

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ИО РАН,
член-корр. РАН, профессор

Л.И. Лобковский

16 сентября 2016 г.



ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу

Кайстренко Виктора Михайловича

**«ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЦУНАМИ И
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ»**,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 25.00.29 – Физика атмосфер и гидросферы.

Диссертация Виктора Михайловича Кайстренко посвящена актуальной проблеме геофизики – развитию методов оценки цунамиопасности побережий.

Тяжелые последствия морских катастроф последних лет, таких как цунами в Индийском океане в 2004 г., вызвавшего гибель сотен тысяч человек, или японского цунами 2011 г., жертвами которого стали более 15 тыс. человек и в результате разрушения реактора на АЭС "Фукусима" произошли опасные радиоактивные выбросы, показали необходимость повышения требований к строительству береговых и морских объектов (включая морские нефтегазодобывающие комплексы), атомных энергетических установок и др. элементов прибрежной инфраструктуры. Очевидно, что объективная оценка риска затопления жизненно важных объектов в результате цунами представляет огромное практическое значение.

Сегодня расчет повторяемости опасных экстремальных событий (землетрясений, наводнений, оползней и др.) является обязательным этапом изыскательских работ при планировании строительства в прибрежной зоне и на шельфе. В зависимости от типа объекта строительства (жилые помещения, промышленные здания, добывающие платформы, трубопровод, транспортные терминалы и др.) требования к такого рода оценкам могут сильно отличаться. Стандартный подход заключается в том, что на этапе проектных работ, когда определен срок эксплуатации строительного объекта, к примеру, 50 лет, оценивается экстремальный уровень воздействия с вероятностью его непревышения 95% или 99% в течение этого периода времени. Наиболее жесткие требования предъявляются для объектов атомной промышленности.

Прикладное значения данного исследования очевидно, однако необходимо подчеркнуть и число научную (фундаментальную) составляющую результатов исследований. Использование статистики экстремальных значений для оценки редких природных явлений, таких как цунами, является отдельной научной проблемой, сочетающей в себе как чисто математические аспекты при построении статистической модели, так и необходимость учета физических свойств самого экстремального события. Главная заслуга диссертанта как раз и состоит в том, что ему удалось разработать математическую модель, описывающую вероятность возникновения на побережье цунами заданной высоты с учетом особенностей процесса генерации и распространения катастрофических волн в океане.

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во **Введении** обоснована постановка решаемой научной проблемы, поставлены цели и задачи работы и четко сформулированы положения, выносимые на защиту. Обоснована также актуальность работы, ее научная новизна и практическая значимость.

Первая глава содержит критический обзор истории исследований по тематике цунамиопасности и цунамирайонирования, начиная с 60-х годов прошлого столетия. Этот обзор проясняет связь работ автора с цепочкой предшествующих работ.

Вторая глава диссертации – основная, и посвящена анализу структуры функции повторяемости высот волн цунами и построению вероятностной модели повторяемости цунами Пуассоновского типа. В этой главе приведены главные результаты автора.

Показано, что для малых и умеренных амплитуд функция повторяемости имеет степенной вид, а для цунами с экстремальными амплитудами эта функция спадает быстрее степенной, и это позволяет использовать для ее аппроксимации экспоненту с отрицательным показателем. Второй из указанных результатов автором получен на основе анализа относительного вклада разных регионов в формирование функция повторяемости – такой прием использован впервые. Интересный и значимый результат – выявление связи между функцией повторяемости высот цунами в пункте региона и вдольбереговым распределением высот цунами в регионе, и эта связь выражается в виде интегрального соотношения. Логично и обоснованно автор находит определяющие параметры функции повторяемости высот цунами и проясняет их физический смысл: асимптотическая частота сильных цунами f является региональным параметром, а масштабный параметр высоты – характеристическая высота цунами H^* , является локальным параметром, пропорциональным среднему коэффициенту трансформации высоты цунами при ее распространении из океана к берегу.

Также важным является разработка корректного метода получения оценок параметров функции повторяемости вместе с оценками их дисперсий, что позволяет в итоге получать априорные погрешности оценок опасности и риска цунами, и прогнозируемых высот цунами. Последнее важно для понимания уровня обоснованности оценок опасности и риска цунами.

Третья глава диссертации посвящена исследованиям палеоцунами и их использованию для оценок цунамиопасности. Поскольку качество таких оценок очевидным образом зависит от имеющегося натурального материала по высотам цунами, но надежный количественный натуральный материал относится в основном к событиям последних десятилетий, так что указанное обстоятельство заставляет изучать следы доисторических событий. В течение ряда лет автор являлся участником многих экспедиционных исследованиях палеоцунами на Курильских островах, Сахалине и в Приморье, в Индонезии. Им показано, что несмотря на серьезные проблемы, связанные с использованием палеоданных – это направление исключительно перспективное в направлении использования палеоданных для получения надежных оценок цунамиопасности. Автор приводит конкретные примеры построения функции повторяемости цунами на базе данных об исторических событиях и палеоцунами.

Четвертая глава диссертации посвящена анализу особенностей поведения цунами вблизи берега. Это в первую очередь разработанный автором приближенный аналитический метод «продолжения» волнового поля цунами вплоть до уреза, использующий в качестве исходных данных результаты численного распространения цунами в рамках линейной модели вплоть до некоторой искусственной «стенки» на глубинах порядка 5–10 м. Использование этого метода проиллюстрировано на примерах моделирования двух цунами – Окуширского 12 июля 1993 года и Чилийского 27 февраля 2010 года и показало хорошее соответствие между модельными и реально наблюдаемыми на берегу высотами цунами.

Другая часть этой главы посвящена аналитической теории нелинейной трансформации волн цунами на мелководье и наката на плоский однородный откос в рамках одномерной модели мелкой воды. Здесь получен ряд интересных результатов. Прежде всего показано, что трансформации волны в окрестности уреза характеризуется единственным безразмерным параметром Br , зависящим от высоты волны h , ее периода τ и уклона дна α . В частности, получено, что, максимальное абсолютное значение скорости потока реализуется на подвижном урезе в мористой части на относительном расстоянии $\alpha x/h = Br/2$. Для случая наката волны без разрушения ($Br < 1$) получены приближенные аналитические

формулы для максимальных значений высот цунами и скоростей течения в зоне близкой к урезу воды.

В пятой главе представлена разработанная автором технология создания карт цунамирайонирования на основе натуральных данных о наблюдаемых высотах волн цунами, основанная на теоретических и методических результатах диссертанта, изложенных в главах 2–4. Для побережья Южных и Северных Курильских островов такие карты построены группой под руководством В.М. Кайстренко по параметрам h_{50} и h_{100} – высотам цунами периодом повторяемости 50 и 100 лет. Для побережья Камчатки и Японского моря построены пока только скелеты таких карт, содержащие параметры вероятностной модели f и H^* для набора базовых точек побережья с надежными рядами данных об исторических цунами

В Заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Главным результатом диссертации необходимо признать выявление связи между функцией повторяемости высот цунами в заданном пункте наблюдения и вдольбереговым распределением высот цунами в регионе. Полученная модель распределения вероятности (или функции повторяемости) содержит всего два определяющих физических параметра: асимптотическая частота сильных цунами f , наблюдаемая в данном регионе, и масштабный параметр – характеристическая высота цунами H^* . Известно, что надежность статистических оценок, в частности периода повторяемости редких событий, зависит от качества данных и их обеспеченности (количества измерений). К сожалению недостаток инструментальных данных и достоверных архивных сведений о проявлении цунами на Дальневосточном побережье РФ ограничивает возможность адекватного математического описания статистики цунами. Для некоторых пунктов, расположенных на Курильских островах и Камчатке, количество зарегистрированных событий цунами ограничивается всего лишь 3–5 случаями. Эффективность предложенной диссертантом физической параметризации заключается в том, что при построении эмпирической функции распределения в рамках разработанной модели можно использовать данные, полученные в нескольких пунктах региона и тем самым существенно увеличить статистическую обеспеченность оценок повторяемости для заданного пункта.

Новым и перспективным направлением в разработке методов оценки цунамиопасности является изучение геологических отложений цунами (палеоцунами). В диссертации впервые изложен подход к систематизации и использованию результатов анализа отложений на побережье Курильских островов и Камчатки для оценки цунамиопасности. Период

инструментальных наблюдений цунами на Дальнем Востоке РФ для большинства населенных пунктов не превышает 50–60 лет, а первые исторические свидетельства о проявлении цунами относятся к 18-му веку. Поэтому геологические следы древних цунами могут значительно расширить статистику наиболее редких, но мощных событий и тем самым существенно улучшить достоверность оценки цунамиопасности. Следует отметить, что В.М. Кайстренко неоднократно был организатором проведения экспедиционных исследований по поиску отложений цунами.

Одним из важных вопросов при моделировании цунами – это оценка наката волны на побережье. Как правило в численных моделях расчетная область искусственно ограничивается на мелководье стенкой на глубине 5–10 м. Чтобы оценить высоту волны на урзе необходимо использовать дополнительную процедуру, учитывающую трансформацию падающей волны при выходе ее на мелководье. Автором был разработан приближенный аналитический метод «продолжения» волнового поля цунами вплоть до уреза, использующий в качестве исходных данных результаты численного модельного расчета. В диссертации изложена также аналитическая теория наката и нелинейной трансформации волны на плоском откосе в рамках одномерной модели мелкой воды.

Своего рода обобщающий результат диссертации приведен в главе 5, где содержится описание разработанной методики цунамирайонирования и представлены рассчитанные карты экстремальных значений высоты цунами для побережья Южных и Северных Курильских островов с повторяемостью 50 и 100 лет. Расчет эмпирических функций повторяемости был выполнен в соответствии с 2-х параметрической моделью распределения вероятности, предложенной автором. Этот прикладной результат имеет огромное значение для будущего использования в строительных инженерных расчетах и при оценках страхового риска.

Следует, однако отметить и ряд недостатков диссертации. Один из главных – это ограниченность применимости предложенного метода расчета эмпирической функции повторяемости. Основываясь на ограниченной по времени выборке данных наблюдений нельзя быть уверенным в оценке экстремальных значений высот цунами с повторяемостью большей, чем сам период наблюдений. В книге Германа и Левикова (1971) при обсуждении проблемы экстраполяции эмпирических функций распределения в область малых вероятностей превышения отмечается: «Следует иметь в виду, что даже наилучшим образом аппроксимированная эмпирическая функция распределения максимумов не гарантирует достоверность экстраполированных значений». Если длительность наблюдений составляет 100 лет, то события с частотой 10^{-3} год⁻¹ и меньше находятся за пределами

возможностей «разумной» эмпирической экстраполяции. Тем не менее при строительстве АЭС подлежат учету все природные воздействия с частотой возникновения более 10^{-4} год⁻¹ (период повторяемости до 10^4 лет). Для оценки повторяемости таких редких событий необходимо применение известного вероятностного подхода к оценке цунамиопасности, основанного на модели сейсмичности региона.

Выводы по главам сделаны только для второй и пятой глав. Отсутствие выводов для других глав вызывает у читателя некоторую растерянность.

Автор употребляет термины «слабое», «умеренное», «катастрофическое» цунами, не давая при этом четкого определения этих терминов.

Несмотря на указанные недочеты диссертация В.М. Кайстренко представляет собой законченное научное исследование с четкими и убедительными результатами. Текст диссертации написан хорошим языком, а структура изложения логична. По теме опубликовано 38 работ, в том числе 21 в реферируемых журналах из списка ВАК РФ, 6 в сборниках докладов международных конференций, 2 статьи в продолжающемся издании *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 9 – прочие. Эти научные публикации в полной мере отражают содержание исследований, основные выводы и защищаемые положения диссертации. Результаты работы докладывались соискателем на общероссийских и международных конференциях. Текст автореферата диссертации соответствует содержанию диссертации.

Фактически результаты научных изысканий автора составляют самостоятельное направление среди многочисленных работ по оценке риска цунами. Совокупность теоретических и практических результатов автора можно квалифицировать как значительное достижение в физике океана – создание новой концепции в оценке цунамиопасности. Разработанные модели и методы имеют важное научно-методическое значение для развития физического понимания такого явления как цунами. С другой стороны, следует указать на значимость результатов исследований в практическом (прикладном) смысле. Ряд методик и оценок диссертации может быть непосредственно внедрены в практику инженерных расчетов в процессе планирования строительных объектов в прибрежной зоне и оценки страховых рисков их эксплуатации.

Таким образом, диссертационная работа Кайстренко В.М. соответствует критериям п. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявля-

емым к докторским диссертациям. Автор диссертации «Вероятностная модель повторяемости цунами и количественная оценка цунамиопасности» Кайстренко Виктор Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Отзыв обсужден на открытом семинаре лаборатории цунами 15 сентября 2016 г. (протокол № 4).

Отзыв составил:

Куликов Евгений Аркадьевич,
доктор физ.-мат. наук,
заведующий Лабораторией цунами им. Академика С.Л. Соловьева Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, (ИО РАН).
Тел.: 8(499)124–87–13

E-mail: kulikove@ocean.ru

16 сентября 2016 г.



Евгений Аркадьевич Куликов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

Фактический адрес: 117997, Москва, Нахимовский проспект д.36

<http://ocean.ru/>

E-mail: kulikove@ocean.ru

Тел.: 8 (499) 124–59–96

