

Морфолитодинамические исследования береговой зоны Курильского залива (о. Итуруп)

Хомчановский А.Л., Батанов Ф.И.

Morpholythodynamic study of the Kuril bay coastal zone (Iturup Island)

Khomchanovsky A.L., Batanov F.I.

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

e-mail: khomscience@mail.ru

Проведены исследования морфолитодинамических процессов в береговой зоне Курильского залива на о. Итуруп. Сделан вывод о том, что в данный момент аккумулятивная морская терраса находится в стабильном состоянии. Размыв террасы возможен либо катастрофическими штормами редкой повторяемости, либо после резкого косейсмического опускания берега, которое может произойти в ходе сильного землетрясения.

Введение

На о. Итуруп были проведены работы по изучению морфо- и литодинамики берегов морской аккумулятивной террасы в районе г. Курильск и прогнозированию ее дальнейшего развития. Одной из основных научных проблем на Курильских островах является прогноз повторяемости и последствий экстремальных природных явлений в Курило-Камчатской зоне субдукции (землетрясения, цунами, извержения). Для этих целей было проведено геолого-геоморфологическое и палеосейсмологическое исследование в районе Курильского залива и на прилегающей к нему морской аккумулятивной террасе, где расположен самый крупный населенный пункт острова – г. Курильск. Аккумулятивная часть залива приурочена к устью р. Курилка. Современная морская терраса сложена береговыми валами, примыкающими к древней цокольной террасе. На фоне общего медленного тектонического поднятия острова [2, 4, 6] берег может быть подвержен периодическим косейсмическим опусканиям, в результате которых повышается относительный уровень моря [8]. Медленные движения задают общий тренд вертикальных деформаций [7]. После резкого повышения уровня моря все берегоформирующие процессы усиливаются, а иногда и полностью меняют «знак» (с аккумуляции на размыв), происходит перестройка профиля динамического равновесия [1, 3, 10, 11], что влияет на береговые формы рельефа и транспорт наносов, иными словами, – на морфолитодинамику, исследованию которой и посвящена данная работа.

Материалы и методы исследований

Во время полевых исследований морфо- и литодинамики берегов о. Итуруп использовались стандартные подходы: геоморфологическое описание, фотосъемка, отбор проб песка, проходка и геологическое описание шурфов, их палеосейсмологическая интерпретация, нивелировка береговых валов и батиметрическая съемка подводного берегового склона. В процессе обработки полученных материалов использовались методы геоинформационного картографирования в программе ArcGIS Desktop и математического моделирования в программах «ИС – Береговой инженерный калькулятор» [5] и «SBEACH» [13]. При моделировании использовались модели Брууна-Зенковича [3, 10], CERC, Дина [11] и др. Для определения профиля динамического равновесия применялась модель Дина [11]. Расчеты профиля динамического равновесия проводились в программе «ИС – Береговой инженерный калькулятор». Для расчета величины отступления берега в результате подъема относительного уровня моря использовалось правило Брууна-Зенковича [3, 10]. Расчеты проводились в программе Microsoft Excel. Моделирование переформирования поперечного профиля берега заданным сценарием штормов с учетом колебания уровня моря было проведено в программе SBEACH.

Результаты и обсуждение

Для Курильского залива был рассчитан теоретический профиль относительного динамического равновесия по модели Дина [11]. Проанализировав результаты моделирования, можно сделать вывод, что на данный момент на берегу происходит аккумуляция, что подтверждается наличием аккумулятивных береговых валов (рисунок). Данный вывод доказывается тем, что теоретический равновесный профиль лежит ниже истинного. Второй подход исследования профиля пляжа основан на данных выполненной нами батиметрии. Напротив участков, где были найдены погребенные уступы размыва, измерены топографические профили через аккумулятивную морскую террасу. По построенной цифровой модели рельефа были получены профили подводного берегового склона. Для каждого из них был рассчитан профиль динамического равновесия. Отснятые профили накладывались друг на друга, и из совокупности точек строился общий линейный тренд, который служил исходным материалом для моделирования среднего профиля равновесия для всего участка. Достоверность аппроксимации линейного тренда составила 0.96. Данным подходом также доказывается аккумулятивный характер побережья, либо аккумулятивная стадия его формирования.

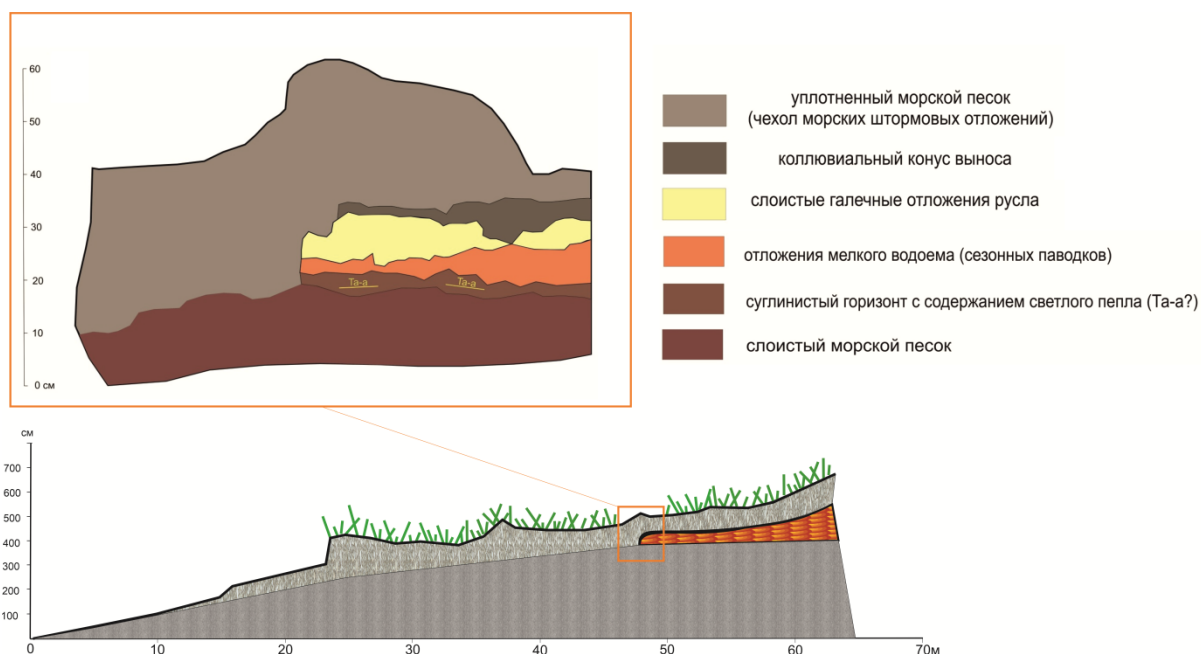


Рисунок. Профиль морской аккумулятивной террасы и погребенный уступ размыва.

Для моделирования отступления берега после относительного подъема уровня моря, которое может произойти при климатических изменениях, штормовых нагонах, цунами и землетрясениях, использовалась модель Брууна-Зенковича [3, 10]. Для геоморфологических и гидроклиматических условий Курильского залива выяснилось, что в среднем при подъеме уровня воды на каждые 10 см берег будет отступать на 10 м. При ранее проведенных палеосейсмологических работах для похожих участков на о. Итуруп доказано, что опускание поверхности берега при сильных землетрясениях может достигать амплитуды 1 м и даже более [8]. Картографическое моделирование затопления территории показало, что при определенных условиях (например, совокупном влиянии штормовых нагонов и косейсмическом опускании) нижние районы г. Курильск могут быть затоплены.

В программе SBEACH было проведено моделирование переформирования поперечного профиля берега заданным сценарием штормов с учетом колебания уровня моря. По его результатам видно, что основные изменения берега происходят при сильных штормах редкой повторяемости (высота волны 5-10 м) и при повышении

относительного уровня моря. Хорошо прослеживается тенденция движения штормовых валов вверх по склону в сторону суши при повышении уровня моря, в соответствии с правилом Брууна-Зенковича [3, 10] и его модернизацией для аккумулятивных форм – моделью Дина-Маурмайера [12]. Также заметно, что некоторые штормы приводят не к размыву, а, наоборот, к выдвигению береговой линии. Это, вероятно, происходит из-за большого количества материала, которым сложен подводный береговой склон. Большая часть материала транспортируется сюда рекой, а также, вероятно, поступает от размыва с ближайших мысов. Однако, чтобы сделать однозначные выводы, необходимо иметь данные о твердом расходе наносов р. Курилка и о расходах вдольберегового транспорта. Помимо динамики берега, в соответствии с правилом Брууна-Зенковича, зависящей от уровня, на аккумулятивных берегах существуют и принципиально иные механизмы движения наносов, которые следует учитывать [9].

На аккумулятивной морской террасе, сложенной серией береговых валов, были проведены палеосейсмологические работы с целью выявления геологических доказательств изменения рельефа берега. Как правило, следы косейсмического опускания берега представлены погребенными уступами размыва, которые образуются из-за перестройки профиля динамического равновесия в соответствии с новым относительным уровнем моря. Предполагаемые погребенные уступы были найдены в четырех шурфах и, по-видимому, связаны с одним сейсмическим событием (рисунок). Исходя из палеосейсмологических исследований на оз. Доброе [8], максимальная амплитуда опускания здесь не превышала 30 см, что вполне допустимо представленной мощностью отложений молодых морских осадков. Отложения древней морской террасы, перекрывающей штормовые отложения, содержат слой тефры (предположительно, извержение вулкана Тарумаэ 1739 г.). Других пеплов в шурфах найдено не было, что позволяет судить о возрасте молодых береговых валов, который составляет не более 280 лет.

Заключение

Подводя итоги вышесказанного, можно сделать вывод, что современная стабильность и аккумулятивная тенденция берегов Курильского залива обеспечиваются мощной подпиткой аллювиальным материалом за счет выносов реки, абразии клифов и перераспределения наносов по подводному береговому склону, и, возможно, вдольбереговым переносом. Тем не менее, эту стабильность и равновесие могут нарушить экзогенные и эндогенные процессы, а совокупное их влияние может привести к катастрофе.

Полевые данные получены при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-17-00049, руководитель Е.И. Гордеев, <https://rscf.ru/project/21-17-00049/>. Обработка материала происходила в рамках темы НИР № 0282-2019-0005 (FWEW-2019-0005) «Глубинное строение, сейсмичность и геодинамика Курило-Камчатской островодужной системы», руководитель А.И. Кожурин.

Список литературы

1. *Афанасьев В.В.* Морфолитодинамические процессы и развитие берегов контактной зоны субарктических и умеренных морей Северной Пацифики // Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2020. 233 с.
2. *Дунаев Н.Н., Леонтьев И.О., Репкина Т.Ю.* Морфодинамика берега, сложенного пирокластическим материалом (на примере о. Итуруп Курильского архипелага) // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)», 2020. С. 67-70.
3. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
4. *Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г.* Берега. М.: Мысль, 1991. 480 с.

5. *Леонтьев И.О., Кошелев К.Б., Марусин К.В. и др.* Программные продукты для математического моделирования и прогнозирования береговых процессов волновой природы // Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер и водохранилищ: Труды Международной конференции, Новосибирск, 20-25 июля 2009 года. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2009. С. 24-31.
6. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Эрлих Э.Н. и др.* Камчатка. Курильские и Командорские острова. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. / Отв. ред. И.В. Лучицкий. М.: Наука, 1974. 437 с.
7. *Пинегина Т.К., Кожурин А.И.* Косейсмические и медленные тектонические деформации островной дуги: по данным исследований восточного побережья полуострова Камчатка (Дальний Восток, Россия) // Геотектоника. 2023. № 6. С. 130-143. <https://doi.org/10.31857/S0016853X23060061>
8. *Пинегина Т.К., Разжигаева Н.Г., Дегтерев А.В., Хомчановский А.Л.* По следам голоценовых сильных землетрясений острова Итуруп // Природа. 2023. № 3(1291). С. 51-57. <https://doi.org/10.7868/S0032874X23030055>
9. *Сафьянов Г.А.* Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 400 с.
10. *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.
11. *Dean R.G.* Beach nourishment. Theory and practice. World Scientific, 2002. 398 p.
12. *Dean R.G., Maurmeyer E.M.* Models for Beach Profile Response // CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion. P.D. Komar ed. Boca Raton, Fl.: Coastal Research Center Press, 1983. 305 p.
13. *Hanson H., Kraus N.C.* GENESIS: Generalized model for simulating shoreline change. Tech. Report CERC-89-19. Coastal Engineering Research Center. US Army Corps of Engineers, 1989. 247 p.