

ОЦЕНКА ВЫСОТ ЦУНАМИ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ НАЛОЖЕНИЯ НА ПРИЛИВ ИЛИ НАГОН ДЛЯ ПОБЕРЕЖЬЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Шевченко Г.В.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, g.shevchenko@imgg.ru

Введение

Опасные морские явления, прежде всего катастрофические волны цунами, наносят значительный материальный ущерб населенным пунктам, транспортным коммуникациям и промышленным объектам, расположенным на побережье, а во многих случаях приводят к человеческим жертвам. Для снижения их негативного воздействия на развитие прибрежных районов, необходимо иметь как можно более точные оценки возможных высот волн, что позволит предусматривать необходимые меры безопасности на этапах размещения объектов и их проектирования. Для побережья Охотского моря, где велики приливы и нередко наблюдаются опасные штормовые нагоны, необходимо проводить расчеты высот цунами редкой повторяемости с учетом возможного влияния приливов и сгонно-нагонных явлений, как это было выполнено для северной части Японского моря [4].

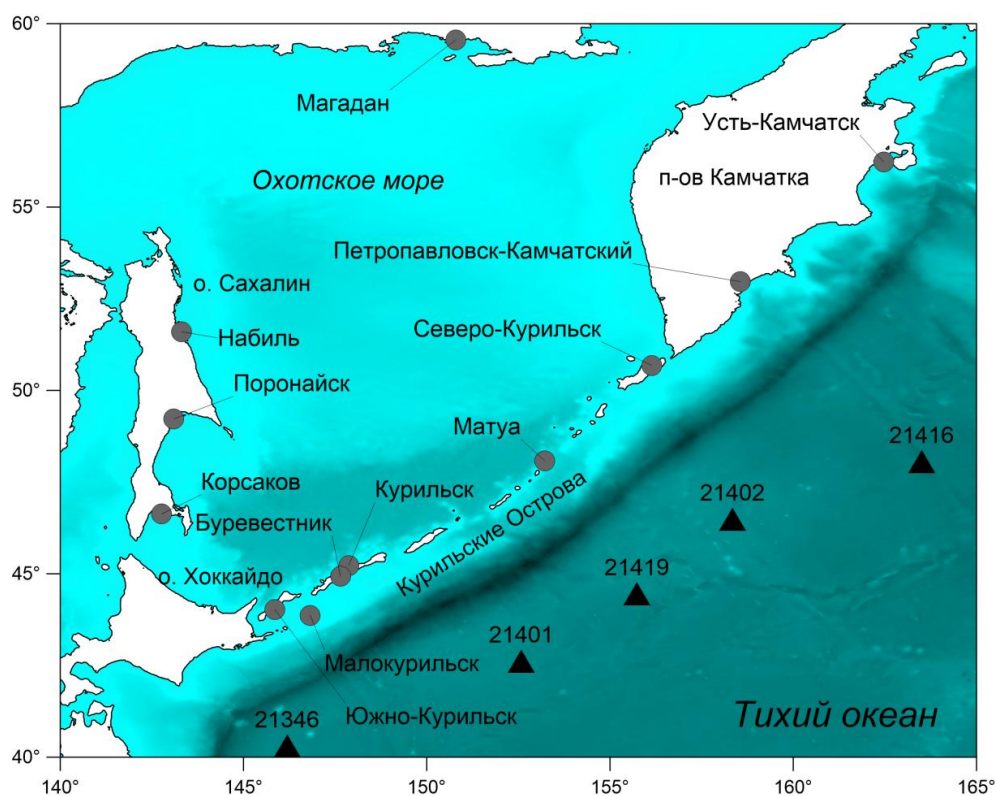


Рис. 1. Береговые мареографные станции, для которых производились расчеты экстремальных высот уровня моря

Материалы наблюдений и методика расчета

Колебания уровня моря в любой момент времени можно представить в виде суммы отдельных составляющих [1]:

$$\zeta(t) = \zeta_0 + \zeta_t + \zeta_s + \zeta_m + \zeta_{ts},$$

где ζ_0 – средний уровень моря, ζ_t – приливы, ζ_s – сезонные вариации, ζ_m – неперіодические колебания метеорологической природы, ζ_{ts} – цунами (в весьма редких случаях). Плотность вероятности

суммарного уровня может быть записана в виде свертки плотностей вероятности отдельных компонент [4]:

$$P_{\zeta}(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_1(x_1) \int_{-\infty}^{+\infty} P_2(x_2) \dots \int_{-\infty}^{+\infty} P_{N-1}(x_{N-1}) P_N(y - x_1 - x_2 - \dots - x_{N-1}) dx_1 dx_2 \dots dx_N,$$

Тогда вероятность превышения заданного уровня h и соответствующий ему период повторяемости можно вычислить как [1, 3]

$$F(h) = \int_h^{\infty} P_{\Sigma}(y) dy, \quad T(h) = \frac{1}{nF(h)}$$

где n – число отсчетов в году (для обычных ежечасных рядов уровня $n = 8766$).

Расчеты выполнялись для 12 станций, положение которых представлено на рисунке 1, а сведения о продолжительности наблюдений – в таблице 1. 6 из этих станций расположены на Курильских островах (Северо-Курильск, Матуа, Буревестник – на тихоокеанском побережье, Южно-Курильск, Малокурильское – на берегах Южно-Курильского пролива, Курильск – на охотоморском побережье). В настоящее время работает только один мареограф в бухте Малокурильская. Две станции расположены на тихоокеанском побережье полуострова Камчатка, но не на открытом участке, а внутри достаточно закрытых акваторий – бухты Авачиская Губа (Петропавловск-Камчатский) и эстуарии реки Камчатка (Усть-Камчатск). На побережье Охотского моря были выбраны 4 станции – Магадан на севере и 3 станции на Сахалине – Корсаков, Поронайск, а также в зал. Набиль на северо-востоке острова, в районе морских месторождений нефти и газа. Расчеты экстремальных высот волн для этого района имеют особое значение.

Таблица 1. Сведения о продолжительности использовавшихся рядов наблюдений

Станция	Продолжительность Наблюдений, лет	Период наблюдений
Буревестник	21	1964–1984
Курильск	30	1969–1998
Матуа	23	1960–1982
Северо-Курильск	23	1967–1989
Южно-Курильск	41	1958–1998
Малокурильское	29	1970–1998
Магадан	12	1977–1988
Зал. Набиль	16	1960–1964, 1987–1997
Поронайск	39	1965–1998
Корсаков	44	1948–1992
Петропавловск-Камч.	12	1977–1988
Усть-Камчатск	12	1977–1988

Продолжительность наблюдений за уровнем значительно колебались. Наиболее короткие ряды были на станциях Петропавловск-Камчатский, Усть-Камчатск и Магадан, наиболее продолжительные, более 40 лет, на станциях Корсаков и Южно-Курильск. Наиболее чувствительна к длительности статистика нагонов, плотность вероятности непериодических колебаний описывалась гистограммой очищенного от прилива ряда за весь период наблюдений (для цунами в ряде случаев привлекались данные о высотах волн по визуальным наблюдениям работников береговых гидрометеорологических станций в районе мареографов). Отметим, что расчет статистических характеристик штормовых нагонов по более продолжительным рядам наблюдений на двух последних станциях практически не сказался на величине главного максимума [2]. Функции плотности вероятности в области малых вероятностей были достаточно гладкими на всех уровнях постах, так что расчет экстремальных высот суммарного уровня по схеме прилив+нагон (таблица 2) можно считать корректным и для указанных станций.

Результаты и обсуждение

В таблице 2 даны максимальные высоты штормовых нагонов на каждой станции. Наибольшие высоты нагонных волн выявлены на островах, расположенные в центральной части

Курильской гряды (о. Матуа) и на о. Итуруп на ее юго-западном фланге. Высокие нагоны на о. Матуа являются сложно объяснимым феноменом – небольшой остров с приглубым шельфом не имеет физико-географических условий для формирования экстремальных подъемов уровня, в то же время за 18 лет наблюдений здесь зафиксировано 8 нагонов с высотой более 1 м, два из них превысили значение 1.5 м. Максимальный нагон наблюдался в 1971 году на охотоморском побережье о. Итуруп, в Курильске. Среди станций о. Сахалин выделяется Поронайск, расположенный в вершине залива Терпения, здесь высоты нагонных волн несколько раз превышали отметку 1 м.

Наименьшие высоты отмечены на флангах Курильской гряды, в Северо-Курильске, Южно-Курильске и Малокурильском, а также на тихоокеанском побережье полуострова Камчатка (Петропавловск-Камчатский и Усть-Камчатск). На двух последних станциях максимальные высоты штормовых нагонов практически не увеличились даже когда рассматривались ряды существенно большей продолжительности [2].

Таблица 2. Наибольшая высота прилива (положительное отклонение от нулевого среднего уровня), максимальные наблюдавшиеся нагоны и высоты суммарного уровня редкой повторяемости, рассчитанные методом композиции распределений (прилив + нагон)

Станция	Максим. прилив, см	Максим. нагон, см	Период повторяемости, лет		
			50	100	200
Буревестник	63.4	130.6	178	183	187
Курильск	68.7	204.5	228	238	246
Матуа	70.2	166.5	213	218	223
Северо-Курильск	88	68.1	145	148	151
Южно-Курильск	54.3	75.5	114	117	120
		100*	140	144	147
Малокурильское	55.8	61.9	104	107	110
		75.2*	112	117	121
Магадан	213.6	81.2	262	267	271
Зал. Набиль	64.4	87.0	138	141	144
Поронайск	73.7	112.2	157	164	170
Корсаков	80	88.7	135	141	147
Петропавловск-Камч.	93.8	59.8	136.7	139.5	141.6
Усть-Камчатск	70.2	54.3	112.6	114.6	116.7

Таблица 3. Максимальная высота цунами и расчетные высоты цунами редкой повторяемости

Станция	Максим. высота, м	Период повторяемости, лет		
		50	100	200
Буревестник	3.0	3.2	4.0	4.9
Курильск	1.0	0.8	1.1	1.4
Матуа	3.5	4.0	5.3	6.6
Северо-Курильск	11.0	5.9	9.6	13.3
Южно-Курильск	4.6	3.5	4.6	5.7
Малокурильское	4.6	4.2	5.4	6.7
Магадан	2.2	1.8	2.5	3.2
зал. Набиль	0.8	0.8	1.1	1.4
Поронайск	1.3	0.9	1.5	2.1
Корсаков	1.5	1.2	1.6	1.9
Петропавловск-Камч.	1.2	0.8	1.4	2.0
Усть-Камчатск	0.6	0.4	0.7	1.0

В таблице 2 представлены результаты расчета экстремальных высот уровня моря методом композиции распределений (прилив + нагон). Плотность вероятности приливных вариаций описывалась гистограммой предвычисленного 19-летнего ряда (в расчет добавлялись сезонные годовая и полугодовая гармоники). Представленные в этой таблице максимальные высоты прилива на большинстве станций приблизительно одинаковы (варьируют от 54 см в Южно-Курильские до 88 в Северо-Курильске). Соответственно, возрастание расчетных высот по сравнению с экстремумами

непериодической составляющей также примерно одинаковы, 50 – 60 см. Резко выделяется только станция Магадан, где положительное отклонение прилива от нулевого среднего превышает 2 м. Соответственно, оценка суммарного уровня выше расчетной высоты нагона почти на такую же величину. Более 2 м возможен подъем уровня 1 раз в 100 лет на станциях Матуа и Курильск, но здесь главную роль играют аномальные подъемы уровня при нагонах.

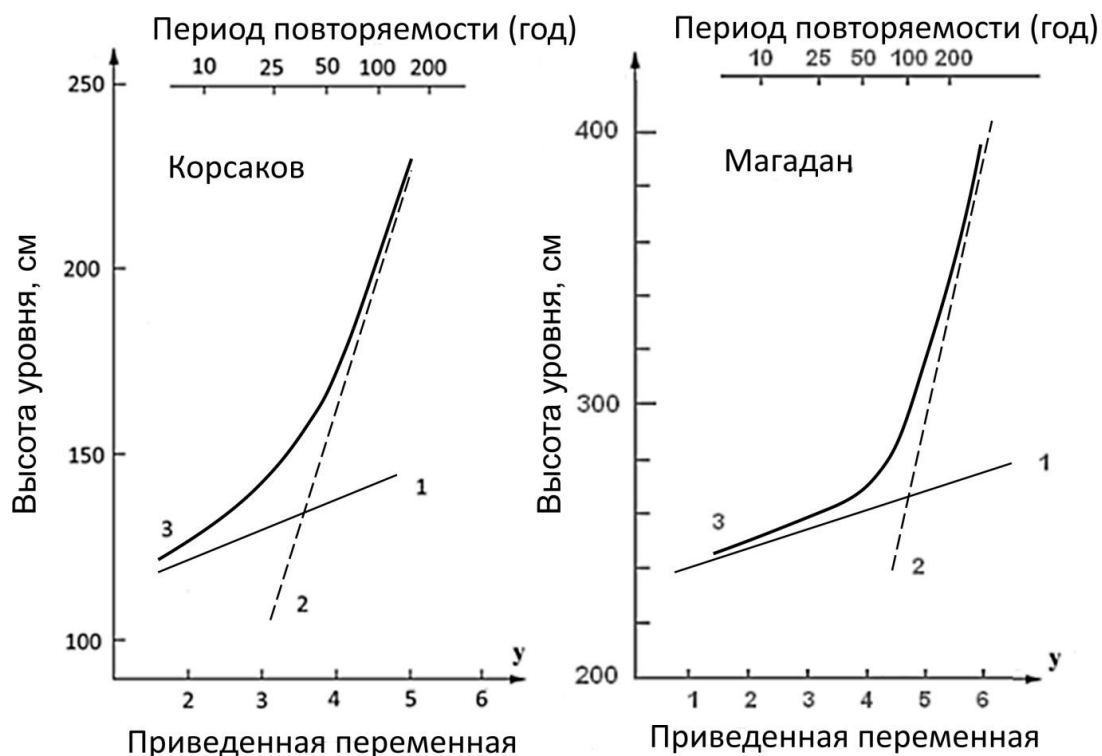


Рис. 2. Экстремальные высоты уровня моря, рассчитанные методом композиции распределений по схеме нагон + прилив (1) и нагон + прилив + цунами (3), а также расчетные высоты волн цунами (2)

В таблице 3 приведены максимальные значения высот цунами, зафиксированные мареографами или наблюдавшиеся вблизи них по результатам замеров или визуальным наблюдениям работников метеостанций. На побережье Охотского моря – во всех без исключения пунктах, максимальные высоты отмечены при Чилийском цунами (май 1960 г.) Наибольшая высота зафиксирована мареографом в бухте Нагаева (порт Магадан) – 2.2 м, наименьшая – в зал. Набиль (0.8 м). На тихоокеанском побережье Курильских островов наибольшие высоты зафиксированы при Камчатском цунами (ноябрь 1952 г.) в Северо-Курильске и на побережье Камчатки, при Шикотанском (октябрь 1994 г.) - на Южных Курильских островах. Расчетные высоты волн для периода повторяемости 100 лет для всех станций, выходящих к океану, превышали 4 м, очевидно, что при таких значениях влияние приливных или метеорологических колебаний будет незначительным, что и подтвердили результаты расчетов, приведенные в таблице 4.

Расчеты показали, что оценки возможных высот цунами для станций тихоокеанского побережья практически не изменились при учете приливов и сгонно-нагонных вариаций, увеличение на несколько сантиметров отмечено на нескольких станциях на периодах повторяемости 50 лет.

Для большинства пунктов на побережье Охотского моря вклад других составляющих более значим, особенно на периоде повторяемости 50 лет. С ростом периода повторяемости их вклад в общую оценку уменьшается (на рис. 2 это показано на примере станций Корсаков и Магадан), роль цунами становится доминирующей. Исключение составляет станция Курильск, где роль цунами незначительна. Это связано с тем, что в данном пункте высота нагона в 1971 году (более 2 м) была значительно больше максимальной высоты цунами (Чилийское, май 1960 г., около 1 м). Наиболее значим вклад приливной компоненты на станции Магадан, но и цунами в данном пункте также достигали большой высоты, на побережье Охотского моря оценки высот суммарного уровня здесь наиболее велики.

Таблица 4. Экстремальные высоты уровня моря, рассчитанные методом композиции распределений (прилив + нагон + цунами)

Станция	Период повторяемости, лет		
	50	100	200
Буревестник	3.4	4.1	4.9
Курильск	2.3	2.4	2.5
Матуа	4.1	5.3	6.6
Северо-Курильск	5.9	9.6	13.3
Южно-Курильск	3.5	4.6	5.7
Малокурильское	4.2	5.4	6.7
Магадан	2.7	2.9	3.4
Зал. Набиль	1.4	1.4	1.5
Поронайск	1.6	1.7	2.2
Корсаков	1.4	1.6	2.0
Петропавловск-Камч.	1.4	1.6	2.1
Усть-Камчатск	1.1	1.2	1.3

Самые низкие значения высот уровня редкой повторяемости получены для станций в зал. Набиль на северо-восточном шельфе о. Сахалин, в районе морских месторождений нефти и газа, и в эстуарии реки Камчатка.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 13-05-00936

Список литературы

1. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 231 с.
2. Любицкий Ю.В. Штормовые нагоны на восточном побережье полуострова Камчатка// Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска. Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26 – 30 мая 2015 г.: сборник материалов. Владивосток: Дальнаука. 2015. Т. 1. С. 341-344.
3. Pugh D.T. and Vassie J.M. Extreme sea levels from tide and surge probability // Proc. 16th Coast. Eng. Conf. Hamburg, 1979. Vol.1. P.911–930.
4. Rabinovich A.B., Shevchenko G.V., and Sokolova S.E. An estimation of extreme sea levels in the northern part of the Sea of Japan // La mer. 1992. Vol. 30. P. 179-190.