



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра прикладной океанографии
и комплексного управления прибрежными зонами**

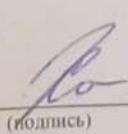
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Борьба с последствиями цунами. Опыт южных провинций
островного государства Шри-Ланка»

Исполнитель Павлова Мария Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Ph.D
(ученая степень, ученое звание)

Семеошенкова Вера Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой 
(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«28 02 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

Введение.....	3
Раздел 1. Цунами. Подходы к изучению.....	9
1.1 Опасное природное явление цунами.....	9
1.2 Подходы к мониторингу и прогнозированию цунами.....	14
1.3 Мониторинг и прогнозирование цунами в России.....	16
Раздел 2. Оценка разрушительной силы цунами.....	24
2. 1 Способы расчета и оценки разрушительной силы цунами	24
2.1.1 Высота волны цунами.....	25
2.1.2 Высота заливания берега.....	26
2.2. Природа и распространение катастрофического цунами 2004 года.....	27
Раздел 3 Побережье Велигамы.....	29
3.1 Описание прибрежной зоны Велигамы. Физико-географические характеристики	29
3.2 Карты цунамиопасности побережья.....	32
3.3 Инфраструктура побережья.....	35
3.4 Плотность населения	39
Раздел 4 Опыт борьбы с цунами в Велигаме.....	42
4.1 Цунами в южной провинции. Масштаб катастрофы.....	42
4.2 Классификация показателей ущерба. Сложность точной оценки.....	46
4.3 Проблемы восстановления. Опыт борьбы с последствиями цунами.....	49
4.4 Ценность анализа индивидуального опыта.....	60
Раздел 5 Технологии стратегического планирования для смягчения риска при возникновении цунами.....	64
5.1 Разработка Дорожной карты по предупреждению и смягчению последствий Цунами для Велигамы.....	64
5.2 Составление комплексной карты цунамиопасности побережья.....	67
Заключение.....	70
Список используемой литературы.....	73
Приложение 1 Количество жертв цунами в различных районах Шри-Ланки	77
Приложение 2 Количество организаций, снабжающих продовольствием пострадавшие районы.....	78
Приложение 3 Количество служб координации и поддержки в борьбе с последствиями цунами.....	79
Приложение 4 Количество организаций, занимающихся проблемами рыболовства и сельского хозяйства после цунами.....	80

Введение

Согласно данным Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA)¹, за первые два месяца 2024 года только в Тихоокеанском регионе было зафиксировано порядка 30 землетрясений. Первое из них (01-01-2024 07:10:10 UTC, вблизи западного побережья о. Хонсю, Япония), магнитуда которого составила 7.4 балла (таблица 1), сопровождалось сообщениями об угрозе цунами. Эти сообщения менее чем за 4 часа обновлялись пять раз. В каждом новом сообщении корректировалась предоставленная ранее информация, в соответствии с уточненными данными. Так, например, во втором сообщении прогнозируемое время появления первой волны цунами во Владивостоке - 8:57 UTC, в следующем сообщении, согласно обновившимся данным, волна в России ожидалась в 8:55 UTC. Пятое, последнее, сообщение информировало о том, что угроза цунами для уязвимых зон Тихоокеанского региона (в пределах 300 км. от эпицентра землетрясения) преимущественно миновала.

О том, что произошло за эти несколько часов на побережье Японии (префектура Ишикава), сообщали как различные уполномоченные организации, так и средства массовой информации. Так, например, в соответствии с данным японского подразделения Красного креста², волна цунами уничтожила 160 гектар земли в городах Судзу и Ното, работа средств коммуникации, электро- и водоснабжение были нарушены. На 14:00 по местному времени 7 февраля 2024 года муниципальные власти заявили о 241 погибшем, 1291 раненом и более 40393 разрушенных или поврежденных зданиях.

После Великого восточного японского землетрясения 2011 года и последующей за ним катастрофической волной цунами Япония пересмотрела систему оповещения об этом стихийном бедствии, и на сегодняшний день эта система (от 7 марта 2013 года) является одной из самых эффективных в

¹ NOAA / National Weather Service U.S. Tsunami Warning System, <https://www.tsunami.gov/>

² Japanese Red Cross Society/<https://www.jrc.or.jp/english/relief/2024NotoPeninsulaEarthquake>

мире. Однако даже она, в совокупности с колоссальным опытом этой страны в противостоянии разрушительным волнам цунами, не позволила полностью избежать человеческих жертв и значительного материального ущерба в результате последнего цунамигенного землетрясения.

На сегодняшний день можно выделить три основных подхода к проблеме изучения цунами: прогнозирование, оперативное оповещение, предупреждение ущерба на основе анализа опыта борьбы с последствиями цунами.

Задача прогнозирования на данный момент может быть решена лишь частично. Принимая за основу статистический подход, используя подробную историческую хронологию, а также обладая необходимыми геолого-физическими данными, исследователи добились некоторых результатов в долгосрочном прогнозировании этого явления, изучая и прогнозируя цунамигенные землетрясения³. Разработка краткосрочных и среднесрочных прогнозов по-прежнему остается трудновыполнимой задачей.

Можно сказать, что задача оперативного оповещения сейчас реализуется достаточно эффективно. После самого страшного цунами 2004 года мировое сообщество пришло к пониманию того, что создание центров изучения, мониторинга и оповещения о цунами позволит уберечь регионы риска от катастрофических последствий этого стихийного бедствия. В настоящее время при фиксации подводного землетрясения определенной магнитуды объявляется угроза цунами, и далее осуществляется наблюдение за морским возмущением. Однако даже действующие сегодня службы мониторинга не позволяют в полной мере отслеживать подобную ситуацию. Так, в 2018 г. во время цунами в Индийском океане, современная система мониторинга, введенная в эксплуатацию после событий 2004 года, пропустила цунами, и

³ Левин Б.В., Сасорова Е.В., Ким Ч.У., Коровин М.Е., Малашенко А.Е., Савочкин П.В., Тихонов И.Н. Землетрясение 17(18) августа 2006 г. на Сахалине и реализация комплексного прогноза // ДАН. 2007. Т. 412, № 3. С. 396–400

это стало причиной гибели людей и значительных разрушений⁴.

Предупреждение ущерба на основе анализа опыта борьбы с последствиями цунами реализуется как комплексный подход, объединяющий и указанные выше задачи (по прогнозированию и оповещению), и широкий инструментарий технологии комплексного управления прибрежными зонами. Под предупреждением ущерба понимается разработка необходимых мер, направленных на значительную минимизацию риска развития катастрофического сценария при столкновении с цунами. Система мер должна опираться на междисциплинарный подход и базироваться на многоуровневом анализе уязвимости конкретного побережья.

Не смотря на то, что зачастую проблема цунами носит региональный характер, в силу особенностей генезиса самого природного явления, она озвучивается и по-прежнему входит в повестку дня на мировом уровне. Так, в 5 ноября 2022 года в Бангкоке во время празднования Всемирного дня распространения информации о проблеме цунами⁵ в Азиатско-Тихоокеанском регионе были изложены ключевые основания, определяющие всё возрастающую актуальность данной резолюции, к ним можно отнести следующие:

- цунами – редкое, однако смертоносное явление, приносящее с собой колоссальные разрушения;
- число людей, проживающих в низменных прибрежных районах, подверженных риску цунами, очень велико (более 700 млн. человек) и продолжает расти. По некоторым оценкам, к 2030 году до 50% населения Земли будет проживать в районах, где опасность наводнения, шторма и цунами очень велика;
- возрастает роль интенсивного взаимодействия и масштабного сотрудничества в области предупреждения и снижения риска цунами, а

⁴ Долгих Г.И., Лешошко О.А. Цунамигенные землетрясения, регистрация и интерпретация данных// Вестник ДВО РАН. – 2019 -№ 2.- С.62-70

⁵ Всемирный день распространения информации о цунами. Организация объединенных наций. <https://www.un.org/ru/observances/tsunami-awareness-day>

также в сфере смягчения и устранения последствий цунами;

На сегодняшний день по-прежнему существуют неустраненные пробелы в работе, направленной на изучение проблемы предупреждения цунами. Во многом из-за недооцененности масштаба этого разрушительного природного явления, которое за последние 20 лет стало причиной 10% мировых экономических потерь от стихийных бедствий, унесло более 250000 жизней и оказало пагубное влияние на многие отрасли промышленности, градостроительства, сельского хозяйства. Не стоит забывать также об уроне, нанесенном системам здравоохранения, образования, социального и культурного взаимодействия, материальному и психологическому благополучию населения.

Современные общественные запросы и технологические возможности могут способствовать реализации комплексного подхода к проблеме цунами.

Объектом данного научного исследования является цунами 2004, обрушившееся на южную провинцию Шри-Ланки, Велигаму.

Предметом изучения является практическая ценность опыта борьбы этого прибрежного региона с последствиями данного катастрофического явления.

Цель работы заключается в изучении реального опыта борьбы с последствиями цунами 2004 года южной провинции островного государства Шри-Ланка, города Велигама, с дальнейшим его применением в программах, направленных на минимизацию потерь в результате стихийного бедствия.

Среди задач данной работы можно выделить основные:

- описание природы возникновения цунами и характера этого природного явления;
- освещение существующих подходов к предупреждению рисков, связанных с цунами;
- обзор способов оценки силы и интенсивности цунами;
- характеристика прибрежной зоны Велигамы, района пострадавшего от цунами 2004 года;

- определение характера ущерба вследствие цунами на Шри-Ланке;
- определения фактических показателей ущерба, и проблемы связанные с этой задачей;
- анализ эффективности мер по ликвидации последствий цунами в изучаемом регионе;
- комплексный анализ и оценка цунамиопасности региона на основе пережитого опыта.

Не смотря на то, что такое катастрофическое явление, как цунами 2004 года в Индийском океане, значительно повысило научный и общественный интерес к этому природному явлению, человечество по-прежнему остается уязвимым перед ним. Эффективный мониторинг и краткосрочное прогнозирование цунами с высокой степенью оправдываемости – перспективы ближайшего будущего, но уже сейчас необходимо располагать действующими решениями, позволяющими реализовать надежную защиту прибрежных территорий. Востребованность таких решений объясняется их комплексностью и технологической доступностью.

Теоретическая ценность данной работы связана с многоуровневым анализом опыта борьбы с последствиями цунами отдельного региона. Под многоуровневостью здесь подразумевается изучение как масштабных политических и экономических консеквенций, так и знакомство с частным, индивидуальным опытом человека, пережившего цунами.

Практическая значимость исследования заключается в разработке стратегического плана и рекомендаций по предупреждению и смягчению последствий цунами, обладающих высокой степенью адаптивности к реалиям любого другого уязвимого региона.

К основным методам, применяемым в ходе теоретической части данного исследования, можно отнести сбор, анализ и систематизацию релевантных сведений. В практической части были также задействованы технологии комплексного картирования и стратегического планирования, построение

дорожных карт при помощи методологии *Alige*.

Разработанные в ходе данного исследования способы оценки уязвимости прибрежных зон, входящие в состав дорожной карты, могут быть применены как специальными институтами, так и широкой общественностью.

Основная часть

Раздел 1 Цунами. Подходы к изучению

1.1 Опасное природное явление цунами

Цунами(津波) - согласно распространенному определению, использованному также Т.С. Мурти в своей книге «Сейсмические морские волны цунами»⁶, – японское слово, обозначающее волну в гавани (цу - гавань, нами – волна), которое применяется для обозначения системы гравитационных волн в море, вызванных крупномасштабными непродолжительными возмущениями свободной поверхности, преимущественно землетрясениями или схожими с ними явлениями.

Среди таких явлений можно также выделить:

- Масштабные оползни;
- Извержения вулканов;
- Цунами, имеющие техногенную природу (взрывы)
- Падение метеорита.

В некоторых источниках также говорится о том, что отождествление цунами и приливных волн, а также цунами и морских сейсмических волн не является корректным, так как не отражает в достаточной мере природу возникновения волн цунами. Этимология понятия восходит к японскому языку, так как на территории Японии за весь период наблюдений (возможно, самый продолжительный в сравнении с другими государствами Тихоокеанского огненного кольца) зафиксировано значительное количество стихийных бедствий, сопровождающихся «волной в гавани». По данным японской страховой компании SBI(10.09.2022), в 56,7 % случаев жители Японии опасаются землетрясения и цунами⁷. Примечательно, что 30,4 % не принимают особых мер в связи с ними. Данный парадокс является прекрасной иллюстрацией того, как частное исследование отражает более глобальную проблему.

⁶ Мурти Т.С. Сейсмические морские волны цунами. Ленинград. Гидрометиздат, 1981

⁷ <https://www.nippon.com/ru/japan-data/h01429/> 10.09.2022

Существуют различные способы классификации цунами, однако самыми показательными для широкой аудитории являются классификации по причинам возникновения и по интенсивности.

При классификации цунами согласно причинам возникновения различают возбуждаемые подводными и прибрежными землетрясениями, значительными извержениями подводных вулканов и оползнями на морском дне.

По интенсивности (силе воздействия) цунами делятся на:

I - очень слабое цунами. Регистрируют лишь специальные приборы - мореографы.

II - слабое цунами. Есть риск затопления плоского побережья. Отмечается лишь специалистами.

III - среднее цунами. Плоское побережье также затопляется, легкие суда могут оказаться выброшенными на берег. Портовые сооружения могут получить некоторые разрушения.

IV балла - сильное цунами. Происходит затопление побережья. Повреждаются прибрежные постройки, отмечаются слабые и средние разрушения. Берега засорены песком, илом, обломками камней, деревьев, мусором. Более крупные парусные суда могут быть выброшены на сушу, иногда возможны человеческие жертвы.

V - очень сильное цунами. Береговые территории полностью затоплены. Повреждены берегозащитные сооружения. На берег оказываются выброшены крупные суда. Сооружения имеют сильные, средние и слабые разрушения в зависимости от удаленности от берега. Имеются разрушения и во внутренних частях побережья. В речных устьях отмечаются высокие штормовые нагоны. Имеются человеческие жертвы.

VI - катастрофическое цунами. В случае катастрофического цунами происходит полное опустошение побережья и приморских территорий. Суша затоплена на значительные расстояния вглубь. Большие человеческие

жертвы.

Мощность цунами можно описать скоростью движения волны, магнитудой, интенсивностью на конкретном побережье. Магнитуда цунами измеряется мареографом, так как соответствует натуральному логарифму колебаний уровня воды (в метрах). В отличие от магнитуды землетрясения магнитуда цунами характеризует только часть энергии цунами. Зависимость между сейсмической магнитудой, магнитудой цунами и высотой главной волны цунами можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость между сейсмической магнитудой, магнитудой цунами и высотой главной волны цунами

Магнитуда землетрясения	Магнитуда цунами	Высота главной волны (в метрах)
7,5	1	2-3
8	2	4-6
8,25	3	8-12
8,5	4	14-20

Анализ данной таблицы позволяет установить прямую зависимость основного разрушающего фактора цунами – высоты волны - от магнитуды землетрясения и магнитуды самого цунами. Связь эта, как можно заметить, прямо пропорциональна.

Как известно, цунами зачастую могут происходить в результате тектонического сдвига морского дна по линии разлома земной коры. Наиболее сильные землетрясения происходят в зонах субдукции, где океаническая кора пододвигается под островную дугу или более молодую

океаническую плиту⁸.

Иногда цунами ошибочно отождествляется со штормовыми нагонами, однако эти явления принципиально отличаются. Штормовой ветер захватывает только приповерхностные слои воды, а волна цунами – это движение воды от поверхности до самого дна. Поэтому энергетические масштабы, а значит, и степень разрушений, несопоставимы. Цунами обрушивает на берег огромную энергию, высвобождающуюся при подводном катаклизме. А она может достигать невероятных величин.

На рисунке 1 достаточно схематично представлено, как зарождается волна цунами :

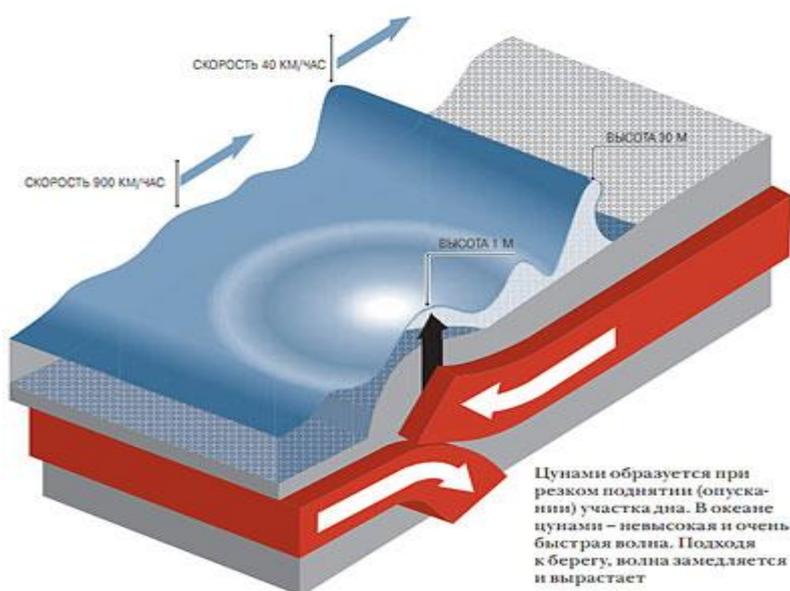


Рисунок 1. Возникновение волны цунами.

Цунами может длиться от нескольких минут до нескольких часов, распространяться со скоростью 1-200 м/с, а высота волны может достигать десятков метров, длина волны может составлять 1000 км. Однако в открытой воде волна практически не ощутима, ее высота не превышает метра и она не представляет опасности для судоходства; при приближении к берегу скорость волны падает, но высота волны вырастает. Рекордная высота цунами составляет 524 метра (волна в бухте Литуя на Аляске после схода

⁸ Лобковский Л. И., Баранов Б. В. К вопросу о возбуждении цунами в зонах поддвига литосферных плит / Процессы возбуждения и распространения цунами. М.: ИО АН СССР, 1982. С. 7–17

лавины 10 июля 1958 года).

Для того, чтобы рассчитать основные характеристики распространения цунами, главной из которых является скорость распространения волны, используется уравнение мелкой воды распространённой гидродинамической модели. Самым удобным сопоставлением можно считать линейную поршневую модель.

Самые важные сведения, которые даёт нам эта модель: скорость волны определяется только локальной глубиной океана и равна $c=(g \cdot h)^{1/2}$, где $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения. Для средней глубины Мирового океана, около 4 км, получается $c \approx (10 \text{ м/с}^2 \cdot 4000 \text{ м})^{1/2} \approx 200 \text{ м/с}$, это 720 км/час.

Несложно представить себе, что волна, движущаяся с такой скоростью, способна нанести колоссальный урон побережью и прилегающим к нему территориям.

При изучении цунами, необходимо учитывать сопутствующие ему поражающие факторы.

- направление движения волны по отношению к берегу.
- присутствие мощных течения в результате её отхода (смыв почвы, смыв склонов, размыв насыпей дорог, оснований мостов, дамб, фундаментов сооружений).
- затопление больших территорий морской водой.
- возможность сильных волнений на море вблизи берега.

Разрушительная сила цунами зависит не только и не столько от силы землетрясения, сколько от изменения и движения плит земной коры во время землетрясения. Следовательно, чем ощутимее смещение плит на океаническом дне, спровоцированное землетрясением, тем большая масса воды приводится в движение и тем сильнее мощь цунами. Более наглядным является деление поражающих факторов на первичные и вторичные (таблица 2).

Таблица 2. Поражающие факторы цунами

Первичные	Вторичные
<ul style="list-style-type: none"> · высота, скорость и сила распространения волн при обрушении их на побережье; · подтопление, затопление прилегающих к берегу земель; · сильное течение при обратном уходе волн с берега в океан; · сильная воздушная волна. 	<ul style="list-style-type: none"> · разрушение и затопление прибрежных сооружений, зданий; · снос техники, построек, судов; · пожары, взрывы на опасных объектах; · смыв плодородного слоя почвы, уничтожение урожая; · уничтожение или загрязнение источников питьевой воды.

1.2 Мониторинг и прогнозирование цунами

При прогнозировании таких природных явлений, как цунами, необходимо учитывать целый ряд факторов, среди которых можно назвать следующие:

- природа возникновения цунами;
- периодичность возникновения цунами;
- географическая локализация цунами и др.

С учетом вышеуказанных факторов, принято выделять три основных подхода к прогнозированию цунами, которые подробно рассматриваются в научной статье Гусякова В.К. «Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-районирования морских побережий»⁹.

Историко-вероятностный подход. В его основу положены статистические данные ранее отмеченных высот цунами, он не требует опоры на знания сейсмотектонических механизмов, которые находятся в основе возбуждения цунами. Наблюдаемые высоты рассматриваются просто как поток случайных

⁹ Гусяков В.К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-районирования морских побережий// Проблемы информатики. – 2013- № 4-С. 36-46

событий, удовлетворяющий некоторым гипотезам об их статистических свойствах. Гипотеза стационарности (допущение, согласно которому развитие событий в будущем статистически подобно их развитию в прошлом) и гипотеза эргодичности (предположение о том, что среднее по ансамблю реализаций равно среднему по времени в данной точке) превалируют над остальными. Кроме того, при реализации этого подхода принято применять статистики Пуассона или Гумбеля для вычисления вероятности превышения высотами волн некоторого заданного уровня. Суть применения этого подхода состоит в нахождении закона повторяемости высот волн в данном пункте и определения на этой основе вероятности превышения некоторой заданной высоты в будущем.

Однако при использовании историко-вероятностного подхода зачастую возникает необходимость экстраполировать график повторяемости высот цунами в область больших значений. Из-за дефицита данных полученный график повторяемости бывает представлен ломаной линией, не отображающей данные для значений обеспеченности 30–50 лет, поэтому экстраполяция область значений в 100 и более лет является очень ненадежной.

Следующим популярным подходом является детерминированный подход, он же сценарный. Он основан на применении численных моделей возбуждения и распространения цунами для одного или группы гипотетических источников, представляющих очаги цунамигенных землетрясений. Такой подход дает возможность при задании некоторого набора параметров источника и наличии цифровой батиметрии изучаемой области получить реалистичное распределение высот волн вдоль берега, на основании которого можно судить об уязвимости его различных участков.

Однако и этот подход не лишен некоторых недостатков, основным из которых является обоснование выбора параметров проектного события. Такой выбор источника, как правило, осуществляется на основе экспертных

суждений, порой без четких критериев оценки их качества, более того, иногда в учет не принимается анализ чувствительности конечного результата к вариациям в значениях исходных параметров. Значительным минусом этого подхода принято считать невозможность получения данных об обеспеченности (т. е. вероятности превышения в течение заданного промежутка времени) высот, меньших, чем максимально возможные.

Очевидно, наиболее перспективным является третий, самый современный поход к задаче цунами-районирования, он состоит в применении методики РТНА (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment), которая опирается на соединение положительных сторон вышеназванных подходов. «Основными элементами этой методики являются построение вероятностной сейсмотектонической модели региона и применение численных методов расчета возбуждения и распространения цунами для получения реалистичных распределений высот волн на побережье для набора модельных источников различной магнитуды»¹⁰. Карты цунамиопасности для целых побережий, а также детализированные карты заливания конкретных заливов, были получены, благодаря использованию этой методики.

Применение описанного подхода, основанного на методике РТНА¹¹, в качестве основообразующего при разработке системы мер по минимизации катастрофических последствий цунами с использованием инструментария КУПЗ может быть очень эффективным.

1.3 Мониторинг и прогнозирование цунами в России

Как известно, в России с 1958 года действует служба предупреждения о цунами, однако до недавнего времени не существовало официальных долгосрочных карт цунамиопасности даже для таких регионов повышенного

¹⁰ . Gonzalez F., Geist E., Jaffe B. et al. Probabilistic tsunami hazard assessment at Seattle, Oregon, for near- and far-field sources // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. C11023. DOI: 10.1029/2008JC005132.

¹¹ Probabilistic Tsunami Hazard Analysis: High Performance Computing for Massive Scale Inundation Simulations <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.591549/full>

риска возникновения цунами, как южные и в особенности дальневосточные побережья России.

Тем не менее, проводилось достаточно большое количество исследований, самые ценные из которых опирались на результаты крупного реализованного проекта ОСР-2016 (общее сейсмическое районирование России). Данный проект стал, пожалуй, самым значительным после проекта ОСР-97, так как опирался на обновленные данные и методики. Сегодня при оценке цунамиопасности побережий России учитываются и используются полученные в ходе большой работы каталоги исторических землетрясений, данные о строении их очагов, картирование зон возникновения землетрясений.

Большая часть исследований и публикаций, сделанных соотечественниками, может быть условно разделена на две группы, которые соответствуют двум ранее названным подходам, а именно историко-вероятностному и детерминированному.

Так, например, в начале 1960-х гг. были получены первые оценки возможных высот цунами на Дальневосточном побережье СССР, это стало возможным благодаря применению детерминированного подхода.

Существенным плюсом данного подхода является возможность его применения для любых участков побережья, вне зависимости от степени полноты и качества имеющихся для него исторических наблюдений. Однако у этого подхода есть и свои минусы – это, как было упомянуто ранее, обоснование выбора параметров проектного события, либо начальных высот волн в источнике цунами.

Историко-вероятностный подход отечественной литературе представлен в основном работами дальневосточной группы сейсмологов и специалистов по цунами.

Несмотря на то, что применение данного подхода зачастую даёт искажение при выполнении долговременных оценок, тем не менее, оно позволяет

комбинировать оценки риска как от близких (региональных), так и от удаленных (трансокеанских) цунами. Однако такие комбинации необходимо тщательно мониторить, особенно это касается участков с ограниченным набором данных, иначе существует риск смещения оценок опасности, чаще всего в сторону завышения.

Более существенным недостатком историко-вероятностного подхода является то, что он не принимает во внимание фактические геофизические механизмы, являющиеся причиной возникновения цунами, главными среди которых являются сеймотектонический и обвальный.

Таким образом, стоит отметить, что в нашей стране оба подхода существовали и практически независимо развивались в течение длительного времени и на сегодняшний день продолжают применяться для анализа цунамиопасности различных участков российского побережья (Курило-Камчатская зона, Японское и Черное море).

Примечательно, что еще в 1968 г. С. Л. Соловьевым был указан другой подход к решению задачи цунамирайонирования¹², он совмещает в себе положительные моменты обеих методик и основывается на использовании сеймотектонических представлений и физических законов, определяющих возбуждение и распространение цунами.

Ниже приведены основные элементы этого подхода:

- 1) оценка по сейсмологическим данным вероятности вертикальных подвижек разной интенсивности и разной протяженности;
- 2) пересчет деформаций дна в деформацию поверхности океана;
- 3) переход путем построения рефракционных диаграмм, от вероятностных характеристик подъема воды в зоне источника к вероятностной характеристике высоты цунами на некоторой близкой к побережью изобате;
- 4) нахождение с учетом особенностей прибрежного рельефа вероятностных характеристик высоты подъема воды на урезе и ширину зоны затопления.

¹² Соловьев С. Л. Проблема цунами и ее значение для Камчатки и Курильских островов // Проблема цунами. М.: Наука, 1968. С. 7–50

По сути своей данная методика близка методике «сейсмотектонического пробабилизма» (Probabilistic Seismic Hazard Assessment)¹³. Для обеих методик характерно осознание сейсмологами опасности полагаться только на имеющиеся исторические сведения о сейсмичности территории, а также понимание необходимости привлечения данных о палеосейсмичности, современных разрывных нарушениях, а также сейсмотектонических моделей возникновения землетрясений.

Именно эта методика и стала основой расчета глобальной карты сейсмической опасности, разработанной в рамках международного проекта GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program).

Для оценки сейсмической опасности территории России методика PSHA начала применяться только в начале 2010-х гг. при создании карты ОСП-2012.

При оценке цунамиопасности, использование этого подхода включает в себя, согласно систематизации В.К. Гусякова, следующие основные этапы¹⁴:

- 1) определение района исследования, составление списка защищаемых объектов и оценка их приоритетности, обоснование выбора масштабов карт оценки риска, сбор батиметрической и топографической информации на район исследований;
- 2) создание сейсмо-структурной схемы региона (разбиение области возможных очагов тектонических цунами на условно-однородные зоны (УОЗ).
- 3) определение для каждой зоны магнитудно-частотной характеристики (закона повторяемости землетрясений) и оценка максимально возможной для этой зоны магнитуды M_{max} ;
- 4) создание для каждой УОЗ модельного каталога землетрясений на период 50—100 тыс. лет, проверка его статистических свойств на соответствие

¹³Probabilistic Seismic Hazard Assessment(PSHA)//https://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/haz_guide/psha.html

¹⁴ Гусяков В.К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-районирования морских побережий// Проблемы информатики. – 2013- № 4-С. 7

имеющимся сейсмическим каталогам для данного района;

5) применение моделей распространения (и при необходимости, набегания) цунами для расчета параметров волн (высота, период, скорость течения) на некоторой изобате (10—20 м) вблизи побережья либо на сухом берегу (в зависимости от задач и масштабов картирования);

6) расчет $h(M, r)$ для каждой береговой точки от событий модельного каталога, построение модельного каталога высот волн; проверка его свойств на соответствие имеющимся историческим наблюдениям;

7) применение вероятностных моделей для расчета закона повторяемости высот в каждой точке вида $h = a + b(f)$ и определения на этой основе h_{100} или h_{500} , построение карт заливания в изолиниях h_{100} или h_{500} ;

8) определение вероятности комбинации воздействия цунами с воздействием других стихийных бедствий (сильный шторм, наводнение, высокий прилив);

9) оценка возможного вклада от других механизмов возбуждения цунами (обвального и оползневого);

10) исследование точности полученных оценок риска и их чувствительности по отношению к неопределенностям моделей и параметров сейсмического режима.

В современной действительности результаты построения обзорных карт можно визуализировать в удобных web-приложениях, таких, например, как WTMap. Они дают возможность строить и отображать карты вдоль берегового распределения высот волн с заданной средней повторяемостью превышения, например, 1 раз в 100 или 500 лет, опираясь на результаты моделирования. Интерфейс и навигация в приложении максимально оптимизированы, что дает возможность использовать приложение не только узким специалистам в области, но и широкому кругу пользователей.

Когда результаты прогнозирования цунами принимают такой формат, можно говорить об эффективности подхода. Информация приобретает одно из главных своих качеств. Она становится не только пригодной для

использования специалистами, но также наглядной и удобной для широкого круга заинтересованных лиц. Как отмечалось ранее, глобальная система оповещения о цунами должна располагать тремя составляющими (оценки риска, предупреждающего руководства, подготовленности), использование ею данных, полученных в результате применения современных комбинированных подходов, позволит в той или иной степени удовлетворить запросы всех трех компонентов. И это справедливо также для национальных и даже локальных систем предупреждения.

Актуальные, доступные в режиме реального времени карты цунамиопасности того или иного региона, разработанные с учётом данных технически усовершенствованных приборов и систем мониторинга сейсмической активности, позволят говорить об относительно высокой готовности побережья к такому страшному стихийному бедствию, как цунами.

Более того, использование в дополнение к этим картам подробных сведений о социальной и экономической инфраструктуре побережья позволит сделать их более актуальными для управленческих структур, отвечающих за комплексную реализацию смягчающих защитных мер в отношении конкретной береговой зоны. Этому аспекту проблемы и посвящена практическая часть этой исследовательской работы.

Несмотря на всю существующую сложность прогнозирования цунами, предотвращение или сокращение возможных последствий этого стихийного бедствия может быть значительно выгоднее с экономической точки зрения, чем устранение катастрофического урона от его неожиданного наступления. Экономический ущерб от цунами измеряется в миллионах долларов и требует не только восстановления жизнедеятельности и функционирования практически всех сфер человеческой жизни на побережье, но также устранение урона от «отложенных» или долгосрочных последствий, среди которых повышенный уровень заболеваемости населения, снижение уровня

дохода людей, неконтролируемые миграции.

Цунами 2004 года в Индийском океане (Суматра, Индонезия), согласно имеющимся данным, было самым разрушительным и смертоносным за всю историю наблюдений за подобным стихийным бедствием. Именно это событие стало поворотным моментом в изучении проблемы прогнозирования цунами, раннего оповещения и предупреждения масштабных потерь и разрушений.

Проведенный после данной катастрофы анализ развития событий позволил выявить существенные пробелы как в информационных, так и в технических системах мониторинга цунами. Так, например, согласно публикации Межправительственной океанографической комиссии (ИОС) в июле 2015 года («Tsunami risk assessment and mitigation for the Indian ocean»)¹⁵, можно выделить целый ряд недостатков в этих системах, которые не позволили смягчить сокрушительную силу цунами 2004 года. Среди наиболее значимых можно назвать следующие:

- отсутствие системы оповещения о цунами в Индийском океане;
 - сложность точной сейсмологической оценки магнитуды землетрясения;
 - отсутствие точного представления, что является системой оповещения о цунами, многие люди ошибочно полагали, что центры оповещения и есть система оповещения;
 - глубоководные сенсоры давления, имеющие критическую ценность при прогнозировании цунами, полностью отсутствовали на 26 декабря 2004 года;
 - практически полное отсутствие соответствующей структуры, координирующей все направления деятельности в рамках предотвращения самых серьезных последствий стихийного бедствия.
- и др.

Тем не менее, эта масштабная катастрофа заставила сделать ценные выводы и извлечь полезные уроки на будущее.

¹⁵ Tsunami risk assessment and mitigation for the Indian Ocean: knowing your tsunami risk and what to do about it// <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000184777.locale=en>

Так появилось осознание необходимости глобальной системы оповещения о цунами. В дополнение к этой системе следовало усовершенствовать технологию сейсмологического мониторинга, повысив его скорость и эффективность. Однако глобальная система оповещения, состоящая из трех обязательных компонентов – оценки риска, предупреждающего руководства, подготовленности – стала приоритетной задачей не только для специалистов, но и для всего мирового сообщества.

Раздел 2 Оценка разрушительной силы цунами

2.1 Способы расчета и оценки разрушительной силы цунами

Как было отмечено ранее в данной работе (стр.13), поражающие факторы цунами можно условно поделить на две большие группы – первичные и вторичные. Первичными называют следующие факторы: высоту, скорость и силу распространения волн при обрушении их на побережье; подтопление, затопление прилегающих к берегу земель; сильное течение при обратном уходе волн с берега в океан; сильную воздушную волну.

Ко вторичным можно отнести разрушение и затопление прибрежных сооружений, зданий; снос техники, построек, судов; пожары, взрывы на опасных объектах; смыв плодородного слоя почвы, уничтожение урожая; уничтожение или загрязнение источников питьевой воды.

Кроме того, существуют различные шкалы интенсивности цунами, которые также можно поделить на два типа: описательные шкалы интенсивности (субъективные) и физические шкалы магнитуд (объективные). Для первого типа шкалы интенсивности характерно смешение первичных и вторичных поражающих факторов при оценке силы цунами, для второго типа справедлива связь магнитуды землетрясения и интенсивности цунами (шкала Соловьева-Имамуры).

И субъективная и объективная оценка силы цунами производится на основе уже имеющихся данных. В дальнейшем эти данные могут быть применены для оценки интенсивности прогнозируемых стихийных бедствий – подводных землетрясений и, как следствие, цунами. Для этого создаются различные математические модели, за основу которых выбираются самые разные параметры. Такие модели служат для расчета периода колебаний уровня воды (расчеты Мериана, Дефанта, Генри и Мурти, и др.), для объяснения взаимодействия волн и волнового нагона с течениями (Лонге Хиггинс и Стюарт, Йонссон, Лукс), для характеристики отрицательных волн (отход воды как один из предвестников цунами)(Спилфогел, Кэрриер и

Гринспан).

Численное моделирование позволяет также рассчитывать скорость волны цунами, диссипацию волны (уменьшение уровня в результате «растекания») (работы Насу), волновой бор (Фримэн и Ле Меоте, Перегрин), вторичные волновые колебания (ондуляции) (исследования Накано, Омори)¹⁶.

Большую практическую ценность представляют также эксперименты по смешанному моделированию (численному и аналоговому) поведения цунами на мелководье, трансформацию цунами на континентальном шельфе, в системах заливов с разветвленной речной сетью (Некрасов, Хейтнер и Хуснер, Генри)¹⁷.

2.1.1 Высота волны цунами

Высота волны цунами, необходимая для получения представления о его разрушительной силе, как правило, оценивается у берега. Зачастую эти наблюдения осуществляются визуально² относительно уровня моря (согласно методу Баскома, высота определяется с берега, когда наивысшая точка волны сравнивается со средним уровнем моря в этот момент)¹⁸ и поэтому являются приблизительными и, как правило, завышенными.

Под уровнем моря принято считать положение свободной поверхности уровня Мирового океана, измеряемое по отвесной линии относительно некоторого условного начала отсчёта. Это положение непрерывно изменяется под действием различных факторов, среди которых ветровое волнение, приливы, нагревание и охлаждение поверхности моря, колебания атмосферного давления, осадки и испарения, речной и ледниковый сток.

Поэтому альтернативой визуальному наблюдению являются инструментальные измерения и спутниковые данные, а также расчетные методы оценки высоты волны у берега(уравнения мелкой воды), где значение приобретают глубина и уклон прибрежного дна, скорость волны и характер

¹⁶ Nakano M.. The secondary undulations, in bays forming a coupled system. Proc. Phys. Math. Soc. Jpn. 1932b. Ser. 3: 372—380

¹⁷ Henry R. F., T. S. Murty.. Resonance periods of multi-branched inlets with tsunami application. Dep. Environ. Mar. Sei. Diy: 1972.- MS Rep. 28: 47—79.

¹⁸ Метод Баскома. Как измерить размер волны//<https://surfstories.ru/waves-measure>

береговой линии залива.

Однако высота волны цунами, измеренная тем или иным способом у побережья, не может обеспечить исследователя исчерпывающими данными о возможных размерах ущерба. Необходимо также принимать во внимание рельеф побережья, наличие речной системы, береговые укрепления, характер прибрежной растительности. Более показательным в этом плане будет расчёт высоты заливания берега.

2.1.2. Высота заливания берега

Расчет высоты заливания берега может иметь решающее значение для оценки возможного ущерба от цунами.

Подобные расчеты проводились Адамсом и Коксом для Гавайских островов¹⁹ и имели ключевое значение для составления карты возможных затоплений. Именно такой подход имеет наибольшее практическое значение. Использование подобных карт позволит принять оперативные решения о возможной эвакуации людей, об особенностях берегопользования в цунамиопасных регионах.

Согласно стратегии Адамса, необходимо начинать с исторических данных о заливании берегов, а затем переходить к рассмотрению источника цунами, используя теорию для оценки соответствующих функциональных соотношений. Исследователь отмечает, что данные о заливании при любом цунами обнаруживают общую закономерность - заливание обобщенно может быть представлено косинусоидой, отцентрированной по азимуту землетрясения и обходящей остров против часовой стрелки. Отношение наблюдаемой высоты заливания к местной ординате принятой косинусоиды он называет локальным фактором усиления. Ордината косинусоиды на азимуте данной станции считается прибрежной амплитудой, не искаженной локальным усилением. Следовательно, все данные наблюдений для конкретного цунами

¹⁹ Adams W. M. Expected tsunami inundation for the Hawaiian Islands.—J. Mar. Technol. Soc. 1973. - 7: 551—556

на конкретном острове сводятся к одному числу — эквивалентной величине подъема уровня, характеризуемой амплитудным значением принятой косинусоиды. «Эта эквивалентная величина затем экстраполируется на глубоководную зону с учетом теоретических соотношений, связывающих изменение амплитуды волны с окружающим остров уклоном дна, а также с отношением радиуса линии уреза острова к радиусу его подводного основания (включающего шельф и склон). Найденное значение с помощью расчета, учитывающего геометрическое расхождение волновых лучей и дисперсию, отодвигается еще дальше — на каноническое расстояние, равное 100,6 км, и величина, полученная на этом этапе, называется канонической. После этого для каждого цунами из канонических величин для разных островов определяется средняя, а если удастся, вычисляют и стандартное отклонение. Найденную среднюю величину и принимают за канонический цунами-индекс. Термин индекс употреблен потому, что принятая величина может быть и не равна максимальной амплитуде волны, но связана с высотой заливания берега»²⁰.

Получается, заливание в любой точке острова можно оценить при условии, что магнитуда землетрясения, глубина фокуса, положение эпицентра и глубина воды в эпицентре известны, согласно теории Адамса. Необходимо также располагать историческими данными о затоплении и принимать к сведению особенности сухой прибрежной полосы.

2.2 Природа и распространение катастрофического цунами 2004 года

Цунами 2004 года было вызвано землетрясением, произошедшим на дне Индийского океана, вблизи берегов Суматры в Индонезии (в зоне субдукции у берегов Суматры). Землетрясение было магнитудой 9,1 балла и является одним из самых мощных землетрясений в истории наблюдений.

²⁰ Мурти Т.С. Сейсмические морские волны. Цунами — Л.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1981. — 446 с., с-224 (Цитируется Adams W. M. 1969. Prediction of tsunami inundation from current realtime seismic data.—Univ. Hawaii Inst. Geophys. Rep. HIG-69-9: 57 p)

В результате землетрясения произошло смещение большого объема воды в океане, что привело к образованию цунами. Волны цунами достигали высоты до 30 метров и распространились на расстояние свыше 3 тысяч километров от эпицентра землетрясения (рисунок 2).

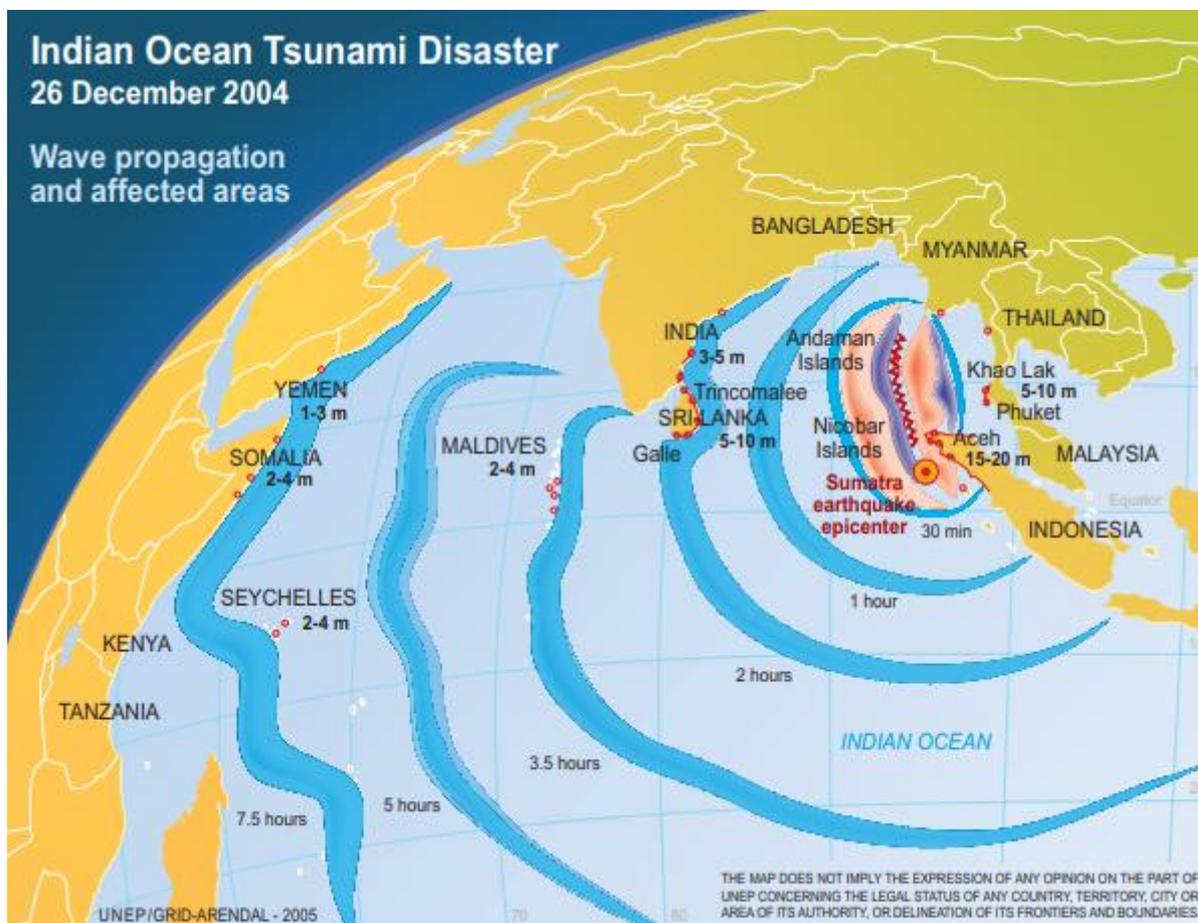


Рисунок 2. Распространение катастрофического цунами 2004 года.

Цунами оказало разрушительное воздействие на прибрежные регионы многих стран, включая Индонезию, Шри-Ланку, Индию, Таиланд, Мьянму, Малайзию и другие. Общее число жертв составило около 250 тысяч человек, а более 1,5 миллиона человек потеряли свои дома.

Мощный разрушительный эффект цунами 2004 года был связан с несколькими факторами, включая мощное землетрясение, смещение массы воды в океане и отсутствие систем предупреждения и мониторинга в тех регионах, где цунами оказало наибольшее воздействие.

Раздел 3. Побережье Велигамы

3.1 Описание прибрежной зоны Велигамы. Физико-географические характеристики побережья

Велигама (Weligama) - небольшой город в южной части Шри-Ланки в округе Матара на берегу песчаной бухты в Индийском океане. Имеет следующие географические координаты: 5°58'30"с.ш., 80°25'47" в.д. Его название с сингальского языка переводится, как: «деревня в песках» (weli + gama - деревня, песок). Само название говорит о характере береговой линии океанического побережья, относящегося к песчаной бухте этого района (рисунок 3).



Рисунок 3 Фотография пляжа в Велигаме вблизи Jaga Bay Resort

Велигама располагается вдоль береговой линии, длина которой порядка 3 км. Вглубь острова это административное образование уходит в среднем на 1.3 км.

Береговая полоса городского поселения представляет собой узкую полосу пляжа, ширина которой около 30 метров. Пляж образован мелким песком светло-бежевого цвета. Его линия соответствует очертанию

одноименной бухты и представляется в форме полукруга (рисунок 4). Она обрамлена неравномерно распределенной растительностью.

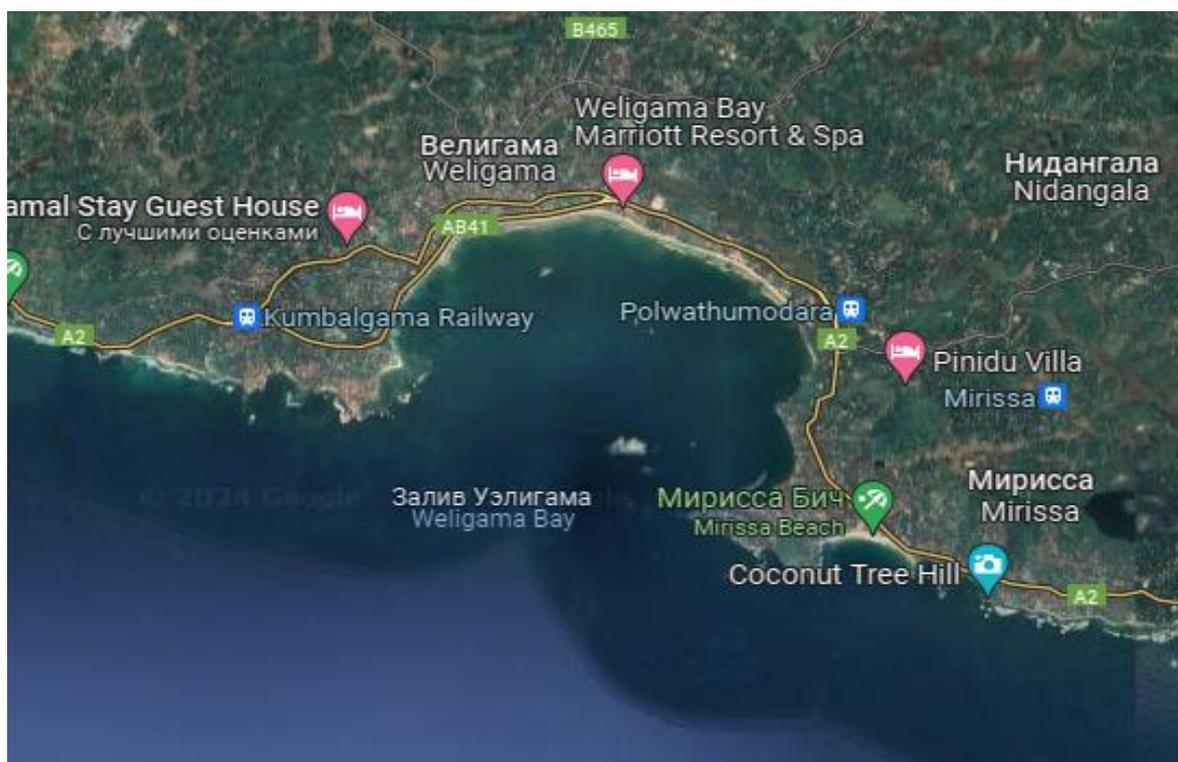


Рисунок 4 Спутниковый снимок бухты Велигама

Протяженность бухты с севера на юг составляет не более двух сотых градуса и колеблется от $5,97^{\circ}$ до $5,95^{\circ}$ с.ш., чуть более значительной является протяженность побережья с запада на восток, от $8,41^{\circ}$ до $8,45^{\circ}$ в.д. Высота побережья над уровнем моря наиболее значительна на западе и юго-западе и достигает 26 метров при значительном удалении от пляжной полосы (более 500 метров). Средние значения высотности населенного пункта соответствуют 8-9 метрам, что наблюдается при удалении от берега на 150-200 метров (рисунок 5). Распределение высотности неравномерно как вглубь острова, так и вдоль береговой линии. По западному и восточному краям бухту обрамляют утесы, высота западного не превышает 20 метров, в то время как высота восточного составляет порядка 30 метров, но данная часть береговой зоны относится к другому населенному пункту (Мирисса).



Рисунок 5 Фрагмент топографической карты южного побережья Шри-Ланки

Рельеф дна бухты Велигама представляет собой относительно однородную по высоте плоскость, с плавно меняющейся глубиной, не превышающей нескольких десятков метров у внешней границы. Более значительная глубина во внутренней части наблюдается у западной части побережья и варьируется от 3 до 8 метров. Данная бухта является излюбленным местом у начинающих серферов. Ее закрытость и довольно пологий уклон дна обеспечивают спортсменов стабильной незначительной высотой волн. В разгар сезона (декабрь – февраль) она в среднем составляет около полутора метров. Также в восточной части побережья Велигамы находится устье реки Полвата.

Также следует отметить, что бухта с обеих сторон окаймлена коралловыми рифами, которые до небывало высоких температур воды, наблюдавшихся в 1998, были относительно сохранны, хотя на них действовала также значительная антропогенная нагрузка (туризм, рыболовство, добыча

известии)²¹. К 2004 году риф частично восстановился и биоразнообразие в районе бухты Велигама возросло.

3.2 Карты цунамиопасности побережья

На основе данных о географическом положении бухты Велигама, а также физико-географических особенностей прибрежной зоны могут быть составлены карты риска, или карты цунамиопасности данного региона с учетом пережитого опыта столкновения с цунами. Подобные работы были проведены в рамках отдельных научных исследований и при составлении стратегического плана развития города на 2019-2030 годы²².

Так, например, в стратегии есть глава «План минимизации ущерба от стихийных бедствий», в ней представлена карта уязвимых в случае цунами районов (рисунок 6)

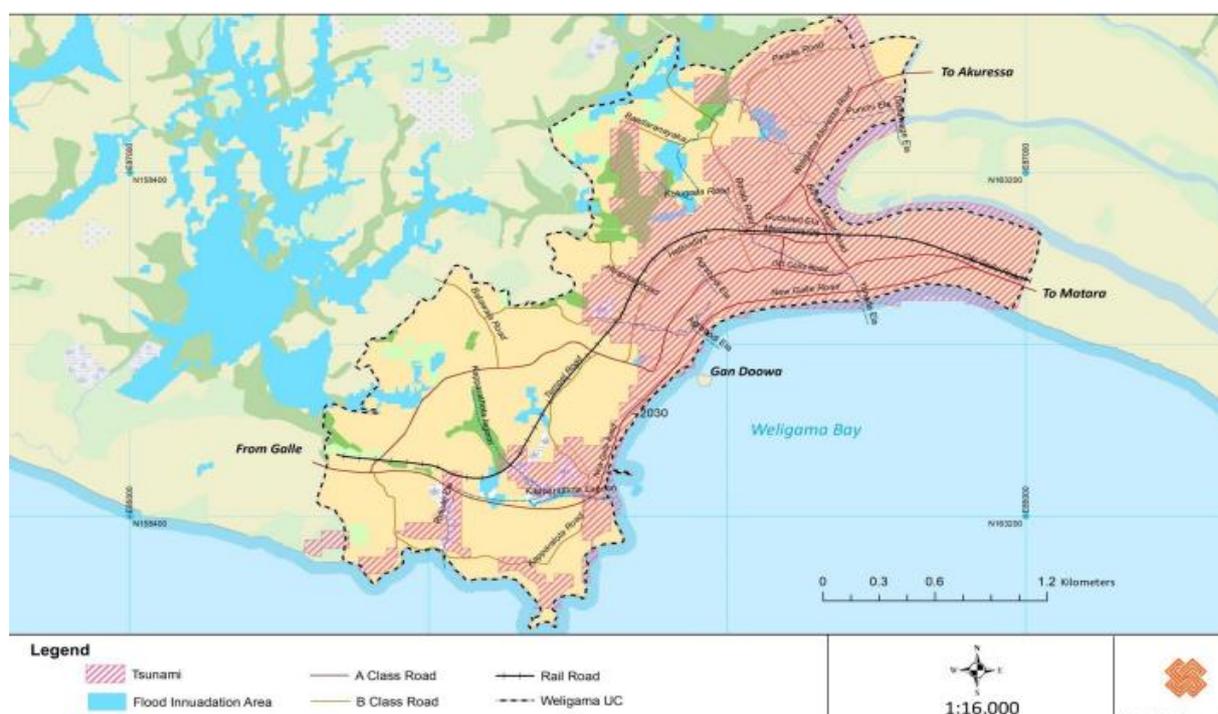


Рисунок 6. Карта уязвимости районов Велигамы в случае цунами.

²¹ Sri Lanka Post-Tsunami Environmental Assessment. United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka// Job No. DEP/0758/GE"--P. 2 of cover. Includes bibliographical references 2005.- (p. 28-32)

²² Weligama Development Plan 2019 – 2030//

https://www.uda.gov.lk/attachments/devplan_detailed/Development%20Plans%202019-2030/Weligama/English.pdf

Следует отметить, что приведенная карта основана на данных об ущербе в результате цунами 2004 года (преимущественно на основе спутниковых снимков, сделанных непосредственно после стихийного бедствия). То есть на ней представлены только исторические сведения о районах, подвергшихся наибольшему разрушению.

В рамках исследовательских работ, опирающихся не только на исторические данные, но и на данные геоинформационных систем, а также использующих расчетные модели, также создаются различные карты уязвимости, как например, упомянутые ранее карты возможного затопления (рисунок 7) и карты цунамиопасности (рисунок 8)

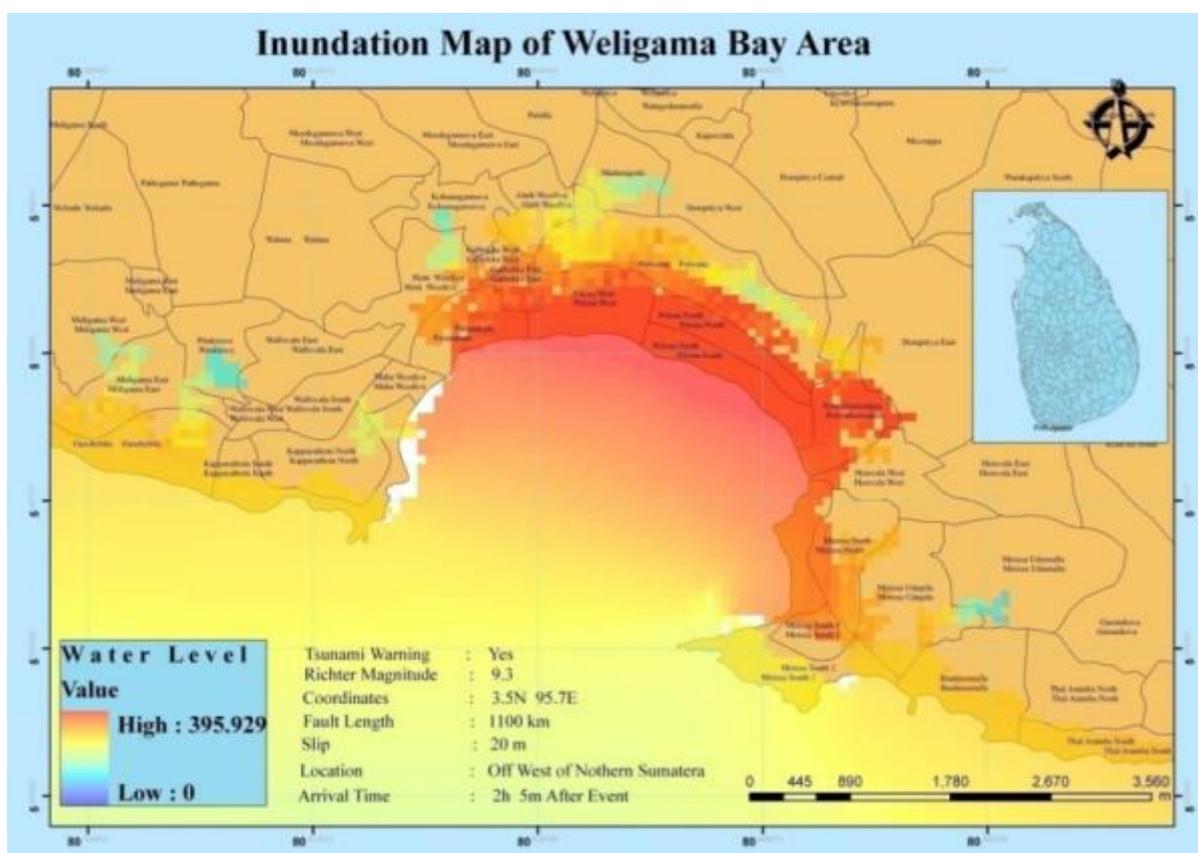


Рисунок 7 Карта затопления бухты Велигама

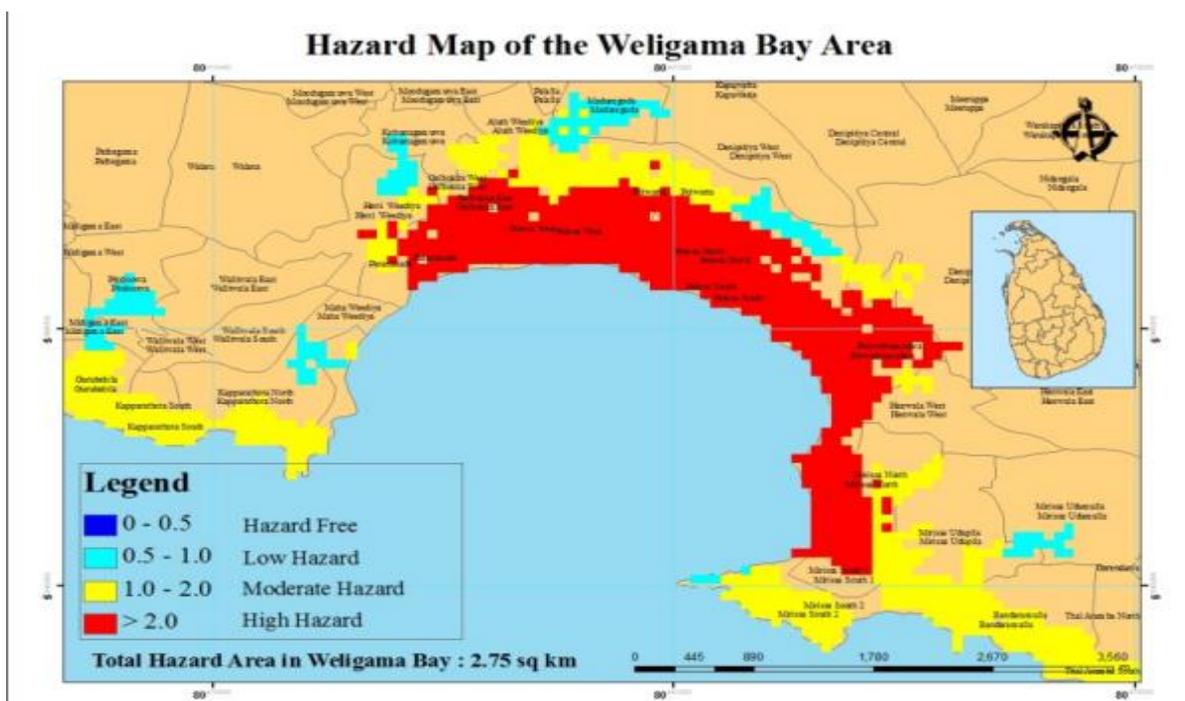


Рисунок 8 Карта цунамиопасности прибрежной зоны Велигамы

Карты, составленные профессором Ранагалаге (Университет Шри-Ланки) и представленные в его статье «Определение зоны риска цунами с использованием географических информационных систем и дистанционного зондирования (на примере прибрежной зоны Велигамы, Шри-Ланка)»²³ представляют собой большую ценность, так как для определения риска затопления учитывают, согласно концепции Адамса, магнитуду землетрясения, глубину фокуса, положение эпицентра. Кроме того, в расчет принимаются данные спутниковой альтиметрии о топографии и батиметрии исследуемой области.

И на карте затопления, и на карте цунамиопасности хорошо прослеживаются зоны повышенного риска, которые соответствуют районам с понижением рельефа и области устья реки, а также геометрия и пространственное положение бухты относительно очага землетрясения.

Как полагает автор исследования, данные карты могут быть использованы при принятии решений в случаях угроз будущих цунами.

²³ Manjula Ranagalage. Identification of Tsunami Risk area using Geographical Information Systems & Remote Sensing (A case study of Weligama coastal belt area, Sri Lanka) 2014.- https://www.researchgate.net/publication/303684057_Identification_of_Tsunami_Risk_area_using_Geographical_Information_Systems_Remote_Sensing_A_case_study_of_Weligama_coastal_belt_area_Sri_Lanka

В текущей исследовательской работе предполагается, что использование комплексного подхода к разработке защитных мер и программ минимизации ущерба, позволит ещё эффективнее оценить уровень риска для отдельных областей прибрежной зоны Велигамы, и составить соответствующие карты и руководства. Это должно быть реализовано с учётом плотности населения в конкретных городских районах и преобладающей в них инфраструктуры.

3.3 Инфраструктура побережья

Отличительной чертой прибрежного города является его вытянутость вдоль побережья. Данная особенность сохранилась и после цунами 2004 года, несмотря на принятое постановление⁸ об освобождении от застройки территорий, находящихся в непосредственной близости к береговой линии (в пределах 100 метров).

Экономический профиль южной провинции Шри-Ланки характеризуется преобладанием рекреационного и рыбохозяйственного сектора, а также торговой и сельскохозяйственной отраслями над другими сферами хозяйственной деятельности Велигамы.

Большая часть земель занята жилыми строениями и характеризуется высокой плотностью населения. Распределение земель представлено в таблице 3.

Таблица 3. Распределение земель городского поселения Велигама

Пользователи земель	Площадь земли(Га)	Доля земли (процент)
Жилые постройки	353.7	65.04%
Коммерческие строения	20.2	3.71%
Промышленные объекты	6.4	1.18%
Административные здания	18.8	3.46%

Дороги и транспорт	29.7	5.46%
Парки и игровые зоны	3.8	0.70%
Религия	10.6	1.95%
Кладбище	2.2	0.40%
Туризм	17.7	3.25%
Система ТКО	1.8	0.33%
Рисовые посадки	20.9	3.84%
Кокосовые посадки	12.3	2.26%
Плантации	10.5	1.93%
Свободная земля	10	1.84%
Болота	9	1.66%
Водные угодья	15.9	2.93%
Пристани	0.2	0.04%
	543.7	100%

В данной таблице распределение земель рыбохозяйственного сектора сосредоточено среди земель коммерческих строений, промышленных объектов и пристаней.

Этот сектор представлен рыболовецкими станциями, пристанями, торговыми площадями (прибрежными рынками) перерабатывающими предприятиями (предприятия первичной переработки и рестораны).

Именно на долю рыбохозяйственного и рекреационного сектора приходится большая часть береговых земель, где сосредоточены отели, сёрф споты, рыбные рынки и рыболовецкие станции. Они располагаются в непосредственной близости от океана (рисунок 9, рисунок 10)



Рисунок 9 Рыболовецкие суда на пляже в Велигаме



Рисунок 10 Прокат досок для серфинга на пляже в Велигаме

Кроме того, в Велигаме на сегодняшний день насчитывается порядка десяти школ, где обучаются более восьми тысяч детей. Площадь, занимаемая образовательными учреждениями, составляет около 9 км², она в большинстве случаев ограничена только зданиями школ и не имеет игровых площадок на прилегающей территории.

На территории Велигамы функционируют два медицинских учреждения и более десяти храмов и других религиозных объектов.

Данный план иллюстрирует, что большая часть прибрежных земель сохранит своё назначение. Первая береговая линия будет занята пляжным парком (светло-зеленая область), прилегающая к ней территория – развитая туристическая зона (светло-розовая), которая с юго-западной и восточной сторон ограничена районами развития рыбохозяйственной деятельности (обозначена бордовым цветом).

Таким образом, можно сказать, что территории, внесенные в зону риска на основе натуральных наблюдений прошлых лет и на основе реанализа, проведенного с использованием геоинформационных технологий, являются, также самыми перспективными и интенсивно используемыми на сегодняшний день. Это позволяет говорить о том, что показатели риска для обозначенных на карте цунамиопасности территорий становятся значительно выше.

3.4 Плотность населения Велигамы

По различным относительно современным оценкам на территории городского поселения Велигамы постоянно проживает около 22000 человек. Однако с учетом пригородов и, что немаловажно, с учетом движения туропотока численность населения может увеличиваться до 65-120 тысяч²⁴. Существенный разброс значений связан с сезонностью. Высоким туристическим сезоном на южной оконечности острова принято считать зимние месяцы, когда устанавливаются благоприятные погодные условия.

В связи с этим есть появляются трудности в определении средней плотности населения города. На территории поселения и в прилегающих к нему районах преобладают малоэтажные строения, примерно равномерно расположенные к северу от основной дорожной магистрали, то есть внутри

²⁴ Weligama Development Plan 2019 – 2030//
https://www.uda.gov.lk/attachments/devplan_detailed/Development%20Plans%202019-2030/Weligama/English.pdf
p. 25

острова. Там показатели плотности могут быть усредненными, чего нельзя сказать о береговой зоне.

На побережье, как отмечалось ранее, сосредоточены основные туристические объекты и соответствующая инфраструктура. В высокий сезон именно сюда направлен не только основной поток туристов, но и поток рабочей силы, задействованный в туристическом секторе и смежных с ним отраслях. Соответственно, даже в пределах городских границ, показатель средней плотности населения может колебаться от 1000 до 4000 человек на квадратный километр (рисунок 12).



Рисунок 12 Плотность населения на юге Шри-Ланки

Для того, чтобы проиллюстрировать, как плотность городского поселения связана с инфраструктурой города, можно использовать сервисы google maps. Также будут полезны сведения о городских объектах, отраженные в Плане развития Велигамы на период 2019-2030 годы, и данные из книги «Цунами, слёзы и гуманность. Опыт южной провинции Шри-Ланки» Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала. Данная операция позволит представить наглядно, где и каким образом сосредоточено население города (рисунок 13).

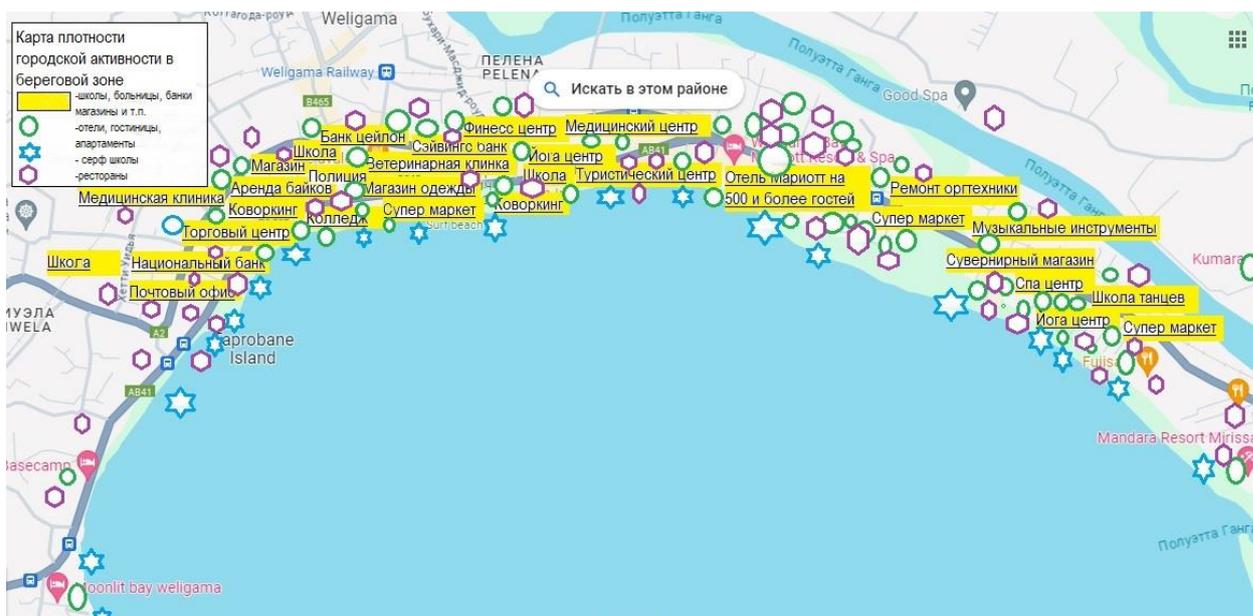


Рисунок 13 Карта плотности городской активности в береговой зоне Велигамы.

Данная иллюстрация наглядно отображает, насколько плотно размещены различные инфраструктурные объекты вдоль береговой зоны. Особенно активно задействована центральная часть побережья.

Раздел 4 Опыт борьбы с цунами в Велигаме

4.1 Цунами в южной провинции. Масштаб катастрофы

Для Шри-Ланки цунами 2004 года стало одним из крупнейших и самых разрушительных среди природных катастроф в истории острова. Событие произошло 26 декабря.

Оно повлекло за собой огромные потери как в человеческих жизнях, так и в экономическом плане. По официальным данным, в результате катастрофы погибло более 30 тысяч человек, а около 1 миллиона человек потеряли свои дома и имущество²⁵.

Наиболее разрушительные последствия цунами на Шри-Ланке были зафиксированы на северном и восточном побережье острова, а также на юге Шри-Ланки и даже в некоторых районах в западной части острова. Это связано с явлением краевых волн, при котором энергия волны цунами суммируется с энергией прибрежных течений. Вдоль побережий острова были полностью уничтожены множество деревень, городов и курортных зон. Крупнейшая в мировой истории железнодорожная катастрофа стала последствием обрушения волны цунами 2004 года на пассажирский состав, движущийся в непосредственной близости от океанического побережья в районе Хиккадувы. Большая часть жертв была среди местного населения, а также туристов, находившихся на отдыхе в регионе.

После цунами на Шри-Ланке была запущена огромная международная программа по оказанию помощи пострадавшим. В рамках этой программы были направлены гуманитарные грузы, медицинские бригады и строительные материалы для восстановления жилья и инфраструктуры в регионах, пострадавших от катастрофы.

Цунами на Шри-Ланке 2004 года стало важным уроком для всего мирового сообщества о необходимости принятия мер для предотвращения и

²⁵ Sri Lanka Post-Tsunami Environmental Assessment. United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka// Job No. DEP/0758/GE"--P. 2 of cover. Includes bibliographical references 2005.- (p. 76-78)

минимизации последствий природных катастроф. В настоящее время на Шри-Ланке действуют системы предупреждения о цунами и проводятся меры по мониторингу и прогнозированию природных катастроф.

Однако, возвращаясь к событиям 26 декабря 2004 года, следует отметить, что ни одна из провинций островного государства не была подготовлена ко встрече с грозной стихией.

В 6:59 минут по местному времени произошло крупнейшее землетрясение в сотнях километров от острова. Скорость образовавшейся в результате него волны цунами достигала 800 км/час. Мene чем через 90 минут она уже обрушилась на восточное побережье острова и в наивысших своих точках высота заливания берега достигала 12 метров (Районы Кумана, Киринда, Хамбантота). Она обогнула остров и даже на противоположной от эпицентра землетрясения стороне имела высоту от 1 до 5 метров (рисунок 14)



Рисунок 14 Воздействие волны цунами 2004 года на побережье Шри-Ланки

На южном побережье острова волна появилась ещё через час, и здесь жители острова также не были проинформированы о надвигающейся катастрофе, но именно здесь, на юге, первая волна отступила, обнажив прибрежное дно более чем на 50 метров, и последующие вторая и третья волна были ещё более высокими и разрушительными, чем первая²⁶.

«Было примерно 9 часов утра, и, не смотря на то, что солнце уже взошло, день был мрачным и пасмурным. Казалось бы, никто не обратил на это внимание <...> Вдруг служащие моего отеля стали с большим любопытством поглядывать на море. Они время от времени странно поднимали свои головы. У меня возникли опасения. Я решил, что кто-то из моих туристов находится в опасности в океане. 26 декабря была полная луна, праздник Пойя Дэй, море может быть очень бурным в это время. Каждый раз в декабре я предупреждаю своих постояльцев, что во время полнолуния море на некоторое время становится опасным. Я предупредил всех, что из-за сильных течений лучше воздержаться от купания дня на три», - рассказывает в своих воспоминаниях один из очевидцев цунами, Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал – местный житель, хозяин Отеля Джага Бэй Резорт, что находится в 30 метрах от берега²⁷.

Когда хозяин отеля увидел, что уровень моря растёт, он немедленно велел своему персоналу спасти туристов и спастись самим. Он также распорядился, чтобы его детей и жену увезли подальше от моря. В телефонных трубках была тишина, но вокруг всё громче и страшнее звучал шум стремительно приближающейся воды, смывающей всё на своем пути.

В 2007 году Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал издаст книгу о пережитом цунами «Цунами, слёзы и гуманность. Опыт южной провинции Шри-Ланки» (рисунок 15). Это уникальное свидетельство того, как один человек способен не только выжить при стихийном бедствии такого

²⁶ Sri Lanka Post-Tsunami Environmental Assessment. United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka// Job No. DEP/0758/GE"--P. 2 of cover. Includes bibliographical references 2005.- (p. 28)

²⁷ Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007.- (p. 11)

масштаба, но и прийти на помощь целому городу обездоленных и обескровленных людей.



Рисунок 15 Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007

Собранные им данные и его личные оценки сопоставляются в нынешнем исследовании со сведениями, приведенными в официальных источниках.

Таким образом, характер и масштаб ущерба может быть оценен как «изнутри», так и «снаружи».

4.2 Классификация показателей ущерба

Для того, чтобы полнее и нагляднее охарактеризовать масштаб разрушительных последствий цунами 2004 года для Велигамы, необходимо провести некоторую классификацию показателей ущерба. В первую очередь следует выделить две основные группы показателей: первая – нематериальные потери; вторая – материальный ущерб. Каждая из этих групп может иметь внутреннее деление.

Нематериальные потери:

- количество погибших людей;
- количество раненых людей;
- количество осиротевших детей;
- и др.

Материальный ущерб:

- количество разрушенных зданий жилых домов и учреждений;
- количество разрушенных дорог;
- количество уничтоженных рекреационных земель и сельскохозяйственных угодий;
- и др.

Некоторые из названных последствий цунами имеют негативную составляющую как материального, так и нематериального характера.

Отдельно можно выделить такое негативное явление, возникшее в результате столкновения с цунами, как появление большого количества стихийных свалок. Распространение которых способно усилить отрицательное воздействие как на материальные аспекты жизни горожан, так и на их нематериальную составляющую.

Можно представить имеющиеся в распоряжении данные в виде таблицы, для того, чтобы проиллюстрировать некоторое расхождение сведений в различных источниках (таблица 4). Они выстроены по принципу от более субъективных, личных наблюдений, к предположительно более объективным, официальным данным.

Таблица 4. Данные об ущербе в результате Цунами в Велигаме

Источники данных показателей ущерба	Наблюдения очевидца Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал	Некоммерческая благотворительная организация Jayawickreme Foundation	Управление городского развития Urban development authority
	Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community	Ежемесячный отчет на сайте http://www.jayawickreme.org	Weligama Development Plan 2019 – 2030
Нематериальные			
Погибшие	475	469	446
Раненые	Более 1000	1000	-
Сироты	~120	12 сирот, 51 ребенок без отца, 19-без матерей	-
Материальные			
Разрушенные здания	440 домов за пределами буферной зоны, сотни в	2759	33% зданий и территорий разрушено

	пределах 100 метров от побережья		
Разрушенные дороги	Один автомобильный мост, ж/д полотно, основная автомагистраль , две внутренние дороги	-	2/3 дорог А класса (междугородние), ж/д полотно вблизи Хеттивидии, мост в лагуне Каппаратола
Утраченные или частично поврежденные рыболовные суда и снасти	Более 200	354	-

Сопоставление данных, приведенных в этой таблице, позволяет нам увидеть, что, не смотря на некоторые расхождения, данные в целом сопоставимы. Оценка ущерба, основанная на наблюдения очевидца, может быть как более точной (так как такого рода сведения являются первоисточниками), так и не вполне достоверной в силу ограниченной информированности одного лица.

Изучение различных источников, располагающих информацией о последствиях стихийного бедствия на южном побережье, позволяет выявить неполноту, неточность сведений, а также пусть и незначительные, но расхождения в данных. Это даёт право судить о том, что на момент катастрофы не существовало организации/уполномоченного лица, в

обязанность которых входило собирать, верифицировать и систематизировать появляющиеся данные. Такие организации появились спустя несколько недель после катастрофы. Однако их появление хоть и предоставило доступ к более широким сведениям, но недостаточно слаженная работа не позволила к более-менее унифицированным показателям. Также немаловажную роль при расчете показателей ущерба от цунами играют так называемые «отложенные потери». К ним относятся гибель людей от приобретенных ранений, болезней, голода, случаев мародерства, проявляющиеся позднее психологические расстройства и недееспособность, постепенное разрушение невосстановленного жилья, транспорта и т.д. Такие потери можно оценить только спустя продолжительное время при условии непрекращающихся наблюдений.

4.3 Проблемы восстановления. Опыт борьбы с последствиями цунами

Некоммерческая благотворительная организация Jayawickreme Foundation, появившаяся за три года до известных событий, создавалась для того, чтобы бороться с бедностью в Велигаме и прилегающих к ней территориях. Согласно их отчетам, южные провинции острова на начало двухтысячных годов были одними из самых бедных в стране, где уровень безработицы составлял почти 80%.

Это одна из организаций, которая осуществляла помощь в восстановлении города после цунами. И она, пожалуй, первая на тот момент начала вести отчет о своей деятельности онлайн и публиковала с периодичностью раз в две-три недели новые сведения о текущей ситуации и информацию о проделанной работе. Несколько позднее отчетные карты появились на сайте Гуманитарного информационного центра Шри-Ланки²⁸(см. в Приложении)

Jayawickreme Foundation также освещала основные проблемы, затрудняющие процесс восстановления. Участники благотворительной

²⁸ Humanitarian Information Centre Sri Lanka//<https://reliefweb.int/organization/hic-sri-lanka>

деятельности столкнулись с теми же проблемами, которые озвучивает и Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал в своей книге о цунами. Ключевыми из них являются так называемые «lack of knowledge and lack of necessary cooperation»(нехватка знаний и необходимого взаимодействия). Часть основных проблем представлена в таблице 5.

Таблица 5. Проблемы, затрудняющие восстановление города после цунами

Проблемы и их упоминание в источниках	Наблюдения очевидца Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал	Некоммерческая благотворительная организация Jayawickreme Foundation	SRI LANKA Post-Tsunami Environmental Assessment United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka
Нехватка знаний/информации	+	+	+
Отсутствие взаимодействия/координации между людьми и между организациями	+	+	+
Коррупция	+	+	-
Бюрократические издержки	+	+	-
Логистические проблемы	+	+	+
Мародерство среди местных жителей	+	-	-
«Отложенные потери»	-	-	+

Систематизируя таким образом проблемы, которые затрудняют восстановление города, мы обнаруживаем, что они в полной мере очевидны прежде всего лицам, непосредственным участникам восстановительных работ. Это, в свою очередь не означает, что вышестоящие инстанции не осведомлены об их присутствии.

Тем не менее, основная работа осуществляется именно «на местах». Местные жители расчищают дороги, обмениваются найденными вещами, (некоторые из них унесло водой от хозяев на 400 метров и более). Они делятся продуктами, размещают у себя родственников, вместе ищут знакомых. Первые лагеря для пострадавших и раненных разворачиваются в уцелевших больницах и храмах, куда местные начинают свозить рис, одежду, лекарства со всех окрестностей.

Разворачивается целый фронт работ, все, кто находится в непосредственной близости от побережья, так или иначе оказываются задействованы в самых различных мероприятиях, основные из них представлены ниже в порядке их осуществления (таблица 6).

Таблица 6. Восстановительные мероприятия

Восстановительные мероприятия	Исполнители	Источники финансирования	Препятствия к осуществлению
Расчищение завалов	Местные жители, туристы	Местные жители	Недостаточное количество рабочих рук, транспорта, завал дорог
Поиск близких	Местные жители, туристы	Местные жители, туристы	Изменившийся облик города, сложность опознания местности и самих людей, нехватка физической силы
Размещение пострадавших и умерших в госпиталях	Местные жители, туристы	Местные жители, городской бюджет	Нехватка мест, совместное расположение умерших и раненых

храмах			
Поиск продовольствия и питьевой воды	Местные жители, туристы, местные власти, представители благотворительных организаций, Красный крест	Местные жители, местные благотворительные фонды, туристы, Красный крест, Loadstar Rehabilitation Trust(SLRT), городской бюджет	Первые случаи мародерства, недостаток продовольствия, логистические проблемы
Организация похорон	Местные жители, туристы	Местные жители, городской бюджет, федеральное пособие от правительства 143 доллара на организацию похорон ²⁹	Нехватка рабочих рук, нехватка гробов (в силу срочности) и земли
Первая медицинская помощь, открытие клиник	Корейские врачи, Тайваньские врачи от Dhuran Drum Social Helper and Charity Foundation, Бельгийское подразделение Красного креста, Красный крест	Местные NGO (негосударственные организации), федеральные дотации, европейские меценаты	Бюрократические задержки, выбор земель

²⁹ Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007. p.41

	Шри-Ланки		
Восстановление транспортной инфраструктуры	Армия, военно-воздушные и военно-морские силы Шри-Ланки, инженеры и технические рабочие департамента железных дорог южной части острова	Местный и федеральный бюджет, привлечение иностранного капитала	Внутренние масштабы разрушений, логистические проблемы
Восстановление и уборка уцелевшего жилья, поиск утраченных вещей и ценностей	Местные жители, туристы	Местные жители, туристы	Некоторые вещи обнаруживались в 300-400 метрах от дома, отсутствие материальной помощи при незначительной реставрации жилья
Восстановление значительных повреждений домов, личного имущества и придомовых территорий	Местные жители, городские строительные бригады, рабочие из Германии, Бельгии, Австрии	Местные жители, ежемесячное правительственное пособие европейские меценаты	Сложность оценки ущерба, недостаточное финансирование, коррумпированность уполномоченных лиц
Восстановление и замена рыбацких лодок	Местные рыбаки, сотрудники министерства рыбного	FAO, NGO, NDI банк, South Asian Practical Action Organisation? Министерство	Проблемы распределения бюджета, коррумпированность ответственных лиц, недостаточная

	хозяйства	рыбного хозяйства, европейские меценаты и др.	осведомленность
Устройство временных лагерей проживания	Строительные организации округа Матара, бельгийские, немецкие, австрийские строительные бригады,	NGO, German NGO, JVP members, Solideal Loadster Trust, Desaster Consulting and Support Management, International Buddish Relief Organisation (IBRO)NDI банк, South Asian Practical Action Organisation, Министерство рыбного хозяйства, европейские меценаты и др.	Плохая координация действий между организациями и , как следствие, задержки устройства лагерей. Большая часть отстроена к концу июня 2005 года
Возведение нового жилья и учреждений	Строительные организации округа Матара, бельгийские, немецкие, австрийские строительные бригады,	Программа правительственных займов, UN, NGO, German NGO, Italian NGO JVP members, Solideal Loadster Trust и др.	Отсутствие достаточной согласованности и информированности, большой объем работ (более 34000 домов должны были возводиться не только взамен разрушенных, но и для семей выселенных за пределы буферной зоны

Здесь представлен далеко не полный перечень восстановительных мероприятий, направленных на борьбу с последствиями цунами. Другие

носили более частный характер (раздел оставшегося имущества среди уцелевших родственников; уход за пожилыми людьми, оставшимися без заботы близких; раздача бытовой техники (газовых плит) и одежды; поиск домашних животных; психологические беседы и т.п.). Необходимость в некоторых обозначилась спустя время после событий (очистка речного русла, ликвидация свалок, возбуждение уголовных дел по факту краж и порчи выданного имущества, по неуплаченным кредитам и ассигнованиям).

Предложенная в данной таблице информация приблизительно соответствует хронологии предпринимаемых действий и отображает, каким образом и на каком этапе количество исполнителей и финансирующих структур росло. В первые часы после катастрофы силами местных жителей и находящихся на отдыхе туристов были организованы первые мероприятия.

Как только вода отступила и люди убедились, что последующих волн не будет, они начали осознавать, что произошло и стали осматриваться. Вероятность того, что кто-то из очевидцев цунами 2004 года видел такое не в первый раз, очень мала. Хозяин отеля и автор книги воспоминаний, Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал, образованный человек. Он получил образование в Германии и знал о приливах и о глобальном потеплении, но, по его словам, о цунами он никогда до этого не слышал. Большая часть его соотечественников, жителей Велигамы, не имела возможности получить высшее образование не только за рубежом, но и на острове. Поэтому неудивительно, что некоторые свидетели события, убегая от океана, в страхе кричали, что море выплеснет с волной рифы и острова³⁰.

Родные окрестности стали неузнаваемыми, всё переместилось и перемешалось (рисунки 16, 17, 18, 19, 20). Как известно, на южное побережье волна вышла не один раз. Поэтому хозяева не узнавали своих домов или того, что от них осталось. Некоторые люди в шоке бродили по затопленным улицам, пробираясь сквозь груды мусора, который еще несколько часов

³⁰ Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007.p.-43

назад был чьим-то домом, мебелью, игрушками, и среди этих завалов были погибшие и раненые.

Кто-то кричал, кто-то взывал к помощи, кто-то до поздней ночи кружил среди развалин молча, но, как вспоминает Джага Премалал, самым тяжелым было слышать хор плачущих людей, которые в одночасье лишились всего того немного богатства, которое было у них до встречи с суровой стихией.

Самыми запоминающимися были отдельные человеческие истории об искалеченных судьбах, когда, к примеру, отец, отправившись на работу, оставив дома жену с тремя детьми, не смог найти по возвращении ничего и никого. Спустя две недели после происшествия 18 человек по-прежнему считались пропавшими без вести³¹.



Рисунок 16 Волна отступила (фото из личного архива Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала)

³¹ Tsunami situation report Jayawickreme Foundation.
http://www.jayawickreme.org/past_tsunami_situation_reports.htm



Рисунок 17 На улицах Велигамы (фото из личного архива Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала)



Рисунок 18. Жизнь среди развалин (фото из личного архива Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала)



Рисунок 19 Госпиталь в Велигаме (фото из личного архива Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала)



Рисунок 20. Массовое захоронение погибших во время цунами в Велигаме (фото из личного архива Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала)

После того, как о бедствии узнали в мире, местным жителям пришли на помощь международные организации (см. статистику их присутствия в приложениях). Многочисленные источники говорят о том, что на Шри-Ланку и в Велигаму в частности стали приезжать высокопоставленные лица. Были организованы центры по оказанию первой медицинской помощи, по раздаче гуманитарных грузов, стали отстраиваться муниципальные учреждения, начальные школы, больницы, административные здания. Были созданы координационные советы, центры снижения риска. К решению проблемы присоединилась Организация объединенных наций и подотчетные ей структуры. Проводимые ею работы были обобщены и подытожены спустя год в «Дорожной карте по управлению рисками стихийных бедствий», созданной для повышения уровня защищенности страны³². Самым значительным внутригосударственным событием стало появление Национального совета по управлению рисками стихийных бедствий, с уставным капиталом 10 миллионов рупий. Данная структура призвана нести ответственность за координацию всех действий в случае возникновения новой угрозы катастрофы (Правительственный Акт №13 от 13.05.2005).

Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал в своей книге выражает искреннюю благодарность всем, кто был на острове с ними во время катастрофы, и тем, кто пришёл на остров, чтобы помочь. Он упоминает как крупнейшие организации, так и называет все имена частных спонсоров и просто помощников, кто не смог остаться равнодушным к чужой беде. «В тот момент все нации превратились в одну. Мы были в беде, мы перестали делить людей на друзей и врагов, своих и чужих. Мы стали свидетелями не только величайшей катастрофы, но и воочию наблюдали проявление

³² Towards a Safer Sri Lanka A Road Map for Disaster Risk Management Disaster Management Centre Ministry of Disaster Management. Supported by United Nations Development Programme (UNDP) December 2005

величайших человеческих качеств. Цунами стало особенным символом человечности»³³

4.4. Ценность анализа индивидуального опыта

«Только из такой книги как эта, вы можете узнать, что произошло на самом деле, только от нас, людей, которым пришлось лицом к лицу столкнуться с катастрофой, только с нашей, самой авторитетной точки зрения»- пишет очевидец цунами в Велигаме в заключительной части своей книги. Пиядигамаж Кеерти Джага Премалал делится со всем миром своим личным опытом в надежде, что он окажется полезным в будущем при «планировании помощи и восстановительных программ, в случае если подобная катастрофа разразится в любом другом уголке земного шара»³⁴. И невозможно отказать ему в справедливости такого суждения.

Только в его личном отчете приводятся любопытные наблюдения за поведением волны и людей в месте их рокового столкновения. Вот некоторые существенные замечания, сделанные внимательным наблюдателем, касающиеся поведения людей:

- Практически никто из земляков Джага Премалала никогда до этого не слышал о цунами (известно из разговоров и его наблюдений за поведением людей в момент катастрофы);

- Люди обратили внимание на то, что приближение волны почувствовали собаки, находящиеся при отеле для охраны гостей и работников от змей (все 5 собак отсутствовали в отеле на момент появления волны);

- Это был день Подарков –буддисткий праздник полнолуния, и день после Католического рождества. И служащие и туристы либо праздновали, либо

³³ Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007.p.-159

³⁴ Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007.p.-165

отдыхали от празднования в этот день. Многие местные жители остались дома, гости отелей спали;

- Часть людей устремилась в море, после отступления первой волны. Кто-то хотел вернуть смытые волной вещи, кто-то хотел найти что-нибудь новенькое;

- Люди, оставшиеся на берегу не знали, куда бежать, хотя некоторые интуитивно устремились на возвышенности и вглубь острова. Жена и дети автора книги забрались на крышу отеля;

- Люди также бежали прочь от реки Полвана, которая с восточной стороны городка впадает в океан;

- Многие люди удалились на 2-3 километра от берега и всё равно не чувствовали себя в безопасности;

- Часть людей не хотела покидать свои постройки и лавки, где велась торговля сувенирами, продуктами, одеждой;

- Некоторые люди пытались укрыться за хлипкими строениями, собравшись вместе;

- Женщины спасали детей, устремляясь за ними в море, практически никто из таких матерей не выжил;

- Были случаи проявления бесчеловечности со стороны местных жителей (мужчина снял ювелирные украшения с женщины, которую уносило в океан, женщину не спас):

- Позднее в суде рассматривалось как минимум два уголовных дела об убийстве во время цунами в Велигаме;

- Среди местных жителей были и те, кто крал из храма рис, привезенный для пострадавших, кто лгал о масштабах ущерба, чтобы претендовать на большие пособия, кто сам портил своё имущество в надежде получить новое. Как отмечает очевидец, среди его земляков появились люди, которые странным и неожиданным образом разбогатели после цунами. В то же время

на момент написания книги, то есть спустя почти три года, были люди, которые до сих пор жили в лагерях временного пребывания.

Кроме того, не менее ценными являются наблюдения Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала о том, как волна повлияла на окрестности, что было разрушено, а что удивительным образом уцелело. Поражает порой, насколько правильными и убедительными являются умозаключения автора, видевшего цунами впервые в жизни.

- Механические часы в фойе отеля Джага Бэй Резорт остановились 26.12.2004 в 9:20 минут, в это время уже не работали телефонные линии;

- После первой же волны появились проблемы с электричеством и водоснабжением;

- Сам отель Джага Бэй Резорт, находящийся в 20 метрах от берега, практически не пострадал. Автор объясняет это четырьмя причинами: некоторая, пусть и незначительная, возвышенность земли под отелем, близость эстуария реки Полваты, наличие кораллового рифа в море как раз напротив отеля, и сама конструкция отеля, нижний этаж которого является сквозным;

- В целом восточная сторона побережья оказалась как бы под прикрытием кораллового рифа, кроме того, в этой части берега есть зеленые зоны, свободные от массовой застройки. Растительность, по оценкам очевидца, пострадала незначительно;

- Некоторые бетонные сооружения были полностью разрушены, однако деревянные при этом уцелели;

- Береговая линия на западной стороне в районе рыбацких станций и прибрежных рынков оказалась более уязвимой, это соответствует району Уолиуэла до ж/д станции Велигама. Только самая западная оконечность бухты понесла менее значительный урон;

- Статуя Будды, находящаяся практически на берегу в этой части побережья, удивительным образом уцелела.

- Рыбаки, выведшие свои лодки в море незадолго до прихода волны, спасли свои суда. Насколько сознательным было это решение, судить трудно.

Таким образом, становится очевидным, что наблюдения, зафиксированные свидетелем цунами, могут быть также приняты во внимание при разработке комплексных мер по защите побережья и смягчению возможных последствий подобного стихийного бедствия.

Раздел 5 Технологии стратегического планирования для смягчения риска при возникновении цунами

5.1 Разработка Дорожной карты по предупреждению и смягчению

последствий Цунами для Велигамы Практическая значимость данной работы, как было отмечено ранее, заключается в разработке стратегического плана и рекомендаций по предупреждению и смягчению последствий цунами, обладающих высокой степенью адаптивности к реалиям любого другого уязвимого региона.

В качестве оптимальной технологии стратегического планирования было выбрано создание дорожной карты по методологии Agile (Таблица 7). Данная методология позволяет осуществлять и последовательную, и синхронную имплементацию плана. Она обладает большей гибкостью и позволяет вносить изменения в процессе работы. Когда речь идет о разработке мер по снижению рисков для береговых зон от природных катастроф, такой подход является обоснованным, так как позволяет корректировать самые разные турбулентные показатели (динамика численности населения, его плотность, зависимость плотности от сезонности; естественные и антропогенные процессы, обуславливающие изменчивость береговой линии; климатические изменения; меняющиеся экономические и политические реалии и т.д.).

Таблица 7. Дорожная карта по предупреждению и смягчению последствий Цунами для Велигамы

Элементы стратегического планирования	Ответствен ные исполнител и			Степень вариативнос ти		
	Л	М	Ф	В	С	Н
Политические и институциональные						
1.1 Актуализация Акта по управлению рисками Шри-Ланки			●			●

1.2 Контроль деятельности Национального совета по управлению рисками стихийных бедствий			●			●
1.3 Контроль деятельности и актуализация сферы ответственности локального центра управления рисками стихийных бедствий округа Матары	●	●				●
1.4 Обеспечение соблюдения политики действий при угрозах стихийных бедствий	●	●	●			●
Оценочные компоненты						
2.1 Создание комплексных карт цунамиопасности и атласов уязвимости	●	●	●		●	
2.2 Контроль функционирования информационных систем управления рисками	●	●	●			●
Системы предупреждения						
3.1 Локальные центры предупреждения	●	●	●		●	
3.2 Локальные метеорологические и наблюдательные посты	●	●	●		●	
3.3 Мониторинг землетрясений и локальной высоты уровня моря		●	●			●
3.4 Океанографические мониторинговые системы		●	●		●	
Экстренное реагирование						
4.1 Специальный план экстренного реагирования	●	●	●	●		
4.2 Создание локальной интегрированной сети экстренной службы	●	●			●	
4.3 План действий в непредвиденных обстоятельствах	●	●	●	●		

КУПЗ						
5.1 Управление прибрежными зонами	●	●			●	
5.2 Локальные акты и постановления	●	●			●	
5.3 Мониторинг геофизического состояния прибрежной зоны	●	●			●	
5.4 Мониторинг экологического состояния прибрежной зоны	●	●			●	
5.5 Мониторинг состояния социальной инфраструктуры побережья	●	●		●		
5.6 Создание волонтерских центров	●	●	●		●	
Образовательный компонент						
6.1 Местные исследовательские программы и гранты	●	●			●	
6.2 Празднование Всемирного дня распространения информации о проблеме цунами	●	●	●		●	
6.3 Локальные образовательные программы развития осведомленности	●	●		●		
6.4 Внедрение соответствующего компонента в школьные программы	●	●		●		
6.5 Создание специальных университетских программ		●	●	●		
6.6 Курсы специальной подготовки для государственных служащих	●	●	●		●	
6.7 Курсы специальной подготовки для всех желающих	●	●	●		●	
6.8 Создание информационных стендов для туристов	●	●	●	●		

Исполнители: л- локальные (городские); м- муниципальные (Южная провинция Матара); ф- федеральные
 Степень вариативности (возможность и необходимость вносить изменения): в –высокая; с- средняя; н - низкая

Предложенная дорожная карта создана с учётом выявленных трудностей при борьбе с последствиями цунами. Если принимать во внимание личные наблюдения очевидца и общие рекомендации организаций по управлению рисками стихийных бедствий, то в стратегическом планировании необходимо уделить особое внимание мониторингу состояния прибрежной инфраструктуры (её плотность, интенсивность использования, предназначение) и информационной работе с населением. Необходимо помнить, что самой большой ценностью во все времена является человеческая жизнь. Именно поэтому необходимо создавать комплексные карты цунамиопасности наподобие тех, что предложены в следующем подразделе.

5.2 Составление комплексной карты цунамиопасности

Как уже было отмечено ранее, существуют различные подходы к созданию карт цунамиопасности прибрежного региона. В разделе 2 (подраздел 2.4) данного исследования были приведены карты, созданные на основе исторических наблюдений и на основе математических расчетов. При их сопоставлении можно отметить определенные сходства, и их совмещение может оказаться полезным, к примеру, для оценки достоверности последних.

Однако наиболее ценным опытом будет наложение этих карт на карту реальной инфраструктуры побережья. Таким образом мы получим в распоряжение карту, на которой будут видны не только уязвимые зоны побережья, но и конкретные учреждения, которые могут быть уничтожены волной цунами.

При наложении карты с инфраструктурой побережья и карты, базирующейся на спутниковых снимках разрушений от цунами 2004 года, можно получить следующую картину (Рисунок 21).



Рис. 21 Пострадавшие от цунами 2004 года городские районы на актуальной карте Велигамы.

Данная карта цунамиопасности даёт возможность сделать два важных вывода, первый из которых имеет ценность для будущего города, второй - для прошлого.

Первый вывод - в заштрихованную розовыми линиями зону риска, сформированную прошлым цунами, попадает основная часть городской инфраструктуры. Здесь концентрация различных городских объектов и, соответственно, населения максимальна.

Второй вывод – Данная комплексная карта подтверждает слова очевидца цунами 2004 года, Пиядигамаж Кеерти Джага Премалала, о том, что его отель, находящийся на восточной части побережья, менее уязвим, чем те, что располагаются в центре бухты и на западной её части. Сейчас в центре бухты расположен самый престижный и, пожалуй, самый крупный отель известной по всему миру сети Мариотт.

При совмещении созданной карты с картой цунамиопасности, полученной Профессором Рангалаге при расчетах, отраженных в его статье «Оценка цунамиопасности при помощи геоинформационных систем и систем дистанционного зондирования для берегового пояса Велигамы» 2014, можно наблюдать следующее (Рисунок 22).

Заключение

Проблема цунами на сегодняшний день остаётся одной из самых сложных. Все имеющиеся подходы к её изучению лишь частично приближают нас к постижению этого незаурядного природного явления.

Мониторинг землетрясений в режиме реального времени 24/7, разработка новых геоинформационных систем, реанализ накопленных наблюдений позволяют выявлять зоны риска глобального масштаба, такие, например, как Тихоокеанское огненное кольцо. После серии землетрясений в Турции в 2023 году некоторые ученые адаптировали алгоритмы математического моделирования, что позволило им сделать предположение о появлении Атлантического огненного кольца, пусть и не в самой ближайшей перспективе (через 20 миллионов лет). Очевидно, что сегодня цунамигенные землетрясения значительно чаще эффективно фиксируются, чем прогнозируются.

К аналогичным выводам можно прийти, обобщив имеющиеся сведения о цунами и изучив существующие подходы к мониторингу и прогнозированию этого опасного явления в рамках данного исследования.

Как было выявлено, существуют различные методы оценки силы и интенсивности цунами. Среди них не только методы, базирующиеся на собственных характеристиках этого стихийного бедствия, но и методы, связанные с оценкой масштаба проявления первичных, а иногда и вторичных разрушительных факторов цунами (высота и площадь заливания берега, оценка ущерба от цунами в прибрежном регионе).

Немаловажную роль при изучении мощности воздействия цунами играет исследование особенностей самой прибрежной зоны, испытывающей на себе разрушительную силу цунами, таковой, согласно задачам данной работы, было побережье Велигамы, района пострадавшего от цунами 2004 года. В расчет обязательно должны приниматься как физико-географические особенности береговой зоны, так и социально-экономические.

При определении характера и фактических показателей ущерба, нанесенного Южной провинции Шри-Ланки в результате цунами в Индийском океане, были выявленные трудности, повлиявшие также на эффективность осуществления мер по ликвидации последствий случившейся катастрофы. Среди основных трудностей наиболее очевидными были недостаток информации и скоординированного взаимодействия организаций и людей, принимавших участие в восстановлении города.

Особую ценность представляет анализ опыта очевидца цунами. Несмотря на высокую степень субъективности индивидуального человеческого опыта, он является незаменимым при исследовании особенностей поведения людей во время бедствия, степени их осведомленности, способности действовать в критических ситуациях. Более того, в воспоминаниях местного жителя нашли отражение наблюдения за характером разрушения инфраструктуры побережья, а также было уделено внимание проблемам восстановления региона.

Разработка стратегий по предупреждению и смягчению последствий цунами, составление планов по снижению риска и карт оценки цунамиопасности должны базироваться на комплексном изучении имеющегося и так разносторонне представленного опыта.

Как было отмечено выше, самой значительной и в определенном смысле невосполнимой потерей в результате катастрофы является человеческая жизнь. Иногда появляется необходимость напоминать об этом жителям уязвимых прибрежных районов, каким является Южная провинция острова.

Статуя Будды в Велигаме, находящаяся в нескольких метрах от пляжа, удивительным образом уцелевшая во время цунами 2004 года, продолжает стоять на своём месте. В 2024 году, спустя почти 20 лет после страшной катастрофы, люди Велигамы также невозмутимы, благодушны и беззаботны, как местный Будда. Многие уже забыли, а может быть никогда и не знали, что ещё три месяца после цунами, при малейшем повышении уровня моря,

при каждом известии о землетрясении жители городка брали детей и стариков и бежали прочь от океана. А гости этого райского острова, приезжая сюда в большинстве случаев даже не страхуют свои жизни, а если и покупают страховку, в ней нет ни слова о цунами.

Следовательно, есть необходимость актуализировать проблему на острове, и в Южной провинции в частности. Разработанная в ходе исследования дорожная карта является простой, наглядной и во многом отражает не только рекомендации Управления Верховного комиссара ООН по делам беженцев, Азиатского центра снижения риска стихийных бедствий, Министерства окружающей среды и природных ресурсов Шри-Ланки, но и реальную нынешнюю ситуацию в Велигаме.

Предложенные комплексные карты цунамиопасности для города могут быть использованы не только соответствующими ответственными учреждениями при доработке существующих планов и мероприятий, но и отдельными организациями (школами, банками, клиниками, торговыми центрами, отелями, ресторанами), а также частными лицами. Когда в зоне возможных разрушений от столкновения с цунами, обозначенной на карте угрожающим красным цветом, находится знакомый дом, потребность защитить его возрастает.

Список литературы

1. NOAA / National Weather Service U.S. Tsunami Warning System,
<https://www.tsunami.gov/>
2. Japanese Red Cross
Society/<https://www.jrc.or.jp/english/relief/2024NotoPeninsulaEarthquake>
3. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Ким Ч.У., Коровин М.Е., Малашенко А.Е.,
Савочкин П.В., Тихонов И.Н. Землетрясение 17(18) августа 2006 г. на
Сахалине и реализация комплексного прогноза // ДАН. 2007. Т. 412, № 3. С.
396–400
4. Долгих Г.И., Лешоко О.А. Цунамигенные землетрясения, регистрация и
интерпретация данных// Вестник ДВО РАН. – 2019 -№ 2.- С.62-70
5. Всемирный день распространения информации о цунами. Организация
объединенных наций / <https://www.un.org/ru/observances/tsunami-awareness-day>
6. Мурти Т.С. Сейсмические морские волны. Цунами — Л.:
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1981. — 446 с.
7. <https://www.nippon.com/ru/japan-data/h01429/> 10.09.2022
8. Лобковский Л. И., Баранов Б. В. К вопросу о возбуждении цунами в зонах
поддвига литосферных плит / Процессы возбуждения и распространения
цунами. М.: ИО АН СССР, 1982. С. 7–17
9. Гусяков В.К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-
районирования морских побережий// Проблемы информатики. – 2013- № 4-
С. 36-46
10. Gonzalez F., Geist E., Jaffe B. et al. Probabilistic tsunami hazard assessment at
Seattle, Oregon, for near- and far-field sources // J. Geophys. Res. 2009. V. 114.
C11023. DOI: 10.1029/2008JC005132
11. Probabilistic Tsunami Hazard Analysis: High Performance Computing for
Massive Scale Inundation Simulations
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.591549/full>

12. Соловьев С. Л. Проблема цунами и ее значение для Камчатки и Курильских островов // Проблема цунами. М.: Наука, 1968. С. 7–50
13. Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) // https://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/haz_guide/psha.html
14. Гусяков В.К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема цунами-районирования морских побережий// Проблемы информатики. – 2013- № 4- С. 36-46 (с. 7)
15. Tsunami risk assessment and mitigation for the Indian Ocean: knowing your tsunami risk and what to do about it// <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000184777.locale=en>
16. Nakano M. The secondary undulations, in bays forming a coupled system. Abstract p.1-9 https://www.jstage.jst.go.jp/article/ppmsj1919/14/0/14_0_372/_pdf/-char/en
17. Henry R. F., T. S. Murty. Resonance periods of multi-branched inlets with tsunami application. Dep. Environ. Mar. Sei. Diy: 1972.- MS Rep. 28: 47—79.
18. Метод Баскома. Как измерить размер волны// <https://surfstories.ru/waves-measure>
19. Adams W. M. Expected tsunami inundation for the Hawaiian Islands.—J. Mar. Technol. Soc. 1973. - 7: 551—556
20. Мурти Т.С. Сейсмические морские волны. Цунами — Л.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1981. — 446 с., с-224 (Цитируется Adams W. M. 1969. Prediction of tsunami inundation from current realtime seismic data.—Univ. Hawaii Inst. Geophys. Rep. HIG-69-9: 57 p)
21. Sri Lanka Post-Tsunami Environmental Assessment. United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka// Job No. DEP/0758/GE"--P. 2 of cover. Includes bibliographical references 2005.- (p. 28-32)

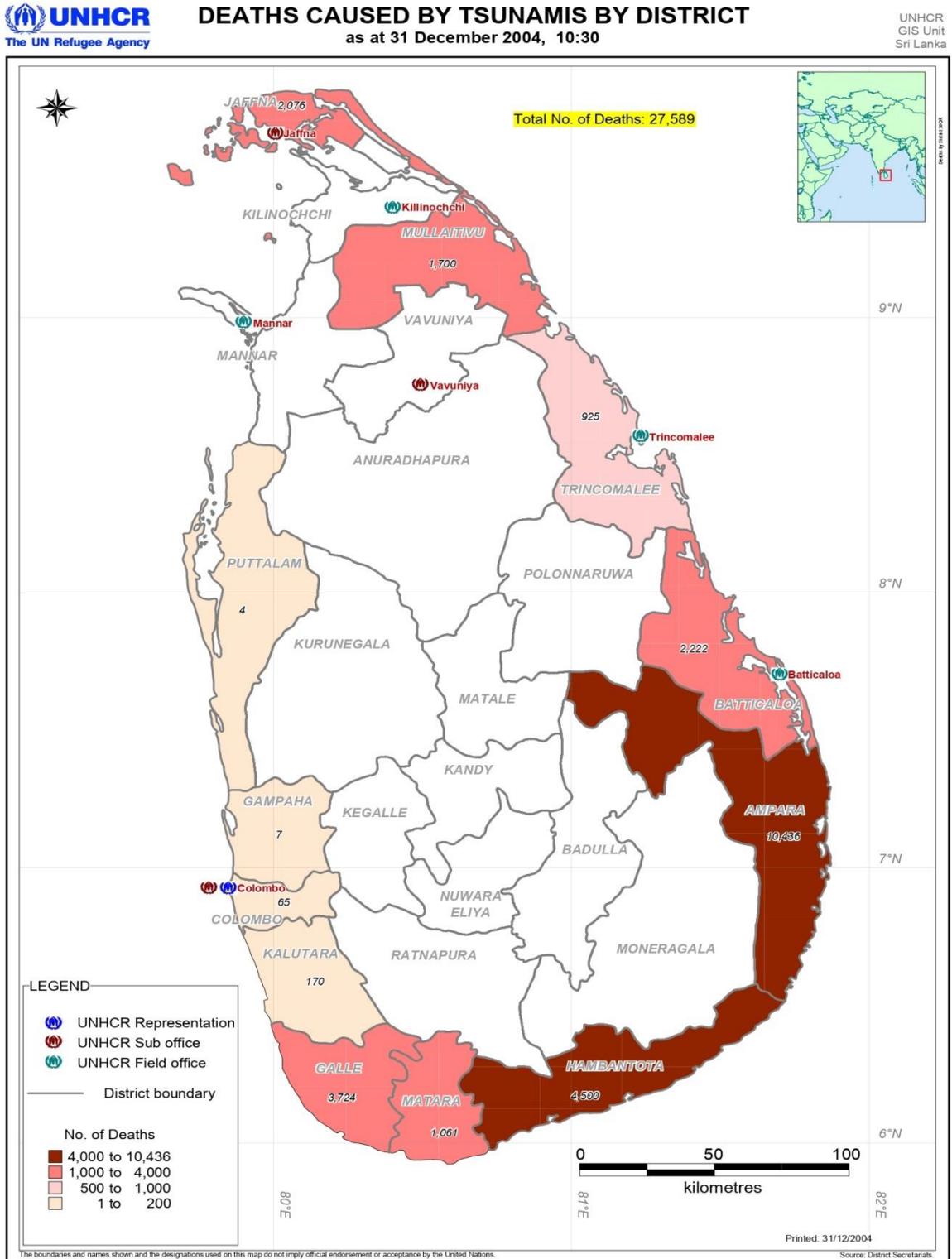
22. Weligama Development Plan 2019 – 2030//
https://www.uda.gov.lk/attachments/devplan_detailed/Development%20Plans%202019-2030/Weligama/English.pdf
23. Manjula Ranagalage. Identification of Tsunami Risk area using Geographical Information Systems & Remote Sensing (A case study of Weligama coastal belt area, Sri Lanka) 2014.-
https://www.researchgate.net/publication/303684057_Identification_of_Tsunami_Risk_area_using_Geographical_Information_Systems_Remote_Sensing_A_case_study_of_Weligama_coastal_belt_area_Sri_Lanka
24. Weligama Development Plan 2019 – 2030//
https://www.uda.gov.lk/attachments/devplan_detailed/Development%20Plans%202019-2030/Weligama/English.pdf
25. Sri Lanka Post-Tsunami Environmental Assessment. United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka// Job No. DEP/0758/GE"--P. 2 of cover. Includes bibliographical references 2005.- (c. 76-78)
26. Sri Lanka Post-Tsunami Environmental Assessment. United Nations Environment Programme and Ministry of Environment & Natural Resources of Sri Lanka// Job No. DEP/0758/GE"--P. 2 of cover. Includes bibliographical references 2005.- (c. 28)
27. Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007
28. Humanitarian Information Centre Sri Lanka//<https://reliefweb.int/organization/hic-sri-lanka>
29. Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007 (p. 41)

30. Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007 (p. 43)
31. Tsunami situation report Jayawickreme Foundation.
http://www.jayawickreme.org/past_tsunami_situation_reports.htm
32. Towards a Safer Sri Lanka A Road Map for Disaster Risk Management
Disaster Management Centre Ministry of Disaster Management. Supported by
United Nations Development Programme (UNDP), December 2005
33. Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007 (p. 159)
34. Piyadigamage Keerthi Jagath Premalal. Tsunami, Tears and Humanity. The Experience of a Southern Shri Lankan Community, Sathmina Printers. Weligama. 2007 (p. 165)

Приложение 1

Количество жертв цунами в различных районах Шри-Ланки

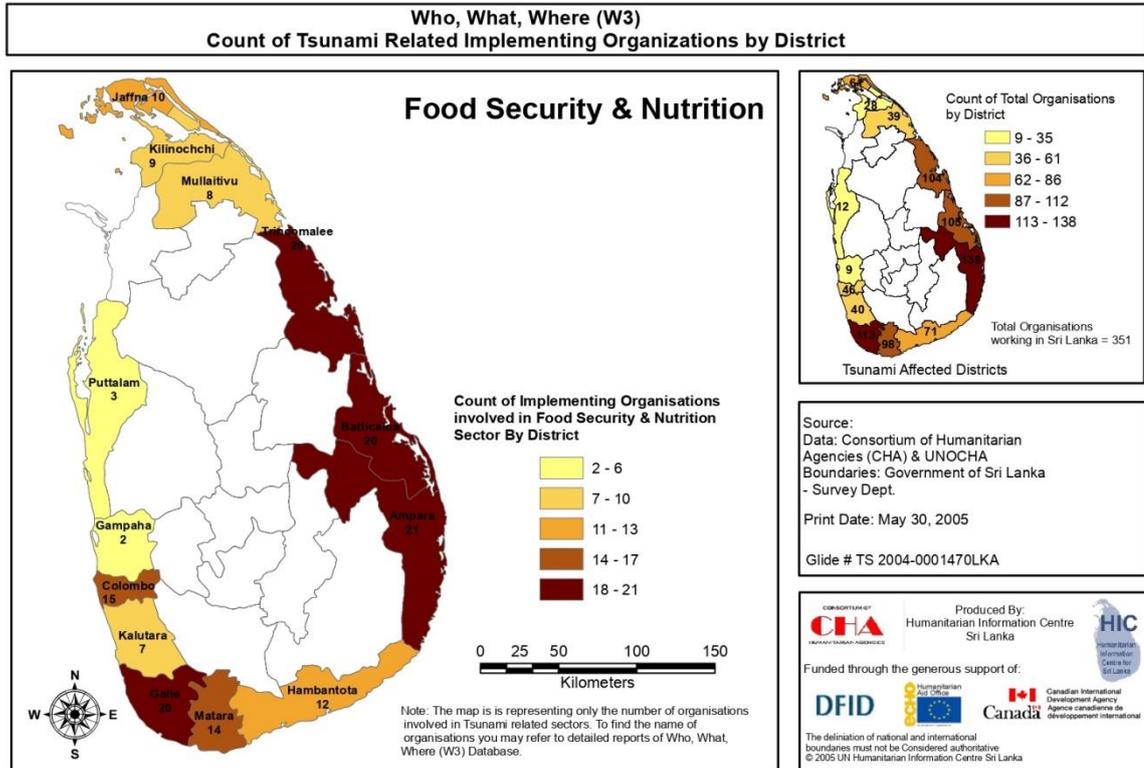
Источник данных: Управление Верховного комиссара ООН по делам беженцев



Приложение 2

Количество организаций, снабжающих продовольствием пострадавшие районы

Источник данных: Гуманитарный информационный центр Шри-Ланки

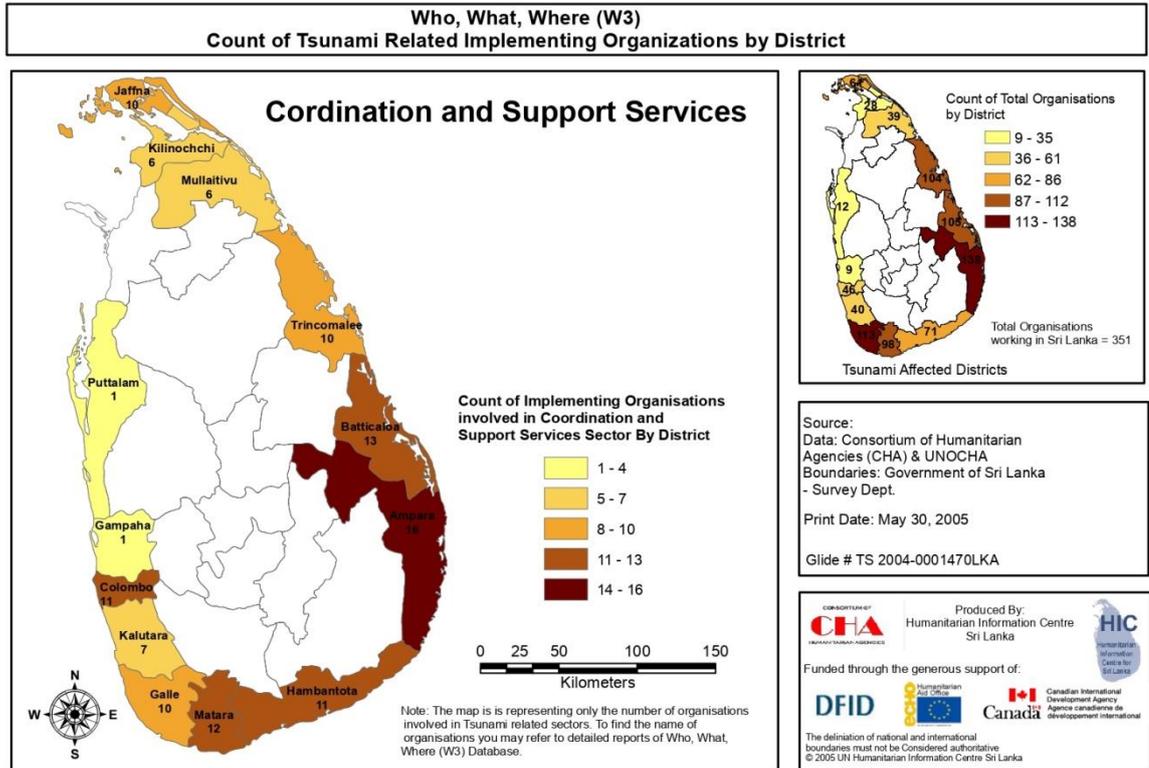


Humanitarian Information Center - Sri Lanka (HIC), 12, Gower Street, Colombo-5
Tel: +94 (0) 11 2591118/ 2591314 - Fax: 011 2580067 - E-mail: hicsrilanka@gmail.com - Online Version Available at: <http://www.humanitarianinfo.org/srilanka>

Приложение 3

Количество служб координации и поддержки в борьбе с последствиями цунами

Источник данных: Гуманитарный информационный центр Шри-Ланки

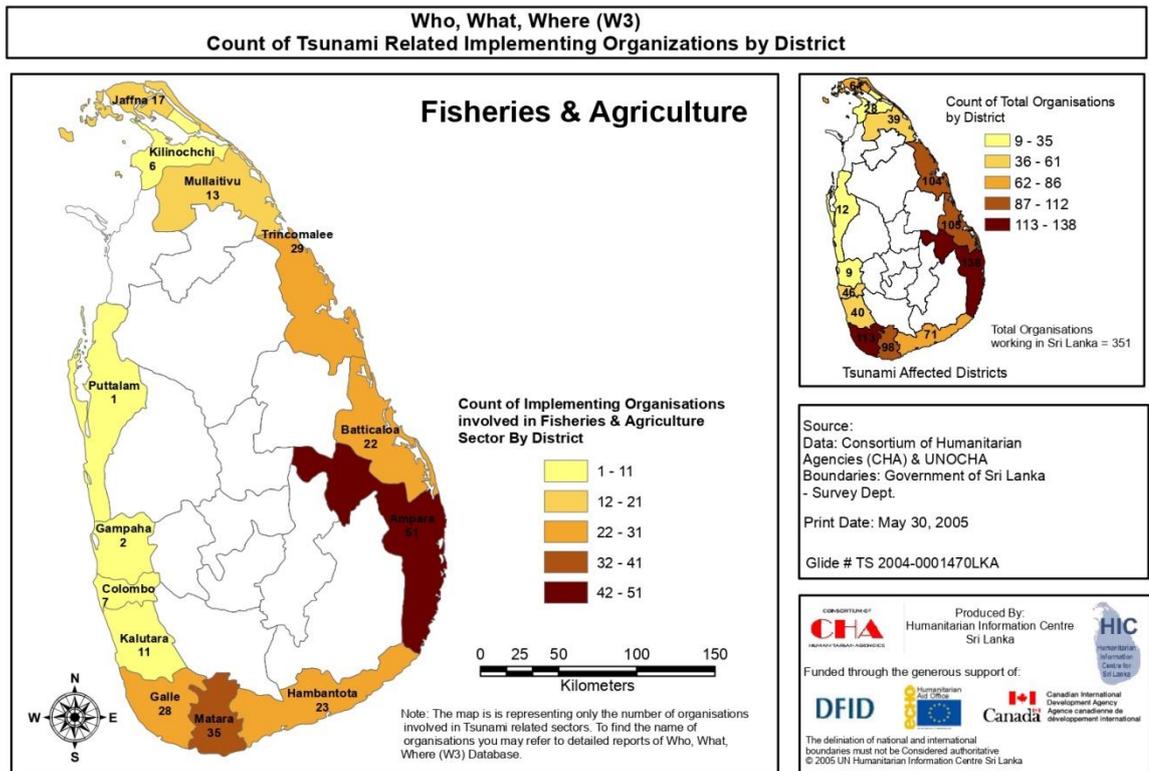


Humanitarian Information Center - Sri Lanka (HIC), 12, Gower Street, Colombo-5
Tel: +94 (0) 11 2591118/ 2591314 - Fax: 011 2580067 - E-mail: hicsrilanka@gmail.com - Online Version Available at: <http://www.humanitarianinfo.org/srilanka>

Приложение 4

Количество организаций, занимающихся проблемами рыболовства и сельского хозяйства после цунами

Источник данных: Гуманитарный информационный центр Шри-Ланки



Humanitarian Information Center - Sri Lanka (HIC), 12, Gower Street, Colombo-5
Tel: +94 (0) 11 2591118/ 2591314 - Fax: 011 2580067 - E-mail: hicsrilanka@gmail.com - Online Version Available at: <http://www.humanitarianinfo.org/srilanka>