

Реакция аккумулятивных берегов на относительное изменение уровня моря в результате влияния климатических и геодинамических факторов

Хомчановский А.Л.

Response of accumulative shores to relative sea level change due to climatic and geodynamic factors

Khomchanovsky A.L.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: khomscience@mail.ru

Рассматривается влияние различных факторов изменения относительного уровня моря, как глобальных (эвстатические колебания уровня моря), так и локальных (тектоника, косейсмика), на аккумулятивные берега. Для Авачинского залива предложена локальная модель отступления берега, верифицированная по палеосейсмологическим данным.

Введение

Изучение изменения уровня Мирового океана является глобальной задачей для многих ученых из разных стран. Особо актуальна эта проблема для прибрежных регионов и островных государств. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата ИРСС, уровень океана к 2100 г. может повыситься на 1 м, что в некоторых местах вызовет размыв берега более чем на 100 м [9]. Поскольку на берегах, которые находятся ниже отметки 1 метр над уровнем моря, в Мире проживают более 70 миллионов человек, исследование таких побережий представляется весьма актуальной задачей. Аккумулятивные берега (песчаные пляжи) наиболее сильно отреагируют на эти изменения. На климатический (эвстатический) подъем уровня моря могут накладываться тектонические и антропогенные факторы, которые в значительной степени повлияют на этот эффект. Учитывая тот факт, что берега морей и океанов являются в равной степени местом проживания населения, а также активной народохозяйственной и туристической деятельности, комплексное их изучение, минимизация рисков негативного воздействия океана на берега и разработка научно-обоснованных рекомендаций по их защите является важной задачей. Целью данной работы является оценка и анализ влияния изменения относительного уровня моря на аккумулятивные берега с учетом локальных и региональных особенностей. Изменение относительного уровня моря, по сути, складывается из двух основных составляющих: изменение собственно уровня поверхности океана (эвстатический уровень) и изменение поверхности побережья. Колебания уровня Мирового океана в целом имеют глобальный характер и происходят примерно для всех берегов одинаково в пространственно-временном плане. Региональные вертикальные движения поверхности имеют разную природу. Это могут быть и медленные тектонические поднятия, и опускания от долей миллиметров до нескольких миллиметров в год, либо быстрые косейсмические деформации, амплитуда которых может составлять несколько метров за одно событие. В местах покровного плейстоценового оледенения одним из основных факторов прибрежного рельефообразования могут служить процессы гляциоизостатической компенсации. Иногда резкое изменение относительного уровня моря может быть вызвано катастрофическими событиями (цунами, сейши, штормовые нагоны). В то же время, на уровень могут влиять такие неочевидные процессы как эффект статического выравнивания или термическое расширение морской воды [1]. Оценке глобальных и региональных факторов относительного изменения уровня моря, а также выбору доминирующего из них с целью дальнейшего анализа и прогноза посвящена данная работа.

На первом этапе был изучен песчаный пляж Авачинского залива (Камчатка), представляющий собой аккумулятивную морскую террасу с серией береговых валов. Возраст террасы, по данным анализа почвенно-пирокластического чехла, составил около 5000 лет [10]. Известно, что в конце голоцена уровень моря считался

относительно постоянным [5, 8]. В данном случае эволюцию морской аккумулятивной террасы Авачинского залива, с точки зрения уровня режима, определял характер вертикальных движений побережья.

Материалы и методы исследований

Для оценки гидро-, морфо- и литодинамических процессов в береговой зоне аккумулятивной террасы Авачинского залива использовался метод численного моделирования. Для анализа характера подводного берегового склона применялась модель Дина [7]. Для реконструкции эволюции морской террасы, с учетом размыва берега после резкого изменения относительного уровня моря в результате косейсмических опусканий, использовалась модель Брууна-Зенковича [4, 6]. С целью верификации данной модели для региональных условий применялись ранее полученные палеосейсмологические результаты из работы [10]. Геоморфологические исходные данные для моделирования (гипсометрические профили, высоты береговых валов, высота бермы) были также взяты из вышеупомянутой работы [10]. Песок отбирался в створе профилей. Для получения среднего состава материала проба состояла из фрагментов с приурезовой части, центральной части пляжа и с первого берегового вала. Далее был проведен гранулометрический анализ проб, где был получен медианный состав частиц (d_{50}), который в дальнейшем использовался при моделировании. Средний уклон подводного берегового склона рассчитывался по данным топографических и навигационных карт. Статистические параметры значимых волн (H_s) рассчитывались по данным из [3]. Полученные результаты моделирования были представлены в виде трендов (отношения амплитуды изменения относительного уровня моря к величине размыва берега).

Результаты и обсуждение

На первом этапе моделирования был проанализирован характер берега с помощью расчета теоретического профиля относительного динамического равновесия. Данный профиль был построен по модели Дина [7]. При наложении всех измеренных профилей из [10] на общий график хорошо видно тенденцию: увеличение крутизны профилей (и, соответственно, уменьшение их длины) от севера к югу. Это может говорить о доминирующем потоке наносов (с севера на юг). Данный факт подтверждается в [2]. Об этом же свидетельствует направление кос. Как правило, более крутой береговой профиль свидетельствует о меньшей устойчивости профиля к абразионным процессам (или о его не восстановившейся литодинамической системе после последнего размыва). Все профили условно делятся на две группы: северные и южные. В данной работе мы рассматривали только северный участок. Моделирование теоретического профиля равновесия показало, что оба профиля северного участка находятся в аккумулятивной стадии, поскольку реальные профили пляжа и подводного берегового склона лежат выше теоретических.

На втором этапе рассчитывалось вероятное среднее отступление берега в результате относительного подъема уровня моря по модели Брууна-Зенковича [4, 6]. По результатам моделирования был построен график величины размыва из-за подъема уровня моря для амплитуд от 0 до 2 м (рисунок) для северного профиля (8 профиль из [10]). При использовании классической модели Брууна, например, при подъеме уровня на 1 м береговая линия отступит на 145 м. Обратим внимание, что для каждого участка эта величина будет отличаться, потому что она зависит от морфометрических особенностей конкретного берега.

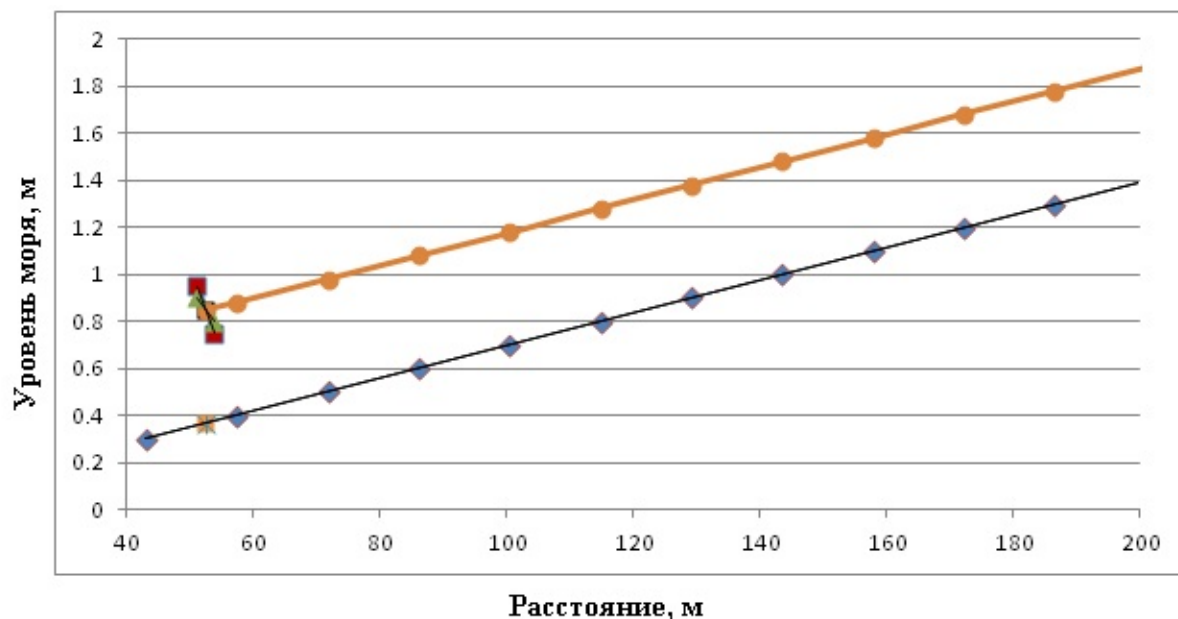


Рисунок. Классическая (график с синими точками) и региональная (оранжевый график) модель отступления берега при подъеме уровня моря. Красные квадраты и зеленые треугольники – палеосейсмологические данные.

Для того, чтобы верифицировать данную модель на основании полученных палеосейсмологических данных, на график были нанесены реальные значения амплитуд опусканий и размыв террасы (красные квадратики и зеленые треугольники на рисунке). Реальные данные показывают меньшие значения отступления берега при соответствующей амплитуде опусканий. Это может быть связано с обильным поступлением наносов в береговую зону или закрытой (ограниченной) литодинамической ячейкой. В таком случае поток наносов, который обычно идет вдоль берега, может задерживаться в конкретных местах, что создает естественную защиту от размыва берега даже при резко меняющихся условиях уровня режима. Стоит упомянуть, что модель Брууна является двухмерной и не учитывает вдольбереговое перемещение материала. Таким образом, сопоставив данные, полученные палеосейсмологическим методом с модельным трендом отступления берега по Брууну, можно адаптировать модель для локальных условий конкретного побережья, сдвинув весь график к точкам, полученным палеосейсмологическим методом. В данном случае новый (оранжевый на рисунке) тренд будет иллюстрировать как полученные эмпирические данные, так и физическую суть процесса, отраженную в общем наклоне тренда.

Заключение

С помощью численного моделирования проанализирована аккумулятивная морская терраса северного участка Авачинского залива. Сделан вывод, что берег находится в аккумулятивной стадии. Отступление берега возможно при изменениях уровня моря, в результате, например, косейсмических опусканий. При сильных опусканиях амплитудой до 2 м, отступление берега составит около 200 м. Адаптирована известная модель рецессии берега Брууна-Зенковича. Благодаря полученной региональной модели, в дальнейшем можно проанализировать эволюцию морских аккумулятивных террас Камчатки и сделать прогноз ее развития на основании имеющихся палеосейсмологических данных.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН № 0282-2019-0005 (FWEW-2019-0005) «Глубинное строение, сейсмичность и геодинамика Курило-Камчатской островодужной системы» (руководитель А.И. Кожурин).

Список литературы

1. Баранская А.В. Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий Российской Арктики. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2015. 26 с.
2. Бобыкина В.П. Морфология и динамика открытого океанского побережья восточной Камчатки. Дис. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. Москва, 1979. 214 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 10. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. 298 с.
4. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
5. Bard E., Hamelin B., Fairbanks R.G., Zindler A. Calibration of the ^{14}C timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U–Th ages from Barbados corals // Nature. 1990. V. 345. P. 405-410.
6. 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.
7. Dean R.G. Beach nourishment. Theory and practice. World Scientific, 2002. 398 p.
8. Fairbanks R.G. A 17000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation // Nature. 1989. V. 342. № 6250. P. 637-642.
9. Special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Summary for Policymakers. [Электронный ресурс] // The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) URL: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/> (дата обращения 15.02.2025).
10. Pinegina T.K., Bourgeois J., Bazanova L.I. et al. Coseismic coastal subsidence associated with unusually wide rupture of prehistoric earthquakes on the Kamchatka subduction zone: A record in buried erosional scarps and tsunami deposits // Quaternary Science Reviews. 2020. V. 233. Art. 106171.