

Д.В.Корзинин

*Институт океанологии РАН им. П.П.Ширшова, г.Москва***ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ РАВНОВЕСИЯ  
ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА  
(НА ПРИМЕРЕ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА)**

Рассмотрены особенности формирования равновесного профиля подводного берегового склона на примере аккумулятивных пересыпей бухты Ярылгач и бухты Караджинской. Исследование показало, что в природных условиях полностью устойчивый штормовой профиль не формируются и деформации рельефа стремятся к нулю. При использовании критерия, определяющего условно равновесный рельеф, выявлено, что временной период формирования профиля равновесия зависит от уклона дна, а объем абсолютных деформаций связан с расчлененностью исходного рельефа. При среднем уклоне 0,05 формирование равновесного профиля происходит за 8,5 ч, при уклоне 0,02 – за 12,5 ч.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *подводный береговой склон, морфодинамика, профиль равновесия.*

Профиль равновесия подводного берегового склона, рассматриваемый в масштабе отдельного шторма, это состояние, когда при определенной волновой ситуации не происходит каких-либо заметных преобразований рельефа береговой зоны. Анализ условий возникновения устойчивого к волнению профиля является актуальным как для фундаментальной береговой науки, так и с точки зрения решения инженерных задач при освоении береговой зоны. Одним из наиболее доступных инструментов для исследования штормовой морфодинамики является модель *XBeach* (<http://oss.deltares.nl/web/xbeach/>), позволяющая моделировать преобразование рельефа береговой зоны под воздействием монохроматического, бихроматического волнений, а также с использованием характеристик спектра волн.

Для моделирования равновесного профиля использовались геолого-геоморфологические и волновые условия Ярылгачской и Караджинской бухт [1 – 3], расположенных соответственно на северо-западе и западе Тараханкутского п-ова (западное побережье Крыма). Аккумулятивные участки бухт расположены в низовьях балок и представляют собой пересыпь, отделяющую озеро от моря. Моделировалось воздействие нерегулярного волнения редкой повторяемости (1 раз в 100 лет). В качестве характеристик спектра волнения *JONSWAP* были заданы параметры значительных высот волн и пикового периода (для Ярылгачской бухты:  $H_{sig} = 2,75$  м,  $T_p = 6,6$  с, для Караджинской бухты:  $H_{sig} = 3,5$  м,  $T_p = 7,25$  с [3]). Для обоих участков использовался медианный диаметр прибрежно-морских наносов 0,5 мм [2].

С помощью моделирования длительного штормового воздействия (около 500 ч) выявлено, что полностью устойчивый к исследуемому волновому режиму профиль не формируется. На примере участка Ярылгачской бухты показано, что после воздействия шторма продолжительностью около 390 ч

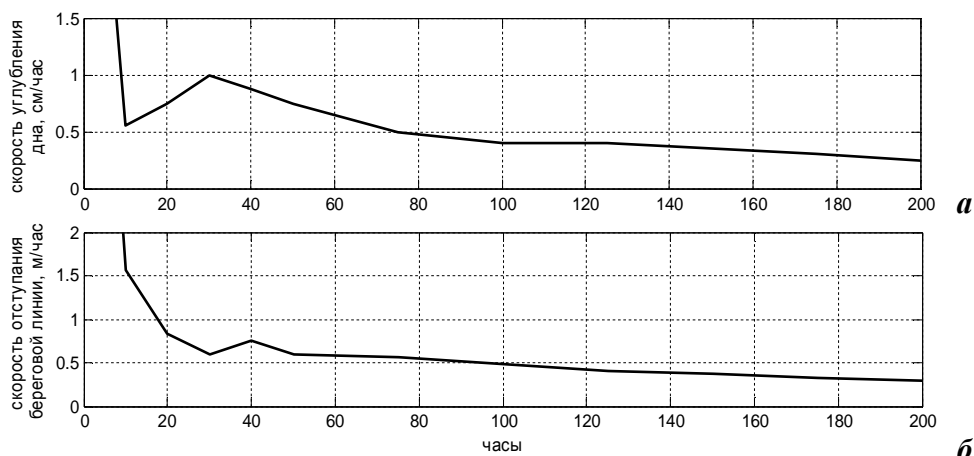


Рис. 1. Скорость углубления дна на контрольной точке, соответствующей исходному положению уреза, (а) и изменение скорости отступления береговой линии (б).

происходит размыв верхней части аккумулятивной формы и соединение морской акватории с озером. После первых 100 ч воздействия волн изменения профиля берега становятся минимальны (рис.1), в частности, углубление дна на контрольной точке, соответствующей исходному положению уреза, происходят со скоростью менее 0,4 см/ч, а отступление береговой линии осуществляется со скоростью менее 0,5 м/ч. Изменения рельефа береговой зоны со временем, при заданном штормовом воздействии показаны на рис.2. В природных условиях для данного региона максимальная продолжительность сильных штормов составляет около 140 ч [4], что позволяет считать данную аккумулятивную форму достаточно стабильной.

Для численной оценки особенностей формирования штормового профиля предлагается использовать метод И.О.Леонтьева [5], где в качестве критерия выработки профиля равновесия вводится показатель  $\Delta V/V \leq 5\%$ , где  $V$  – абсолютный объем деформаций ( $\text{м}^3/\text{м}$ ) по всему профилю за весь исследуемый период штормового воздействия и  $\Delta V$  – объем деформаций ( $\text{м}^3/\text{м}$ ) за единицу времени. Указанным методом с помощью модели штормового профиля *CROSS-P* выявлено, что период времени, необходимый для достижения значений относительных деформаций, увеличивается с уменьшением уклона профиля (например, 12,5 ч для уклона 0,04 и 15 ч для уклона 0,02 [5]).

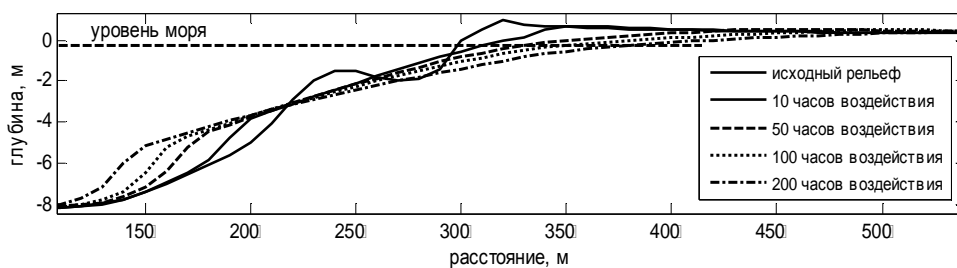
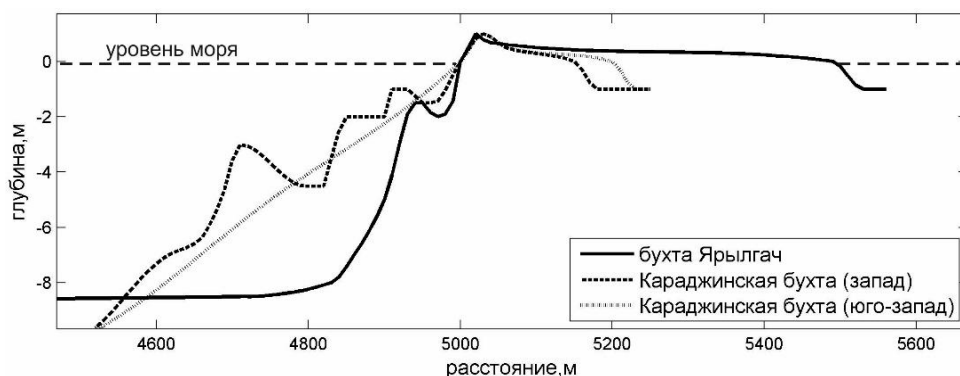


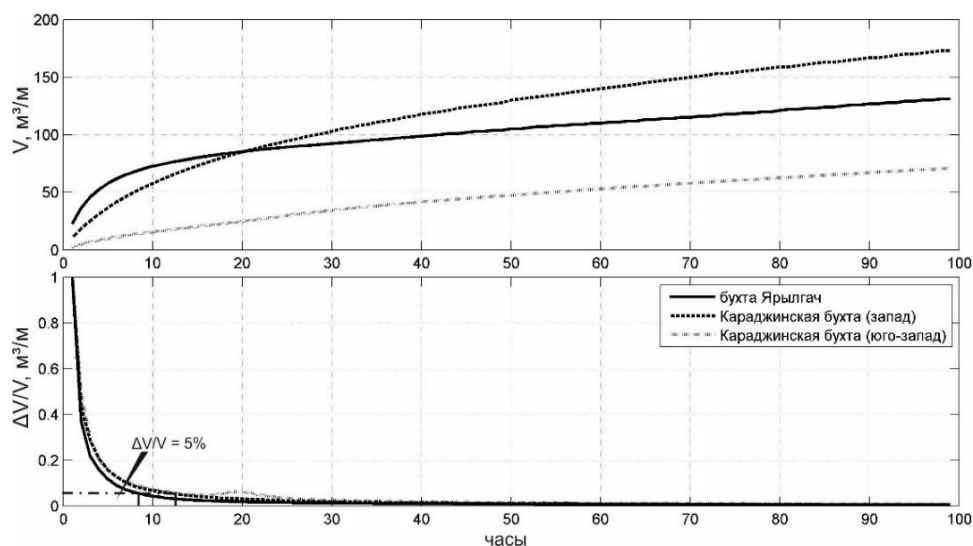
Рис. 2. Изменение профиля подводного берегового склона.



Р и с . 3 . Рельеф береговой зоны на исследуемых профилях бухт Ярылгач и Караджинская. Данные о глубинах согласно [1].

Исследуемые участки подводного берегового склона отличаются как по значениям уклонов, так и по степени расчлененности рельефа (рис.3). Для бухты Ярылгач средний уклон равен 0,05. Рельеф дна осложнен одним подводным валом высотой около 1 м. В Караджинской бухте средние уклоны дна в обоих исследуемых направлениях (запад и юго-запад) примерно одинаковы и составляют 0,02. На профиле юго-западного направления рельеф достаточно однородный. В западном направлении профиль дна осложнен несколькими береговыми валами, самый крупный из которых достигает относительной высоты 2 м.

По результатам моделирования получено, что для более крутых уклонов (бухта Ярылгач) переработка рельефа и приближение к состоянию динамического равновесия происходит быстрее, чем для более пологих уклонов (Караджинская бухта). Согласно изменению показателя  $\Delta V/V$  (рис.4),



Р и с . 4 . Оценка времени достижения профиля равновесия на основе изменения показателя относительных деформаций рельефа дна  $\Delta V/V$  ( $\text{м}^3/\text{м}$ ).

в природных условиях при непрекращающемся штормовом волнении квазиравновесное состояние наступает для уклона 0,05 после 8,5 ч воздействия, а для уклона 0,02 после 12,5 ч воздействия. Для больших уклонов со сложным рельефом (бухта Ярылгач) в первые часы воздействия шторма деформации происходят наиболее интенсивно, о чем свидетельствует интенсивное увеличение абсолютных деформаций  $V$ . После достижения  $\Delta V/V$  значений 5 % интенсивный рост абсолютных деформаций снижается.

Для двух участков дна, имеющих одинаковый средний уклон (Караджинская бухта) выявлено, что при наличии рельефа, осложненного подводными валами (западное направление), объем абсолютных деформаций ощутимо выше, чем на равномерном уклоне (юго-западное направление, рис.4). Для участка Караджинской бухты юго-западного направления отмечено, что снижение темпа относительных деформаций может быть прервано локальными максимумами значений  $\Delta V/V$ , что связано с обвальными процессами в стенках размываемого клифа, когда в прибойной зоне относительно резко увеличивается количества прибрежно-морских осадков.

Таким образом, исследование морфодинамики с помощью модели *XBeach* позволило сделать следующие **выводы**:

1. При длительном волновом воздействии рельеф береговой зоны не стабилизируется окончательно, а стремится к бесконечно малым изменениям. На примере аккумулятивной пересыпи Ярылгач показано, что прорыв аккумулятивной формы возможен после 390 ч волнового воздействия. При условии, что максимальная продолжительность штормов, наблюдаемых в природе, составляет около 140 ч [4], данную аккумулятивную форму можно считать относительно стабильной.

2. Использование критерия достижения равновесия  $\Delta V/V$  ( $m^3/m$ ) [5] позволило выявить, что для более крутых уклонов формирование равновесного рельефа происходит быстрее, чем для более пологого дна. На уклоне 0,05 равновесное состояние достигается после 8,5 ч волнового воздействия, а на уклоне 0,02 – после 12,5 ч.

3. Объемы абсолютных деформаций в значительной степени возрастают при наличии рельефа, осложненного подводными валами, что связано с переработкой аккумулятивных форм и выравниванием рельефа. Относительные деформации могут возрастать при возникновении обвала берегового уступа и относительно резкого поступления в зону волновой переработки наносов волнового поля.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 15-05-08239.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров А.Т.* Атлас динамики и морфологии советских берегов Черного моря.– М.: ИО АН СССР, 1954.
2. *Шуйский Ю.Д.* Механический состав пляжевых наносов на западных берегах Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007 – вып.15.– С.370-385.
3. *Харитонов Л.В., Фомин В.В.* Численное моделирование ветрового волнения у западного побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и

шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– вып.25, т.1.– С.26-37.

4. *Справочник по климату Черного моря.*– М.: Гидрометеоздат, 1974.
5. *Леонтьев И.О.* О некоторых свойствах процесса формирования штормового профиля песчаного берега // *Процессы в геосредах.*– М.: ИПМех РАН, 2015.– № 2(2).– С.66-74.

Материал поступил в редакцию 10.11.2015 г.

D. V. Korzinin

**FEATURES OF FORMATION EQUILIBRIUM PROFILE  
UNDERWATER COASTAL SLOPE  
(ACCUMULATIVE COAST OF THE WEST CRIMEA AS EXAMPLE)**

The features of the formation of the equilibrium profile of the underwater coastal slope as an example accumulative spits of the Yarylgach Bay and the Karadzhinskaya Bay are considered. The study is revealed that in the natural conditions a completely stable storm profile is not formed and relief deformations vanish. Using criteria to determine the provisionally equilibrium relief, it was revealed, that the time-period of the equilibrium profile formation depend on the bottom slope, and the volume of absolutely deformations is associated with the ruggedness of the original topography. With an average bed slope of 0.05 the formation of an equilibrium profile occurs in 8.5 h, with a slope of 0.02 – 12.5 h.