

УДК 624.9

© М. А. Клячко

Автономная некоммерческая организация «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий» (АНО «РАДАР»), г. Санкт-Петербург
radar@cendr.org

О НОРМАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЦУНАМИОПАСНЫХ РАЙОНАХ

Статья поступила в редакцию 28.05.2017, после доработки 13.06.2017.

Описывается история проблемы нормирования цунамибезопасности морских побережий РФ, подверженных воздействию цунами. Свод правил «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» разработан рабочей группой АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий» по поручению Президента РФ от 18.05.2015 г. и соответствующих постановлений Правительства РФ от 28.09.2015 г. и от 04.08.2016 г. и состоит из 12 разделов и 7 приложений. Впервые разработанный свод правил следует применять при проектировании новых и реконструкции эксплуатируемых прибрежных и береговых зданий и сооружений с целью обеспечения их нормируемой надежности и безопасности при воздействии цунами. Введены новые базовые термины и определения, которые унифицированы и увязаны с терминологией, используемой океанологами и специалистами МЧС. Излагаются концептуальные подходы, условия, допущения и договоренности, принятые в качестве базовых. Большое внимание уделяется требованиям, предъявляемым к исходным данным, необходимым для проектирования, и особенно к заданию опасности цунами, что допускается выполнять различными способами. Цунамиопасные территории классифицированы по интенсивности расчетного цунами, близости к очагу цунамигенного землетрясения, возможности эвакуировать людей и по другим параметрам, а строительные сооружения — по их ответственности, значимости для жизнеобеспечения и управления ЧС. Подробно описываются особенности расчета цунамистойкости и работоспособности зданий и сооружений, обеспечивающих жизнедеятельность и необходимых для предотвращения вторичных опасностей. Подчеркивается, что главной задачей цунамибезопасности является минимизация индивидуального риска, связанного с жизнью и здоровьем людей. Поэтому цунамиопасная территория в целом, а не отдельные здания является ключевым объектом стандартизации. Представлены градостроительные аспекты управления цунами-риском. Используемые методика, математический аппарат для анализа и контроля цунами-риска хорошо апробированы ранее для обеспечения сейсмической безопасности.

Ключевые слова: концепция цунамибезопасности, прибрежные и береговые сооружения, цунамиопасные урбанизированные территории, назначение нагрузки, конструктивные и градостроительные требования, цунами риск, устойчивая безопасность.

М. А. Klyachko

Regional Alliance for Disaster Analysis & Reduction (RADAR) NPO, Saint-Petersburg, Russia

ON THE NORMS OF DESIGNING BUILDINGS AND STRUCTURES IN TSUNAMI-PRONE AREAS

Received 28.05.2017, in final form 13.06.2017.

A History of the tsunami safety problem on the sea coasts of Russia and of tsunami design code development are described. The code "Buildings and structures on tsunami hazardous areas. Regulations of design" is developed by the working group of "Regional Alliance for Disaster Analysis & Reduction" NPO on behalf of the President of the Russian Federation 18.05.2015 and appropriate decisions of the Government Russia from 28.09.2015 and from 04.08.2016. The Code consists of 12 chapters and 7 appendices. The code of rules developed for the first time should be applied when

Ссылка для цитирования: Клячко М. А. О нормах проектирования зданий и сооружений в цунамиопасных районах // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2017. Т. 10, № 3. С. 5—25.

For citation: *Klyachko M. A.* On the norms of designing buildings and structures in tsunami-prone areas. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2017, 10, 3, 5—25.

DOI: 10.7868/S2073667317030017.

designing new construction and reconstruction of existing on-shore and Marinas buildings and structures in order to ensure their normalized reliability and safety under tsunami impact. The new basic terms and definitions that are unified and aligned with the terminology used by oceanographers, civil engineers and specialists of EMERCOM are introduced. Conceptual approaches, conditions, assumptions and understandings adopted as basic are given. Much attention is paid to the requirements imposed on the initial data, which is necessary for design, and especially, to assign tsunami hazard, which can be performed in various ways. The tsunami hazardous areas are classified by the intensity of the estimated tsunami, proximity to the tsunamigenic earthquake focus, the possibility of evacuating people and other parameters. Constructed facilities are subdivided according to their significance for life support and emergency management. Analytical calculation and design of tsunami resistance and the serviceability of only certain buildings and structures (life facilities, objects — sources of secondary danger, difficultly evacuated objects, etc.) are necessary and described in detail. It is emphasized that the main task of tsunami safety is to minimize individual risk, i.e. risk associated with the life and health of people. Thus, tsunami hazardous area as a whole (not single building) is a key object of standardization. Urban planning and engineering aspects for the tsunami disaster reduction are presented. The methodology, tools and mathematical apparatus for analysis and control of tsunami-risk, well-tested previously to ensure seismic safety, were used in the code of rules. The conclusion provides an overview of the results, criticisms and suggestions for further research.

Key words: tsunami safety conception, coastal and on shore structures, tsunami-prone urban areas, assigning the load, structural and urban planning requirements, tsunami-risk, sustainable safety.

Важность и острота проблемы цунамибезопасности возникла в нашей стране после катастрофического цунами 4 ноября 1952 г., в результате которого на Камчатке и о. Парамушир погибло более 15 тыс. человек, а рыбодобывающая и перерабатывающая промышленность были практически полностью уничтожены. В дальнейшем из цунамиопасной зоны был перенесен рабочий поселок Усть-Камчатск. Однако затем строительство в цунамиопасных районах Российской Федерации было запрещено Постановлением СМ РСФСР №19 от 08.01.64 г. Столь недифференцированный и непродуманный характер правительственного документа не соответствовал потребностям экономического развития побережья российских морей. Полное запрещение строительного освоения цунамиопасных районов повлекло за собой отсутствие соответствующих строительных норм застройки морских побережий, подверженных опасности цунами, и правил, регулирующих их территориальное планирование и развитие. Вероятность возникновения разрушительного цунами и обязательность учета его воздействия на плавучие, прибрежные и береговые строительные сооружения до настоящего времени полностью отсутствовало в законодательных, экономических, градостроительных и других нормативах, будто бы угрозы цунами вовсе не существует. В результате строительное освоение цунамиопасных побережий — всегда экономически привлекательных и престижных — уже более 50-ти лет в нарушение вышеупомянутого постановления неуклонно продолжалось незаконно и непрофессионально. Такое неупорядоченное, дикое строительство без норм и правил порождает чрезмерный риск, причем бесконтрольно и до очередного бедствия незаметно. Действительно, за прошедшие десятилетия правительственный запрет игнорировался, так как рыбопромысловые и рыбообрабатывающие предприятия, портовые сооружения с большим комплексом объектов гидротехнического, подъемно-разгрузочного, складского и транспортного назначения не могли не строиться на побережьях российских морей, да и города — как урбанизированные зоны, так и курортно-оздоровительные территории — все больше и больше развивались на этих цунамиопасных побережьях.

По-настоящему разносторонне и комплексно актуальные проблемы прикладной гидрофизики, включая цунами, стали изучаться с начала 1960-х гг. прошлого века в Научно-исследовательском центре 26-го Центрального научно-исследовательского института (НИЦ-26) Министерства обороны в целях проектирования, строительства и надежного функционирования баз ВМФ и специальных фортификационных сооружений.

Освоение новых мест для организации базирования флота на побережье Дальневосточных морей поставило задачу изучения воздействия на сооружения волн цунами. Такие исследования были проведены в 1980-х гг., в них изучалось распространение и силовое воздействие на сооружения и берега, как волн цунами.

В хорошо оснащенной гидроволновой лаборатории НИЦ-26 был выполнен большой комплекс работ по физическому моделированию взаимодействия длинных волн типа цунами с различными

плавучими, прибрежными и береговыми сооружениями. Многие теоретические исследования проводились во взаимодействии со специалистами ВВИТКУ им. А. Н. Комаровского, ВНИИГ им. В. Е. Веденеева и др. Результаты этих работ, позволили разработать соответствующую инструкцию, а затем на ее основе — ведомственный руководящий документ [1].

Современные знания о цунами и инженерное умение защищаться от этого чрезвычайно разрушительного явления базируются на результатах многолетних исследований большого числа ученых и инженеров, среди которых А. А. Дорфман, М. И. Железняк, П. П. Кульмач, Д. Д. Лаппо, В. В. Максимов, В. И. Манойлин, А. В. Мишуев, И. С. Нуднер, Е. Н. Пелиновский, Е. А. Попов, А. Е. Светловский, М. В. Сладкевич, С. Л. Соловьев, В. З. Филиппенок, В. С. Христофоров, В. В. Яковлев.

Задача обеспечения цунамибезопасности морских побережий России неоднократно ставилась на государственном уровне:

— Письмо-поручение ГКЧС РСФСР от 28.10.1991 № 248-СШ в адрес Дальневосточной Ассоциации «Надежность и безопасность» по разработке комплекса программ для обеспечения безопасности населения РСФСР в условиях возникновения природных, стихийных бедствий и техногенных катастроф. Выполняя это поручение, в конце 1991 г. была разработана среди прочих программа № 3 «Цунами».

— Поручение МЧС России Дальневосточной Ассоциации «Надежность и безопасность» разработать программу «Защита приморских территорий от опасных морских воздействий».

— Поручение Правительства РФ от 26.08.2000 № ХВ119-23942 Госстрою России совместно с Минобороны России, Минфином России и Роскомгидромет о разработке ФЦП «Цунами» по защите городов, населенных пунктов и производственных объектов от воздействия цунами.

— Распоряжение Правительства РФ от 19.03.2001 № 381 о разработке проекта ФЦП «Защита морских побережий от опасных природных явлений».

— Поручение Президента России В. В. Путина от 27.12.2004 г. № ПР-2106 и Поручение Правительства РФ от 14.01.2005 г. № ФП4-107 «Об обеспечении сейсмо- и цунамибезопасности территории Российской Федерации».

— Решение № 8 п.8.9 двадцать девятого заседания Межправительственного совета по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ 10—11 июня 2010 г. в г. Минске, во исполнение которого разработан [2, 3] ГОСТ «Здания, сооружения и территории. Требования безопасности при воздействии цунами» (уведомление в Росстандарт от 21 февраля 2011 г. о разработке первой редакции ГОСТ).

Значимость и срочность этих работ еще более возросла в связи с интенсивным освоением шельфа Сахалина и после утверждения государственной программы «Социально-экономическое развитие Курильских островов на 2016-2025 гг.», островов, побережье которых подвержено воздействию цунами высотой более 30 м.

Таким образом, необходимость градостроительного регулирования на цунамиопасных побережьях Тихого океана и разработки норм строительства и эксплуатации плавучих, прибрежных и береговых сооружений в зоне воздействия цунами высокой интенсивности не подлежит сомнению.

Следует отметить, что достаточно широкое распространение имеет мнение о том, что цунами атакуют только побережье Тихого океана. Это в корне неверно. В Чёрном море достаточно хорошо задокументировано 22 события, в том числе шесть цунами в 20-м столетии на российском побережье, что свидетельствует об их высокой повторяемости в акватории Черного моря. Также хорошо известно цунами, произошедшее в Каспийском море 8 июля 1895 г. в результате чрезвычайно мощного Красноводского землетрясения с магнитудой 8.2. Кроме того, хорошо известны Дербентское цунами 957 г., цунами 31 декабря 1902 г. в районе г. Баку и цунами, наблюдаемое 6 марта 1986 г. в районе Ливановой банки.

Хотя высота и повторяемость цунами в Черном и Каспийском морях существенно меньше, чем в морях дальневосточных, реальная опасность цунами здесь весьма велика, а, учитывая высокую урбанизацию, транспортную и энергетическую инфраструктуру, экономическую концентрацию на этих побережьях, цунами-риск, то есть значения вероятных ущербов и потерь на побережье этих морей может достигать недопустимо больших величин.

Основание разработки свода правил и его авторы. Разработка рассматриваемого в настоящей статье свода правил «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» осуществлена во исполнение поручения Президента Российской Федерации В. В. Путина от 18.05.2015 г. и соответствующих поручений Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации

Д. Н. Козака от 28.09.2015 г. и 04.08.2016 г. Свод правил разработан авторским коллективом, созданным в АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий» в составе: А. И. Зайцев (оценка и картирование опасности цунами на черноморском побережье); Н. Г. Заритовский (разделы 6—8, участие); В. М. Кайстренко (оценка и картирование опасности цунами на Дальнем Востоке; подраздел 3.3, Приложение А.1 — участие, А.2); М. А. Клячко (руководитель и ответственный исполнитель; разработка разделов 1—5, 10—12, Приложения Б, Д, Е, Ж); В. В. Максимов (разделы 6—8); И. С. Нуднер (руководитель подгруппы № 2; разделы 6—8 — разработка, раздел 9 — участие, Приложения В.1, В.2, Г); Е. Н. Пелиновский (руководитель подгруппы №1 «оценка опасности цунами», Приложение А.1); Ю. Л. Рутман (раздел 9 — разработка); В. Ю. Фильков (разделы 6—9); Л. Ф. Штанько (вопросы сейсмостойкости портовых ГТС на территории с «близкими» цунами).

Цель, задачи и область применения свода правил. Основной целью разработки СП «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» является обеспечение нормируемой безопасности населения на российских побережьях, подверженных воздействию цунами, путем конкретизации и реализации в отношении цунамиопасных территорий требований:

- ФЗ № 384 «Технический регламент «Безопасность зданий и сооружений»;
- ФЗ № 68 (ред. от 23.06.2016 г.) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Дополнительные цели:

- обеспечение научно-технического прогресса;
- возможность пионерной разработки строительных норм для возведения и эксплуатации зданий, сооружений и устойчивого развития городов и населенных пунктов, расположенных на цунамиопасных морских побережьях РФ;
- обеспечение российского приоритета в уменьшении цунами-риска, а также повышение качества и конкурентоспособности российской продукции, работ и услуг, в области строительного нормирования, в том числе на международном рынке.

Главная задача — смягчение вероятных бедствий, и повышение уровня безопасности объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), обусловленных воздействием цунами путем разработки и внедрения градостроительной стратегии безопасного развития, превентивных архитектурно-планировочных и конструктивных решений при возведении и реконструкции строительных сооружений на цунамиопасных территориях (ЦОТ). Требования свода правил должны использоваться также при разработке проектов территориального планирования, при оценке последствий вероятных цунами и в анализе цунами-риска.

В своде правил рассматриваются, прежде всего, сейсмогенные цунами. Однако все правила и требования, изложенные в СП, действительны по отношению к цунами любого происхождения, а также по отношению к сейшам.

Свод правил не распространяется на плавучие сооружения.

Структура и краткое содержание свода правил. Свод правил «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» состоит из Введения, 12 разделов, библиографии и 7 приложений.

Кратко опишем содержание введения, первых пяти разделов, а также раздела 10 свода правил и задачи, которые в этих разделах решаются. Разделы 6—9, описывающие воздействие цунами на морские побережья в целом, на прибрежные и береговые сооружения, а также вопросы анализа цунами-риска рассматриваются их авторами отдельно.

О терминах и определениях. Базовыми, проходящими красной нитью через весь свод правил, являются многие термины, включенные в раздел 3 «Термины и определения». Введено несколько новых и уточненных терминов и определений. При этом представляется успешной попытка увязать и унифицировать терминологию, используемую инженерами-строителями, океанологами и специалистами МЧС. Например, установлены следующие базовые термины и определения:

цунамиопасный район — прибрежная зона (акватория и территория), в которой возможно возникновение волн цунами с высотой вертикального заплеска выше 1 м при повторяемости не реже одного раза в 100 лет;

цунамиопасная территория (ЦОТ) — урбанизированная территория определенного административного подчинения, находящаяся в цунамиопасном районе.

Практически важным является то, что комплексная безопасность подразделяется и конкретизируется по отношению к объекту риска (населению урбанизированной территории, сооружению) с введением требования не превышения допустимых значений соответствующих бедственных рисков (индивидуального риска, риска материального ущерба). Поскольку риск потери жизни и здоровья людей, как и риск материального ущерба, напрямую зависит от уровня конструктивной уязвимости строительного сооружения, это очень важное понятие внесено в раздел 3 «Термины и определения». Потребовалось также ввести термин «стандартное цунамиопасное побережье», имеющего такие характеристики, при которых значения вертикального заплеска цунами могут быть использованы без корректировки математической модели наката, принятой в СП. Введен термин «вертикальная эвакуация», который открывает новые, неиспользуемые ранее инженерно-технические средства спасения людей.

Концептуальные подходы, условия и договоренности

1. Основой разработанных правил проектирования и строительства зданий и сооружений в цунамиопасных районах является понимание и признание нижеследующих положений.

— Цунами — одно из самых непредсказуемых и разрушительных природных явлений, предотвратить возникновение, которого человечество пока не может, однако инженеры могут и должны уменьшать вредоносные последствия цунами, смягчая его воздействие на урбанизированные территории и снижая уязвимость строительных сооружений к этому опасному воздействию.

— Разрушительная способность цунами столь велика, что защититься в полной мере от очень сильных цунами экономически нецелесообразно, а зачастую технически невозможно.

— Цунами во всех случаях является вторичным природным явлением и воздействием, вызываемым чаще всего мощными землетрясениями или большими оползнями, в результате чего бедствие на урбанизированных территориях может быть чрезвычайно велико в результате последовательного воздействия цунамигенного триггера и цунами.

— В рамках политики и стратегии устойчивого развития обязательной для строительных норм является задача минимизации риска, связанного с жизнью и здоровьем людей, а допустимые размеры риска материальных потерь устанавливаются государством или другими собственниками.

— Органы власти цунамиопасных территорий должны реализовывать согласованную на всех административных уровнях стратегию смягчения бедствий от цунами, начиная с понимания угрожающей опасности, степени и особенностей уязвимости застройки и населения территории к этой опасности, размера и вероятности ожидаемого бедствия, внедряя защитные строительные технологии и, повышая готовность противостоять этому бедствию собственными силами и средствами при минимальном размере человеческих потерь и приемлемом материальном ущербе.

2. Концептуальный подход к цунамибезопасности сооружений и ЦОТ в целом базируется на договоренности о том, что во всех рассматриваемых расчетных ситуациях соблюдаются условия:

— исправно и эффективно срабатывает служба предупреждения о цунами, в результате чего абсолютное большинство населения эвакуировано в безопасные места до прихода цунами и в любом случае все люди (за исключением особо оговоренных категорий) находятся вне зданий и сооружений;

— благодаря своевременному предупреждению о цунами все корабли, большие суда и абсолютное большинство малых судов, пришвартованных к причальным сооружениям, выходят на внешний рейд или в открытое море до прихода цунами;

— вероятный ущерб, причиняемый плавучим заякоренным причалам в гаванях для стоянки маломерных судов, оценивается в случае цунами как небольшой и легко восстанавливаемый (компенсируемый);

— несмотря на все предпринимаемые усилия, признается вероятность неполной эвакуации населения, в том числе нетранспортабельные больные и лица, относящиеся к маломобильным группам населения; при этом количество таких лиц не должно превышать 5% от числа людей, находящихся в зоне затопления и подлежащих эвакуации;

— здания и сооружения, предназначенные для жизнеобеспечения населения в ЧС, располагаются по возможности вне зоны затопления цунами, а органы управления ЧС размещаются вблизи зоны затопления или же в защищенных, цунамистойких зданиях (сооружениях);

— предполагается, что в безопасных в случае цунами местах эвакуированное население одновременно защищено от вторичных опасных природных и техногенных факторов и воздействий.

3. Изложенные в своде правила и требования базируются на некоторых договоренностях, необходимых для:

- а) унификации исходных параметров опасности цунами, независимо от очертаний побережья;
- б) представления воздействия цунами в виде 2-3-х последовательных накатов-откатов волн синусоидальной формы, причем все эти волны могут содержать мусор, обломки и предметы разной величины и/или лед; глубина отката волны цунами принимается равной расчетной глубине наката этой волны;
- в) упрощения процедуры расчета наката и отката волны цунами;
- г) предоставления альтернативных возможностей выбора способа задания опасности цунами по эффектам, наблюдаемым на побережье или по инструментальным записям параметров цунами при гидромониторинге;
- д) возможности оценить цунамистойкость сооружения при воздействии нескольких волн цунами, а также после воздействия цунамигенного землетрясения (главного толчка и афтершоков);
- е) возможности упрощенных, относительно быстрых, но достоверных оценок цунамибезопасности ЦОТ.

В случаях недостаточной или малодостоверной информации о каком-либо расчетном параметре принимается наихудшее (в запас) значение.

4. Задачи, которые должны решаться с помощью свода правил:

- а) категорирование морских побережий по опасности цунами и классификация прибрежных и береговых строительных объектов, подверженных воздействию цунами, в том числе по уровню их ответственности;
- б) выбор и назначение исходных нормативных параметров опасности цунами и способа задания воздействия цунами на рассматриваемой цунамиопасной территории (ЦОТ);
- в) уточнение и выбор расчетных сценариев цунами, определение линии горизонтального заплеска и зоны затопления, параметров наката и отката цунами на конкретную ЦОТ;
- г) выбор на каждой конкретной ЦОТ ограниченного числа зданий и сооружений, подлежащих обязательному расчету их цунамиустойчивости и проектированию для обеспечения их требуемой надежности и безопасности при воздействии цунами;
- д) назначение критериев надежности и безопасности сооружений, подлежащих расчету их работоспособности и устойчивости при воздействии цунами;
- е) назначение допустимого уровня риска для различных компонент механической безопасности сооружений при воздействии цунами на ЦОТ;
- ж) назначение расчетных ситуаций и выбор расчетных моделей;
- з) задание воздействия цунами и определение соответствующих расчетных нагрузок на сооружения разной ответственности с учетом их обтекаемости, проницаемости и других особенностей по предельным состояниям I и при необходимости II группы;
- и) рассмотрение и учет влияния возможных процессов оползнеобразования, размыва, суффозии, и разжижения грунтовых оснований; анализ вероятности возникновения и характеристик вторичных техногенных опасных факторов и их последствий;
- к) разработка расчетных сценариев вероятных последствий воздействия цунами на рассматриваемую ЦОТ или конкретный значимый объект для оценки уровня механической безопасности (по отдельным ее компонентам);
- л) решение по планировке и застройке населенных пунктов и разработка проектов территориального планирования ЦОТ в части их безопасного и устойчивого развития;
- м) объемно-планировочные, архитектурные и конструктивные решения сооружений, градостроительные защитные мероприятия, а также специальные методы инженерной защиты территорий от воздействия цунами.

На сегодняшний день в разработанном СП решена только часть задач.

Требования к исходным данным и заданию опасности цунами. В разделе 4 «Основные положения» СП представлена процедура решения целевой задачи и указаны требования, предъявляемые к исходным данным. Там же перечислены необходимые исходные расчетные параметры цунами (высота

вертикального заплеска или высота волны на урезе, рекуррентный период, период волны цунами), а также даны способы задания параметров опасности цунами, среди которых:

- значениями вертикального заплеска цунами заданной повторяемости (1 раз в 50, 100 или 500 лет), принятые по картам общего или детального цунамирайонирования для различных географических пунктов Российской Федерации;

- максимальными значениями высоты цунами при волне необрушенного (без образования бора) профиля по инструментальным записям параметров цунами при гидромониторинге;

- параметрами цунами, уточненными при цунамимикрорайонировании;

- укрупненными характеристиками цунами, сила которого описывается наблюдаемыми на побережье эффектами (последствиями) и подразделяется на 6 категорий по приведенной в СП унифицированной шкале интенсивности цунами, из которых для расчета учитываются 5 категорий (от слабого до катастрофического цунами, $I_{ts} \geq II$ баллов);

- расчетными (в том числе историческими и синтезированными) сценариями опасного воздействия, включающими в себя триггерное событие (землетрясение, подводный оползень, извержение подводного вулкана, падение астероидов или иное цунамигенное событие), что целесообразно в тех случаях, когда эти триггеры вызывают прямые потери и ущербы. Во всех иных сценарных подходах цунамигенные триггеры не рассматриваются, а анализируется только цунами и вторичные по отношению к нему бедственные события.

Запрещения и ограничения строительного освоения цунамиопасных территорий. В конце раздела 4 «Основные положения» СП изложены принципиально важные ограничения, вытекающие из принятых концептуальных подходов:

Ог1. Строительное освоение ЦОТ, на которых прогнозируются возникновение цунами со значением ожидаемого вертикального заплеска раз в сто лет $h_{100} > 8$ м, запрещается.

Возводить и эксплуатировать в пределах зоны затопления таких ЦОТ допускается только объекты с чисто экономической ответственностью.

Ранее созданные на таких ЦОТ и эксплуатируемые в настоящее время поселения и промышленные предприятия должны быть перенесены.

Ог2. В расчетной зоне затопления строительство вновь возводимых сооружений, относящихся к особо опасным, повреждение и разрушение которых увеличивает риск, связанный с нанесением вреда жизни и здоровью людей, а также объектов жизнеобеспечения, бесперебойное функционирование которых необходимо для ликвидации ЧС, не допускается, если значение вертикального заплеска цунами превышает h_{100} , равное 2 м, а очертания побережья при этом не соответствует стандартному.

Ог3. Вновь возводимые технически сложные и уникальные сооружения разрешается проектировать в зоне затопления и примыкающей к ней акватории только на побережье, где значение вертикального заплеска цунами, определенного для побережья (географического пункта) не превышает h_{100} , равное 4 м.

Ог4. Магистральные сети и объекты транспортной и энергетической инфраструктуры, необходимые для жизнеобеспечения населения в условиях ЧС, а также объекты водоснабжения и канализации (в том числе очистные сооружения) допускается строить на ЦОТ со значением высоты заплеска цунами h_{100} не более 2 м. При этом сооружения, аварии которых чреваты экологическим ущербом, следует, как правило, размещать на участках побережья со стандартными очертаниями.

При обоснованной невозможности выполнить ограничения Ог2-Ог4, следует:

- выбирать площадки строительства, расположенные как можно выше по рельефу, с тем, чтобы минимизировать риски вероятных потерь и ущербов, соблюдая в любом случае требования эксплуатационной пригодности возводимого или реконструируемого сооружения;

- технически и экономически обоснованное предварительное проектное решение включить в задание на проектирование, утверждаемое Заказчиком;

- проектирование объекта осуществлять при научно-техническом сопровождении специализированной организацией.

Во всех случаях проектирование строительства на ЦОТ с нестандартным очертанием побережья, при невозможности соблюсти ограничения Ог2-Ог4 планируя разработку проектов капитального строительства или реконструкции объектов повышенного уровня ответственности, отнесенных к группе I классификации сооружений, в состав проектных работ необходимо включать работы

по цунамимикрорайонированию, выполняемые специализированной организацией (по профилю морской геофизики).

Таким образом, еще раз подчеркиваем, что контролируемым критерием цунамибезопасности застройки ЦОТ и урбанизированной территории в целом является допустимое значение риска, связанного с сохранением жизни и здоровья людей, что является важнейшим компонентом механической безопасности.

Для зданий (сооружений), отнесенных к объектам первой группы ответственности, дополнительно следует производить оценку их эксплуатационной пригодности. При этом уровень требуемой эксплуатационной пригодности (надежности), снижение которого неприемлемо, задается Заказчиком по рекомендации специализированной научно-исследовательской организаций, обеспечивающей научное сопровождение проектирования.

Классификация цунамиопасных территорий и строительных сооружений. В разделе 5 «Классификация цунамиопасных территорий и особенности проектирования зданий и сооружений»:

1. Все цунамиопасные территории (ЦОТ) подразделены:

— по силе (интенсивности) ожидаемого цунами;

— в зависимости от расположения источника цунами к побережью: на ЦОТ с далекими цунами и ЦОТ с близкими цунами;

— в зависимости от периода цунами (T): по скорости ожидаемого потока (медленной или быстрой);

— по влиянию формы/затухания бухты и очертания береговой линии на поток (его эскалацию или деградацию);

— в зависимости от наличия близко доступных безопасных мест различаются легко, трудно и не эвакуируемые ЦОТ.

2. Прибрежные сооружения (морские портовые ГТС) в зависимости от высоты, типа грунтов основания, социально-экономической ответственности классифицированы в соответствии с Приложением Б [4].

3. С точки зрения важности и приоритетности обеспечения надежности и безопасности береговых сооружений при воздействии цунами выделяются следующие группы объектов:

I: объекты повышенной ответственности (особо опасные, технически сложные, уникальные объекты) и дополнительно объекты, бесперебойное функционирование которых необходимо для ликвидации ЧС;

II: объекты, эвакуация которых затруднена и с высокой степенью вероятности не будет произведена до подхода цунами, здания и сооружения с массовым пребыванием людей, отнесенные к пунктам БЗ-Б6, Б8-Б10 по приложению Б [5], а также здания, нуждающиеся в вертикальной эвакуации;

III: сооружения повреждение или разрушение которых приводит к безвозвратному экологическому ущербу и/или угрозе эпидемии;

IV: зданий и сооружения, отнесенные к классу КС-1 по приложению А [5];

V: здания обычной ответственности не упомянутые выше.

Особенности проектирования зданий и сооружений на цунамиопасных территориях

1. Цунамистойкость зданий и сооружений обеспечивается:

— расположением сооружений на удаленных от берега и/или защищенных от воздействия цунами площадках;

— объемно-планировочными решениями, позволяющими достигнуть максимальную обтекаемость и необходимую проницаемость нижних этажей зданий для потока цунами;

— прочностью и устойчивостью сооружения в целом, отдельных несущих конструкций и ненесущих элементов, что проверяется расчетом по предельному состоянию первой и при необходимости второй группы;

— нерасчетными конструктивными мероприятиями, а также выбором строительных материалов, повышающими структурную прочность и устойчивость сооружений, а также обеспечивающими максимальную обтекаемость сооружения потокам цунами;

— предотвращением прогрессирующего обрушения береговых сооружений;

— уменьшением воздействия цунами на строительные сооружения с помощью внешних защитных мероприятий, в том числе дамб, железобетонных преград и барьеров высотой с превышением локального расчетного вертикального заплеска не менее 25 см; при этом расчетный заплеск увеличивается на 20 % по сравнению с расчетным значением для рассматриваемой цунамиопасной территории;

- регулированием общей водопроницаемости застройки на пути прохождения потока цунами;
- мерами, предотвращающими попадания обломков в поток цунами.

2. Расчет на воздействие цунами производится по первому и второму предельному состоянию. При этом расчет цунамистойкости по первому предельному состоянию является обязательным для всех объектов, отнесенных к группе I. Расчет по второму предельному состоянию должен производиться только для причальных и береговых сооружений, отнесенных к объектам жизнеобеспечения, а также для береговых сооружений, отнесенных к трудно эвакуируемым. Результаты расчета по второму предельному состоянию должны удовлетворять соответствующим требованиям надежности в той мере, при которой обеспечиваются требования Заказчика по сохранению эксплуатационной пригодности сооружения, соответствующие исправному, работоспособному или, в крайнем случае, ограниченно работоспособному эксплуатационному состоянию сооружения. Эти расчеты следует производить с учетом взаимодействия в системе «сооружение-грунт». При этом необходимо обращать специальное внимание на расчетные ситуации, связанные с нарушениями структуры и свойств грунтов основания фундаментов сооружений из-за суффозии, размыва-подмыва, разжижения грунта и других негативных процессов, вызываемых накатом и откатом волн цунами.

3. Первоочередным и главным требованием, предъявляемым к проектным решениям, является минимизация риска, связанного с причинением вреда жизни или здоровью людей, то есть всегда и прежде всего, должна соблюдаться механическая безопасность строительного сооружения в рамках ее первого компонента. При расчете отдельных зданий и сооружений индивидуальные риски определять не следует, а соответствующие оценки производятся для застройки ЦОТ в целом.

Параметры второго компонента механической безопасности при воздействии цунами, характеризующие допустимые потери государственной собственности (экономический ущерб) находящейся на ЦОТ какого-либо субъекта РФ, определяются в процентах от внутреннего валового продукта этого субъекта Российской Федерации, созданного в течение года до рассматриваемого цунами. По отношению к конкретному зданию (сооружению) допустимые параметры материального ущерба представляются в терминах экономической уязвимости. Эти параметры утверждаются заданием на проектирование Заказчиком по представлению Проектировщика. Величина допустимого материального ущерба в зданиях не государственной собственности устанавливается владельцем этой собственности. Таким образом, расчету на воздействие цунами подлежат далеко не все здания и сооружения, находящиеся в зоне затопления, однако владелец того или иного здания имеет право оценить вероятный материальный ущерб, который может быть в этом здании причинен в случае цунами, более того, назначить допустимые размеры такого ущерба. При развитии страхования собственности на случай цунами востребованность таких оценок, безусловно, возрастет как со стороны владельцев, так и со стороны страховых компаний.

В своде правил указаны критерии, соответствующие различным допустимым предельным параметрам:

- частичное обрушение сооружения (степень повреждения $d = 4$), как порог цунамистойкости сооружения;
- состояние здания, предшествующее обрушению элементов (частей) перекрытия (степень повреждения $d = 3$), ухудшение которого грозит потере жизни или здоровья людей;
- состояние здания (степень повреждения $d < 4$), при ухудшении которого параметры эксплуатационного состояния здания не удовлетворяют предъявляемым требованиям; например, разрушение или повреждение неконструктивных элементов (перегородок и др.) может явиться причиной потери требуемой эксплуатационной пригодности сооружения.

4. Сводом правил рекомендуется рассматривать все подлежащие расчету сооружения (включая цунамизащитные) рассчитывать на особые сочетания нагрузок только для их эксплуатационного периода. По решению Заказчика (например, для ГТС I класса) допускается производить расчеты на нагрузки, учитывающие цунами для строительного периода и ремонтного случая.

В качестве наиболее неблагоприятного воздействия цунами принимаются три последовательные волны цунами, которые могут содержать лед, мусор, обломки или иные включения, усиливающие вредоносный эффект воздействия этих волн. В случае близких цунами его воздействие на сооружения рассматривается как вторичное, следующее за сейсмическим. Чтобы не нарушать принципиальные требования действующих строительных норм, на ЦОТ категорий Б и В, где очень вероятны близкие цунами,

цепочка воздействий «землетрясение с афтершоками — несколько накатов цунами» рассматривается как одна особая нагрузка.

5. Для каждого отдельного подлежащего расчету сооружения и ЦОТ в целом рекомендуется рассмотрение нескольких аварийных расчетных ситуаций (АРС), в том числе:

АРС-1. Накат волны цунами, не содержащей вредоносных предметов (обязательная для расчетного анализа);

АРС-2. Откат волны цунами, не содержащей вредоносных обломков, с размывом донного грунта у ГТС и с вымывом грунта из основания береговых сооружений (обязательная для расчетного анализа);

АРС-3. Накат волны цунами, содержащей вредоносные обломки (дополнительная для расчетного анализа);

АРС-4. Откат волны цунами, содержащей вредоносные обломки, с размывом донного грунта у ГТС и с вымывом грунта из основания береговых сооружений (дополнительная для расчетного анализа);

АРС-5. Комплексная расчетная ситуация, в которой воздействие цунами на объекты риска в виде расчетных ситуаций АРС-1 и АРС-3 следует за сейсмическим воздействием, вызвавшим это цунами (специальная АРС обязательная для ЦОТ с близкими цунами).

6. При расчетах морских ГТС на воздействие цунами необходимо рассматривать ситуацию, обусловленную понижением расчетного уровня моря, оттоком воды, а при расчете береговых сооружений также процессами суффозии и разжижения грунта оснований фундаментов этих сооружений. Параметры рассматриваемой расчетной ситуации определяются для каждого конкретного типа сооружения с учетом местных условий. Для количественного определения указанных параметров (величина понижения расчетного уровня, скорость фильтрации и др.) необходимо проведение физического или математического моделирования.

7. Для сооружений сквозного типа (эстакады, мосты, причалы мостового типа) необходимо рассматривать вертикальную ударную нагрузку от заплеска на верхнее строение.

8. При рассмотрении АРС-2 и АРС-4 рекомендуется использовать данные по оценке устойчивости грунта, подверженного гидродинамическому воздействию, приведенные в приложении В [6].

9. В зонах субдукции при соответствующем обосновании для особо ответственных сооружений в АРС-5 может быть рассмотрено одновременное действие инерционной сейсмической нагрузки от афтершоков и воздействие цунами.

На территориях типа Б следует отдельно учитывать для сквозных сооружений вертикальную компоненту сейсмического воздействия.

10. При расчете цунамистойкости сооружений, расположенных на ЦОТ категории Б и В, строительное сооружение должно рассматриваться с некоторой начальной наперед заданной степенью повреждений и для его расчета необходимо использовать нелинейные методы механики твердого тела. Эти расчеты следует производить только для зданий категории КС-3 по приложению А [5], эвакуация из которых затруднена или невозможна. При этом степень начальных сейсмических повреждений определяется, исходя из класса конструктивной уязвимости рассматриваемого сооружения и интенсивности цунамигенного землетрясения.

Расчет цунамистойкости сооружений, отнесенных к классу КС-2, допускается производить в рамках линейной теории, рассматривая поведение сооружения, как упругое.

11. В этом разделе отражены особенности проектирования мостов находящихся под воздействием цунами, а также геотехнические требования и правила, подлежащие учету при расчете и проектировании оснований и фундаментов строительных сооружений, расположенных на ЦОТ.

Градостроительные аспекты управления цунамибезопасностью. Рассмотрим теперь раздел 10 «Градостроительные аспекты уменьшения цунами-риска и требования к планировке и застройке цунамиопасных урбанизированных территорий». При разработке этого раздела свода правил был принят во внимание отечественный опыт переноса рабочего поселка Усть-Камчатск, расположенного на восточном побережье полуострова Камчатка и пострадавшего от разрушительного цунами 1952 г., на высокое, недостижимое для расчетного цунами места, а также мероприятия градостроительного мероприятия, предпринятые на островах Кадыкского архипелага в целях цунамизащиты в 1960-х гг. после Аляскинского землетрясения и цунами 1964 г.

Как указывалось ранее, ключевым объектом стандартизации является урбанизированная цунамиопасная территория ЦОТ), на которой необходимо организовать нормативное регулирование

как минимум двух аспектов стандартизации: параметра, характеризующего и обеспечивающего сохранение жизни и здоровья людей (населения ЦОТ), и параметра, характеризующего и обеспечивающего не превышение приемлемого уровня материального ущерба в случае ожидаемого/расчетного воздействия цунами.

В соответствии с терминологией и аббревиатурой, принятыми в СП, цунамиопасным районом называется прибрежная зона (акватория и территория), в которой возможно возникновение волн цунами с высотой вертикального заплеска выше 1 м при повторяемости не реже одного раза в 100 лет, а ЦОТ определяется как урбанизованная территория однозначного административного подчинения, находящаяся в цунамиопасном районе.

Прилагаемые ниже требования, правила и рекомендации разработаны в СП для реализации градостроительной стратегии безопасного развития поселений, расположенных на цунамиопасных территориях Российской Федерации. Эти правила должны учитываться, прежде всего, в процессе разработки проектов территориального планирования и социально-экономического развития урбанизованных территорий, а также при подготовке этих ЦОТ к бедствиям/ЧС, вызываемым воздействием цунами.

Основой для разработки стратегии цунамибезопасности той или иной ЦОТ является обоснованное деление/ранжирование зоны регулирования цунамибезопасности на подзоны различной степени подверженности воздействию цунами. При этом рекомендуется назначать подзоны, дифференцируя их по высоте волны ожидаемого цунами с градацией по шкале интенсивности цунами (приложение Б «Усовершенствованная шкала опасности/интенсивности цунами» свода правил): слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности цунами $I_{ts} = II, III, IV, V$ соответственно.

В площадь побережья, подлежащую нормативному регулированию, прежде всего включается зона затопления, размеры которой устанавливаются, исходя из максимальных значений вертикальных заплесков раз в 500 лет, $h_{50; 0,1}$ уточняемых при необходимости (при существенном отличии побережья от стандартного) с помощью цунамимикрорайонирования.

Регулирование урбанизованной территории за пределами зоны затопления, как правило, обязательно для трудно эвакуируемых ЦОТ, в том числе с близкими цунами.

Все здания, находящиеся в пределах зоны затопления, должны быть инвентаризированы и паспортизированы с описанием их конструктивной схемы и указанием категории конструктивной уязвимости [7—10] этих зданий при воздействии цунами, а также с указанием допустимого параметра экономической уязвимости, задаваемого владельцем. В процессе паспортизации следует выделять наиболее хорошо изученные, детально рассчитанные (с учетом взаимодействия в системе «сооружение-грунт») и находящиеся под инструментальным контролем, здания-представители массовой застройки, которые при последующем анализе цунами-риска будут рассматриваться, как базовые объекты для анализа безопасности (БАОБАБы).

На ЦОТ с близкими цунами паспортизацию застройки и назначение объектов-аналогов рекомендуется совмещать с паспортизацией и анализом сейсмостойкости зданий и сооружений.

Кроме БАОБАБов, в процессе паспортизации ЦОТ следует, изучая опыт ранее произошедших повреждающих и разрушительных цунами, отбирать строительные сооружения, которые по своей конструктивной схеме и условиям эксплуатации аналогичны зданиям массового строительства на рассматриваемой ЦОТ. Такие строительные сооружения имеют достоверную оценку (класс) их конструктивной цунамиуязвимости, вследствие чего представляет высокую ценность для риск-анализа, и называются базовыми аналогами.

В процессе паспортизации и анализа цунамистойкости эксплуатируемых зданий и сооружений, необходимо решать следующие специфические задачи.

В подзоне с интенсивностью цунами $I_{ts} = V$, где строительное освоение ЦОТ запрещается, следует предусматривать программу сноса эксплуатируемых зданий и сооружений, выкупа земельных участков и переселения людей из этой подзоны в безопасные места.

В подзоне с интенсивностью цунами $I_{ts} = IV$:

- а) определить оптимальную группу зданий, противодействующую цунами;
- б) определить оптимальную/безопасную высоту первого этажа;

в) выполнить специальные требования по цунамистойкости опорных элементов/колонн нижнего этажа этих зданий;

г) рассмотреть необходимость и целесообразность организации (в том числе строительства) специальных путей и сооружений для вертикальной эвакуации населения;

д) ввести обязательное страхование имущества, поскольку при расчетном цунами в этой подзоне спасти имущество на 1—2 этажах невозможно.

При решении задачи «а» очень важно уменьшить влияние вторичных опасностей, сопутствующих цунами, в том числе:

— обеспечить достаточно большой промежуток между зданиями, чтобы избежать или уменьшить влияния столкновения с выбрасываемыми на берег транспортными средствами, предметами, смываемыми с берега, различными обломками и льдом;

— обеспечить устойчивость фундаментов зданий (достаточная глубина заложения и малая вымываемость обратной засыпки).

В подзоне $I_{ts} = IV$ новое строительство должно осуществляться с учетом уровня цунамириска. При этом различаются здания, которые после бедствия должны восстанавливаться (банки, гостиницы), и те, которые восстанавливать не надо (магазины розничной торговли и т. п.).

В подзоне с интенсивностью цунами $I_{ts} = IV$ (прогноз сильного цунами) нахождение особо опасных объектов категорически запрещено.

Здания школ, больниц, здания управления, жизнеобеспечения, критически важных объектов и общественные здания с массовым пребыванием людей запрещается строить в этой зоне. Предварительно следует выбрать из существующих и вновь возводимых те здания, усиление которых позволит уменьшить отрицательный эффект воздействия цунами на территорию.

Строительство в этой зоне морских портовых ГТС I и II класса может быть разрешено на основании специального Постановления Правительства РФ; в этом случае проектирование, строительство и эксплуатация таких портовых сооружений осуществляется в соответствии со специальными техническими условиями.

В подзоне с интенсивностью цунами $I_{ts} = III$:

— под управлением и контролем находятся только объекты и сети жизнеобеспечения;

— мосты и критические пути выживания должны остаться действующими во время цунами.

Как очевидно следует из вышеизложенного, градостроительная стратегия цунамибезопасности включает в себя не только планировочные мероприятия, но и целевые конструктивные решения, а также мероприятия по инженерной защите территорий (дамбы, барьеры, специальные преграды).

Комплекс мероприятий, направленных на защиту от цунами включает, например:

— обеспечение и совершенствование работы службы предупреждения о цунами;

— цунамирайонирование побережий в соответствии с конкретными условиями (положение, рельеф дна и береговой территории, подход волн, скорость потока и др.);

— планировочные решения: размещение городов, поселков, портов, отдельных зданий и сооружений на относительно защищенных участках побережий, в зонах, исключающих затопление; планировка городов и поселков с учетом возможного воздействия цунами;

— строительство волнозащитных гидротехнических сооружений — морских (береговых) стен, молв, волноломов, дамб, берегоукреплений и т. п.;

— применение цунамистойких конструкций береговых и гидротехнических сооружений;

— устройство транспортных систем, обеспечивающих быструю и массовую эвакуацию людей и материальных ценностей из зон затопления, уход судов в море и др.;

— лесопосадки на берегах вдоль линии уреза воды.

На ЦОТ с высокой сейсмичностью сводом правил рекомендуется использование систем сейсмозащиты в водозащитном исполнении, располагая их выше фундаментных конструкций. Кроме того, в ряде случаев эффективным конструктивным решением является анкеровка легких или цунаминеустойчивых зданий в грунтовом основании. На так называемых, трудно эвакуируемых ЦОТ, на зданиях средней и высокой этажности целесообразно устройство вертикальной эвакуации.

Остановимся специально на превентивных решениях по предотвращению обломков. Для решения чрезвычайно важной задачи максимального смягчения вторичной опасности, вызываемой обломками и льдом, особому рассмотрению и управлению подлежит все, что находится на примыкающей к урезу акватории и территории и может быть смыто, включая лодки, легкие пирсы, автомобили и т. д., и в результате чего увеличится разрушительная способности цунами.

Защита от обломков является комплексной проблемой, решение которой достигается сочетанием превентивных мероприятий, среди которых:

- берегоукрепление, защита от размыва и улучшение прибрежной полосы путем создания «твердого буфера», при этом плавучие и прибрежные лодочные причалы, доки, пирсы и лодки, подверженные превращению в обломки, будут отделены усиленной береговой полосой;

- перенос парковки автомашин из опасной прибрежной зоны в зону с малой глубиной потока, причем уменьшение числа уличных парковок в зоне затопления достигается строительством защищенных подземных гаражей.

В подзонах с интенсивностью $I_{ts} = II$ баллам и в других зонах, где ожидаются небольшие скорости потока, рекомендуется использовать для уменьшения числа обломков территории «мягкого буфера» (ограды, насаждения и другие барьеры, сдерживающие бревна, небольшие деревья и грязевые потоки).

Перечень полезных рекомендаций для противодействия цунами на ЦОТ весьма широк и реальная эффективность этих мероприятий решается комплексно в каждом конкретном случае на основании анализа цунами-риска.

Анализ и управление цунамибезопасностью начинается с математического моделирования наката цунами и определения зоны затопления, продолжается при моделировании взаимодействия застройки ЦОТ с накатом-откатом волн цунами, что является частью различных сценариев вероятного бедствия, разработка которых для каждой ЦОТ является обязательной, а результаты — наиболее эффективны для последующего понимания цунами-риска и управления им. Вот почему в СП записано, что в целях обоснования требований безопасности при воздействии цунами необходимо разрабатывать сценарии вероятных бедствий, исходя из смоделированного сценария возникновения цунами с учетом вторичных вредоносных природных явлений и техногенных воздействий при неблагоприятном их сочетании, как это и требует закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ).

Эти важные вопросы анализа и управления цунами-риска в настоящей статье не рассматриваются.

Прикладные исследования за рубежом и их использование для строительного проектирования. Катастрофические последствия цунами 2004 и 2011 г. вызвали во всем мире бурный рост научных исследований и инженерной активности, имеющей прикладной характер с конкретной практической целью защитить урбанизированные приморские территории, находящиеся под угрозой цунами. Последствия цунами «Тохоку» на высоко урбанизированном побережье Японии были тщательно, как никогда ранее, обследованы не только океанологами, но и инженерами [11]. Мощное землетрясение ($M = 8.8$) 27.02.2010, вызвавшее цунами у берегов Чили, а также подготовка и проведение в Лиссабоне всемирной памятной конференции, приуроченной к 250-летию трагического землетрясения и цунами — 1755 г., конференции по сейсмостойкому строительству в Лиссабоне (2012), Анкоридже (2014) и в Сантьяго, Чили (2017) предоставили дополнительные возможности для практических исследований и обсуждений новых подходов, идей и превентивных технологий по цунамизащите. Поэтому десятилетие с 2005 по 2014 гг. стало очень плодотворным для реального обеспечения устойчивой безопасности морских портов, береговых зданий и приморских поселений в целом. К сожалению, в этом глобальном процессе российские ученые и особенно инженеры принимали недостаточное участие. В чем же мировая наука и практика продвинулась вперед за прошедшие 10 лет? Прежде всего, были существенно улучшены морские кадастры и требования эксплуатации морских портов для смягчения последствий вероятных цунами [12, 13] и, в частности, для предотвращения разрушительной способности цунами в тех случаях, когда в волну попадают морские суда или грузовые контейнеры [14].

В развитых странах эта активность привела к разработке и реализации соответствующих национальных программ [15, 16] смягчения бедствий, вызываемых цунами и даже к специальным правительственным решениям [17], а повышенный интерес студенчества и специалистов к проблеме цунамибезопасности был существенно поддержан государственным и частным финансированием этого научно-практического направления. В дальнейшем рассмотрим зарубежный опыт обеспечения устойчивого развития цунамиопасных территорий (ЦОТ) на примере США.

Первые целевые исследования, выполненные в США [18—22], позволили выявить участки тихоокеанского побережья Гавайских островов, Калифорнии, Орегона, Вашингтона и Аляски, наиболее

чувствительные и уязвимые к воздействию цунами. Эти и другие [23] исследования 2005—2014 гг. создали в обществе и государственных органах власти четкое осознание цунами-риска и необходимости конкретного противодействия угрозе цунами.

Большой вклад в пересмотр действующих норм, правил, рекомендаций по строительству и эксплуатации прибрежных и береговых сооружений вносят, как гражданские (ASCE, FEMA), так и военные инженеры США (USACE), которые выполнили важные практические исследования [24] и разработали улучшенные нормы [25—32].

Американское общество гражданских инженеров (ASCE), выполняя задание национального научного фонда США (NSF), завершает в этом году разработку норм для строительства в цунамиопасных районах. Что положено в основу этих норм? Какова их структура и концептуальные подходы? В чем различия? Каковы преимущества или недостатки разрабатываемых норм США и российского свода правил?

Ответы на все эти вопросы, безусловно, были бы чрезвычайно интересны и полезны, но сделать это можно только в результате серьезного и глубокого сравнительного анализа этих нормативных документов, затрагивая при этом многие коренные различия, существующие в нормативных системах России и США в целом. Поэтому в рамках настоящей статьи постараемся высветить основы норм США, отличия их от российского свода правил и ответить хотя бы на некоторые вопросы.

Цунамибезопасность, являющаяся целью строительных норм не может быть достигнута без знаний всесторонне характеризующих это редкое, но чрезвычайно разрушительное явление. И хотя эта сторона научных исследований – неглавная для этой статьи, но, будучи всегда базовой, составляющей инженерных решений, должна быть упомянута. Отметим только некоторые из них [33—38], относящиеся к проблеме моделирования наката цунами.

Как упоминалось ранее, повреждающие и разрушительные цунами, произошедшие в XX столетии, предоставили инженерам–строителям (промышленно-гражданского строительства, гидротехникам, транспортного строительства, геотехникам) уникальную возможность для анализа конструктивных, геотехнических и экологических последствий величайших природных воздействий. Среди ключевых исследований отметим работы [39—41] где оценивается воздействие цунами на береговые здания и сооружения, а также работы [42, 43], посвященные вопросам динамического разжижения песчаных береговых откосов и эксплуатационной надежности, прокладываемых в песчаных грунтах трубопроводов после цунами. Особо необходимо отметить хорошо продуманные и последовательные исследования, выполненные при участии Гари Чока и Яна Робертсона [44—50], которые стали концептуальной и содержательной основой главы «Нагрузки от цунами и их последствия» проекта цунаминорм общества гражданских инженеров — ASCE 7 в редакции 2016 г.

Говоря об общих различиях, отметим, что строительное нормирование в США имеет разветвленный, отраслевой и одновременно детализированный специфический характер, что позволяет практическому инженеру найти нормы и правила проектирования эксплуатации любых строительных сооружений в разных расчетных ситуациях и на разных этапах существования строительного объекта. Российская система проектирования, построенная во второй половине 1920-х гг. по образу и подобию американской, в настоящее время схожа с этой системой только формально, поскольку она потеряла оперативность и все больше и больше отстает от научно-технического прогресса, и более того, изолируется. При разработке и введении новых ранее не существовавших строительных норм эти недостатки ощущаются особо остро. Кроме того, российское нормативное законодательство требует корректировки и/или дополнения действующих нормативных документов разного профиля и назначения в том случае, если это вызвано введением в действие нового нормативного документа, каким является разработанный и не существовавший ранее свод правил по цунамизащите. Вот почему многие правила, требования и рекомендации, относящиеся к инженерным проблемам цунамибезопасности, не могли быть включены в этот свод правил. Для успешного внедрения новых строительных норм в проектную и строительную практику необходимо дополнительные комментарии, методические рекомендации и пособия, содержащие конкретные примеры расчета и проектирования. Именно этого, как и базовых научных исследований, а также целевых экспериментальных работ не хватает в российском СП. К тому же нельзя не отметить, что передовая в 1970-х гг. прошлого столетия экспериментальная база НИЦ-26 в последние 30 лет не поддерживалась и новые опыты по взаимодействию одиночных волн типа цунами с береговыми откосами и строительными сооружениями разного конструктивного типа и формы в современной постановке не производились.

Говоря о важных частных отличиях, в первую очередь, надо отметить, что проекте аналогичных норм ASCE важное место и большой соответствующий объем занимают термины и определения, изложенные подробно, с комментариями, позволяющими пользователю правильно понять и закрепить однозначное толкование терминов, использованных в нормах. В перечень включены многих простые, без того понятные термины, что кажется вроде бы излишним, однако оправдывается требованием четкой однозначности профессионального употребления термина, что в итоге не может повредить. Учитывая появление в 2013 году глоссария по цунами [51], подготовленного океанологами, представляется очень важным незамедлительно объединенными международными усилиями разработать новый унифицированный глоссарий, как профессиональный толковый словарь всех специалистов, работающих в области цунамибезопасности.

Благодаря тому, что подробные батиметрические и топографические карты прибрежных акваторий и территорий на тихоокеанском побережье обеспечиваются Геологическим управлением США (USGS), требуемые для инженерно-строительных расчетов исходные данные во многом имеются [52] в нормах США изначально. К сожалению, на российских цунамиопасных побережьях исходная (современная и достаточно детальная) батиметрическая и топографическая информация, необходимая для моделирования наката — отката волн цунами, отсутствует, а гидрографические наблюдения нуждаются в серьезном улучшении.

Как в американских, так и российских нормах главным местом приложения разрабатываемых правил, требований и рекомендаций по цунамибезопасности является Тихий океан — западное побережье США и дальневосточные берега России, которые подвергаются наиболее интенсивным цунами. Однако степень экономического освоения и урбанизации этих морских побережий по разным сторонам Тихого океана существенно различаются: в России отсутствуют многоэтажные здания и гостиничные комплексы, плотность населения невысока и нет большого притока туристов. Соответствующая транспортная инфраструктура на цунамиопасных дальневосточных российских побережьях не столь развита, как в США — морские порты, относительно редки и невелики, а аэропорты в цунамиопасных районах отсутствуют. Что касается высоко урбанизированного, плотно застроенного и привлекательного для отдыха и туризма черноморского побережья, то здесь интенсивность вероятного цунами значительно меньше, чем на Дальнем Востоке. Таким образом, количество и значимость объектов, находящихся на цунами-риске в России значительно меньше, чем в США и их структура иная. При этом все строительные объекты, вся застройка урбанизированных территорий на цунами-риске в российских нормах в зависимости от их важности назначения, значимости для жизнеобеспечения населения и управления ЧС подразделяется по степени ответственности на пять групп на основании гражданского кодекса РФ и [5], а в нормах США все строительные объекты относятся к какой-либо «категории риска». В данном случае автор весьма критично относится, как к термину «здания различной ответственности» (из российского законодательства) так и к термину «здания различной категории риска» (нормы США).

Несмотря на полную независимость разработки норм строительства в цунамиопасных районах России и США, принятые в этих нормах принципиальные подходы схожи и, более того, некоторые рекомендуемые критерии цунамибезопасности близки. Например, строительное освоение цунамиопасных побережий запрещается нормами России и США там, где ожидаемые значения вертикального заплеска превышают 7—8 м. Отметим, что в США все цунамиопасные территории совпадают с зонами высокой сейсмичности, из-за чего наличие у строительного сооружения нормативной сейсмостойкости является необходимым, а иногда даже достаточным показателем его цунамистойкости в соответствии с нормами ASCE. В России, например, очень важный и экономически развитый Приморский край не относится к сейсмическим районам и антисейсмические мероприятия на зданиях и сооружениях, расположенных на цунамиопасном побережье Японского моря, не предусматриваются, из-за чего для обеспечения их цунамистойкости нужно думать о значительных дополнительных затратах. Сравнивая нормы цунамибезопасности в России и США можно, наверно, еще оценить как лучшую, более подробную и четкую процедуру ASCE по назначению расчетных нагрузок от цунами на строительные сооружения, а с другой стороны отметить, как преимущество, реализованный в российских нормах подход и соответствующую процедуру количественного анализа цунами-риска, включающую в себя критерии устойчивой цунамибезопасности и возможности картирования и мониторинга цунами-риска для каждого поселения, муниципального образования, города, провинции/штата.

В отличие от норм США в российском своде правил, инженерные мероприятия по организации вертикальной эвакуации населения только обозначены, поскольку предполагается, что она будет предусматриваться только на некоторых дальневосточных трудно эвакуируемых ЦОТ и ЦОТ с «близкими» цунами.

Изучение разрушительных последствий многих цунами подтверждают существенный вклад в негативные последствия воздействия волн содержащих мусор, «обломки», а в северных районах куски льда. Понятно, почему этой проблеме посвящены многие работы [53—56], в которых авторы стараются учесть дополнительное крайне разрушительное влияние таких «обломков». Нашим подходом не является стремление каким-то образом учесть в нагрузках на прибрежные и береговые строительные сооружения воздействие от так называемых «обломков», которыми фактически являются небольшие суда, автомашины, куски поврежденных зданий и др. В качестве основного решения проблем, мы считаем необходимым устранить возможность появления таких «обломков» с помощью исполнения требований морского кадастра и правил эвакуации населения, проведения превентивных планировочных мероприятий, использования для дорог и на первых этажах зданий высокопрочных строительных материалов и путем продуманной инженерной защиты, реализуемых в прибрежной зоне и на затопляемой береговой территории. Конечно с инженерной точки зрения и для разработки вероятных сценариев бедствия в случае цунами влияние высокоскоростных и массивных «обломков» на строительные сооружения нельзя не учитывать, но пока это в российских нормах отсутствует.

1. Катастрофическое цунами 4 ноября 1952 г., которое является самым большим стихийным бедствием в истории России, как и другие многочисленные, более поздние, ущербобразующие цунами в северо-западной части Тихого океана, не привели к созданию строительных норм и правил проектирования на цунамиопасной территории (ЦОТ).

Несмотря на многочисленные попытки, только спустя более чем 50 лет после запрещения строительного освоения в цунамиопасных районах России федеральные/национальные нормы проектирования на ЦОТ наконец-то по поручению Правительства были разработаны и утверждены.

2. Горький опыт и анализ ранее произошедших цунами-бедствий показывают, что даже в тихоокеанском регионе, где создана система предупреждения о цунами, число жертв на урбанизированных побережьях остается недопустимо большим, то есть эвакуировать людей из многих зданий в безопасные места не удается.

3. Для разработки свода правил «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» прежде всего, была сформулирована концепция цунамибезопасности, включившая в себя принципиальные подходы, специальные условия и договоренности. Среди них на первом месте основное положение Международного Десятилетия по уменьшению стихийных бедствий о том, что управлять бедственным риском могут и должны инженеры, снижая уязвимость застройки урбанизированных территорий. Важными в концепции цунамибезопасности являются также следующие положения:

— защититься от цунами в полной мере технически невозможно и экономически нецелесообразно;

— главной целевой задачей цунамизащиты является минимизация риска, связанного с жизнью и здоровьем людей, а допустимый риск материального ущерба определяется собственником.

4. В связи с принятыми допущениями введен ряд ограничений по размещению зданий и сооружений в ЦОТ, среди которых:

— строительное освоение ЦОТ с высотой заплеска раз в 100 лет, превышающей 8 м, не допускается, а существующие на таких ЦОТ поселения следует выносить;

— в расчетной зоне затопления строительство вновь возводимых сооружений, относящихся к особо опасным, повреждение и разрушение которых увеличивает риск, связанный с нанесением вреда жизни и здоровью людей, а также объектов жизнеобеспечения, бесперебойное функционирование которых необходимо для ликвидации ЧС, не допускается, если значение вертикального заплеска цунами превышает h_{100} равное 2 м, а очертания побережья при этом не соответствует стандартному.

5. В качестве исходных данных, находящихся в ответственности инженеров — изыскателей, должна использоваться информация о батиметрии и топологии ЦОТ, которая представляется в виде инженерной цифровой модели местности (ИЦММ). В качестве предварительной информации допускается

использовать данные глобального рельефа и батиметрии (GEBCO). К ИЦММ прилагаются необходимые данные инженерно-геологических исследований. При этом ИЦММ, результаты цунамимикрорайонирования, другие исходные данные, математическое моделирование наката, оценка границ ЦОТ и разработка сценария вероятного бедствия представляются в единой геоинформационной системе.

6. В своде правил предусмотрены альтернативные возможности задания опасности цунами по эффектам, наблюдаемым на побережье или по инструментальным записям параметров цунами при гидромониторинге. По результатам большого объема исследований исторических цунами, палеонаблюдений и прогностических расчетов, выполненных специализированными институтами РАН, составлены карты цунамирайонирования тихоокеанского и черноморского побережья. Результаты этих работ по состоянию к осени 2016 года дополнительно представлены в своде правил в виде таблицы нормативных значений вертикальных заплесков цунами для различных географических пунктов на ЦОТ конкретных субъектов Российской Федерации. Значения нормативных вертикальных заплесков дифференцированы по их повторяемости: один раз в 50, 100 и 500 лет. Эти значения отнесены к условно «стандартному побережью». В соответствии с определением цунамиопасных территорий (ЦОТ) таковыми в Российской Федерации являются акватории и побережья тихоокеанских морей и Черного моря. На Каспийском море нормативные вертикальные заплески повторяемостью 1 раз в 100 лет имеют высоту менее 1 м, в связи с чем, картирование цунамиопасности Каспийского моря не выполнялось. Однако прибрежные и береговые объекты на Каспийском море, относящиеся к I-ой группе ответственности, следует рассчитывать на высоту $h_{50;01}$ (повторяемость 1 раз в 500 лет), значение которой в этом регионе существенно превышает 1 м.

7. Значение периода ожидаемой волны цунами обеспечено не для всех ЦОТ и, в частности, отсутствует для акватории Черного и Каспийского морей, где это значение условно и в запас принято $T = 10$ мин.

8. Достоверность многих исходных параметров опасности цунами в ряде случаев весьма низка, в особенности это касается спектральных характеристик ожидаемого воздействия цунами. Кроме того, структура и характеристики резонансных мод бухт и заливов, у берегов которых расположены морские порты России, практически не изучены. Неопределенность данных по спектральным характеристикам цунами (особенно в Черном и Каспийском море) в сочетании с не изученностью резонансно избирательных свойств акваторий, составляющих часть ЦОТ, проблема оценки реальной цунамиопасности для различных участков российских побережий является чрезвычайно острой и по сути первоочередной.

9. В своде правил предусмотрена классификация ЦОТ по различным параметрам и признакам, включая «ЦОТ с близкими цунами», «трудно эвакуируемые ЦОТ» и др., однако практическая классификация ЦОТ разных субъектов РФ отсутствует и эту важную работу предстоит выполнить на местах. Такую же работу необходимо выполнить для каждой ЦОТ по классификации зданий и сооружений различной ответственности с выделением особо опасных объектов, объектов жизнеобеспечения и необходимых для ликвидации ЧС, трудно эвакуируемых зданий и зданий массового пребывания людей.

10. В отличие от требований, предъявляемым к строительным сооружениям в сейсмических районах, где почти все гражданские и промышленные здания рассчитываются на сейсмостойкость, расчетной проверке на цунамибезопасность должны быть подвергнуты далеко не все здания и сооружения. С другой стороны, некоторые из ответственных зданий должны быть не только цунамистойки, но и должны сохранять наперед заданную эксплуатационную пригодность.

11. Расчет на воздействие цунами производится по первому и второму предельному состоянию. При этом расчет цунамистойкости по первому предельному состоянию является обязательным для всех объектов, отнесенных к группе I. Расчет по второму предельному состоянию должен производиться только для причальных и береговых сооружений, отнесенных к объектам жизнеобеспечения, а также для береговых сооружений, отнесенных к трудно эвакуируемым. Результаты расчета по второму предельному состоянию должны удовлетворять соответствующим требованиям надежности в той мере, при которой обеспечиваются требования Заказчика по сохранению эксплуатационной пригодности сооружения, соответствующие исправному, работоспособному или, в крайнем случае, ограниченно работоспособному эксплуатационному состоянию сооружения.

12. В связи с тем, что достоверность данных о разных исходных характеристиках цунами различается для различных участков побережья российских морей и, как правило, не превышает 70 %, что не является удовлетворительным для инженерных расчетов, недостаточная надежность исходных

нормативных данных компенсировалась при переходе к расчетным значениям. Так, например, для всех расчетных исходных данных использован повышающий коэффициент 1.15, а для расчета специальных защитных преград в СП предусмотрен коэффициент перехода к расчетному значению 1.2 и, более того, принимается дополнительное повышение нормативного значения вертикального заплеска на 25 см.

13. Учитывая те же причины, которые упоминаются в предыдущем пункте, была предусмотрена укрупненная градация главного параметра цунамиопасности — высоты заплеска, для чего предложена модифицированная шкала интенсивности цунами (Иида—Имамура—Соловьев—Амбрейсис), в которой каждому последующему баллу I_{is} приписывается количественная характеристика с удвоение высоты заплеска и соответствующие наблюдаемые эффекты с качественной характеристикой последствий цунами. Баллы интенсивности цунами от 0 до VI имеют качественные характеристики (термины): незаметное, очень слабое/заметное, слабое, умеренное/повреждающее, сильное/сильно повреждающее, очень сильное/разрушительное, катастрофическое/уничтожающее. В своде правил излагаются требования, предъявляемые ЦОТ, характеризующимися цунами с I_{is} от II до V баллов. Чтобы завершить шкалу интенсивности, необходимо увязать эффекты, наблюдаемые на строительных сооружениях после цунами, с классом уязвимости этих сооружений.

14. Разработаны конструктивные критерии, соответствующие разным допустимым (или предельным) состояниям здания, а именно: нарушению требуемого эксплуатационного состояния, угрозе жизни или здоровью людей, частичному или полному обрушению здания.

15. Необходимо обращать специальное внимание на расчетные ситуации, связанные с нарушениями структуры и свойств грунтов основания фундаментов сооружений из-за суффозии, размыва-подмыва, разжижения грунта и других негативных процессов, вызываемых накатом и откатом волн цунами.

16. Особое внимание обращается на проблему безопасности ЦОТ, где рассматривается единое сочетание нагрузок, представляющих из себя цепочку воздействий от цунамигенного землетрясения и цунами. В этом случае нужно использовать нелинейные методы расчетного анализа с наблюдаемым или прогнозируемым изменением конструктивной уязвимости зданий в результате каждого отдельного воздействия, включая возможные повреждающие афтершоки.

Для многих типов прибрежных сооружений (причалы, набережные) отмечается, как порою худшая, расчетная ситуация, обусловленная полным уходом потока цунами от рассматриваемого сооружения с понижением уровня моря ниже защемления сооружения в грунт, и сопровождаемая иногда размывом донного грунта.

17. Ключевым объектом стандартизации является урбанизированная ЦОТ, на которой необходимо организовать нормативное регулирование, как минимум, двух аспектов стандартизации: параметра, характеризующего и обеспечивающего сохранение жизни и здоровья людей (населения ЦОТ) и параметра, характеризующего и обеспечивающего не превышение приемлемого уровня материального ущерба в случае ожидаемого/расчетного воздействия цунами.

18. Первоочередным и главным требованием, предъявляемым к проектным решениям, является минимизация риска, связанного с причинением вреда жизни или здоровью людей, то есть всегда и прежде всего, должна соблюдаться механическая безопасность строительного сооружения в рамках ее первого компонента. При расчете отдельных зданий и сооружений индивидуальные риски определять не следует, а соответствующие оценки производятся для застройки ЦОТ в целом.

19. Оценивая разработанный свод правил в целом, с одной стороны, нельзя не отметить то, что в этом пионерном для нашей страны нормативной документе, регулирующем строительное освоение цунамиопасных территорий, удалось впервые внедрить многие передовые подходы и решения, среди которых, прежде всего, разработка численных критериев и допустимых размеров цунами-риска для зданий разного назначения и ответственности, а также для урбанизированной ЦОТ в целом. Однако с другой стороны необходимо понимать, что много недоработок и многого не хватает. В частности, для практического использования разработанного свода правил срочно нужно:

— продолжить исследование уязвимости зданий и сооружений различных конструктивных решений, размеров и форм при воздействии цунами и разработать классификацию цунамиуязвимости основных строительных сооружений;

— категорировать ЦОТ по параметрам опасности цунами (интенсивности, повторяемости, периоду волны, другим резонансно-частотных характеристикам) по расположению к источнику цунами, по способности к эффективной эвакуации и жизнеобеспечению; распределить существующие ЦОТ

в порядке их цунамиопасности, а также выделить наиболее безопасные побережья российских морей, как благоприятные для дальнейшей урбанизации и экономического развития;

— классифицировать застройку ЦОТ с выделением ответственных объектов разного назначения, подлежащих расчету на цунамистойкость и эксплуатационную надежность;

— разработать или использовать существующие программные комплексы по моделированию наката-отката цунами на ЦОТ с учетом взаимодействия потока с группами прибрежных и береговых сооружений, а также с отдельными объектами; учесть влияние турбулентности потока на вымыв/эрозию/суффозию грунтов в основании сооружений;

— разработать детальную методику расчета цунамистойкости и надежности прибрежных и береговых сооружений различных конструктивных решений, формы (обтекаемости) и проницаемости с учетом взаимодействия этих сооружений с грунтовым основанием;

— разработать типовые сценарии бедствия для проектов территориального планирования и в целях оценки вероятных последствий ЧС, вызванных цунами для повышения готовности РСЧС в целом и, в частности, территориальных органов ГОЧС к бедствию, включая рекомендуемые превентивные мероприятия и расчеты необходимых сил и средств.

Чтобы желаемая всеми реализация цунамибезопасности происходила быстрее и эффективнее, нужно объединить усилия океанологов, инженеров строительного профиля и специалистов МЧС в работе по созданию единого, «сквозного» системного комплекса, включающего в себя все этапы от оценки опасности до знания последствий (человеческих потерь и материального ущерба) и значений бедственного риска и, наконец, последовательного внедрения в практику эффективных превентивных мероприятий, включая систему предупреждения о цунами, эвакуацию населения и другие элементы управления ЧС и уменьшения бедствия. Заинтересованные специалисты могут объединиться в рамках созданной в декабре 2016 г. российской Ассоциации инженеров по цунамибезопасности, в учрежденном недавно в Межведомственном Совете по сейсмологии и сейсмостойкому строительству, в Ассоциации «Надежность и Безопасность» и других творческих союзах. И, конечно, следует улучшать федеральные и муниципальные законы, касающиеся землепользования, налогообложения, страхования и других аспектов, необходимых для безопасного и устойчивого развития ЦОТ.

20. При разработке российских норм по проектированию зданий и сооружений в цунамиопасных районах результаты зарубежных исследований учтены в явно недостаточной степени. Российские специалисты не принимали никакого участия в инженерном обследовании последствий цунами 2004, 2010 и, особенно, 2011 г. Несмотря на различия степени урбанизации цунамиопасных территорий, разные климатические условия и различные нормативные законодательства в России и США, принципиальные подходы, требования и рекомендации в нормах цунамибезопасности этих стран не имеют значительных различий, хотя нормы ASCE изложены с важными, полезными комментариями, более подробно, что важно для практического инженера — проектировщика. Рекомендуется выполнить более глубокий сравнительный анализ нормативных подходов и инженерных решений, принятых в России, с аналогичными нормативными документами по строительству в цунамиопасных районах других передовых стран, а также активно интегрировать российских инженеров-строителей в глобальное инженерное сообщество для совместной творческой и результативной работы.

Литература

1. РД 31.33.07-86. Руководство по расчету воздействия волн цунами на портовые сооружения, акватории и территории. Рекомендации для проектирования / Минморфлот, М., 1986.
2. *Klyachko M., Nudner I., Maximov V., Filkov V.* About Regional Standard «Buildings, Structures, and Safety Requirements under Tsunami Impact» // Proc. 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon. Portugal. 2012. Vol. II. P. 8590—8598.
3. *Klyachko M., Nudner I., Maximov V., Filkov V.* On standard «Building, structures and areas. Safety requirements under tsunami impact» // Proc. 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Anchorage. Alaska. 2014. #000441
4. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. Минрегион России. М., 2011.
5. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: Минрегион России, 2014.
6. СП 38.13330.2012. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегион России, 2012.
7. *Клячко М. А.* Развитие экспертных методов для анализа и прогноза надежности и безопасности конструктивно-градостроительных систем // Сейсмостойкое строительство. 1993. № 5. С. 5—10.

8. *Klyachko M.* New lines of approach to the vulnerability assessment, seismic risk analysis management on the urban areas // Int Conf. Continental Collision zone Earthquakes & EQ Hazard Reduction. Armenia, Yerevan, 1993. 50 p.
9. *Klyachko M.* The lessening of Urban Vulnerability is a Main Way to Mitigate the Disaster // Proc. 9th Int. Seminar on EQ Prognostics. San Jose, Costa Rica, 1994. P. 457—460.
10. *Klyachko M.* Urban Disaster Vulnerability Assessment and Lessening is a Key for Save Development // Proc. Conf. Natural Disaster Reduction. (Ed. By George W. Housner and Riley M. Chunf). ASCE, 1996. P. 11—12.
11. *Ngo N., Robertson I. N.* Video analysis of the March 2011 tsunami in Japan's coastal cities // University of Hawaii Research Report. UHM/CEE/12-11. 2012.
12. PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses). Mitigation of tsunami disasters in ports // PIANC Working Group 53. 2010. Brussels, Belgium.
13. PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses). Harbour approach channels: Design guidelines // Appendix C. Typical Ship Dimensions. Report No. 121. 2014. Brussels, Belgium.
14. *Madurapperuma M. A. K. M., Wijeyewickrema A. C.* Response of reinforced concrete columns impacted by tsunami dispersed 20' and 40' shipping containers // Engineering Structures. 56. 10.1016/j.engstruct. 2013. 07.034. P. 1631—1644.
15. National Research Council. Tsunami Warning and Preparedness // An Assessment of the U.S. Tsunami Program and the Nation's Preparedness Efforts. 2011. National Research Council.
16. National Tsunami Hazard Mitigation Program. Proceedings and results of the 2011 NTHMP Model Benchmarking Workshop // NOAA Special Report. Boulder. CO. U.S. Department of Commerce/NOAA/NTHMP. 2012.
17. Presidential Policy Directive. Critical infrastructure security and resilience // PPD-21, U.S. Executive Office of the President. 2013.
18. *Wood N., Church A., Frazier T., Yarnal B.* Variations in Community Exposure and Sensitivity to Tsunami Hazards in the State of Hawai'i // Geological Survey (U.S.) Scientific Investigations Report. 2007-5208. 2007. Report: iv, 38 p.
19. *Wood N.* Variations in City Exposure and Sensitivity to Tsunami Hazards in Oregon // Geological Survey (U.S.) Scientific Investigations Report 2007-5283. 2007. Report: iv, 37 p.
20. *Wood N., Soulard C.* Variations in Community Exposure and Sensitivity to Tsunami Hazards on the Open-Ocean and Strait of Juan de Fuca Coasts of Washington // Geological Survey (U.S.) Scientific Investigations Report 2008-5004. 2008. Report: vi, 34 p.
21. *Wood N., Ratliff J., Peters J.* Community exposure to tsunami hazards in California // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5222. 2013. iv, 49 p.
22. *Wood N., Peters J.* Variations in population vulnerability to tectonic and landslide-related tsunami hazards in Alaska // Natural Hazards. 2015. 75(2). P. 1811—1831.
23. *Synolakis C. E., Bernard E. N., Titov V. V., Kanoglu U., Gonzalez F. I.* Standards, criteria, and procedures for NOAA evaluation of tsunami numerical models // NOAA Technical Memorandum OAR PMEL-135, as modified by the National Tsunami Hazard Mitigation Program. 2007.
24. *Tonkin S. P., Francis M., Bricker J. D.* Limits on coastal scour depths due to tsunami // International Efforts in Lifeline Earthquake Engineering. 2013 / C. Davis, X. Du, M. Miyajima, L. Yan, eds. TCLEE Monograph 38. ASCE. Reston. VA.
25. ASCE (American Society of Civil Engineers). Unified definitions for critical infrastructure resilience // ASCE 2013. Policy Statement 518. Reston. VA.
26. *Chock G.* The ASCE 7 Tsunami Loads and Effects Design Standard for the United States // Handbook of coastal disaster mitigation forengineers and planners. Chapter 21. Elsevier Science and Technology Books, 2015.
27. *Carden L., Chock G., Yu G., Robertson I.* The New ASCE Tsunami Design Standard Applied to Mitigate Tohoku Tsunami Building Structural Failure Mechanisms // Handbook of coastal disaster mitigation forengineers and planners. Chapter 22. Elsevier Science and Technology Books, 2015.
28. ASCE (American Society of Civil Engineers). Minimum design loads for buildings and other structures // ASCE 7-10. 2013. Reston. VA.
29. FEMA (Federal Emergency Management Agency). Coastal construction manual // FEMA P-55. 4th Ed. 2011. V. II. Washington. DC.
30. FEMA. Guidelines for design of structures for vertical evacuation from tsunamis // FEMA. 2nd Ed. 2012. P. 646. 174 p.
31. USACE (U.S. Army Corps of Engineers). Coastal engineering manual (CEM). Chapter VI-6. 2011. EM 1110-2-1100.
32. USACE (U.S. Army Corps of Engineers). Procedures to evaluate sea level change: Impacts, responses, and adaptation. Engineering Technical Letter 1100-2-1. 2014.
33. *Ramsden J. D.* Tsunamis: Forces on a vertical wall caused by long waves, bores, and surges on a dry bed. Report KH-R-54. W. M. Keck Laboratory. California Institute of Technology. 1993. Pasadena.
34. *Synolakis C. E., Bernard E. N., Titov V. V., Kanoglu U., Gonzalez F. I.* Standards, criteria, and procedures for NOAA evaluation of tsunami numerical models // NOAA Technical Memorandum OAR PMEL-135, as modified by the National Tsunami Hazard Mitigation Program. 2007.
35. *Tang L., Titov V. V., Chamberlin C. D.* Development, testing, and applications of sitespecific tsunami inundation models for real-time forecasting // Geophys J. Res. 114. C12025. doi:10.1029/2009JC005476. 2009.
36. *Briggs M. J., Yeh H., Cox, D.* Physical modeling of tsunami waves // Handbook of coastal and ocean engineering. Chapter 39 / Ed. Y. C. Kim. World Scientific Publishing Company, 2010. Singapore. P. 1073—1106.
37. *Park H., Cox D. T., Lynett P. J., Wiebe D. M., Shin S.* Tsunami inundation modeling in constructed environments: A physical and numerical comparison of free-surface elevation, velocity, and momentum flux // Coastal Engineering. 79. 2013. P. 9—21.
38. California Geological Survey. Evaluation and application of probabilistic tsunami hazard analysis in California. Special Report 237. 2015. Sacramento.
39. *Nouri Y., Nistor I., Palermo D., Cornett A.* Experimental investigation of the tsunami impact on free standing structures // Coastal Engineering J. 2010. 52(1). P. 43—70.

40. *Sarpkaya T.* Wave forces on offshore structures. Cambridge University Press, 2010.
41. *Thomas S., Killian J., Bridges K.* Influence of macroroughness on tsunami loading of coastal structures // *Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.* J. 10.1061/(ASCE) WW.1943-5460.0000268, 04014028. 2014.
42. *Xiao H., Young Y. L., Prévost J. H.* Parametric study of breaking solitary wave induced liquefaction of coastal sandy slopes // *Ocean Engineering.* 2010. 37. P. 1546—1553.
43. *Zhang J., Jiang S., Wang Q., Hou Y., Chen Z.* Critical hydraulic gradient of piping in sand // *Proc. of the 11th ISOPE Conf.* 2010. Beijing.
44. *Ge M., Robertson I. N.* Uplift loading on elevated floor slab due to a tsunami bore. Research Report UHM/CEE/10-03. University of Hawaii at Manoa, 2010.
45. *Santo J., Robertson I. N.* Lateral loading on vertical structural elements due to a tsunami bore. Research Report UHM/CEE/10-02. University of Hawaii at Manoa, 2010.
46. *Robertson I. N., Paczkowski K., Riggs H. R., Mohamed A.* Experimental investigation of tsunami bore forces on vertical walls // *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering.* 2013. 135(2), 021601-1–021601-8.
47. *Chock G., Carden L., Robertson I., Olsen M. J., Yu G.* Tohoku tsunami-induced building failure analysis with implications for USA tsunami and seismic design codes // *Earthquake Spectra J.* 2013. 29(S1). P. 99—126.
48. *Chock G., Robertson I., Kriebel D., Francis M., Nistor I.* Tohoku, Japan, earthquake and tsunami of 2011: Performance of structures under tsunami loads // *ASCE.* Reston, VA. 2013.
49. *Carden L., Chock G., Yu G., Robertson I.* The New ASCE Tsunami Design Standard Applied to Mitigate Tohoku Tsunami Building Structural Failure Mechanisms // *Handbook of coastal disaster mitigation forengineers and planners.* Chapter 22. Elsevier Science and Technology Books, 2015.
50. *Chock G.* The ASCE 7 Tsunami Loads and Effects Design Standard for the United States // *Handbook of coastal disaster mitigation forengineers and planners.* Chapter 2. Elsevier Science and Technology Books, 2015.
51. Intergovernmental Oceanographic Commission. Tsunami glossary, 2013 // *IOC Technical Series 85.* United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2013. Paris.
52. *Tang L., Titov V. V., Chamberlin C. D.* Development, testing, and applications of sitespecific tsunami inundation models for real-time forecasting // *Geophys J.* 2009. Res. 114. C12025, doi:10.1029/2009JC005476.
53. *Paczkowski K.* Bore impact upon vertical wall and water-driven, high-mass, low-velocity debris impact. Ph.D. dissertation, Dept. of Civil and Environmental Engineering, 2011.
54. *Naito C., Cercone C., Riggs H. R., Cox D.* Procedure for site assessment of the potential for tsunami debris impact // *Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.* J. 2014. 10.1061/(ASCE) WW.1943-5460.0000222. P. 223—232.
55. *Piran Aghl P., Naito C. J., Riggs H. R.* Full-scale experimental study of impact demands resulting from high mass, low velocity debris // *Struct. Eng. J.* 2014. 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000948, 04014006
56. *Riggs H. R.* et al. Experimental and analytical study of water-driven debris impact forces on structures // *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering.* 2014.10.1115/1.4028338, OMAE-13-1042.