

Расчет вероятного отступления береговой линии в результате косейсмического опускания побережья Кроноцкого залива

А.Л. Хомчановский

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: khomscience@mail.ru

Проведено математическое моделирование вероятного отступления береговой линии в результате косейсмического опускания побережья Кроноцкого залива по модели Брууна. Расчеты проводились для амплитуд опускания на 0,5, 1 и 2 метра. По результатам моделирования величина смещения берега составила от 55 до 250 метров.

Введение

Целью данного исследования был расчет отступления берега вследствие вертикальных косейсмических деформаций, происходящих в результате субдукционных землетрясений, для оценки воздействия катастрофических природных процессов на побережья. Исходные данные для моделирования получены при полевых палеосейсмологических работах к северу от устья р. Жупанова в районе р. Кедровая на побережье Кроноцкого залива. Для расчета была выбрана модель Брууна, в основу которой заложены зависимости отступления береговой линии от подъема уровня моря. Вероятное относительное повышение уровня моря в результате косейсмических вертикальных опусканий земной поверхности, по данным [1], для района исследования составляет от 0,5 до 2 м. Эти величины и были выбраны для моделирования.

Методика исследований: краткое описание модели Брууна

Бруун [3] впервые предложил модель скорости отступления береговой линии, основанную на повышении уровня моря (рис. 1). Правило Брууна предполагает двумерную модель, где величина горизонтального перемещения береговой линии вглубь прилегающей к водоему суши прямо пропорциональна величине изменения уровня воды и ширине подвергающегося воздействию волн подводного берегового склона и обратно пропорциональна глубине на внешней границе склона. Количественно эти зависимости описаны следующими формулами:

$$R = \frac{L}{B + h_*} S, \quad (1)$$

где R – смещение берега; S – изменение уровня водоема; L – расстояние активной части профиля от пляжа до глубины замыкания h_* (2); B – высота бермы.

Р.Д. Халлермайер [4] связывает глубину замыкания (предельная глубина, до которой происходит перемещение наносов, а, следовательно, и текущие колебания формы профиля) с параметрами экстремального волнения вне береговой зоны (“на глубокой воде”) продолжительностью не более 12 часов в год:

$$h_* = 2.3H_{S_{\infty}} - 10.9 \frac{H_{S_{\infty}}^2}{L_{\infty}}, \quad (2)$$

где $H_{S_{\infty}}$ – высота волн обеспеченностью 13% в системе, называемая также высотой «значимой» или «существенной» волны (significant wave height), на глубокой воде; L_{∞} – длина волны на глубокой воде. Под «системой» волн подразумевается совокупность волн, наблюдаемых в данной точке за период одного срока наблюдения в 20-30 минут или из 100 подряд идущих волн (в отличие от режима волнения, подразумевающего параметры волн, возможные 1 раз в «N» лет, т.е. за многолетний период) [2].

Вышеуказанные зависимости можно также представить в следующем виде:

$$R = \frac{1}{\tan \theta} S, \quad (3)$$

где $\tan\theta$ – средний угол подводного берегового склона, который примерно равен $(B + h)/L$. Для песчаного пляжа θ примерно равен 0.01-0.02. Таким образом, прямая зависимость отступления берега от изменения уровня моря будет составлять от $R=50S$ до $R=100S$ [5].

Впоследствии правило Брууна было дополнено и развито другими учеными [5, 6]. Основная суть этого правила заключается в том, что при подъеме уровня водоема материал, смываемый с надводной части профиля, отлагается в нижней части склона, происходит отступление аккумулятивного берега в результате размыва верхней части профиля подводного берегового склона. Объем размыва примерно равен объему материала, накопившегося в приурезовой полосе дна, а общее повышение поверхности дна в результате аккумуляции наносов в нижней части профиля подводного берегового склона соответствует величине подъема уровня моря.

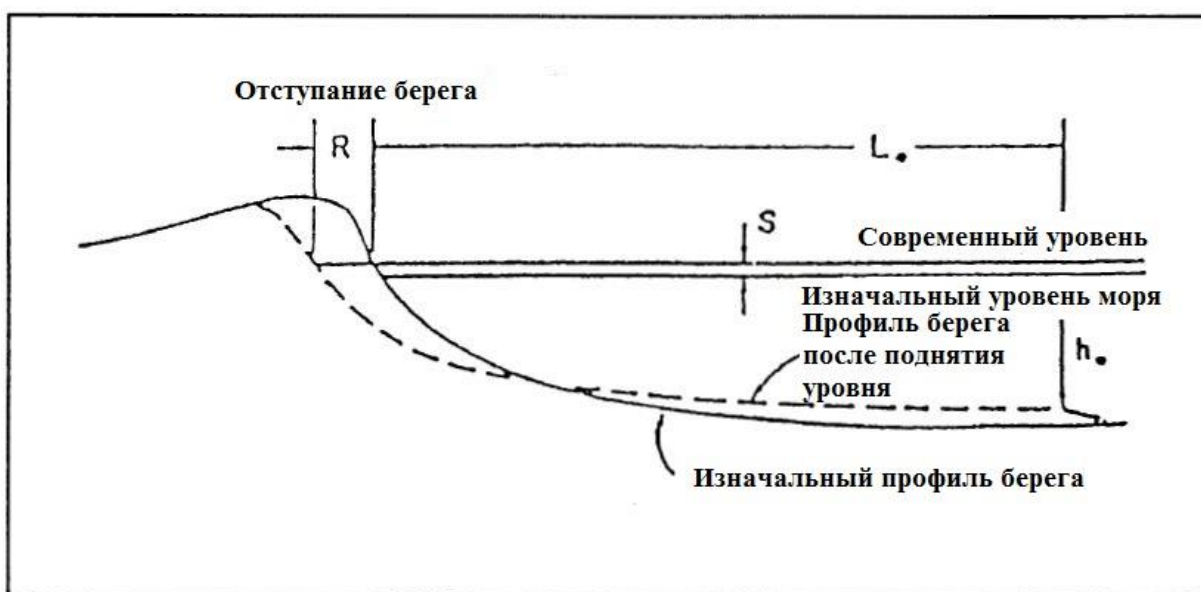


Рис. 1. Графическое отображение правила Брууна

У данной модели имеется один существенный недостаток. Правило Брууна является двухмерным и не учитывает вдольбереговой транспорт наносов, который на океанических берегах может быть весьма существенным. Существует ряд других моделей для расчета отступления берега в связи с изменением уровня моря [6]. Однако многие из них носят локальный характер и используются для частных случаев. Модель Брууна является наиболее универсальной, ею пользуются многие исследователи для изучения береговых процессов, связанных, в том числе, с вертикальными косейсмическими деформациями, особенно на тихоокеанском побережье США. Этим обусловлен выбор именно этой модели для исследования камчатского побережья.

Полученные результаты: расчет отступления берега по модели Брууна в Кроноцком заливе

По вышеописанным формулам была рассчитана величина отступления берега для подъема уровня моря (S) на 0.5 м, 1 м и 2 м. Для расчета глубины замыкания были использованы максимальные волнения по данным за период с 1955 по 1960 гг. Для морской прибрежной станции Семячик максимально зафиксированная волна равна 8.5 м. По формуле (3) глубина замыкания (h_*) равняется 11.7 м. Величина h_* согласуется с величиной 12-13 м, полученной прямыми измерениями на калифорнийском побережье США для экстремального шторма редкой повторяемости с максимальной высотой более 10 м [6].

Используя совмещенные (цифровая модель местности (ЦММ) по аэрофотоснимкам для сухопутной части и цифровая модель рельефа (ЦМР) по картографическим данным для морской акватории) профили (рис. 2), были найдены примерные значения длин активного профиля L между глубиной замыкания и вершиной берегового вала (как альтернатива вершины вала также была взята высота начала густой растительности – dense vegetation (dv)). Приняв высоту берегового вала как $b=6$ м ($dv = 4$ м), из формулы (1) были получены оценки отступления берега R при разных значениях подъема уровня моря S (табл. 1, 2).

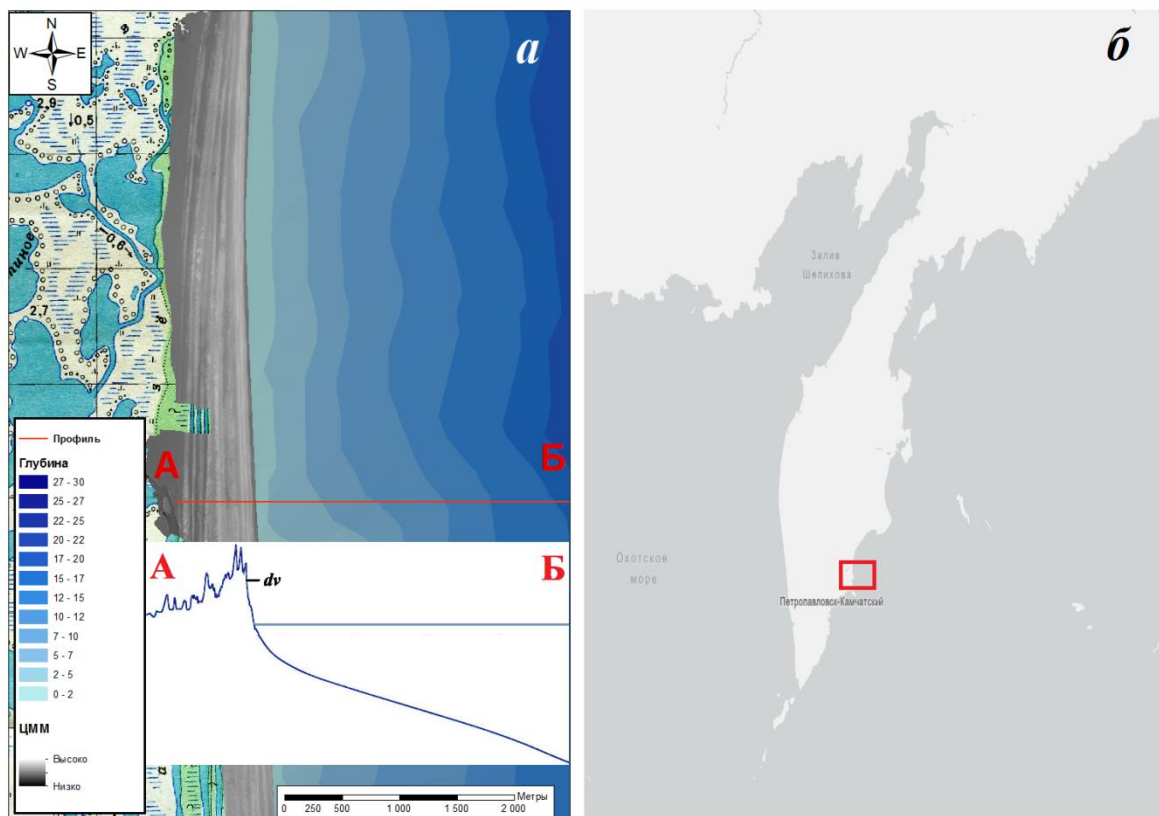


Рис. 2. Схема района исследования. *a* – район исследования р. Кедровая, Кроноцкий залив и профиль; АБ – профиль моделирования; dv – местоположение начала густой растительности (dense vegetation) на профиле; *б* – положение участка экспедиционных полевых работ на общей карте.

Таблица 1. Смещение берега вглубь суши по модели Бруна (расчет от вершины первого от моря берегового вала)

R , м	h_* , м	b (вершина вала), м	L , м	S , м
55.4	11.7	6	1960	0.5
110.7	11.7	6	1960	1
221.5	11.7	6	1960	2

Таблица 2. Смещение берега вглубь суши по модели Бруна (расчет от dv – верхней границы активного пляжа [7]).

R , м	h_* , м	b (dense vegetation), м	L , м	S , м
62.4	11.7	4	1960	0.5
124.8	11.7	4	1960	1
249.7	11.7	4	1960	2

Выводы

В результате проведенных расчетов были оценены вероятные отступления береговой линии в результате косейсмического опускания побережья Кроноцкого залива. Для опусканий поверхности на 0.5 м величина размыва берега составила 50-60 м, для опусканий на 1 м отступление берега составило 110-120 м, для 2 м – 220-250 м. Проведенные расчёты позволили оценить вероятный масштаб воздействия катастрофических субдукционных землетрясений на побережье восточной Камчатки. Сходная величина отступления берега при резком, в том числе и косейсмическом, подъёме уровня моря на первые метры, доказана и другими исследователями для разных водоемов мира [5, 6].

Проведение полевых исследований и подготовка публикации выполнена на средства финансирования темы НИР № 0282-2018-0019 ИВиС ДВО РАН и в рамках проекта РФФИ № 18-05-00407-А (руководитель Т.К. Пинегина) «Изучение голоценовых косейсмических деформаций и отложений цунами на побережье Кроноцкого залива и Кроноцкого полуострова для оценки повторяемости и магнитуд сильнейших землетрясений».

Список литературы

1. Пинегина Т.К., Базанова Л.И., Зеленин Е.А. и др. Первые данные о вертикальных косейсмических деформациях на побережье Кроноцкого залива по результатам палеосейсмологических исследований // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 167-170.
2. Хомчановский А.Л. Развитие береговых процессов при повышении уровня водоема (на примере озера Байкал) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 1 (41). С. 99-107.
3. Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usage // Journal of Coastal Research, 1988. V. 4. № 4. P. 627-648.
4. Hallermeier R.G. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate // Coastal Engineering. 1981. V. 4. P. 253-277.
5. Komar P.D. The Response of Beaches to Sea-Level Changes: A Review of Predictive Models // Journal of Coastal Research. 1991. V. 7. № 3. P. 895-921.
6. Inman D.L., Elwany H.S., Jenkins S.A. Shorerise and bar-berm profiles on ocean beaches // J. of Geophys. Res. 1993. V. 98. № C10. P. 18181-18199.
7. Piningina T.K., Bourgeois J., Kravchunovskaya E.A. et al. A nexus of plate interaction: Segmented vertical movement of Kamchatsky Peninsula (Kamchatka) based on Holocene aggradational marine terraces // Geological Society of America Bulletin. 2013. V. 125. N. 9/10. P. 1554-1568.