

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.435.36 : 626/627

Н. Д. ШИШОВ

**МЕТОД ПРОГНОЗА РАЗМЫВА БЕРЕГА И ПОДВОДНОГО СКЛОНА
НА ПОДВЕТРЕННОЙ СТОРОНЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ**

На основании данных о величине вдольберегового потока и дефицита наносов, вызываемого задерживающим их сооружением, прогнозируется объем размыва берега и подводного склона, а также форма кривой береговой линии. Исходными данными являются направление равнодействующей ветро-волнового режима, длина и характер сооружения.

Гидротехнические сооружения (молы, дамбы, волноломы, подходные каналы), выдвинутые от берега в сторону моря, оказывают большое влияние на характер и объем перемещающихся вдоль берега наносов, а также на прилегающие к сооружению берега и подводный склон. Основное влияние заключается в том, что с «наветренной» стороны сооружения или в канале начинают откладываться и накапливаться наносы, береговая линия выдвигается в сторону моря, а канал мелеет.

Задержание сооружением хотя бы части наносов нарушает сложившийся баланс во вдольбереговом потоке. С «подветренной» стороны, в углу между берегом и сооружением, образуется «волновая тень», где меняется характер течений и волнения и (хотя не всегда) происходит отложение наносов, но обычно менее интенсивно, чем с наветренной стороны. Главным же следствием нарушения баланса во вдольбереговом перемещении наносов является размыв берега и подводного склона с «подветренной» стороны сооружения. Размыв обычно начинается на некотором расстоянии от корня сооружения, но бывают случаи, когда берег и подводный склон размываются непосредственно у самого сооружения. Из практики известны многие случаи размыва берега и подводного склона с «подветренной» стороны сооружения, однако сам процесс изучен недостаточно, а методика расчета размыва отсутствует. Настоящая работа представляет собой первую попытку создания методики расчета влияния гидротехнических сооружений на деформацию берега и подводного склона, и потому не исключено, что с накоплением фактических данных о размыве она будет уточнена и дополнена. В основу разработки методики положены данные многолетних натуральных наблюдений в различных условиях эксплуатации сооружений, отрывочные сведения о размывах и теоретические соображения.

Интенсивность размыва и протяженность размываемого берега зависят от многих причин, но главная из них, как указывалось, — нарушение сооружением баланса наносов.

Чем большую часть вдольберегового потока наносов задерживает сооружение, тем больше дефицит их на подветренной стороне и тем (при равных гидрометеорологических условиях) интенсивнее размыв берега и подводного склона. Грунт, образующийся в результате размыва, пополняет вдольбереговой поток наносов и тем самым уменьшает его дефицит, а следовательно, уменьшает и интенсивность размыва берега и подводного склона. В определенных условиях благодаря размыву мощность вдольберегового потока наносов восстанавливается; в таких случаях размыв берега и подводного склона обычно затухает.

Наиболее интенсивное задержание наносов сооружением происходит в первые годы после его постройки, следовательно, и наибольший дефицит во вдольбереговом потоке наносов, максимальный размыв берега и подводного склона приходится на эти же годы. Со временем сооружение постепенно заносится, все больше наносов начинает идти в обход его, дефицит наносов во вдольбереговом потоке уменьшается, сокращается и интенсивность размыва берега и подводного склона.

Если бы не было вмешательства в описанный процесс, то существовавшее до строительства сооружения динамическое равновесие было бы восстановлено. Но в процессе эксплуатации сооружений часть отложившихся наносов удаляется (ремонтное черпание, поддержание глубин у причалов и др.), поэтому существовавшее динамическое равновесие полностью не восстанавливается и дефицит в балансе вдольберегового потока наносов, а также процесс размыва берега и подводного склона сохраняются.

На ослаблении размыва, как показал В. П. Зенкович (1962), сказывается наблюдаемое в природе стремление к выработке равновесия между энергией волн и профилем подводного склона. Кроме того, при размыве берега и подводного склона более крупные частицы грунта перемещаются вдоль берега с меньшей скоростью или остаются на месте, образуя своеобразную отмостку, затрудняющую размыв, но способствующую гашению волн. Исключительное значение имеет и неоднородное геологическое строение размываемого берега и подводного склона, а также изменение в направлении линии берега. Предполагается, что гидрометеорологические условия размываемого участка берега одинаковы.

Размыв обычно начинается сразу же за зоной волновой тени. Но это не исключает в отдельные периоды размыва и в пределах зоны волновой тени, хотя здесь отложение обычно преобладает над размывом. Место начала наиболее интенсивного размыва зависит от выдвижения сооружения в море (его длины) и направления равнодействующей ветроволновой энергии к сооружению и берегу. Чем больше длина выдвинутого в море сооружения и меньше угол между равнодействующей ветроволновой энергии и берегом, тем дальше от корня сооружения располагается начало наиболее интенсивного размыва.

Положение начала интенсивного размыва определится, если провести равнодействующую ветроволновой энергии (E) через головную часть сооружения до пересечения ее с линией берега (рис. 1). Точка пересечения и будет средним положением места начала максимального размыва берега и подводного склона.

Равнодействующая ветроволновой энергии подсчитывается по ветру за многолетний период, и потому полученные характеристики являются средними за этот же период. Зона начала размыва может несколько смещаться к сооружению или, наоборот, удаляться от него.

Подобный характер размыва берега и подводного склона с «подветренной» стороны сооружения подтверждается опытом многолетней эксплуатации сооружений. Однако в практике известны отдельные случаи, которые не укладываются в описанную схему, что вызывается местными особенностями гидрометеорологического режима района

моря, геологического строения берега и подводного склона, а также положением сооружения и его конструкцией и др.

Несмотря на отдельные исключения, большинство случаев размыва берега и дна в прибрежной зоне укладывается в описанную выше схему, и потому качественный характер размыва берега и подводного склона с подветренной стороны сооружения можно описать кривой в безразмерной форме (рис. 2). При этом по оси абсцисс в безразмерных

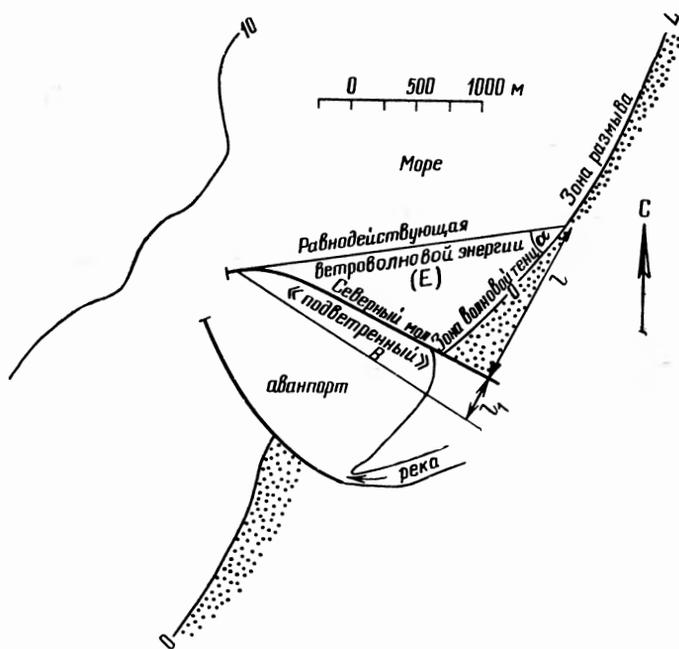


Рис. 1. Схема определения зоны размыва за «подветренным» молом

единицах откладываются расстояния по берегу, а по оси ординат интенсивность размыва.

Расстояния по берегу в безразмерной форме получают путем деления длины берега (L) на расстояние от корня сооружения до точки максимального размыва (l)

$$x = L/l, \quad (1)$$

где x — безразмерные расстояния по берегу; L — длина участка берега, км; l — расстояния от корня сооружения до точки максимального размыва, км.

Максимальная интенсивность размыва принимается за единицу, а интенсивность размыва (U) в других точках берега будет меньше единицы.

Уравнение кривой, описывающей размыв берега и подводного склона, будет иметь вид

$$U = a^{-x}, \quad (2)$$

где U — относительная интенсивность размыва, равная единице и меньше; a — постоянный параметр больше единицы.

Значение параметра a зависит от направления ветроволновой энергии E к линии берега и заключается в пределах от 1,01 до 1,8. В первом приближении оно определяется по формуле

$$a = 1 + 0,8 \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

где α — угол между равнодействующей ветроволновой энергии E и линией берега (рис. 1).

В приводимом ниже примере a принято равным 1,45. На графике (рис. 2) приводится схема интенсивности размыва берега за Северным («подветренным») молом Вентспилсского порта при современном расположении оградительных сооружений. На этой схеме расстояние от корня мола до точки максимального размыва (l) равно 1,35 км. Расстояния по берегу (x) выражены в относительных единицах, вычисленных по формуле (1) и отложенных от точки наибольшего размыва, в которой его интенсивность равна единице. При $x=1$, что соответствует расстоя-

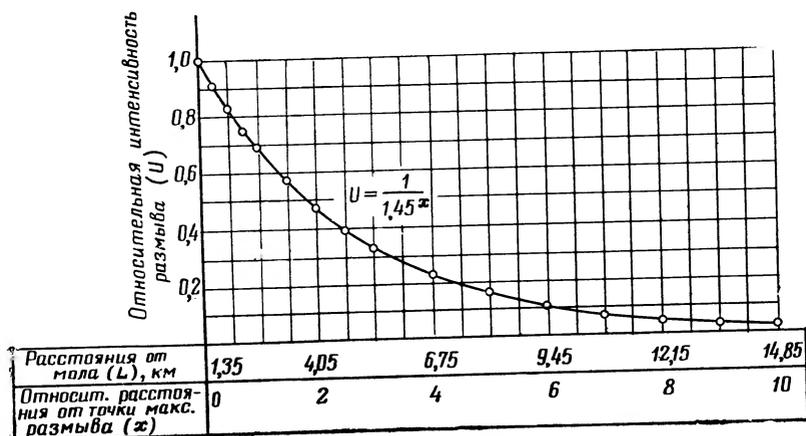


Рис. 2. Безразмерная кривая интенсивности размыва

нию 2,7 км от корня мола, интенсивность размыва составляет 0,70 от максимальной. При $x=2$ (в 4,05 км от мола) интенсивность размыва составляет 0,48 от максимальной.

На рис. 2 площадь F , ограниченная кривой интенсивности размыва и осью абсцисс, характеризует собой объем дефицита наносов, образующегося за счет задержания их сооружением. Если известен объем дефицита во вдольбереговом потоке наносов с подветренной стороны сооружения, то можно получить распределение размыва в абсолютных величинах. Объем наносов, возникающих при размыве берега (q), вычисляется по формуле:

$$q = \frac{Q_{\text{деф}} U \Delta x}{F}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{деф}}$ — объем задерживаемых сооружением наносов (дефицит), $\text{м}^3/\text{год}$; Δx — единица измерения относительного расстояния по берегу; F — площадь безразмерного графика в относительных единицах. На графике (рис. 2) площадь F равна 2,8 относительных единиц; q — объем наносов ($\text{м}^3/\text{год}$) на отрезке Δx .

Для определения характера и объема размыва вдоль берега и подводного склона с «подветренной» стороны сооружения по изложенной методике необходимо иметь следующие основные сведения: 1) расстояние от корня сооружения до точки максимального размыва (l); 2) объем дефицита наносов с «подветренной» стороны сооружения $Q_{\text{деф}}$. Расстояние от сооружения до места максимального размыва (l) получают путем обследования берега или расчета (рис. 1). Характеристики зоны максимального размыва зависят от длины сооружения и угла равнодействующей ветроволновой энергии к линии берега. Эта зависимость,

как видно из рис. 1, описывается уравнением

$$l + l_1 = B \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где l_1 — расстояние от точки пересечения нормали с берегом до корня сооружения (рис. 1), км; B — длина сооружения по нормали от точки касания равнодействующей ветроволновой энергии с головной частью сооружения до линии берега, км. Значение l_1 — определяется из рис. 1.

Величина l является основной характеристикой и служит основой для получения относительных расстояний по берегу. Обычно расстояние от сооружения до точки максимального размыва (l) не превышает двух длин сооружения. Берег между сооружением и точкой максимального размыва представляет собой зону переменного режима, но обычно отложение здесь преобладает над размывом.

Определение объема наносов, задерживаемых всеми сооружениями (дефицит), затруднено ввиду отсутствия надежных натуральных данных, а также методики расчета. Обычно дефицит складывается из наносов, накапливающихся в подходном канале и задерживаемых сооружениями.

Объем наносов, откладывающихся в канале, берется из наблюдений, данных о ремонтном черпании или получается путем расчета (Шишов, 1974). Объем наносов, задерживаемый оградительными сооружениями, расчету не поддается и берется из наблюдений по аналогии, или оценивается приближенно в зависимости от характера сооружений. Обычно в среднем этот объем близок к объему наносов, откладывающихся в канале, но колеблется в пределах 25—150% от него.

Так, например, в рассматриваемом примере Вентспилского порта, по подсчетам Р. Я. Кнапса (1952), за 60 лет к югу от Южного мола отложилось 6,7 млн. m^3 наносов, в аванпорте 3,1 млн. m^3 , за Северным молом 4,4 млн. m^3 и на бере 0,5 млн. m^3 . Всего портовыми сооружениями было задержано 14,7 млн. m^3 или в среднем 245 тыс. $m^3/\text{год}$. Средний объем ремонтного черпания за тот же период составил 237 тыс. $m^3/\text{год}$. А весь задерживаемый сооружениями объем (дефицит) равен 482 тыс. $m^3/\text{год}$, что составляет 48,2% мощности потока, равного у Вентспилса, по определению Р. Я. Кнапса, 1 000 000 $m^3/\text{год}$.

Из опыта наблюдений над заносимостью сооружений в ряде пунктов как Балтийского, так и других морей объем задерживаемых всеми сооружениями наносов колеблется от 10 до 95%. Так, например, в порту к югу от Вентспилса сооружения задерживают почти весь объем вдольберегового потока, а размыв берега и подводного склона начинается от корня подветренного мола.

Несмотря на указанные затруднения, тщательный и всесторонний анализ режима наносов, условий, их определяющих, и взаимодействия их с сооружением позволяет подойти к оценке объема задерживаемых сооружениями наносов (дефицита). Изложенная методика расчета размыва берега и подводного склона становится вполне ясной из приводимого ниже. Для примера, как указывалось, взяты сооружения Вентспилского порта, где режим наносов наиболее изучен. Расчет размыва за Северным («подветренным») молом выполнен в объемах на 1 пог. м берега и подводного склона. Расчет выполнялся по следующей формуле:

$$q_1 = \frac{Q_{\text{деф}} U}{Fn}, \quad (6)$$

где q_1 — объем размыва на одном пог. м берега и подводного склона, $m^3/\text{год}$; n — число пог. м в единице относительного расстояния (x).

В рассматриваемом примере $n=1350$ м, F — площадь безразмерного графика (рис. 2) равна 2,8 относительных единиц; $Q_{\text{деф}}$ — объем задерживаемых наносов (дефицит) равен 482 тыс. $m^3/\text{год}$.

Характеристики размыва берега и подводного склона

Относительное расстояние от точки макс. размыва (x)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние от мола, км (L)	1,35	2,70	4,05	5,40	6,75	8,10	9,45	10,80	12,15	13,50	14,85
Относительная интенсивность размыва (U)	1,0	0,70	0,48	0,33	0,23	0,16	0,11	0,07	0,05	0,035	0,024
Ср. объем размыва м ³ на 1 пог. м берега (q ₁) в год	127,5	89,3	61,2	43,1	29,3	20,4	14,0	8,9	6,4	4,5	3,1
Суммарный объем размыва (Σq ₁), % от дефицита	5,0	32,1	53,1	68,3	78,5	85,4	90,2	93,2	95,5	97,1	98,2

Результаты расчета приводятся на графике (рис. 3) и в таблице, которые являются конечной целью расчета. На графике (рис. 3) приводятся две кривые, из них одна (дифференциальная) характеризует изменение объемов размыва в абсолютных величинах по мере удаления от мола и вторая (интегральная) характеризует суммарный объем размываемого грунта, т. е. объем сокращения дефицита в %. Из таблицы следует, что в 1,35 км от мола максимальный объем размыва на 1 пог. м берега и подводного склона равен 127,5 м³/год, в 4,05 км от мола раз-

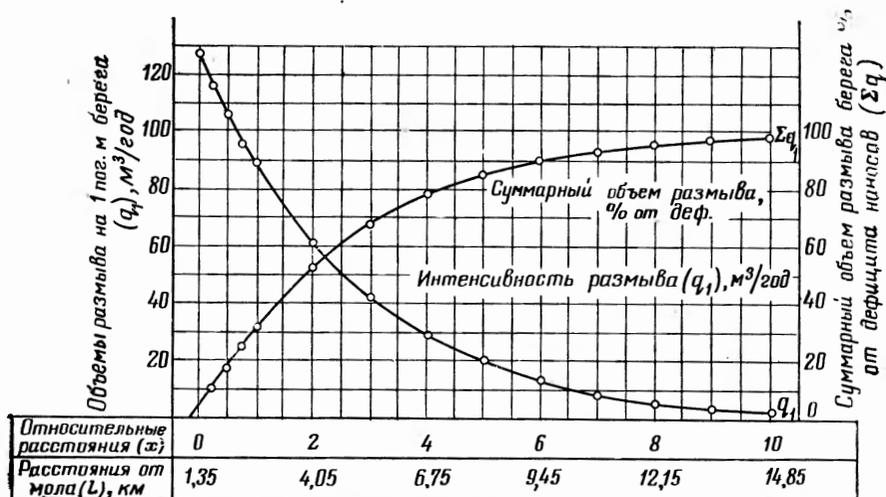


Рис. 3. Кривые размыва берега и подводного склона на «подветренной» стороне сооружения

мыв на 1 пог. м составляет 61,2 м³/год. В 10,8 км от мола размыв на 1 пог. м равен 8,9 м³/год. Из той же таблицы и рис. 3 следует, что в 10 км от мола дефицит вдольберегового потока наносов восстанавливается на 93,2%, а в 14,85 км на 98,2%.

Приведенные в таблице объемы размыва на 1 пог. м берега и подводного склона относятся ко всему профилю склона. Но на самом профиле склона размыв будет неодинаков. Характер размыва является предметом специального исследования. В порядке первого приближения размыв можно принимать аналогичным характеру гашения волновой энергии на подводном склоне.

ЛИТЕРАТУРА

Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М., Изд-во АН СССР, 1962.

Кнаис Р. Я. Оградительные сооружения типа молов и движение наносов на песчаных побережьях. «Изв. АН Латвийской ССР», № 6 (59), 1952.

Шишов Н. Д. Метод расчета заносимости подходных каналов песчаными наносами. Сб. научн. тр. Ленморниипроект, 1974.

Ленморниипроект

Поступила в редакцию
10.VIII.1976

METHOD OF FORECASTING COASTAL AND SUBMARINE SLOPE EROSION AT THE LEE SIDE OF HYDROTECHNICAL CONSTRUCTIONS

N. D. SHISHOV

Summary

Equation for the dimensionless curve is introduced describing the intensity of the coastal and submarine slope erosion. The length of the eroded coast and the intensity of erosion are deciphered by the curve in relative units, on individual points. Initial data are: the direction of the resultant of wave regime, the length of the construction and the point of maximum erosion during the first years of its operation. Corresponding coefficients are determined in some ports of the Baltic Sea. Calculations are given for the port of Ventspils, where was obtained a suitable convergence of calculation values and of the processes of coastal erosion during 60 years.
