

ЛИТОДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТЯЖЕННОГО СВОБОДНОГО ПЛЯЖА

Турега О.Н.

Проблемы деформации берега, особенно разрушения пляжей, волнует как отечественных, так и зарубежных ученых. Тем более отрадно, что безопасностью вдольбереговой зоны занимаются украинские исследователи, которые предлагают действенные методы защиты пляжей, один из которых – расстановка бун строго определенного расстояния, что подтверждается соответствующими расчетами.

Предложенная методика оправдывает себя на практике (р-н Голубого залива, ЮБК), где береговой профиль практически стабилизировался и «съедание» пляжа, по сравнению со смежными участками отсутствует.

Ключевые слова: Литодинамика, моделирование, деформации, буны, эксперимент, пляж, устойчивость.

На северном побережье Черного моря преобладают литодинамические обстановки двух типов:

- в условиях широкого и мелкого шельфа, обладающего в побережье обширными заливами, в меньшей степени – ровными протяженными крупными бухтами с плавными выровненными участками берега. Пляжи в этом случае состоят из песчаного детритового режа гравийного и мелкогалечного материала. Миграция наносов осуществляется параллельно берегу (украинский тип за исключением участков Южнобережья). В дальнейшем потексту обозначим этот тип как свободный протяженный пляж.

- в условиях узкого приглубого шельфа с узенькими мелкими бухтами, далеко выдвигающимися мысами из коренных пород. Береговая линия густо изрезана. Пляж состоит из из глыбово-галечных образований, привнесенных в бухты временными водотоками или речками. Миграция наносов осуществляется, главным образом от берега на глубину мощными волнобереговыми течениями штормовыми волнениями (Кавказский тип). Такой тип именуем стесненным мелко изрезанным.

Ввиду ограниченности работы такого формата рассмотрим основные особенности защиты пляжей первого типа. С целью всестороннего изучения свободного протяженного пляжа проведем математическое моделирование литодинамических обстановок.

Введем декартову систему координат, в которой ось Ox ориентирована вдоль берега. Уравнение линии берега в плане представим зависимостью $y = y(x, t)$. Предполагаем, что из области «глубокой воды» под углом θ к берегу приходит волнение, параметры которого на глубокой воде: h - высота, λ - длина, τ - период. Распространяясь в зоне мелководья, волны трансформируются, отражаются, рефрагируют на естественных и искусственных неоднородностях, а достигнув критической глубины – обрушиваются. Результатом указанных процессов является динамика наносов в прибрежной зоне.

ЛИТОДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТЯЖЕННОГО СВОБОДНОГО ПЛЯЖА

Выделим участок побережья, представляющий собой объект геоморфологии. Это может быть бухта, ограниченная двумя мысами, межбунный отсек пляжа, зона от устьевом взморья реки до портового мола и так далее. Для математического описания литодинамических процессов в пределах выбранного участка используется уравнение баланса наносов, перемещаемых в прибрежной зоне при косом подходе волн [3]

$$(1 - \epsilon^*) \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} = B \frac{\partial y}{\partial t} - Q_y$$

Здесь ϵ – пористость грунта; B – высота клифа; Z – поперечное сечение вдоль берегового потока песчаных наносов.

$$Z = \frac{1}{2} H \bar{y} K \phi,$$

Где $H \bar{y}$ – осредненная глубина в зоне движения наносов; $K \phi$ – коэффициент формы; Q_x – расход вдоль берегового потока наносов, генерируемых косо подходящим волнением.

$$Q_x = \frac{10^{-4}}{m^{0.75}} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin 2(\theta_k - \theta_s),$$

Здесь m – коэффициент откоса берега, g – ускорение силы тяжести; θ_k – угол, составленный лучом волны ОУ в зоне обрушения волн / с учетом рефракции; θ_s – угол, составленный линией берега с осью ОХ.

$$\theta_s = \arctg \left(\frac{dy}{dx} \right)$$

$$Q_y = \begin{cases} A \Omega d \left[\left(\frac{V_y}{V_c} \right)^2 - 1 \right] V_y, & V_y \geq V_c, \\ 0, & V_y < V_c \end{cases}$$

$$V_y = 0,4 \sqrt{\frac{gh_k}{m \lambda_k} \cos(\theta_k - \theta_s)},$$

$$H_k = 1,5 H_k$$

Где X – ордината линии берега, Q_y – расход поперечного по отношению к берегу расхода потока наносов, генерируемого поперечной составляющей прибойного потока V ; $h_k = \lambda_k$ – высота и длина волны в хоне опрокидывания, A – эмпирическая постоянная; Ω – гидравлическая крупность наносов; d – их диаметр; V_c – скорость трогания наносов; H_k – глубина в зоне последнего опрокидывания; $\lambda_k = 0,014$ – коэффициент шероховатости дна; $\lambda_k = \lambda_k / H_k$ – относительная длина волны в зоне оборудования.

В основу математической модели положено установленное на опыте положение о том, что в процессе переоформления под воздействием косо подходящего волнения линия берега стремится занять положение, параллельное фронту опрокидывания волн. Первое слагаемое в правой части уравнения (1) учитывает поступление наносов в расчетную область за счет размыва клифа, а второе слагаемое учитывает миграцию в поперечном относительно берега направлении.

При этом первоначальный объем наносов в рассматриваемом участке не сохраняется, что связано с миграцией наносов, вызванной источниками членами в уравнении (1). Таким образом, рассматриваемая модель описывает, в отличие известных, неконсервативную динамику наносов. После некоторых преобразований уравнение баланса наносов может быть преобразовано к уравнению второго порядка параболического типа относительно величины y :

для уравнения неконсервативной динамики наносов (2) необходимо задать

$$\frac{dy}{dt} = c \frac{2 \cos 2(\theta_* - \theta_*)}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - D - E \quad (2)$$

начальное условие и граничные условия на концах промежутка интегрирования (0, L);

$$y(x, 0) = \varphi(x)$$

$$\left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{x=0} = y_1(t); \quad \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{x=L} = y_2(t) \quad (3)$$

Выражения для величин C, D, E – могут быть раскрыты с использованием формул (1) и (2).

Для решения начально-краевой задачи, поставленной выше, использовался приближенный интегро-интерполяционный метод, реализуемый с помощью трехточечной прогонки. Этот метод тестирования основан на линейных и нелинейных решениях уравнений параболического типа, для которых известны точные аналитические решения (включая автомодельные).

Рассмотрим математическое моделирование литодинамики и устойчивости прислоненного свободного пляжа на западном участке побережья Голубого Залива. Предлагается, что полупространство между бунами №1 и №2 на длине 520м прикрито галечным пляжем полного профиля (рис.1), берма пляжа располагается на отметке 2,5м. Средний объем отсыпки равен 100 м³/п.м. В тылу пляжа располагается стенка набережной.

Численный расчет элементов профиля формируемого пляжа выполняется в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, расчетная обеспеченность высот волн составила 5%, обеспеченность расчетного уровня воды соответствовала 1%. Отметка уровня воды равнялась -0.35м.

ЛИТОДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТЯЖЕННОГО СВОБОДНОГО ПЛЯЖА

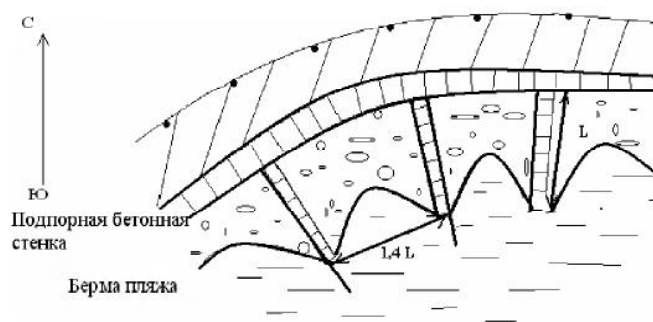


Рис 1. Литодинамика и защита берега свободного протяженного пляжа

Расчетные элементы ветровых волн определены для линии окончательного разрушения волн. Для пляжа полного профиля в местных природных условиях таковой является линия 2-го обрушения волн, совпадающая с подножием бермы отсыпаемого пляжа. Элементы ветровых волн определены путем осреднения данных по картине рефракции волн на линии 2-го обрушения.

Таблица 1.

	h_r	λ_k	θ^0	$H_{k, м}$	$t, с$
ЮЗ	2,18	71,5	31	4,3	6,75
Ю	1,62	42,3	14	3,0	5,25
ЮВ	1,67	44,0	2	3,4	5,3

Коэффициенты откоса подводного берегового склона в границах от глубины 2-го обрушения до уреза воды изменялся вдоль берега и диапазоне (10:12). По отношению к нормали к береговой линии волны ЮЗ и Ю направлений будут передвигать материал пляжа к буне №2, а волны ЮВ направления в обратную сторону. Волновой климат района характеризуется данными табл.2.

Таблица 2.

Румб	град	Время действия, тыс.,с.			Количество тыс. волн за время, лет		
		1 год	5 лет	25 лет	1	5	25
ЮЗ	31	9,5	47,5	237	1,4	7	35,1
Ю	14	3,12	15,6	78	0,6	3	14,9
ЮВ	2	1,56	7,8	39	0,3	1,5	7,5

В численных экспериментах выполнялось математическое моделирование воздействия на берег волн действующих направлений на 1,5 и 25 лет эксплуатации. Модель характеризовалась следующими параметрами: гидравлическая крупность наносов пляжа ($d=0,055$ м) $\Omega=0,85$ м/с; скорость трогания $V_c=1,5$ м/с; пористость наносов $\varepsilon^*=0,35$; коэффициент шероховатости $h=0,35$; высота клифа над расчетным уровнем $B=2,5$ м; эффективная глубина воды $H_s=4,0$ м.

В численном эксперименте первоначально оценивалась берего-формирующая роль ежегодно повторяющихся расчетных штормов действующих в юго-западном, южном и юго-восточном направлениях. Время волнового попуска по каждому из направлений отвечало данным таблицы 2. Последовательность эксперимента была следующей: вначале исследовалось воздействие шторма юго-западного направления; затем на рельеф, сформированный действием шторма юго-западного направления, накладывались деформации штормов южного и юго-восточного направлений. Данные математического моделирования показывают, что максимальный разрыв тела пляжа происходит при штормах юго-западного направления. Поэтому в дальнейших экспериментах прогноз динамики пляжа производился только на основании оценки результатов воздействия штормового юго-западного направления. Отметим также, что из-за почти фронтального подхода волн юго-западного направления не происходит возврат материала пляжа во входящий угол буны №1.

В последующих численных экспериментах выполнялось математическое моделирование воздействия на берег волн юго-западного направления в течение промежутков времени равных 1,5, 10, 15, 25 годам. При математических экспериментах в качестве начального задавалось положение линии берега, выработанное предыдущим штормом. В условиях опыта имеет место интенсивная динамика поперечного профиля пляжа и менее интенсивное вдольбереговое перемещение материала. Во времени наблюдается ослабление деформаций. Например, по окончании интервала воздействия (25 лет) наблюдается стабилизация профиля в межбунном пространстве за исключением первых 100 метров за буной №1, где уже после 5 лет эксплуатации наблюдается размыв пляжа и выход расчетного профиля пляжа за пределы местоположения набережной. Положение рассчитанного согласно требованиям относительно динамического равновесия пляжа в указанной зоне межбунного пространства так же выходит за пределы кордона набережной. По окончании расчетного периода поперечная скорость вдольберегового течения становится меньшей или равной скорости трогания $V_c = 1,5$ м/с, а коэффициент откоса пляжа приближается к динамически устойчивому m (12-13) для наносов заданной $d = 4 \cdot 10^{-2} / 7 \cdot 10^{-2}$ крупности.

Сокращение межбунного расстояния существенно не изменяет динамики деформаций пляжа: процесс стабилизации протекает аналогично предыдущему численному опыту при некотором (на 25-30 м) уменьшений размываемой в теневом пространстве буны №1 зоны пляжа. Очевидно, что установить размыв теневой зоны буны №1 при действии штормов юго-западного и южного направлений можно, если:

- запроектировать систему бун с межбунными расстояниями G , удовлетворяющими соотношению $G = 1:1,4$, где L -длина буны, или
- на расстоянии, равном длине буны №1 запроектировать щебеночный пляж с увеличенной $d = 9 \times 10^{-2} - 12 \times 10^{-2}$ м/крупностью; или
- внести изменения в конструкцию бун, оснастив их травеками; или
- применить на проектном отрезке берега прерывистый волнолом.

ЛИТОДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТЯЖЕННОГО СВОБОДНОГО ПЛЯЖА

В качестве альтернативного варианта была рассмотрена возможность применения на участке берега между бунами №3 и №2 глыбового навала. В результате расчета крепления глыбового навала получены размеры камня $d=0,35$ м, $d=0,33$ м и $d=0,38$ м по разным расчетным формулам и методикам для параметров волн 1% обеспеченности. Анализ устойчивости глыбового навала при накате и скате волн с откоса позволил установить, что для среднего размера $d=0,35$ м камня его вес должен составить 52 кг. Расчет объема крепления, выполняемый для среднего размера камня $d=0,35$ м, как при проектировании банкета из горной массы.

Наибольшие деформации бермы щебеночного пляжа наблюдаются при действии расчетных штормов юго-западного направления. Стабилизация профиля наступает практически после 5 лет эксплуатации сооружения. В наибольшей степени подвержен размыву 50-60 метровый отрезок берега за буной №1/западная часть участка защиты/, где за указанный период наблюдается размыв бермы пляжа до кордона набережной. Вдольбереговое перемещение наносов вдоль участка защиты слабое: наблюдается лишь частичное заполнение входящего угла буны №2.

Сокращение межбунных расстояний существенно не изменяет картину деформаций. Процессы переработки пляжа протекают аналогично вышеупомянутым. Наблюдается частичное (до 60м) сокращение размыва примыкающего к буне №1 отрезка берега.

Проектный объем щебеночного пляжа (до $100 \text{ м}^3/\text{п.м.}$) обеспечивает выработку профиля относительного динамического равновесия. Для стабилизации профиля буны №1 необходимо предусмотреть укрупнение фракций щебня до 90-120 мм, возведение траверс у головы буны или строительство системы бун.

ВЫВОДЫ

Математическое моделирование литодинамических процессов района бухты «Голубой залив» позволяет утверждать:

1. Решение уравнения баланса наносов прибрежной зоны позволило оценить литодинамическую обстановку, выяснить пути миграции материала и выбрать систему задержки наносов и защиты берега с помощью бун.

2. На рассматриваемый береговой участок бухты преобладающее влияние оказывают штормы юго-западного направления, соответственно в численных экспериментах учитывались деформации указанных направлений. Преобладающее влияние на формирование (разрушение) пляжа в рассматриваемом районе оказывают штормы юго-западного направления.

3. С помощью математического моделирования во времени исследовались воздействия максимальных штормов. Деформация берега в межбунном пространстве со временем ослабляется и к 25 годам эксплуатации устанавливается равновесие.

4. Наносы, мигрировавшие за пределы межбунного пространства назад не возвращаются, из-за чего первые годы эксплуатации пляжа будет ощущаться некоторый дефицит последних а, следовательно, и размыв пляжа.

5. Сокращение межбунного пространства не меняет динамики деформации пляжа. Межбунное расстояние G должно удовлетворять 1-1,4 L (длины буны).

6. Увеличение крупных фракций щебня для отсыпки пляжа в районе бун до 120 мм ведет к более устойчивому состоянию береговой линии бухты.

Список литературы

1. Волинский Р.И. «Приближенный метод оценки влияния подводных карьеров на береговые процессы при фронтальном волнении» ИГМ АНУ, 1984, доклад.
2. Калюх Ю.Н. «Определение ширины охраны зон на участках подводных карьеров при косом волнении» Респ. Сборник ИГМ АНУ 1993.
3. Кеннет Дж. Морская геология в 2-х томах - М.: Мир, 1987 – 397 с.
4. Рейнек Г.Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления - М.: Недра, 1984, 439 с.
5. Турега О.Н. и др. «Математическое моделирование ширины санитарных зон при освоении подводных карьеров» Респ. Бюлл. ИГМ. АНУ. 1991.

Турега О.М. Літодинаміка і стійкість протяжного вільного пляжу.

Проблеми деформації берега, особливо деструкції пляжів хвилює як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Тим більше утішно, що безпекою вздовжберегової зони займаються українські дослідники, які пропонують дієві методи захисту пляжів, один із таких – встановлення бун із строго певною відстанню між ними, що підтверджується відповідними розрахунками.

Запропонована методика виправдовує себе на практиці (р-н Блакитної затоки, ПБК), де береговий профіль практично стабілізувався і «з'їдання» пляжу, в порівнянні з суміжними ділянками відсутнє.

Ключові слова: Літодинаміка, моделювання, деформації, буни, експеримент, пляж, стійкість.

Turega O.N. Lithodynamics and stretched free beach

Problems of the shore deformation, especially a problem of beach destruction troubles both our scientists and foreign ones. That's why it is very good, that Ukrainian researchers work on the coastal zone safety, they offer the effective methods for the beaches protection, and one of such methods is placing of the wave absorbers in the strictly definite way, that is confirmed by the corresponding calculations.

The offered method demonstrates its value in practice (the region of the Blue Bay, the region of the Southern Coast of the Crimea), where coast shape is practically stabilized and "eating" of the beach is absent as compared to contiguous areas.

Key-words: lithodynamics, design, deformations, wave absorbers, experiment, beach, stability.