.5 м, зона затопления в вершине бух. Церковная – около 200 м, бух. Димитрова – 600 м, бух. Маячная – 250 м. Цунами проявилось и на побережье Южно-Курильского пролива. В бух. Крабовая из торфа, подстилающего цунамигенные илы, получена  $^{14}\text{C}$ -дата:  $620 \pm 100$  л. н.,  $620 \pm 60$  кал. л. н., ЛУ-7059. Зона затопления на левом борту бухты была более 120 м, в вершине бухты – около 500 м, высота заплеска могла превышать 3 м. Величина заплеска этого цунами на о. Айвазовского оценивается более 7.5 м, осадки прослеживаются на расстоянии 200 м вглубь суши. По скоростям торфонакопления был установлен аналогичный возраст цунамигенных песков на побережье о. Полонского (бух. Щельки-

на и Южная), осадки этого цунами найдены на расстоянии более 700 м от уреза на высоте более 6 м. В разрезе торфяника центрального болота обнаружен прослой (инт. 0.25–0.30 м) с морскими и солоноватоводными диатомеями, содержание которых достигает 20 % от общего количества створок. Встречены сублиторальные планктонные *Actinocyclus octonarius*, *Hyalodiscus radiatus*, *Thalassiosira bramaputrae*, бентосные *Diploneis smithii*, *D. smithii* var. *rhombica*, *Navicula distans*, *Petronia marina*, *Fragilaria pulchella*, *Tryblionella plana*, *N. sigma*, *Tabularia tabulata*, что свидетельствует о затоплении большей части острова, высота заплеска была около 10 м. Присутствие диатомей, типичных для озер – планктонный вид *Stephanodiscus rotula*, донные и эпифиты *Navicula peregrina*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Martyana martyi*, *Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata*, говорит о том, что цунами проходило через озера, которые широко распространены на побережье острова. На о. Зеленый осадки этого цунами найдены на побережье бух. Рудня с тихоокеанской стороны острова, где прослеживаются до 140 м вглубь суши и залегают на высоте около 8.5 м. В северной части острова из торфа под прослоем песка, оставленного этим цунами, получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $690 \pm 80$  л. н.,  $640 \pm 60$  кал. л. н., ГИН-12541. Высота заплеска была более 3.5 м, зона затопления – 200 м. На о. Юрий осадки этого цунами хорошо выражены в разрезах торфяников перешейка бух. Широкая, который полностью находился в зоне воздействия цунами, высота волн была более 4 м. Осадки этого же цунами, вероятно, найдены на побережье бух. Песчаная на высоте около 7.5 м. В южной части о. Танфильева под осадками этого цунами получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $710 \pm 80$  л. н.,  $670 \pm 70$  кал. л. н., ЛУ-7082. Высота заплеска была более 9 м, зона затопления превышала 500 м. Осадки этого же цунами найдены на побережье о. Кунашир [27]. На Серноводском перешейке в 1170 м от берега найден прослой песка (мощность 5 см), под которым из торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата:  $830 \pm 50$  л. н.,  $760 \pm 50$  кал. л. н., ГИН-12698. На о. Итуруп на побережье зал. Касатка также обнаружены осадки этого цунами, волна проникала вглубь суши на не менее 0.5 км, высота заплеска превышала 3 м [3].

Цунами около 700 л. н., выделенное на Южных Курилах, сопоставляется с необычно большим цунами XIII века, вызванным сильным землетрясением

**Рис. 2.** Расположение профилей, где найдены осадки наиболее сильных цунами, произошедших в последнее тысячелетие с усредненной оценкой минимальных параметров палеоцунами (вертикальный заплеск, м/горизонтальный заплеск, км).

А – XVII век; Б – XIII век; В – около 1 тыс. л. н. Для островов приведены отдельные высотные отметки, м.



(М 8.6), которое ярко проявилось на побережье Восточного Хоккайдо и оставило осадки на побережье равнины Токачи, побережье зал. Куширо, зал. Аккеши, низменности Киритаппу, эстуарии Оннето и побережье п-ова Немуро [35, 36, 37, 48]. Цунами XIII века было сравнимо с событием XVII века или несколько меньшим, зона затопления на отдельных участках побережья превышала 3 км. Предполагается, что положение очагов этих цунами разное [46], эпицентр землетрясения, вызвавшего цунами XIII века, располагался восточнее эпицентра цунамигенного землетрясения XVII века [33].

На юге Курил ярко проявилось цунами около 1 тыс. л. н. (рис. 2). На о. Шикотан осадки этого цунами были обнаружены как с тихоокеанской стороны острова ( $1060 \pm 50$  л. н.,  $1000 \pm 50$  кал. л. н., ЛУ-5762;  $1000 \pm 80$  л. н.,  $920 \pm 90$  кал. л. н., ЛУ-5761;  $870 \pm 90$  л. н.,  $820 \pm 90$  кал. л. н., ЛУ-5755;  $970 \pm 90$  л. н.,  $890 \pm 90$  кал. л. н., ЛУ-5922;  $1120 \pm 80$  л. н.,  $1070 \pm 90$  кал. л. н., ЛУ-5766), так и со стороны Южно-Курильского пролива – в бух. Хромова ( $1030 \pm 80$  л. н.,  $950 \pm 100$  кал. л. н., ЛУ-6578), Отрадная ( $1010 \pm 100$  л. н.,  $940 \pm 110$  кал. л. н., ЛУ-7089) и Крабовая ( $1020 \pm 130$  л. н.,  $950 \pm 140$  кал. л. н., ЛУ-7349). Зона затопления с тихоокеанской стороны острова была более 750 м, высота заплеска более 7 м, со стороны пролива Полонского (бух. Волошина) – 400 м, высота более 4.5 м, со стороны Южно-Курильского пролива – более 400 м, высота заплеска более 3 м. Высота заплеска на о. Айвазовского была более 7 м.

На о. Полонский осадки сильного цунами, произошедшего около 1 тыс. л. н., обнаружены в разрезах торфяников бух. Щелыкина и Южная на высоте более 6 м и прослежены вглубь суши на расстояние более 700 м. В центре острова в разрезе торфяника в слое торфа ниже прослоя вулканического пепла Ма-в влк. Масю (~1 тыс. л. н.) встречены морские виды диатомей – океанический *Coscinodiscus* sp., сублиторальные *Actinocyclus octonarius*, *Cocconeis scutellum*, *Diploneis smithii*, *Navicula distans*, *Thalassiosira bramptoniae*, что свидетельствует о затоплении большей части острова во время этого цунами. В этом же слое встречено обилие озерных видов, в том числе планктонных (до 4 %), что говорит о прохождении цунами через озера. Высота заплеска во время этого события на о. Зеленый достигала 7–8 м, зона затопления – более 0.8 км. На побережье бух. Рудня из торфа, подстилающего прослой цунамигенного песка, найденного в 100 м от берега, получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $980 \pm 90$  л. н.,  $900 \pm 90$  кал. л. н., ЛУ-6881. Величина заплеска была более 8 м. Осадки этого же цунами обнаружены и на о. Юрий на перешейке бух. Широкая и побережье бух. Песчаная (на высоте около 8 м). На

о. Танфильева осадки этого цунами найдены в южной части острова, из нижележащего торфа получена  $^{14}\text{C}$ -дата:  $1210 \pm 60$  л. н.,  $1160 \pm 80$  кал. л. н., ЛУ-6325. Зона затопления была более 320 м, высота заплеска – более 8.4 м. На о. Кунашир тонкий прослой песка с морскими диатомеями, залегающий ниже вулканического пепла Ма-в, обнаружен на Серноводском перешейке на расстоянии более 1 км от современной береговой линии. Возможно, это след, оставленный этим же цунами.

Близкое по возрасту необычно большое цунами, вызванное сильным землетрясением (М 8.6?), произошедшим в X веке, выделяется и для побережья Восточного Хоккайдо – на побережье зал. Аккеши, на низменности Киритаппу, эстуарии Оннето, оз. Хориторики [34–36, 48]. Цунамигенные осадки залегают в разрезах ниже прослоев вулканических пеплов В-Тм влк. Байтоушань (929 или 969 г. н.э.) и Ма-в. Масштаб цунами был несколько меньше, чем цунами XIII, XVII веков, но и это событие относится к необычно сильным, зона затопления была более 2.6 км [34].

В разрезах торфяников Малой Курильской гряды выше прослоя вулканического пепла Та-с влк. Тарумаи о. Хоккайдо (2.3–2.5 тыс. л. н.) обнаружены осадки еще двух-трех сильных цунами, возраст которых оценивается около 1.4–1.6 тыс. л. ( $1490 \pm 50$  л., ГИН-13026;  $1440 \pm 130$  л.,  $1370 \pm 130$  кал. л., ЛУ-6114), около 1.7–1.8 тыс. л. ( $1780 \pm 90$  л.,  $1710 \pm 110$  кал. л., ЛУ-7350;  $1870 \pm 100$  л., ГИН-13009) и около 2–2.1 тыс. л. ( $2090 \pm 80$  л.,  $2090 \pm 120$  кал. л., ЛУ-7084;  $2100 \pm 80$  л.,  $2110 \pm 120$  кал. л., ЛУ-5923). В разрезах озерно-болотных отложений о. Шикотан осадки этих цунами выходят между прослоями вулканических пеплов Туа-2 влк. Тятя (1.4 тыс. кал. л. н.) и Та-с. Зона затопления с тихоокеанской стороны острова (бух. Маячная, Безымянная, Димитрова, Малая Церковная) была более 600 м, высота волн – более 4–5 м, со стороны Южно-Курильского пролива осадки этих цунами найдены на побережье бух. Отрадная и Крабовая, где цунами проникало на расстояние более 400 м при высоте заплеска более 3 м. Осадки цунами, залегающие над прослоем вулканического пепла Та-с, возраст которых можно оценить около 2 тыс. л., найдены на о-вах Грига и Айвазовского. Следы этих трех цунами найдены и на юге Малой Курильской гряды. На о. Полонского зона затопления была более 700 м при высоте более 6 м, на о-вах Зеленый, Юрий, Танфильева зона затопления превышала 300–400 м, высота волн – более 6 м.

Осадки трех цунами близкого возраста найдены на Южно-Курильском и Серноводском перешейках о. Кунашир, на расстоянии более 600 м от береговой линии. В районе устья р. Белозерская в 500 м

от берега найден осадок палеоцунами, скорее всего, произошедшего около 2.0–2.1 тыс. л. н. Прохождение сильного цунами около 1.5 тыс. л. н. ( $1440 \pm 70$  л. н.,  $1380 \pm 70$  кал. л. н., ЛУ-6324) зафиксировано на побережье зал. Касатка о. Итуруп, зона затопления была не менее 0.5 км, высота заплеска более 3 м [3].

Следы близких по возрасту трех палеоцунами с величиной горизонтального заплеска более 2.6 км также были обнаружены на Восточном Хоккайдо [35, 36, 37]. Эти цунами были связаны с необычно сильными землетрясениями (M 8.6?), произошедшими около 1.4, 1.82–1.99, 2.3 тыс. л. н., их осадки также залегают выше вулканического пепла Та-с [35]. Осадки цунами, произошедшего около 2.3 тыс. кал. л. н., найдены в разрезе торфяника на побережье бух. Осьма о. Уруп (в 280 м от берега), но на данном этапе исследования трудно утверждать, что это одно и то же событие.

Для островов также составлены геологические летописи более древних палеоцунами, проявившихся в начале позднего и среднем голоцене [14, 16, 17, 27], но для корректной межрегиональной корреляции отдельных событий данных, обеспеченных радиоуглеродным датированием, недостаточно. Наиболее древние торфяники, включающие отложения среднеголоценовых цунами, как правило, имеют большую мощность (более 4–5 м), и вскрыть их можно только скважинами. Отложения даже сильных цунами не всегда образуют сплошные покровы, осадки часто залегают пятнами, а в разрезах эти осадки сохраняются в виде линз или небольших гнезд, поэтому при бурении торфяников есть вероятность пропустить такие осадки. Естественные обнажения, включающие цунамигенные осадки, чрезвычайно редкие. На о. Шикотан информативное обнажение, в котором вскрываются озерные и лагунные органогенные отложения с многочисленными прослоями морских песков, найдено на побережье бух. Хромова со стороны Южно-Курильского пролива.

Уникальной находкой является естественное обнажение, найденное на тихоокеанской стороне о. Зеленый на побережье бух. Рудня (рис. 3). Здесь в приустьевой части ручья вскрыт торфяник (мощность до 4 м), который выполняет долину небольшого водотока. В верховьях долины (на высоте около 12 м н.у.м.) торфяник примыкает к центральному болотному массиву, покрывающему практически всю поверхность острова. Торфонакопление началось около  $10460 \pm 100$  л. н.,  $12380 \pm 190$  кал. л. н., ЛУ-6872 и продолжалось весь голоцен. Разрез торфяника включает многочисленные прослои цунамигенных песков, протягивающиеся вглубь суши на расстояние более 270 м. Хорошо выраженные прослои цунамигенных песков

встречены только в средне- и позднеголоценовой части разреза. Разрез включает также маркирующие прослои тефры вулканов Масю, Тарумаи и Комагатаке о. Хоккайдо. Данные тефростратиграфии позволили уточнить хронологию происходивших событий.

Между прослоями вулканических пеплов Ма-ф влк. Масю (7.5–7.7 кал. тыс. л. н.) и Та-с вскрыты от 6 до 9 прослоев песков, которые прослеживаются на расстоянии более 300 м от берега. Два сильных цунами произошли около  $3590 \pm 70$  л. н.,  $3890 \pm 100$  кал. л. н., ЛУ-6871 и  $3970 \pm 90$  л. н.,  $4430 \pm 140$  кал. л. н., ЛУ-6867. Вероятно, следы этих же событий были найдены на побережье бух. Димитрова на о. Шикотан [16] и в разрезе торфяника в южной части о. Танфильева. На побережье Восточного Хоккайдо выделены два события близкого возраста [35–37].

Активизация сейсмической обстановки в регионе произошла в конце среднего голоцена – повторяемость необычно сильных цунами составляла около 150 лет. В разрезах торфяника бух. Рудня обнаружены прослои цунамигенных песков (мощностью до 3 см), фиксирующие прохождение трех сильных цунами около  $4750 \pm 90$  л. н.,  $5470 \pm 110$  кал. л. н., ЛУ-6870;  $4820 \pm 90$  л. н.,  $5530 \pm 110$  кал. л. н., ЛУ-6880 и, экстраполируя скорость осадконакопления, – около 5.2 тыс. л.н (6 кал. тыс. л. н.). Цунамигенное происхождение песков подтверждают находки морских и солоноватоводных диатомей, представленных неритическими *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp., сублиторальными планктонными *Paralia sulcata*, *Thalassiosira bramaputrae* и бентосными *Navicula jarrensis*, *Diploneis pseudoovalis*. Близкая  $^{14}\text{C}$ -дата  $4860 \pm 130$  л. н.,  $5600 \pm 160$  кал. л. н., ЛУ-6579 получена для образований под цунамигенным песком на побережье бух. Хромова. Отложения цунами, произошедшего ~5.6 кал. тыс. л. н., найдены на низменности Токачи, тихоокеанское побережье о. Хоккайдо [37], и севере о. Хонсю [50]. Следует отметить, что трудно напрямую проводить межрегиональную корреляцию среднеголоценовых палеоцунами, поскольку для событий этого возраста мало данных по региону.

Сильное цунами произошло около  $5480 \pm 70$  л. н.,  $6290 \pm 70$  кал. л. н., ЛУ-6879. В осадках встречены солоноватоводные диатомеи *Diploneis pseudoovalis*, *Thalassiosira bramaputrae*. В отложениях встречены крупные фрагменты древесины, скорее всего, занесенные цунами, поскольку на островах в среднем голоцене древесной растительности уже не существовало. Событие близкого возраста выделяется на побережье Восточного Хоккайдо [37] и севере о. Хонсю [50]. Возраст более древнего цунами, проявившегося на побережье бух. Рудня, можно оценить

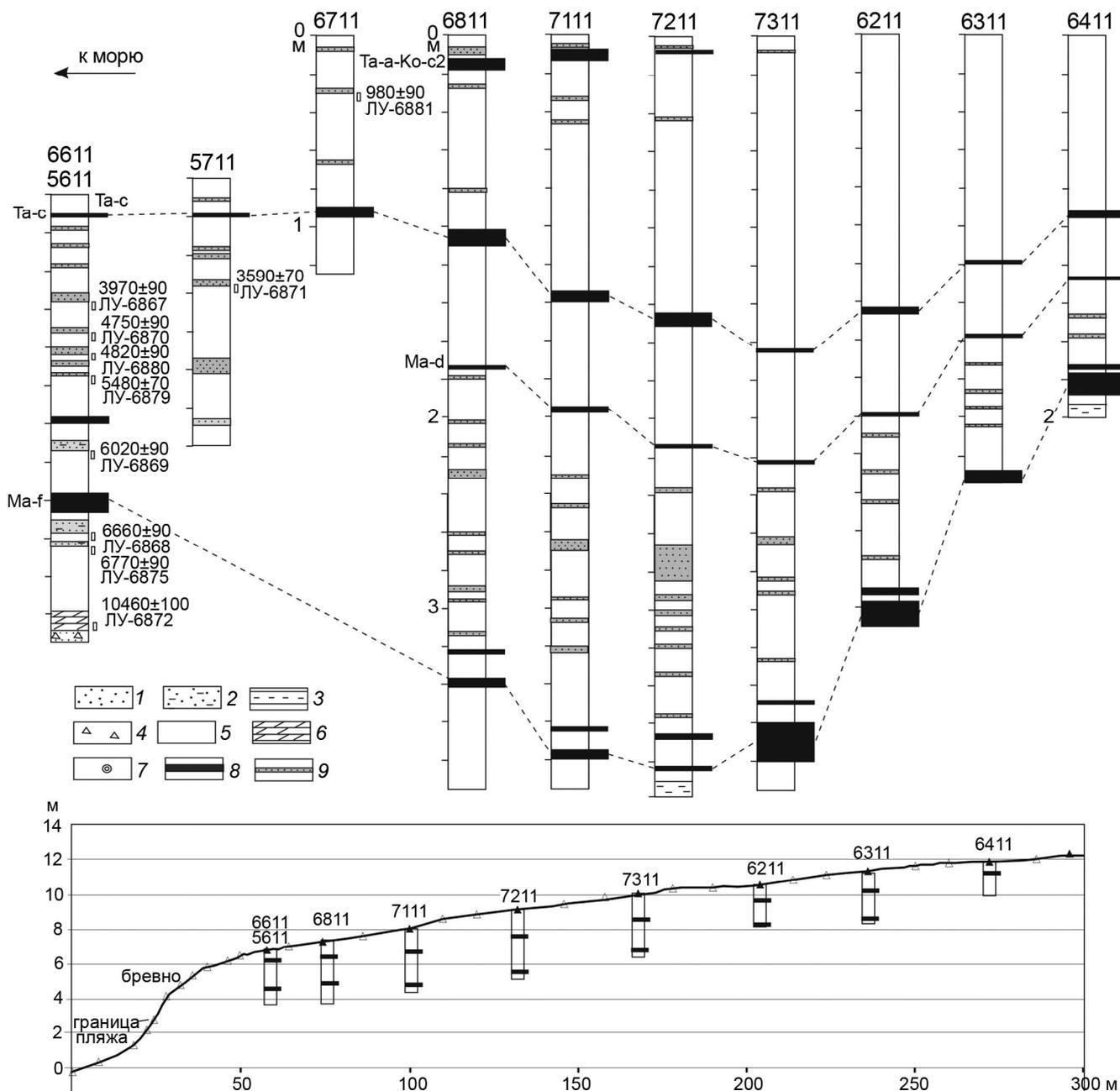


Рис. 3. Разрезы торфяников с прослоями цунамигенных осадков на побережье бух. Рудня, тихоокеанское побережье о. Зеленый.

1 – песок, 2 – алевритистый песок, 3 – глина, 4 – щебень, 5 – торф, 6 – торфянистый алеврит, 7 – древесина, 8 – вулканический пепел, 9 – цунамигенный песок.

около 5.7 <sup>14</sup>C тыс. л. (6.7 кал. тыс. л.). Осадок включает сублиторальные бентосные диатомеи *Caloneis westii*, *Tryblionella plana*. В это время на пике голоценовой трансгрессии произошел распад сухопутного моста, соединявшего Малые Курилы и о. Кунашир с о. Хоккайдо, на отдельные острова.

Отложения двух наиболее древних цунами (мощностью от 2–3 до 8 см) залегают ниже вулканическо-

го пепла, близкого по составу к низкокалийной тефре Ma-f. Из торфа, выходящего под прослоями морских песков, получены <sup>14</sup>C-даты: 6770 ± 90 л. н., 7630 ± 80 кал. л. н., ЛУ-6875; 6660 ± 90 л. н., 7540 ± 70 кал. л. н., ЛУ-6868. Отложения представлены среднезернистым песком с примесью алеврита и гравия и включают окатанный материал. Цунамигенное происхождение осадков подтверждают находки морских и солонова-

товодных диатомей в верхнем прослое – планктонный неритический *Actinocyclus curvatulus*, сублиторальные *Thalassiosira bramaputrae*, *Odontella aurita*, *Actinocyclus octonarius*, бентосные *Navicula jarrensis*, *Tryblionella acuminata*, *Nitzschia sigma*, *Fragilaria pulchella*, *Campylodiscus echeneis*, *Arachnoidiscus ehrenbergii*, *Amphora coffeaeformis* var. *acutiuscula*, в нижнем прослое – планктонные *Thalassiosira bramaputrae*, *Thalassiosira* sp.

В методическом плане при выделении следов сильных палеоцунами без ответа пока остается вопрос, всегда ли в условиях небольших островов с дефицитом наносов в береговой зоне цунами могли оставлять непрерывные слои песка, которые протягиваются вглубь суши на большие расстояния. Изучение комплексов диатомовых водорослей в разрезе покровного торфяника о. Полонского в центре острова в 2 км от берега океана показало наличие в отдельных прослоях торфа большого количества морских видов (до 30 %), что свидетельствует о том, что во время отдельных событий остров (высотой до 14.9 м) мог полностью накрываться волной цунами. В отдельных прослоях торфа в пресноводных комплексах диатомей на фоне доминирования типичных болотных видов обнаружены представители озерного планктона, донные формы и эпифиты (до 25 %). Створки этих видов могли попасть в центральную часть болота только благодаря переносу волной цунами из береговых озер. Таким образом, данные диатомового анализа могут служить хорошим индикатором проявления сильных цунами, которые заносят в континентальные отложения морские виды или виды, экология которых кардинально отличается от фонового комплекса. При дефиците обломочного материала в береговой зоне и на подводном береговом склоне этот метод может быть одним из ключевых при реконструкции заплесков сильных цунами в разрезах торфяников без прослоев цунамигенных осадков.

#### ВЫВОДЫ

На основе геологических летописей палеоцунами для Южных Курил выделены наиболее крупные события, которые могут рассматриваться как кандидаты в мегацунами, проявившиеся в данном регионе за последние ~7.5 тыс. л. н. Следы этих необычно крупных цунами наиболее хорошо представлены в разрезах озерно-болотных отложений Малой Курильской гряды, на о-вах Кунашир и Итуруп они встречаются фрагментарно. Для корреляции событий с результатами изучения палеоцунами на о. Уруп недостаточно данных. Наиболее представительный материал, позволяющий достаточно обоснованно восстанавливать параметры конкретных событий, получен

для последних 2.5 тыс. л.: выделены крупные события XVII, XIII веков, произошедшие около 1, 1.4–1.6, 1.7–1.8, 2–2.1 тыс. л. н. Основой для выделения таких событий, как мегацунами, служит и тот факт, что разновозрастные осадки выделены не только на побережье Южных Курил, но и на Восточном Хоккайдо, т.е. имеют широкое распространение – 300–400 км, что отличает их от осадков сильных локальных цунами, которые проявились только на отдельных островах. Осадки палеоцунами, которые найдены на Южных Курилах только на побережье отдельных бухт, могли быть связаны как с локальными цунами относительно небольшого масштаба, так и с трансокеаническими, очаги которых находились на удалении от района исследований. В целом, повторяемость наиболее сильных цунами, проявившихся на побережье Южных Курил, составляет около 300–400 лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 08-05-00066, 11-05-00497) и ДВО РАН (проект 12-И-П4-06). Экспедиционные исследования в 2007–2008 гг. проводились в рамках Курильского Биоконференциального Проекта (грант NSF ARC-0508109, руководитель Бен Фицхью). В 2015 году исследования проводились по гранту РНФ 14-50-00095.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков Р.В., Иванов В.Н., Храмушин В.Н. и др. Исследование следов палеоцунами для цунамирайонирования // Физика Земли. 1995. № 2. С. 18–27.
2. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Харламов А.А., Ивельская Т.Н. Экстремальные шторма 2006–2007 гг. на о. Шикотан: воздействие на прибрежный рельеф и осадки // Океанология. 2010. Т. 50, № 3. С. 458–467.
3. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Харламов А.А. Следы палеоцунами в голоценовых разрезах острова Итуруп (Курильские острова) // Геология морей и океанов: Материалы XIX Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2011. Т. 1. С. 152–155.
4. Иванов В.В. Исследование влияния цунами на осадконакопление по следам цунами 4 октября 1994 года // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т. VIII. С. 119–128.
5. Иванова Е.Д. Следы японского цунами 2011 года на побережье Южных Курильских островов (результаты микрофаунистических исследований) // Геология морей и океанов: Материалы XIX Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. Т. 1. М.: ГЕОС, 2011. С. 189–191.
6. Иващенко А.И., Гусяков В.К., Джумагалиев В.А. и др. Шикотанское цунами 5 октября 1994 г. // Докл. АН. 1996. Т. 348, № 4. С. 532–538.
7. Кайстренко В.М., Гусяков В.К., Джумагалиев В.А. и др. Проявление цунами 4 октября 1994 года на Шикотане // Проявления конкретных цунами. Цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. (Геодинамика тектоносферы

- зоны сочленения Тихого океана с Евразией). Т. VIII. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 55–73.
8. Кайстренко В.М., Шевченко Г.В., Ивельская Т.Н. Проявление цунами Тохоку 11 марта 2011 года на Российском тихоокеанском побережье // Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Т. 38, № 1. С. 41–64.
  9. 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.
  10. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. 360 с.
  11. Левин Б.В., Кайстренко В.М., Рыбин А.В. и др. Проявления цунами 15.11.2006 г. на Центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // Докл. АН. 2008. Т. 419, № 1. С. 118–122.
  12. Левин Б.В., Фицью Б., Буржуа Дж. и др. Комплексная экспедиция на Средние Курильские острова в 2007 г. (II этап) // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 3. С. 111–121.
  13. Пинегина Т.К., Разжигаева Н.Г. Исследования палеоцунами на дальневосточном побережье России // Мировой океан. Т. I. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. М.: Науч. мир, 2013. С. 488–498.
  14. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Харламов А.А. Проявление палеоцунами на о. Зеленый (Малая Курильская Дуга) в голоцене // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 57–73.
  15. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Осадки цунами Шикотанского землетрясения 1994 года // Океанология. 2007. Т. 47, № 4. С. 622–630.
  16. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Геологическая летопись палеоцунами на о. Шикотан (Малая Курильская гряда) в голоцене // Вулканология и сейсмология. 2008. № 4. С. 50–66.
  17. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Проявление палеоцунами на Малой Курильской гряде в голоцене // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 6. С. 48–57.
  18. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 310 с.
  19. Соловьев С.Л. Основные данные о цунами на тихоокеанском побережье СССР, 1937–1976 гг. // Изучение цунами в открытом океане. М.: Наука, 1978. С. 61–136.
  20. Соловьева О.Н. Проявление катастрофических цунами у берегов России // Природные опасности России. Т. 2. Сейсмические опасности. М.: КРУК, 2000. С. 231–234.
  21. Хершберг Л.Б., Михайлик Е.В., Пушкарь В.С., Вачаев Б.И. Строение, вещественный состав илистой толщи шельфа юга Приморья и перспективы ее освоения // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 2. С. 90–99.
  22. Atwater B.F., Furukawa R., Hemphill-Haley E. et al. Seventeenth-century uplift in eastern Hokkaido, Japan // The Holocene. 2004. V. 14, N. 4. P. 487–501.
  23. Borrero J. Learning from earthquakes, the Great Sumatra Earthquake, and Indian Ocean Tsunami December 26, 2005 // Field Survey on Northern Sumatra, Special Earthquake Report. 2005. N 1. EERI.
  24. Bryant E. Tsunami: The Underrated Hazard. Verlag, Heidelberg, New York: Springer, 2008. P. 143–148.
  25. Dawson A.G., Shi S. Tsunami deposits // Pure and Appl. Geophys. 2000. V. 157. P. 875–897.
  26. Goto K., Chagué-Goff C., Fujino S. et al. New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event // Marine Geol. 2011. V. 290. P. 46–50.
  27. Iliev A.Ya., Kaistrenko V.M., Gretskeya E.V. et al. Holocene tsunami traces on Kunashir Island, Kurile subduction zone // Tsunamis: Case studies and recent developments. New York: Springer Publ., 2005. P. 171–192.
  28. Kaistrenko V., Razjigaeva N., Kharlamov A., Shishkin A. Manifestation of the 2011 Great Tohoku Tsunami on the coasts of the Kuril Islands: A Tsunami with Ice // Pure and Appl. Geophys. 2013. V. 170, N 6–8. P. 1103–1114.
  29. Korotky A.M., Razjigaeva N.G., Grebennikova T.A. et al. Middle and late-Holocene environments and vegetation history of Kunashir Island, Kurile Islands, northwestern Pacific // Holocene. 2000. V. 10, N 3. P. 311–331.
  30. MacInnes B.T., Bourgeois J., Pinegina T.K., Kravchunovskaya E.A. Tsunami geomorphology: Erosion and deposition from the 15 November 2006 Kurile Island tsunami // Geology. 2009. V. 37. P. 995–998.
  31. Mori N., Takahashi T., Yasuda T., Yanagisawa H. Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation and runup // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38. L00G14.
  32. 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 // Sedimentary Geol. 2012. V. 282. P. 216–227.
  33. Nanayama F., Makino A., Satake K., Furukawa R., Yokoyama Y., Nakagawa M. Twenty tsunami event deposits in the past 9000 years along the Kurile subduction zone identified in Lake Harutori-ko, Kushiro City, eastern Hokkaido, Japan // Kojishinkenkyuho: koku. 2001. N. 1. P. 233–249.
  34. Nanayama F., Satake K., Furukawa R. et al. Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kurile trench // Nature. 2003. V. 424. P. 660–663.
  35. Nanayama F., Furukawa R., Shigeno K. et al. Nine unusually large tsunami deposits from the past 4000 years at Kiritappu marsh along the Southern Kurile Trench // Sedimentary Geol. 2007. V. 200. P. 275–294.
  36. Nanayama F., Shigeno K., Shitaoka Y., Furukawa R. Geological study of unusual tsunami deposits in the Kurile subduction zone for mitigation of tsunami disasters // The tsunami threat – research and technology. Rijeka: InTech, 2011. P. 283–298.
  37. Nishimura Y., Hirakawa K., Nakamura Y., Miyaj, N., Kamatsu M. Characteristics of historical tsunami events of eastern Hokkaido, Japan, revealed by sedimentary faces of the tsunami deposits // Abstr. of IUGG 2003, Sapporo, Japan. P. B 148.
  38. Nishimura Y., Nakamura Y., Kaistrenko V.M., Il'ev A.Ya. Tsunami deposits and tephra on Kunashir and Shikotan Islands, South Kunashir // Chikyuu monthly. 2009. V. 31, N 6. P. 311–320.
  39. 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.
  40. Razjigaeva N.G., Korotky A.M., Grebennikova T.A. et al. Holocene climatic changes and environmental history of Iturup Island, Kurile Islands, northwestern Pacific // Holocene. 2002. V. 12, N. 4. P. 469–480.

41. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. Coastal sedimentation associated with the Tohoku tsunami of 11 March 2011 in South Kuril Islands, NW Pacific Ocean // *Pure and Appl. Geoph.* 2013. V. 170, N. 6–8. P. 1081–1102.
42. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. The Tohoku Tsunami of 11 March 2011: The key event to understanding tsunami sedimentation on the coasts of closed bays of the Lesser Kuril Islands. Tsunamis in the Pacific Ocean: 2011-2012 // *Pure and Appl. Geoph.* 2014. V. 171, N. 12. P. 3307–3328.
43. Razzhigaeva N.G., Matsumoto A., Nakagawa M. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc // *Quater. Intern.*, 2016. (In press).
44. Sakaguchi Y. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation // *Bull. Dep. of Geogr. Univ. of Tokyo.* 1983. V. 15 P. 1–31.
45. Satake K., Atwater B.F. Long-term perspectives on giant earthquakes and tsunamis at subduction zones // *Annual Rev. Earth Planet Sci.* 2007. V. 35. P. 349–374.
46. Satake K., Nanayama F., Yamaki S. Fault models of unusual tsunami in the 17th century along the Kuril trench // *Earth Planets Space.* 2008. V. 60. P. 925–935.
47. Sawai Y. Evidence for 17th-century tsunamis generated on the Kurile-Kamchatka subduction zone, Lake Tokotan, Hokkaido, Japan // *Jour. Asian Earth Sci.* 2002. V. 20. P. 903–911.
48. Sawai Y., Nasu H., Yasuda Y. Fluctuations in relative sea level during the past 3000 yr. in the Onnetoh estuary, Hokkaido, northern Japan // *J. Quat. Sci.* 2002. V. 17. P. 607–622.
49. Takashimizu Y., Urabe A., Suzuki K., Sato Y. Deposition by the 2011 Tohoku-oki tsunami on coastal lowland controlled by beach ridges near Sendai, Japan. // *Sedimentary Geol.* 2012. V. 282. P. 124–141.
50. Tanigawa K., Sawai Yu., Shishikura M. et al. Geological evidence for an unusually large tsunami on the Pacific coast of Aomori, Northern Japan // *J. Quater. Sci.* 2014. V. 29, N. 2. P. 200–208.

*Рекомендована к печати Б.В. Левиным*

***N.G. Razzhigaeva, L.A. Ganzey, T.A. Grebennikova, A.A. Kharlamov, Kh.A. Arslanov,  
V.M. Kaistrenko, A.O. Gorbunov, A.Yu. Petrov***

### **Problem of megatsunami paleoreconstruction on South Kurils**

Paleoreconstructions were carried out on the base of tsunami deposits distribution in coastal lowland sections. Traces of unusually large tsunami were recorded great detail in lacustrine-peat bog sections of Lesser Kuril Ridge, only fragments of these deposits were found on the islands of the Great Kuril Ridge. The distribution and composition of modern large tsunami (the Shikotan 1994 tsunami and 1894 tsunami, locally manifested) and transoceanic Tohoku 2011 tsunami were analyzed for understanding deposition features during large tsunami and megatsunami. Interregional correlation of the events during the last ~2.5 ka and estimation of their scale were made. Large events were established in the XVII, XIII centuries and about 1, 1.4–1.6, 1.7–1.8, 2–2.1 ka. New data on large tsunami chronology since middle Holocene are presented. Unique natural section with numerous tsunami sand layers were studied on Pacific side of Zeleniy Island (Rudnya Bay), accumulation of the deposits continued through all Holocene. The largest tsunami which can be considered as candidates to megatsunami, manifested on South Kurils for the last ~7.5 ka, have been revealed.

***Key words: historical and paleotsunami, megatsunami, tsunami deposits, chronology, Holocene, South Kurils.***