

УДК 627.131(157)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФОРМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАНОСОВ В УСТЬЯХ РЕК ПРИ ИЗМЕНЧИВОМ БАЗИСЕ ЭРОЗИИ

П.О. БАЛДЖЯН¹, Г.И. КАРАПЕТЯН¹, А.А. САРУХАНЯН², Н.Г.ОВУМЯН²¹Национальный политехнический университет Армении²Национальный университет архитектуры и строительства Армении

Поступило 03.03. 2015

В работе рассматриваются процессы русловых преобразований, происходящие на устьевых участках рек. Решение этой задачи имеет важное теоретическое и практическое значение, поскольку отложение наносов на прибрежной зоне, поднимая уровень дна реки, создает благоприятные условия для дельтообразования, которое серьезно угрожает близлежащим объектам. Для прогноза возможных развитий русловых преобразований на основе разработанной математической модели предлагается метод расчета параметров стабилизированных русловых преобразований при поднятии берегового уровня в устьевом сечении реки.

Ключевые слова: *поток, наносы, устье реки, руслопреобразование, прогноз.*

Введение. Расходы воды и наносов рек горно-предгорной зоны во время прохождения паводков увеличиваются в десятки раз, а иногда и на два порядка. Параллельно с этим развиваются и руслопреобразующие процессы. Смытые со склонов и с верхних участков рек наносы, потоком транспортируются вниз по течению. Часть из них отлагается на нижнем течении рек, а остальные впадают в моря или озера. В результате уклон устьевого участка уменьшается, и основная часть наносов уже отлагается по его длине. Естественно, что на данный процесс значительное влияние оказывают и изменения уровня водоемов (из-за волн и других причин), в которые впадают реки. Обычно период русловых преобразований, охватывающий более или менее значительные масштабы, совпадает с промежутком прохождения паводка, т.е. эти процессы также достаточно краткосрочны. Начатый руслопреобразующий процесс продолжается до тех пор, пока не установится баланс наносов. В новых условиях, когда русло стабилизируется, поток вновь начинает нести значительную часть наносов к морю. Из года в год дно устьевой части реки и береговые уровни моря поднимаются. Естественно, должен подниматься и уровень воды в реке для обеспечения пропуски расхода поступающего потока. Вследствие этих явлений на наиболее слабом створе русла происходит прорыв берега, и часть

потока образует новую ветвь. Описанный процесс дельтообразования в большей или меньшей степени характерен для всех рек (рис. 1, 2).



Рис . 1. Дельта р. Дунай



Рис. 2. Устьевая зона и дельта р. Риони (Поти)

Цель работы: разработка метода прогнозирования формы распространения отложившихся наносов на прибрежных участках рек в условиях изменения уровня морского берега (базиса эрозии).

Результаты исследований. Конечной целью задач русловых преобразующих процессов является установление характеристик их конечного результата, т.е. координат стабилизированной поверхности дна русла Z (поверхность $y - y$ на рис. 3) и параметров потока, движущегося по преобразованному новому руслу.

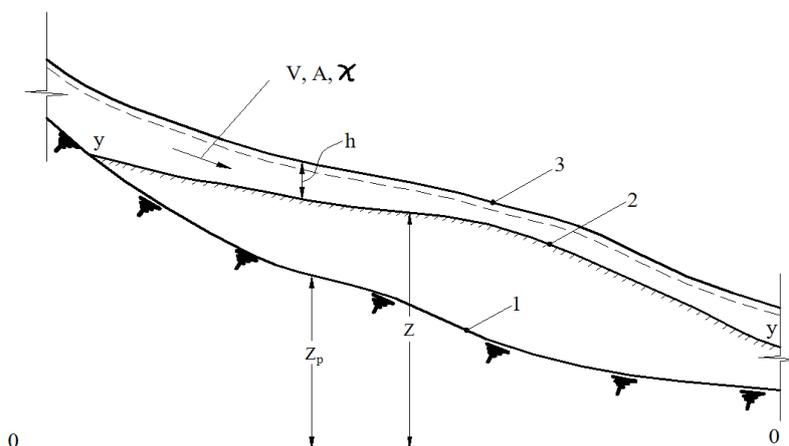


Рис. 3. Продольный профиль участка русла на стадии стабилизации руслообразующего процесса

Предположим, что береговой уровень моря в начальном створе $x = 0$, куда впадает река, из-за искусственных или естественных причин поднялся (опустился) на определенную величину Z_0 (рис. 4).

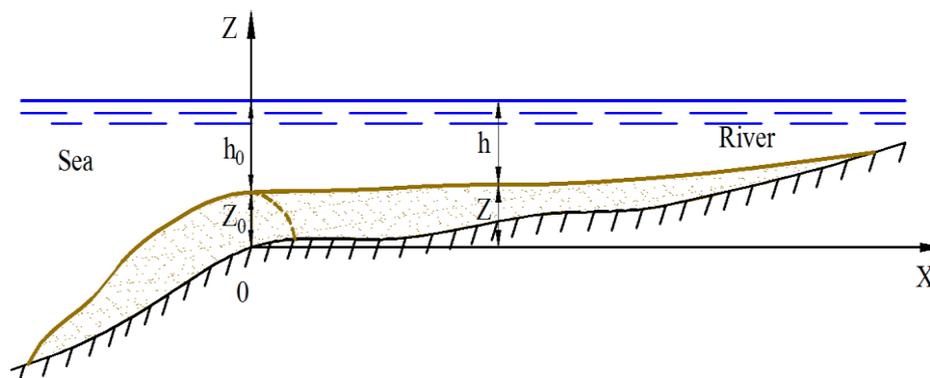


Рис. 4. Схема распространения наносов в устье реки

Необходимо прогнозировать новую форму установления поверхности дна русла после завершения отложений наносов, т.е. определить координаты дна Z , а также параметры потока, движущегося по новому руслу.

До начала процесса гидрологические, геометрические и гидравлические исходные параметры потока и русла следующие:
расходы потока и наносов Q, Q_T , координаты и продольный уклон дна русла Z_T, i_T , глубина потока, ширина, смоченный периметр, площадь и средняя скорость

живого сечения соответственно $h_r, b_r, A_r, \chi_r, V_r$.

На основе анализа имеющихся решений теоретического описания русловых преобразующих процессов и выявления ряда существенных ошибок и недостатков, допущенных при их выводе, в работе [1] предложена теория для прогноза параметров различных типов русловых изменений. Согласно этой теории совместное решение уравнений движения потока, неразрывности жидкости и баланса наносов в безразмерных величинах можно представить следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 \bar{A}^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3}, \quad (1)$$

где \bar{h} - глубина потока в стабилизированном новом русле с площадью живого сечения \bar{A} (рис. 3). Кроме \bar{z} , \bar{h} и \bar{A} , остальные величины в уравнении (1) определяются известными методами. (Линейным масштаб безразмерности принята ширина «предельного участка» русла [2]).

Данное уравнение универсально, поскольку оно применимо для:

- разных типов движения наносов (от малонасыщенных двухфазных до турбулентных селевых включительно);
- различных видов руслоформирующих процессов (вызванных искусственными или естественными причинами);
- всевозможных форм продольного и поперечного сечения русла [1].

Для решения конкретных задач руслоформирования, наряду с универсальным уравнением (1) необходимо также использовать геометрические закономерности поперечного сечения, начальные и граничные условия данной задачи.

В частности, для трапецеидальной формы русла ширина стабилизированного русла \bar{b} и глубина потока в нем \bar{h} могут быть представлены в виде:

$$\bar{b} = \frac{2\sqrt{1+m^2} + \beta_0}{\beta_0} \bar{A}^a - 2\bar{h}\sqrt{1+m^2}; \quad (2)$$

$$\bar{h} = \frac{2\sqrt{1+m^2} + \beta_0}{2\sqrt{1+m^2} - m} \frac{\bar{A}^a}{2\beta_0} \pm \sqrt{\left(\frac{\bar{A}^a}{2\beta_0} \frac{2\sqrt{1+m^2} + \beta_0}{2\sqrt{1+m^2} - m} \right)^2 - \frac{(\beta_0 + m)\bar{A}}{\beta_0^2(2\sqrt{1+m^2} - m)}}. \quad (3)$$

Дифференцируя эти выражения, получим:

$$\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = f_1(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}}; \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} = f_2(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}}, \quad (5)$$

где $f_1(\bar{A})$ и $f_2(\bar{A})$ - известные функции, полученные в ходе дифференциации.

Подставляя значение $\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}}$ из выражения (5) в уравнение (1), получаем:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + f_2(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 \bar{A}^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{A}^{(4a-10)/3} \bar{d}_{от}^{1/3}, \quad (6)$$

где производная $\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}}$ представляет собой переменный уклон $I(x)$ стабилизированной поверхности у-у (рис.3).

В уравнении (6) уже имеются два искомого параметра \bar{A} и \bar{Z} . Для решения задачи составляется еще одна зависимость между этими параметрами с учетом формы русла. В частности, для трапецеидального сечения русла можно написать следующую связь (рис. 5):

$$Z = Z_p + \frac{b - b_p}{2m}. \quad (7)$$

После несложных преобразований будем иметь:

$$\frac{d\bar{Z}}{d\bar{x}} = \frac{d\bar{Z}_p}{d\bar{x}} + \frac{1}{2m} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}}. \quad (8)$$

С учетом уравнения (4) из последнего выражения получим связь между параметрами \bar{A} и \bar{Z} :

$$\frac{d\bar{Z}}{d\bar{x}} = i_p + \frac{1}{2m} f_1(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}}, \quad (9)$$

где $\frac{d\bar{Z}_p}{d\bar{x}} = \frac{dZ_p}{dx} = i_p$ - первоначальный уклон русла.

Из совместного решения уравнений (6) и (9) получаем обыкновенное линейное дифференциальное уравнение.

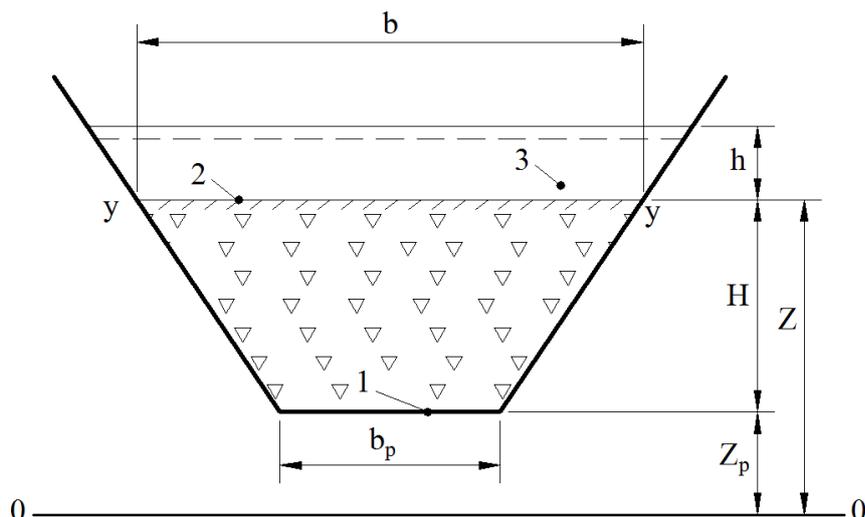


Рис. 5. Трапецидальное сечение русла

И, наконец, интегрирование уравнения (6) производится с учетом граничных условий нашей задачи. Если на устьевом сечении русла ($x = 0$) величина поднятия (снижения) уровня берега $Z = Z_0$ (рис. 4), то с помощью несложных гидравлических расчетов определяем площадь живого сечения на этом створе $A_{нач}$ [3].

Интегрирование уравнения (6) позволяет установить значения A по длине участка руслопреобразования. Далее по зависимостям (2), (3) и (7) находим соответствующие параметры потока, в том числе координаты дна стабилизированного нового русла. На каждом створе, сопоставляя величины глубин с высотой берега реки, можно выявить местоположение тех створов реки, в которых прорыв более всего возможен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karapetyan H.J., Baljyan P.H. The Universal Theory of Stabilized Channel Formation. Proceedings of State Engineering University of Armenia, Hydrology and Hydraulic Engineering. Yerevan. 2014.
2. Baljyan P.O. Determination of dependency between streams hydraulic parameters under constancy of their silt carrying ability. Printed by Izvestia of NASA and SEUA, Series TH. Yerevan. 2005. V.58. N2.
3. Chou V.T. Open-channel hydraulics. (Russian translation from English). Printed by M.:Gosstroyizdat. RF. 1969.