РАЗДЕЛ II. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Бондарева Е.В.

Прогноз береговых деформаций в зоне влияния поперечных гидротехнических сооружений

Сочинский государственный университет
(Россия, Сочи)

doi: 10.18411/lj-10-2020-16

idsp: ljjournal-10-2020-16

Аннотация

Разработана математическая модель переформирования береговой линии пляжа, сложенного неоднородными по составу наносами, в окрестности поперечных гидротехнических сооружений. Модель учитывает дифракцию волн, возникающую в теневой зоне гидротехнического сооружения.

Ключевые слова: береговая линия, пляж, моделирование, прибойная зона, поперечные сооружения, дифракция волн.

Abstract

A mathematical model is developed for reshaping the shoreline of a beach composed of heterogeneous sediments in the vicinity of transverse hydraulic structures. The model takes into account the wave diffraction that occurs in the shadow zone of a hydraulic structure.

Keywords: coastline, beach, modeling, surf zone, cross structures, wave diffraction.

Для краткосрочных и долговременных прогнозов взаимодействия перемещений наносов в береговой зоне моря с портовыми оградительными и берегозащитными сооружениями предлагается одномерная диффузионная модель, рассчитывающая эволюцию пляжа в зоне влияния поперечного сооружения. В модели изменения пляжа изучаются с помощью анализа сохранения потока пляжного материала и соответствующих накоплений и потерь материала в зоне сооружений.

В предлагаемой модели решение задачи состоит из двух этапов. На первом определяется распределение вдольбереговых расходов наносов из уравнения диффузии (4). На втором этапе по рассчитанному расходу наносов определяется положение береговой линии из уравнения баланса (1).

Волновой климат задается направлением подхода волн α_0 , существенной высотой волн на глубокой воде H_0 и периодом волн T . Внешние границы с обеих сторон сооружения задаются на расстояниях от сооружения, где его влияние пренебрежимо мало. На этих границах расход наносов определяется по модифицированной энергетической формуле вдольберегового переноса наносов [1,2], учитывающей рефракцию волн. Другие граничные значения задаются непосредственно с обеих сторон сооружения. Для непроницаемого сооружения и в отсутствии байпассинга, расход наносов на сооружении равен нулю. В противном случае этот расход должен быть определен. Начальное значение величины расхода наносов, до строительства сооружения также определяется по модифицированной формуле вдольберегового переноса наносов, учитывающей рефракцию волн. Начальное положение пляжа задается по данным натурных измерений.

Поведение береговой линии определяется из уравнения неразрывности, которое для пляжа записывается в виде:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{1}{h} \frac{\partial Q}{\partial x}, \quad (1)$$

где: $y(x,t)$ – определяет положение береговой линии; x – расстояние вдоль берега; t – время; h – предельная глубина воды, на которой происходит движение материала пляжа.

Из (1) положение береговой линии определяется на основе расхода наносов Q , вычисленного по одномерному уравнению диффузии. Вывод уравнения диффузии для вдольберегового расхода наносов основан на том, что ориентация береговой линии по отношению к оси x может быть выражена через угол α между осью x и фронтом волн, и угол между фронтом волн и береговой линией α_0 :

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \operatorname{tg}(\alpha - \alpha_0) \quad (2)$$

Комбинация уравнений (1) и (2) позволяет получить одномерное уравнение диффузии для расхода наносов:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\frac{\partial Q}{\partial \alpha_0}}{h \left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right]} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (3)$$

Уравнение (3) переписывается в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = L(t, x) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}, \quad L(t, x) = \frac{A(z \cos \alpha_0 \cos z \alpha_0 - \sin \alpha_0 \sin z \alpha_0)}{h \left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right]}, \quad (4)$$

где $L(t, x)$ - коэффициент диффузии, учитывающий изменение расхода наносов при изменении угла между фронтом волн и линией берега на глубокой воде.

Уравнения (1) и (4) решаются численно с использованием метода конечных разностей для заданных начальных и граничных условий, что позволяет получить распределение потока наносов и положение береговой линии в узлах дискретной сетки вдоль береговой линии и с дискретным шагом по времени.

Уравнение (4) линеаризуется и интегрируется по абсолютно-устойчивой схеме Кранка-Николсона:

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left(L \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|^{n+1} + L \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|^n \right), \quad (5)$$

где индекс i представляет узлы пространственной сетки, а индекс n - точки временных шагов, Δt - шаг сетки по временной координате, и:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \frac{Q_{i+1} - 2Q_i + Q_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (6)$$

где Δx - шаг сетки по пространственной координате.

Аналогично, начальные и граничные условия заменяются их разностными аппроксимациями.

Принимая приближенно $L_i^{n+1} = L_i^n$ и обозначая $\lambda = \Delta t / \Delta x^2$, уравнение (5) можно представить в виде:

$$a_i Q_{i-1}^{n+1} + b_i Q_i^{n+1} + c_i Q_{i+1}^{n+1} = d_i, \quad (7)$$

где

$$a_i = c_i = -L_i^{n+1} \quad (8)$$

$$b_i = \frac{2}{\lambda} + 2L_i^{n+1} \quad (9)$$

$$d_i = \frac{2}{\lambda} Q_i^n + L_i^n (Q_{i+1}^n - 2Q_i^n + Q_{i-1}^n) \quad (10)$$

При использовании известных величин расхода наносов на верхней и нижней границах, уравнения (7-10) являются трехдиагональной системой, решаемой стандартными методами. Расходы наносов Q_i^{n+1} определяются, начиная с последнего узла: $i = N, N-1, \dots, 1$.

Уравнение (1) далее интегрируется для определения нового положения береговой линии ($y_i, i = 1, 2, \dots, N$):

$$y_i^{n+1} = y_i^n - \frac{\Delta t}{2h} \left(\left. \frac{\partial Q}{\partial x} \right|^n + \left. \frac{\partial Q}{\partial x} \right|^{n+1} \right) \quad (11)$$

На рисунке 1 представлено сравнение разработанной математической модели переформирования пляжа в окрестности поперечных гидротехнических сооружений, основанной на едином подходе определения вдольберегового переноса неоднородных наносов применительно к условиям галечных и песчаных пляжей с аналитическим решением задачи [3] при $\alpha_0 = 6^0$, $Q = 10^4 \frac{м^3}{м \cdot год}$.

Рисунок 1. Сравнение I-D модели с аналитическим решением задачи: линия с крестиками – контур берега по аналитическому решению; сплошная линия – контур берега по I-D модели.

Максимальная относительная погрешность вычислений по отношению к аналитическому решению составляет 13%.

Для более точной оценки эволюции пляжа в окрестности достаточно длинных оградительных портовых молов предлагается учитывать дифракцию волн, возникающую при подходе волн к берегу в теневой зоне сооружений. Дифракция приводит к изменению высоты волны вдоль волнового гребня и направления подхода волн по линии обрушения, что оказывает влияние на положение и характер низового размыва. Поэтому, разработанная модель переформирования неоднородного пляжа модифицирована с учетом дифракции. В формулу CERC [4], учитывающую рефракцию и трансформацию волн при определении вдольбереговой компоненты потока волновой

энергии [5] дополнительно вводится коэффициент дифракции K_D , учитывающий изменение высоты волны вдоль волнового гребня в дифрагированной зоне. При этом коэффициент рефракции K_R в формуле CERC [4, 5] заменяется комбинированным коэффициентом $K_R K_D$. Коэффициент дифракции предложено определять на основе аппроксимации [6]. Решение хорошо согласуется с известными аналитическими решениями [7].

Таким образом, разработана численная модель переформирования береговой линии пляжа в зоне влияния поперечных гидротехнических сооружений. Модель основана на универсальном подходе определения вдольберегового переноса неоднородных наносов, применительно к условиям песчаных и галечных пляжей и учитывает дифракцию волн, возникающую в зоне волновой тени сооружения.

1. Бондарева Е.В., Кантаржи И.Г. «Взаимодействие вдольберегового потока наносов с морскими гидротехническими сооружениями». Гидротехническое строительство, №12, М., 2009 г., с. 33-40.
2. Bondareva E, Kantardgi I. Graded Sediment Longshore Transport. Proc. of 9-th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, (MEDCOAST 09), Sochi, 2009, MEDCOAST, METU, Turkey, 2009, 765-777.
3. Pelnard-Considere R. «Essai de theorie de L'evolution des formes de ravage en plages de sable et de galets». Quatr. J. Hydraulique. Paris, 1956. Question 3. Rapp. N 1.
4. Леонтьев И.О. «Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов». М, ГЕОС, 2001 г., 272 с.
5. Le Mehaute, B., and Soldate, M. A Numerical Model for Predicting Shoreline Changes, Miscellaneous Report No. 80-6, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, Va., July, 1980, pp. 72.
6. Бондарева Е.В., Кантаржи И.Г. Прогноз влияния морских оградительных и берегозащитных сооружений на динамику наносов. Транспортное строительство, №5, 2010, с. 11-14
7. Ветер, волны и морские порты, под ред. Ю.М. Крылова, Л., Гидрометеиздат, 1986 г., 254 с.

Коркота Д.К., Хилько А.С., Хатхоху Е.И., Александров Д.А.

Рисоводство как основа развития мелиорации на Кубани

ФГБОУ ВО «Кубанский Государственный Аграрный Университет имени И.Т.

Трубилина»

(Россия, Краснодар)

doi: 10.18411/lj-10-2020-17

idsp: ljjournal-10-2020-17

Аннотация

В статье изложены основные проблемы, возникающие на пути перехода производства риса на устойчивое, безопасное и развивающиеся направление на примере Черноерковского филиала ФГБОУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз». Концепция устойчивого экологического рисоводства является возможным путем решения этой проблемы.

Ключевые слова: мелиорация, орошение; рисоводство, сельское хозяйство, загрязнение окружающей среды.

Abstract

The article outlines the main problems arising on the way of transition of rice production to a sustainable, safe and developing direction on the example of the Chernookovsky branch of the Federal State Budgetary Educational Institution "Management" Kubanmelyovodkhoz ". The concept of sustainable ecological rice production is a possible way to solve this problem.

Keywords: land reclamation, irrigation, rice growing, agriculture, environmental pollution.