

*А.Н. Манько, М.Г. Диденко, В.Н. Храмушин,
ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Владивосток,
Сахалинское отделение Российского научно-технического
общества судостроителей им. А.Н. Крылова*

ОЦЕНКИ ЦУНАМИОПАСНОСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Введение

Быстрое развитие современных вычислительных ресурсов и создание высокоточных батиметрических массивов предполагает необходимость совершенствования контроля опасных морских явлений как в плане долгосрочных режимных прогнозов, так и с целью заблаговременного предупреждения чрезвычайных ситуаций. Владивосток и ближайшие районы во всё большей степени застраиваются объектами промышленного, социального и жилого назначения. Оценка воздействия опасных морских явлений на береговую зону приобретает особое значение, так как многие из возводимых объектов находятся непосредственно у береговой черты. Цунами, хотя и очень редкое природное явление, характеризуется значительными разрушительными последствиями. По историческим данным, на побережье залива Петра Великого не наблюдались цунами с катастрофическими последствиями, тем не менее, от этого задача оценки возможных величин волн цунами не становится менее актуальной.

Имеются многочисленные работы, посвященные исследованию цунами в Японском море с использованием прямого численного моделирования [3, 6 и др.]. Район залива Петра Великого в этих исследованиях рассматривался наряду с другими районами побережья Приморского края.

В рамках настоящих исследований анализируются результаты вычислительных экспериментов по моделированию цунами в заливе Петра Великого, вызванных сейсмическими очагами подводных землетрясений в различных районах цунами-генной зоны в Японском море, расположенной вдоль побережья Японии.

Краткое описание используемой модели и задаваемых параметров при проведении вычислительных экспериментов

Вычислительные эксперименты проводились с использованием лицензионного программного обеспечения лаборатории вычислительной гидромеханики и морских исследований Сахалинского государственного университета, представляемого и поддерживаемого авторами для проведения научных исследований [10–13]. В основу программного комплекса положены уравнения длинных волн. При допущениях малости конвективных эффектов эти уравнения идентичны гиперболическим уравнениям второго порядка и не включают механизмы трансформации вихревых течений [6]. В случае приведения всех моделируемых полей к гладким дифференцируемым функциям, а именно к рассмотрению градиентов изменения уровня моря и дивергенции полных потоков, вычислительная модель

будет более соответствовать определению прямого вычислительного эксперимента на недифференцируемых распределениях весовых функций – сложном рельефе морского дна.

В программном комплексе ANI реализована схема выделения элементарного вычислительного объекта в дискретном разбиении пространственного поля с двойным пространственным дифференцированием (как линейной аппроксимации физических полей), моделирующих уравнения движения второго порядка (рис. 1). Дифференциальные (разностные) операции на сеточных узлах соотносятся с центрами масс пространственных ячеек, чтобы в последующих аппроксимациях восстанавливалось состояние моделируемой сплошной среды в исходных сеточных узлах с учетом кинематических смещений условно независимых частиц жидкости.

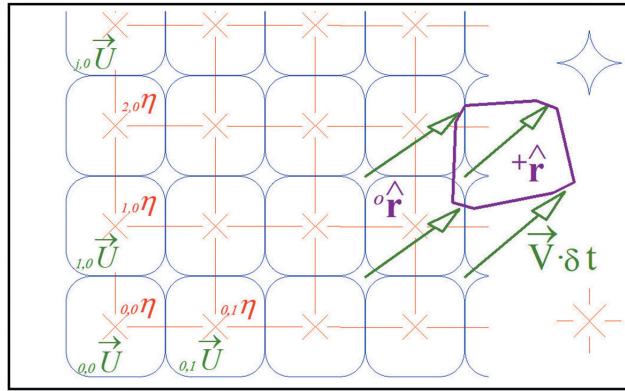


Рис. 1. Схема выделения элементарного вычислительного объекта, реализованная в программном комплексе ANI

В полном виде схема вычислительных процедур включает решение уравнений движения (рис. 2, I этап), учет конвективности (рис. 2, II этап) и выполнение условия неразрывности (рис. 2, III этап). Длинноволновые вычисления допускают возможность пропуска конвективного этапа в случае малости высоты волны цунами по отношению к глубине моря. Практическое использование вычислительного эксперимента ограничивается двумя этапами вычислений: I – моделирование кинематики свободных частиц жидкости; III – изменение уровня моря компенсирует накопление внутренней кинетической энергии для этих же частиц. Постановка прямого вычислительного эксперимента изначально в конечных разностях приводит к приемлемому согласованию результатов расчета с практическими наблюдениями за моделируемыми природными явлениями, что делает актуальным изучение математических моделей именно в такой физической постановке.

I этап	→	$\delta \vec{U} = g H \cdot \frac{\partial \eta}{\partial \vec{r}} \delta t$	Уравнение движения (внешнее воздействие)
II этап	→	$\delta \tilde{U} \cong \frac{\partial \vec{V}}{\partial \vec{r}} \vec{V} \cdot H \delta t$	Конвективность (деформация и смещение)
III этап	→	$\delta \eta = \left(\frac{\partial \tilde{U}}{\partial \vec{r}} \right) \delta t$	Условие неразрывности (захват энергии движения)

Рис. 2. Схема вычислительных процедур

В программном комплексе ANI [14] в исследовательских целях допускается включение в вычислительную модель этапа II, который, по сути, является интерполяционным оператором для учета малых, но конечных смещений моделируемых частиц жидкости. В общем случае данное включение переводит процесс моделирования к решению полной задачи гидромеханики, с учетом таких реологических свойств жидкости, как вязкость, упругость и сжимаемость. В задаче о цунами в такой постановке рассматриваются варианты моделирования волн «большой амплитуды», что требуется, например, при постановке задачи о моделировании плоского неразрушающегося наката на пологий берег.

Прямой вычислительный эксперимент с использованием разделения физических решений по линейным пространственным аппроксимациям гладких неразрывных полей, задействованный в универсальном программном комплексе ANI для моделирования длинноволновых явлений в океане и вблизи побережья, дает возможность сквозной физической интерпретации всех вычислительных операций и эмпирических аппроксимаций возникновения цунами, что приводит к вполне адекватным результатам моделирования в сопоставлении с наблюдениями реальной гидромеханики океана. Это подтверждается многочисленными исследованиями [1, 6, 9, 15, 16 и др.].

Важнейшей задачей при моделировании цунами является способ задания очага цунамиоопасного землетрясения. В рассматриваемом программном комплексе реализована гидродинамическая модель очага цунами, которая основана на макросейсмических аппроксимациях параметров подводного землетрясения. Модель характеризуется реализацией гидродинамического отклика на кратковременные и интенсивные сейсмические сотрясения морского дна, приводящие к оползневым явлениям и дисперсионным эффектам трансформации длинных волн в акваториях с высокодобротными осцилляторами собственных колебаний уровня моря. Таким образом, строго определяются геометрические построения и устанавливаются начальные параметры движения волн цунами:

- главные оси эллиптической деформации поверхности моря ориентируются по направлениям преобладающих изобат и берегового уреза;
- в зависимости от крутизны наклона морского дна, в мористой зоне сейсмического очага устраивается фронт волны цунами с подъемом уровня моря, по макросейсмическим оценкам, переходящим в отрицательную полуфазу волны, с опусканием уровня ближе к побережью до 25–30 % от величины фронта на глубокой воде;
- на наклонном дне положительной и отрицательной полуфазам волн цунами придается начальный импульс движения в направлении меньших глубин, для чего очаг инициируется векторным полем до 30–40 % от полного потока прогрессивной волны;
- на ровном дне подъем уровня стационарный, начальной скорости движения фронта не доопределяется [11].

При проведении вычислительных экспериментов очаги цунами задавались с использованием рассмотренной вычислительной модели [11], которые

автоматически формируются в программном комплексе ANI [16]. Размеры очага составляли 205 на 80 км по осям эллипса, высота – 1 м. Направленность определялась таким образом, чтобы воздействие волны цунами на залив Петра Великого было наибольшим.

При расчетах за основу была взята батиметрия, сформированная для побережья Приморского края, с шагом сетки 300 м [4, 14], а для залива Петра Великого использована батиметрия, рассчитанная компанией TCarta Varine, LLC (<https://www.tcarta.com/>) с разрешением менее 50 м. Общий массив батиметрии был сведен по исходным батиметрическим материалам к шагу расчетной сетки в 150 м. Данный масштаб обеспечивал достаточную детализацию особенностей береговой черты залива Петра Великого.

Для оценки степени сходства результатов расчета с данными реальных цунами были взяты результаты численного эксперимента для цунами, произошедшее 26 мая 1983 года, и данные исследований Поляковой, проведенных после цунами на основе опроса очевидцев и анализа следов цунами [7,8]. Для случая, когда наблюдались волны цунами до 1,5 м, результаты численного моделирования хорошо совпадали с данными наблюдений: 1,0 и 1,1 м соответственно. Для заплесков, превышающих 1,5 м, величины численных экспериментов дают более низкие значения высот волн цунами: 1,3 и 3,1 м соответственно. Это различие объясняется тем, что высокие значения заплеска, как правило, наблюдались в местах с обрывистыми берегами, тогда как результаты модели дают величину волны у берега. Таким образом, данная модель показывает вполне адекватные результаты в сопоставлении с наблюдениями.

Для оценки результатов численных экспериментов в программном комплексе ANI предусмотрена возможность записи характеристик волны для заданных точек (пунктов), которые в дальнейшем, по аналогии с мареографами, в статье называются «виртуальными мареографами», или «мареографами». Для оценки результатов расчетов вдоль всего побережья залива Петра Великого были расставлены виртуальные мареографы, всего 178 мареографов. Для сжатия информации данные мареографов осреднялись для выбранных 12 районов вдоль побережья залива Петра Великого, а также для всей области залива. Кроме того, были расставлены мареографы вдоль четырех разрезов, один из которых был задан в глубоководной части моря перед материковым склоном, остальные – в шельфовой зоне залива Петра Великого (рис. 3). Анализировались амплитуды (высоты) волн цунами, равные сумме максимальных положительных и отрицательных составляющих волны.

Результаты численных экспериментов и их анализ

Особенностью Японского моря является то, что цунами, эпицентры которых расположены в открытых частях Тихого океана, проникают в море в виде слабых волн и не представляют интереса с точки зрения оценки цунамиопасности побережья Приморского края. В Японском море имеется зона мелкофокусных землетрясений, способных генерировать цунами, которая располагается на шельфе

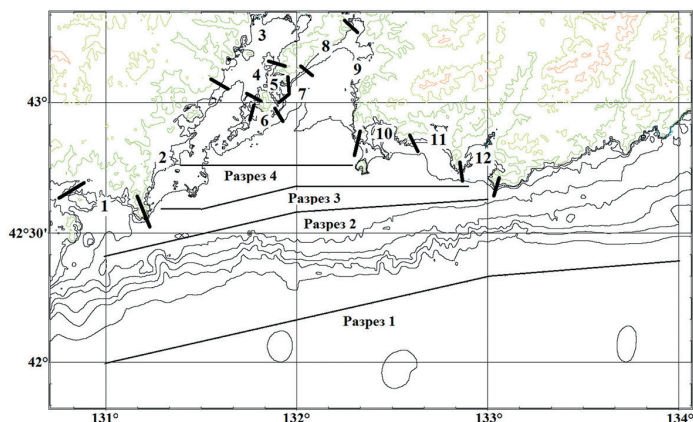


Рис. 3. Разрезы, вдоль которых были расставлены мареографы, и районы на побережье залива Петра Великого, для которых данные мареографов осреднялись

и подводном склоне глубоководной котловины вдоль западных побережий островов Сахалин, Хоккайдо и Хонсю [5]. В настоящих исследованиях численные эксперименты проводились для очагов цунами, расположенных в зоне мелкофокусных землетрясений вдоль Японских островов.

Для выявления закономерностей изменений амплитуд волн цунами в зависимости от расположения очагов цунамиопасных землетрясений предварительно рассчитывались кинематические карты, которые строились с помощью кинематической модели, реализованной в программе ANI. Анализ распространения волновых фронтов и волновых лучей позволяет выявить участки побережья с наибольшей концентрацией волновой энергии, обусловливаемой фокусировкой фронта для первого вступления волны [6].

Анализ построенных карт распространения волновых лучей от эпицентров цунамиопасных землетрясений показал, что выявляется зона, где значительное влияние на деформацию фронта волны цунами и, соответственно, на форму волновых лучей оказывает возвышенность Ямато. Вследствие того, что фронт над возвышенностью замедляет свой ход, после прохода возвышенности справа и слева фронт несколько разряжается, распространяясь в область, где произошло отставание фронта. Таким образом, за возвышенностью образуется область сходимости волновых лучей, образуя зону увеличения волновой энергии. Так как за возвышенностью Ямато к северу расположена значительная по размерам глубоководная котловина, следует ожидать концентрации волновой энергии на довольно узком участке побережья, расположенном по линии эпицентр землетрясения – возвышенность (середина возвышенности) Ямато. Для залива Петра Великого концентрация волновой энергии будет наблюдаться в случае, когда эпицентр цунами находится в районе 38° с. ш., 136° в. д. у берегов Японских островов (рис. 4а).

При положении очагов к западу и к востоку от 136° в. д. наблюдается значительный изгиб волновых лучей, которые достигают района залива Петра Великого, то есть следует ожидать ослабления волновой энергии в заливе Петра Великого.

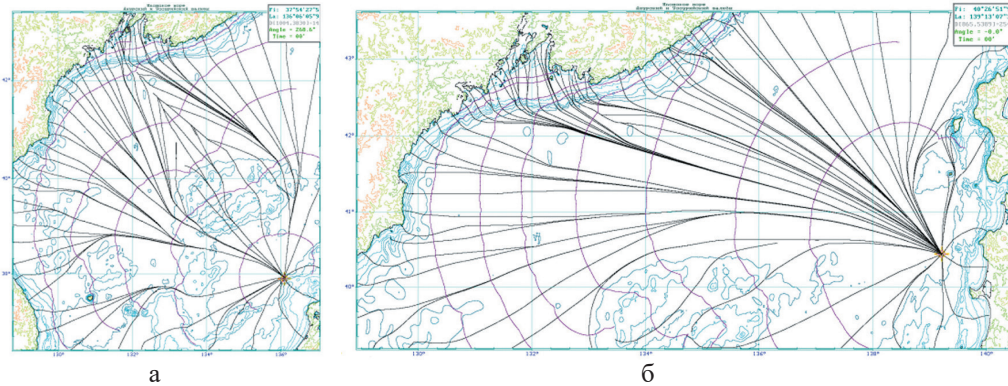


Рис. 4. Карта распространения волновых лучей и фронтальной зоны от эпицентра на 38° с. ш., 136° в. д. (а) и от эпицентра на 40° с. ш., 139° в. д. (б)

К северу вдоль цунамигенной зоны из района расположения очага примерно на 40° с. ш., 139° в. д. наблюдается минимальный изгиб лучей, направленных в сторону залива Петра Великого (рис. 4б). Севернее и южнее наблюдается ослабление волновой энергии, и, соответственно, следует ожидать уменьшение высот волн цунами от очагов землетрясений, расположенных в этих районах.

Выбор очагов для проведения численных экспериментов определялся результатами анализа карт распределения волновых лучей. Было выбрано 8 гипотетических очагов землетрясений, нумерация и координаты которых представлены в таблице и на рис. 5.

Эпицентры 3 и 7 соответствуют районам с возможными наибольшими величинами высот волн цунами в заливе Петра Великого. Следует отметить, что

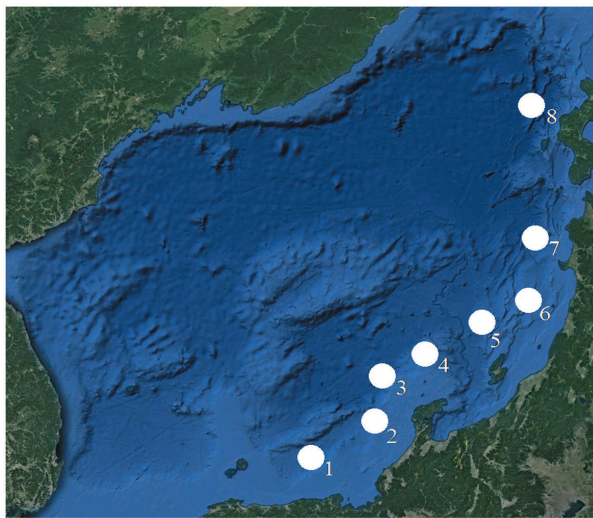


Рис. 5. Положение очагов землетрясений при проведении вычислительных экспериментов по моделированию цунами в Японском море

эпицентры 7 и 8 соответствуют эпицентрам землетрясений, вызвавшим цунами в 1983 и 1993 гг. соответственно.

Результаты численных экспериментов представлены в виде средних высот волн для всего залива Петра Великого (рис. 6). Как и следовало ожидать, максимальные амплитуды волн цунами в районе залива Петра Великого наблюдались от очага землетрясения 3, амплитуда волн цунами от очагов 2 и 4 значительно ниже. Данная зависимость служит подтверждением выводов, сформулированных при анализе карт распространения волновых лучей.

Таблица 1. Номера и координаты выбранных эпицентров землетрясений (с. ш., в. д.)

Номер эпицентра	1	2	3	4	5	6	7	8
Широта	36°26'	37°08'	37°54'	38°17'	38°52'	39°17'	40°26'	42°51'
Долгота	134°40'	135°58'	136°05'	136°55'	138°07'	139°06'	139°12'	139°12'

Достаточно протяженная глубоководная котловина после возвышенности Ямато приводит к фокусировке волновой энергии в районе залива Петра Великого. Небольшое смещение очага к востоку и западу приводит к тому, что зона концентрации волновой энергии смещается, соответственно, к западу и востоку, что обуславливает значительное уменьшение амплитуды волны в заливе.

Второй максимум наблюдался в районе очага 7, что также связано с особенностями рельефа дна Японского моря. От очагов, расположенных в данном районе, прохождение волн осуществляется вдоль глубоководной котловины без значительного рассеивания волновой энергии, вызванной неоднородностью рельефа дна. Для очага 6 отклонение распространения волны вызвано восточной окраиной возвышенности Ямато, а для очага 8 – влиянием берегового склона, которые

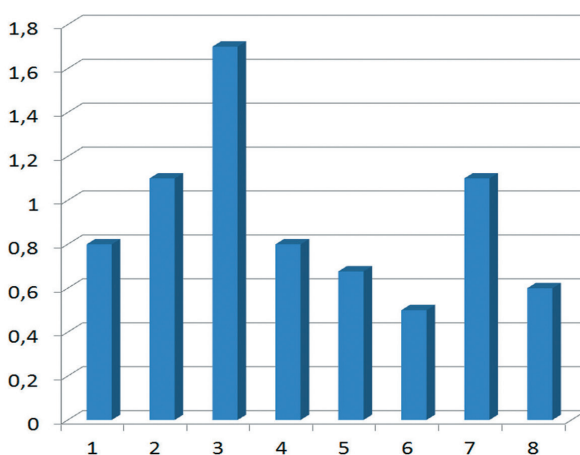


Рис. 6. Средние для залива Петра Великого амплитуды волн цунами по данным проведенных экспериментов для 8 очагов (м)

обуславливают деформацию волнового фронта и, соответственно, рассеивание волновой энергии, достигающей района залива Петра Великого.

Следует также отметить, что амплитуда волн цунами от очага 3 примерно в 1,5 раза больше амплитуды волн от очага 7, который соответствует положению очага цунами 1983 года.

Полученные закономерности подтверждают результаты численных экспериментов, проведенных ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ИВТ СО РАН, ИВМ и МГ СО РАН [2]. По данным из [2] был выбран участок цунамиопасной зоны, соответствующий району проведенных в настоящих исследованиях экспериментов (рис. 7).

Для каждого из выбранных источников рассчитывались величины амплитуды волн цунами, равные сумме максимальных положительных и отрицательных составляющих волны, которые осреднялись по данным защищаемых пунктов в заливе Петра Великого – всего 10 пунктов. Графики строились для очагов, отмеченных на рисунке буквами а, b, с (рис. 8).

Обращает на себя внимание значительное различие величин амплитуд, полученных по результатам численных экспериментов в настоящих исследованиях и по данным ФГБУ «НПО «Тайфун» [2]. Различия обусловлены многими факторами, их анализ не входит в рамки настоящих исследований. Но их изменчивость вдоль цунамигенной зоны в целом совпадает с результатами проведенных нами экспериментов.

Следует также отметить, что превышение максимума амплитуды очага 3b по сравнению с очагом 6b, который наиболее близко расположен к очагу землетрясения, вызвавшего цунами в 1983 году, составляет 2,3 раза.

Для выявления закономерностей распространения волны цунами в шельфовой зоне залива Петра Великого был проведен анализ распределения амплитуды волны

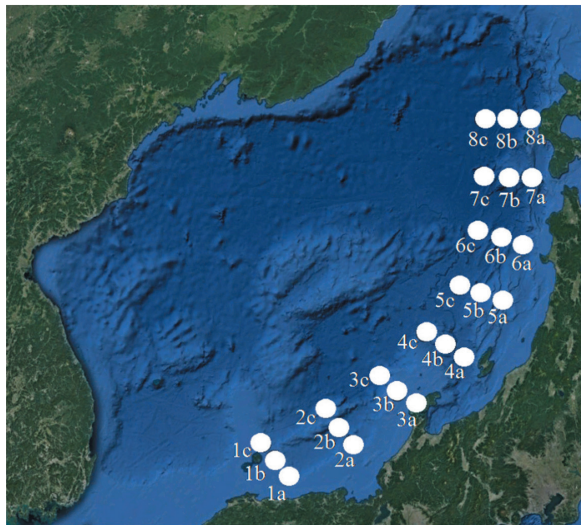


Рис. 7. Положение очагов цунамиопасных землетрясений цунами, заданных в [2]

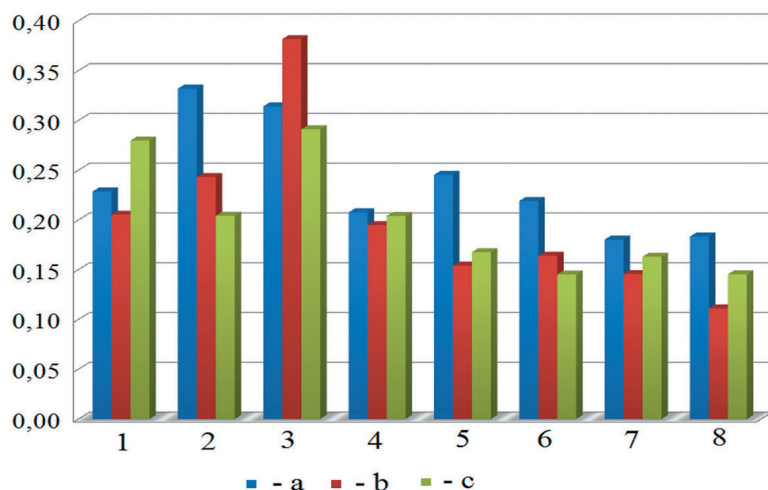


Рис. 8. Средние амплитуды волн цунами (м) для разных очагов для залива Петра Великого (по данным [2])

цунами перед материковым склоном (разрез 1, рис. 2) и на шельфе залива Петра Великого (разрезы 2–4, рис. 2).

Проведенный анализ распределения амплитуд по разрезам от очагов 3 и 7 показал, что в глубоководной части (разрез 1, рис. 9) при подходе волны от очага 3 величина амплитуды примерно в 2 раза выше, чем от очага 7. Величины амплитуд от очага 3 имеют слабовыраженный максимум в районе $132,4^\circ$ в. д. (рис. 9). При подходе волны от 7 очага отмечается понижение амплитуд вдоль разреза с востока на запад.

После прохождения материкового склона величины амплитуд возрастают примерно в два раза. Характер распределения амплитуд волн цунами вдоль разрезов меняется. Более четко эти изменения прослеживаются от эпицентра 3 и заключаются в следующем. В районе $131,7^\circ$ в. д. на всех разрезах в шельфовой зоне наблюдается минимум амплитуд. Можно говорить и о минимуме в районе $132,6^\circ$ в. д. На рис. 2 видно, что в этих местах материкового склона наблюдаются ложбины.

Соответственно, после прохождения материкового склона образуется зона расхождения волновых лучей, а справа и слева наблюдаются зоны их сходимости, что приводит к возрастанию амплитуд волн цунами по сравнению с соседними районами. Для эпицентра 7 подобная закономерность также прослеживается, хотя и менее четко выражена. Сходные закономерности распространения волн цунами наблюдаются и по данным экспериментов, проведенных от других очагов.

Таким образом, вследствие того, что рельеф дна залива Петра Великого характеризуется развитым мелководьем и крутым материковым склоном, изрезанным подводными ложбинами (каньонами), при прохождении волн цунами могут наблюдаться зоны разрежения и концентрации волновой энергии, которые могут быть достаточно сильно выраженными и наблюдаться в том или ином районе.

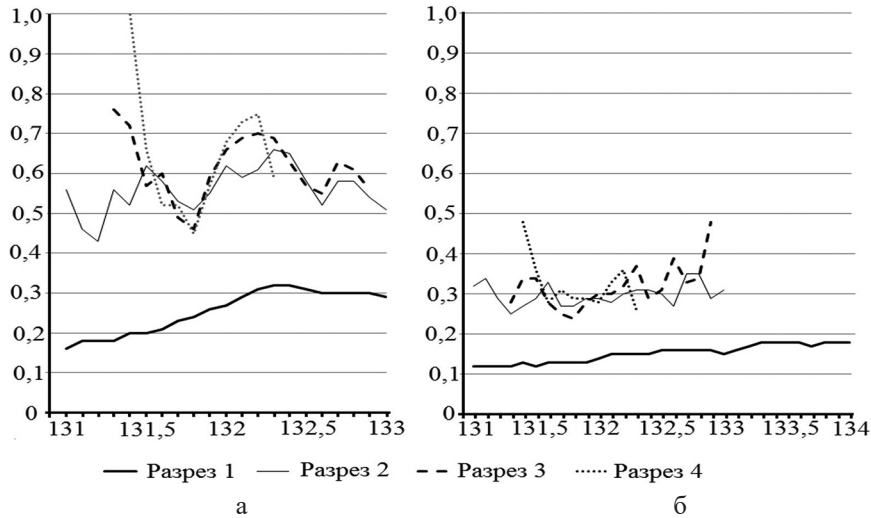


Рис. 9. Распределение амплитуд волн цунами по разрезам от очага 3 (а) и очага 7 (б).
Величина амплитуд (вертикальная ось) дана в метрах

Анализ изменчивости амплитуд волн цунами на побережье залива Петра Великого проводился для выделенных 12 районов, границы и номера которых показаны на рис 2. Расчеты амплитуды волн цунами по районам проводился для всех очагов. На рис. 10 представлены величины амплитуд для очагов 3 и 7, которые в целом отражают изменчивость от района к району для остальных очагов.

Как видно из графика, амплитуды волн цунами по всем районам от очага 3 выше, чем от очага 7.

Обращает на себя внимание минимум величин амплитуд волн цунами для района 3 и 4, которые соответствуют средней и северной частям Амурского залива. Это объясняется несколькими факторами, среди которых: ослабление волновой

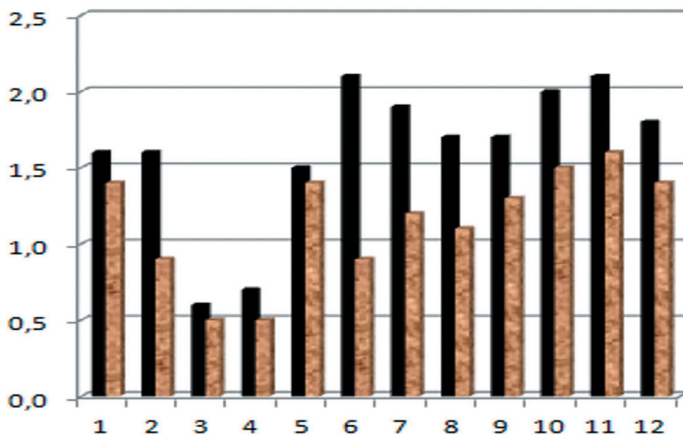


Рис. 10. Амплитуда волн цунами по районам (м). Черный цвет – для очага 3, серый – для очага 7

энергии после прохождения ложбины на материковом склоне в районе $131,7^\circ$ в. д., достаточно узкий вход в Амурский залив и большая протяженность хода волны цунами в заливе, небольшие глубины Амурского залива.

Рассматривая изменения амплитуд волн от района к району для 3 и 7 очагов, можно отметить следующее. Например, для районов 6–9: это южная часть о. Русский (район 6), южная и северная части западного побережья Уссурийского залива (7 и 8 районы) и восточная часть Уссурийского залива (район 9). По данным от очага 3 видно, что для южной части острова Русский наблюдаются максимальные амплитуды, к северу они уменьшаются, причем для районов 8 и 9 они примерно одинаковы. По данным от очага 7 максимальное значение амплитуд наблюдается для восточной части Уссурийского залива. В южной части острова Русский – наименьшие величины, то есть наблюдается обратная тенденция. По данным от остальных очагов также наблюдается различный характер изменения амплитуд волн цунами от района к району. Различия амплитуд от района к району не столь значимы по сравнению с амплитудой в Амурском заливе. Данный факт, как уже отмечалось, обусловлен наличием ложбин (каньонов) в материковом склоне и достаточно большой протяженностью шельфовой зоны.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что особенности рельефа дна Японского моря в довольно существенной степени влияют на величину амплитуд волн цунами в районе залива Петра Великого.

Максимальная амплитуда волн наблюдается для очага, расположенного в районе 136° в. д., что обусловлено концентрацией волновой энергии за возвышенностью Ямато.

Второй максимум, который в полтора–два раза меньше основного, отмечается для эпицентров, расположенных в районе северной части острова Хонсю (139° в. д., 40° с. ш.). Для этого района распространение волн в направлении залива Петра Великого проходит прямолинейно над глубоководной частью котловины, рассеивание энергии, вызванное неоднородностью рельефа дна, минимально. Второй максимум соответствует положению эпицентра цунами 1983 года. Следовательно, в случае возникновения землетрясения в районе 136° в. д. с магнитудой порядка 7,7–7,8, волны цунами на побережье залива Петра Великого могут быть примерно в полтора–два раза больше по сравнению с цунами 1983 года.

Установлено, что ложбины (каньоны) материкового склона оказывают влияние на распространение волн цунами в заливе Петра Великого. Наблюдается ослабление волновой энергии в одних районах побережья залива и усиление в других. В зависимости от положения очага цунами эти районы могут смещаться.

В Амурском заливе по данным численных экспериментов отмечаются минимальные значения амплитуды волны цунами по сравнению с другими районами залива Петра Великого. Одним из факторов уменьшения амплитуды волн цунами, достигающих Амурского залива, является ослабление волновой энергии после прохождения ложбины на материковом склоне в районе $131,7^\circ$ в. д.

Литература

1. Иващенко А. И., Гусяков В.К., Храмушин В.Н., и др. Шикотанское цунами 5 октября 1994 г. // ДАН. – 1996. – Т. 348. – № 4. – С. 532–538.
2. Косых В.С., Чубаров Л.Б. Гусяков В.К., Камаев Д.А., Григорьева В.М., Бейзель С.А. Методика расчета максимальных высот волн цунами в защищаемых пунктах побережья Дальнего Востока Российской Федерации. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов // ИНГГ СО РАН. – 2013. – № 40. – С. 115–134.
3. Куркин А.А. Пелиновский Е.Н., Чой Б.Х., Ли Д.С. Сравнительная оценка цунамиопасности япономорского побережья России на основе численного моделирования // Океанология. – 2004. – Т. 4. – № 2. – С. 179–188.
4. Минервин И. Г., Храмушин В.Н. «Батиметрия» – Цифровые батиметрические массивы (Охотское море) // СахГУ, Роспатент № 2010620626 от 22 октября 2010 г.
5. Наумов С. Б, Терехов А.И. Цунамиопасные землетрясения в Японском море // Сборник трудов конференции «Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике». – Пермь, 18–22 марта 2013 года. – С. 195–199.
6. Поплавский А. А., Храмушин В.Н., Непоп К.И., Королев Ю.П. Оперативный прогноз наводнений на морских берегах Дальнего Востока России // Южно-Сахалинск: ДВО РАН, 1997. – 272 с.
7. Полякова А.М. Опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в северной части Тихого океана и цунами у побережья Приморья // Владивосток, Дальнаука, 2012. – 181 с.
8. Полякова А.М. Цунами в Приморье 26 мая 1983 года и его последствия // Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1988. – 40 с.
9. Савельев В. Ю., Храмушин В.Н. О создании информационно-аналитических систем оперативного анализа обстановки на море. // Тр. ДВНИГМИ, темат. вып. «Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду», Владивосток: Дальнаука, 1998. – С. 159–170.
10. Храмушин В.Н. Гидродинамическая модель источника штормовых нагонов и экстремальных течений под воздействием подвижного атмосферного тайфуна // Заявка на изобретение № 2016150042 от 2016-12-19.
11. Храмушин В.Н. Гидродинамическая модель очага цунами // Заявка на изобретение № 2016150038 от 2016-12-19.
12. Храмушин В. Н. ANI – Прямые вычислительные эксперименты для моделирования цунами, штормовых нагонов, экстремальных течений и приливного режима в открытом океане и вблизи побережья // СахГУ, Роспатент № 2010615848 от 8 сентября 2010 г.
13. Храмушин В.Н. Mario – Интерактивный океанографический программный комплекс для ведения и анализа цифровых приливных архивов и мареографных записей колебаний уровня моря // СахГУ, Роспатент № 2010615847 от 8 сентября 2010 г.
14. Храмушин В.Н. Sakhalin – Информационно-картографическая система // СахГУ, Роспатент № 2010615845 от 8 сентября 2010 г.
15. Храмушин В. Н., Шевченко Г.В., Симаков Е.Е. «Сахалин-море» – Расчетные и регистрируемые колебания уровня моря на Дальнем Востоке России // СахГУ, Роспатент № 2012620509 от 5 июня 2012 г.
16. Шевченко Г.В., Храмушин В.Н. Метод детального цунамирайонирования на примере побережья Анивского залива // Океанология. – 1994. – Т. 34, № 2. – С. 218–233.