

УДК 626.01

Формирование искусственных мысов и бухтовых галечных пляжей под защитой волноломов

Николай Константинович Макаров

Сочинский государственный университет, Российская Федерация
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
Аспирант
E-mail: ktk99@mail.ru

Аннотация. Искусственные пляжи бухтового очертания под защитой волноломов находят все большее распространение в практике берегозащитных мероприятий. Однако в настоящее время отсутствуют рекомендации по назначению основных параметров таких пляжей – длины волноломов, их расстояния от коренного берега и расстояния между волноломами. Это приводит в ряде случаев к не правильному проектированию указанных сооружений и, соответственно, дополнительным эксплуатационным затратам. Автором на основе математического моделирования определены указанные параметры систем волноломов, при которых из исходной отсыпки галечного материала в виде ленточного отвала, формируются искусственные мысы и устойчивые галечные пляжи бухтового очертания между ними.

Ключевые слова: волнолом; искусственный галечный пляж; искусственный мыс; динамика пляжа.

Введение. В последние десятилетия все большее распространение в практике искусственного пляжеобразования находят пляжи бухтового очертания с искусственными мысами под защитой волноломов – рис. 1, 2.



Рис. 1. Песчаные пляжи бухтового очертания с искусственными мысами под защитой волноломов (Франция)



Рис. 2. Пляжи с искусственными мысами под защитой волноломов (Новосибирское водохранилище)

На рисунке 1 видно, что в одной из бухт произошел размыв пляжа до волнозащитной стены, что угрожает ее разрушением.

На рисунке 2 показаны дополнительные волноломы, построенные для предотвращения размыва пляжа в средней части бухт.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что параметры искусственных мысов и расстояние между ними при проектировании были определены не достаточно достоверно.

Таким образом, при проектировании бухтовых пляжей возникают следующие задачи:

1. Определение расстояния от коренного берега (волнозащитной стены) до волнолома l и длины волнолома b , при которых из естественного вдольберегового потока наносов или из искусственной отсыпки формируется искусственный мыс, соединенный с волноломом (томболо), под действием заданного волнового режима.

2. Определение расстояния между мысами S , при котором между ними формируются устойчивые пляжи заданной ширины, обеспечивающие защиту берега и рекреационные цели.

Некоторые рекомендации по назначению указанных параметров для песчаных берегов даны в работах [1–3]. Однако они не применимы для берегов с галечными наносами ввиду существенно более низкой подвижности таких наносов.

Таким образом, определение параметров систем искусственных мысов с волноломами для галечных пляжей представляется актуальной задачей.

Материалы и методы. Современные теоретические представления о динамике пляжей под защитой волноломов заключаются в следующем. При наличии волнолома между ним и берегом возникает волновая тень. Фактически это означает, что линия обрушения волн придвигается к берегу и снижается транспортирующая способность водного потока. В результате меняется естественный режим транспорта наносов, и за волноломом возникают аккумулятивные формы (наволок, томболо).

Степень блокировки берега от волн зависит от угла видимости волнолома со стороны берега. В качестве основного параметра, характеризующего степень блокировки, в первом приближении принимается относительное расстояние от берега до волнолома b/l . Тогда угол видимости определится из выражения: $\alpha = 53^\circ \times b/l$. По результатам исследований, проведенных в Черноморском отделении морских берегозащитных сооружений ВНИИ Транспортного строительства, на гидравлических моделях установлено, что для полного пропуска вдольберегового потока наносов необходимо выполнение соотношения $\alpha \leq 14^\circ$, а наибольшая их аккумуляция за волноломом происходит при $\alpha \geq 53^\circ$, то есть $b \geq l$.

Волноломы на галечных берегах рекомендуется располагать на расстоянии $l = 20h_{cr}$, где h_{cr} – высота расчетной волны 5% обеспеченности по линии последнего обрушения [4, 5]. С другой стороны, волноломы на галечных берегах часто устраивают между головными частями бун, то есть на линии последнего обрушения расчетных волн. Тогда $l = d_{cr}/i$, где d_{cr} –

глубина обрушения волн, i – уклон подводной части пляжа. Размеры акваторий, замкнутых волноломами с траверсами рекомендуется принимать равными $S = 1.5 - 2.0 l$ [4, 5].

Для оценки параметров b , l , S было выполнено математическое моделирование формирования искусственных мысов из галечного пляжеобразующего материала и динамики пляжа в акваториях между мысами.

Основой для моделирования деформаций дна и берега (пляжа) является фундаментальное уравнение сохранения массы вещества:

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{1}{(1-n)} \left(\frac{\partial Q_M}{\partial x} + \frac{\partial Q_M}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

где d - глубина; t - время; n - коэффициент пористости грунта; x , y - оси координат; Q_M - расход наносов.

Использование приведенного уравнения требует знания составляющих расхода наносов отдельно в поперечном к берегу и продольном направлениях.

Однако, иногда бывает приемлемым определение выдвигения или отступления береговой линии по упрощенной методике, решая только одномерное уравнение [8, 9, 11]. При этом принимается, что уклон берегового склона (пляжа) быстро адаптируется к параметрам штормового волнения и в дальнейшем остается неизменным во времени на данном участке берега и, таким образом, берег смещается в сторону моря (аккумуляция) или в сторону суши (размыв) параллельно самому себе. Такие деформации описываются простым уравнением:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_M}{\Delta X} \quad (2)$$

где A - площадь поперечного сечения берегового склона, Q_M - вдольбереговой расход наносов, t - время, X - расстояние вдоль берега.

Для расчетов динамики береговой линии уравнение (2) преобразуется к виду:

$$\Delta A = \frac{\Delta Q_M}{\Delta X} \Delta t. \quad (3)$$

Учитывая, что $\Delta A = d_{cr} \Delta Y$, где ΔY – изменение положения береговой линии, получим окончательно для изменения ширины надводного пляжа, то есть для динамики береговой линии:

$$\Delta Y = K_2 \frac{\Delta Q_M \Delta t}{\Delta X d_{cr}}, \quad (4)$$

где K_2 - калибровочный коэффициент, учитывающий изменение профиля пляжа в процессе шторма, неточности в определении величины расхода наносов, редуцию расхода наносов за счет не полной величины фронта их переноса и другие погрешности математической модели. Этот коэффициент подлежит определению по лабораторным или натурным измерениям. В случае отсутствия таких данных, коэффициент K_2 принимается равным $K_2 = 1$.

Для галечных наносов (диаметр ≥ 2 мм) емкость вдольберегового потока наносов определяется из выражения [5]:

$$Q_T = 0,087 \frac{\rho}{\rho_n} g \frac{h_{cr1\%}^3 \bar{T} \Delta t}{k_{ок} d_{50\%}} \sin 2\alpha_{cr}, \quad (5)$$

где: $h_{cr1\%}$ - высота волны 1% обеспеченности в системе по линии последнего обрушения, м; \bar{T} - средний период волн, с; $d_{50\%}$ - медианный диаметр пляжеобразующего материала, м; ρ_n - объемный вес наносов; ρ - объемный вес воды; α_{cr} - угол подхода волн к линии последнего обрушения; Δt - время действия данного волнения, сут; $k_{ок}$ - коэффициент, учитывающий влияние степени окатанности пляжевого материала на интенсивность его перемещения.

В модели, которая использована в данной работе, для оценки снижения расхода наносов за волноломом рассчитывается дифракция волн за ним согласно [7] и соответствующее уменьшение высот волн.

Модель динамики пляжа была откалибрована по данным гидравлического моделирования [10].

Примеры расчета дифракции волн за волноломом при различных углах подхода волн и при соотношении $b=l$ приведены на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что при косом подходе волн к берегу, волновая тень смещается относительно волнолома и, следовательно, также должен смещаться образующийся искусственный мыс.

В модельных расчетах принимались следующие элементы волн: высота $h_{cr} = 3.0$ м, длина $\lambda = 60$ м, средний период $T = 10$ с, глубина обрушения

$d_{cr} = 3.6$ м, средний диаметр наносов $d_{50} = 30$ мм, угол подхода волн $\alpha_{cr} = 12^\circ$.

Вначале было выполнено моделирование формирования одиночного мыса за волноломом из исходной отсыпки в виде ленточного отвала галечного пляжеобразующего материала шириной 30 м. Начальные параметры задавались следующими: $l = 20h_{cr} = 60$ м, $b = l$. Расчет велся до достижения наволоком (томболо) стационарного состояния. Результаты моделирования приведены на рис. 4.

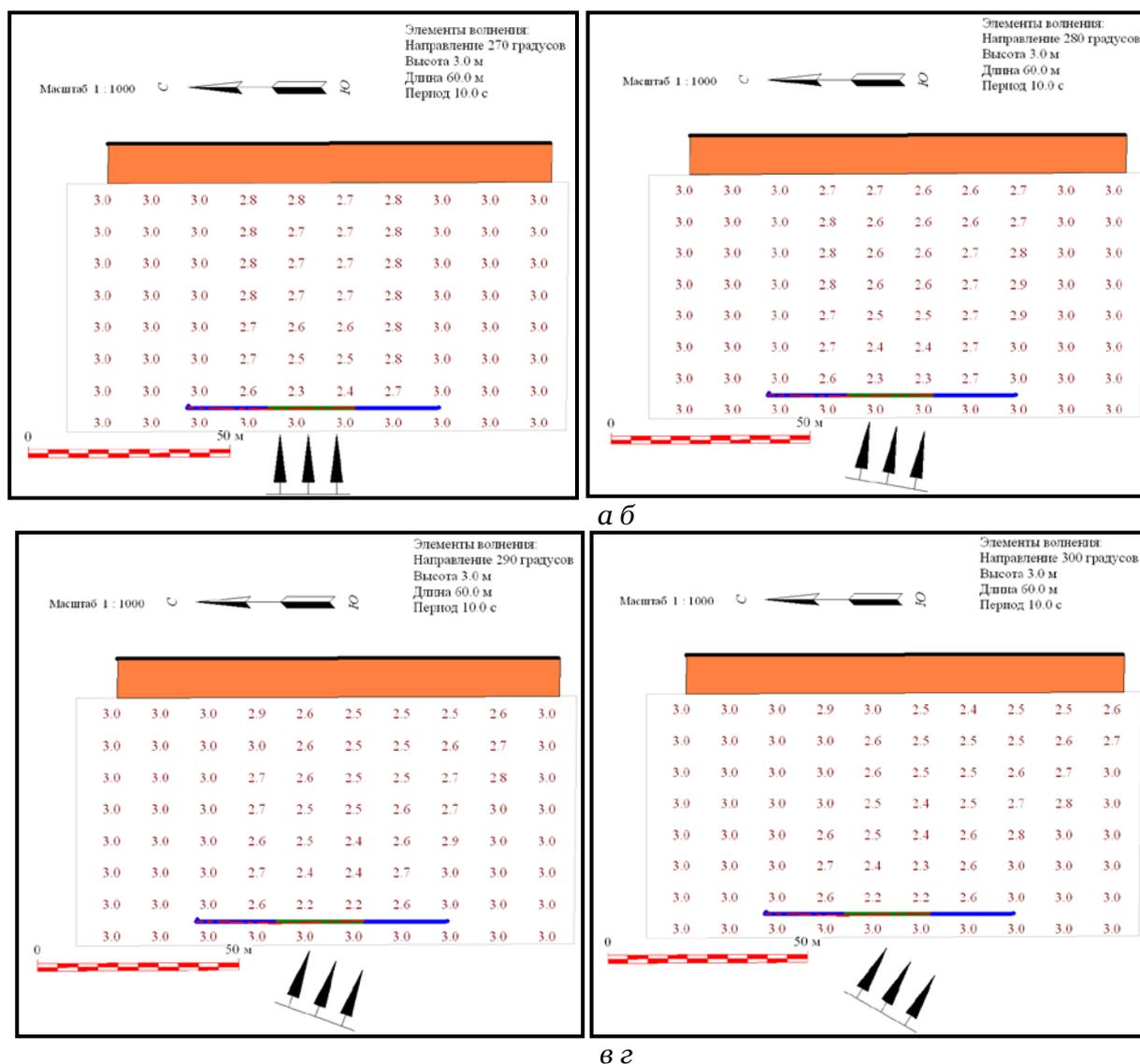


Рис. 3. Дифракция волн за волноломом при фронтальном подходе волн – а, при углах подхода 10° – б, 20° – в, 30° – г, $b=l$

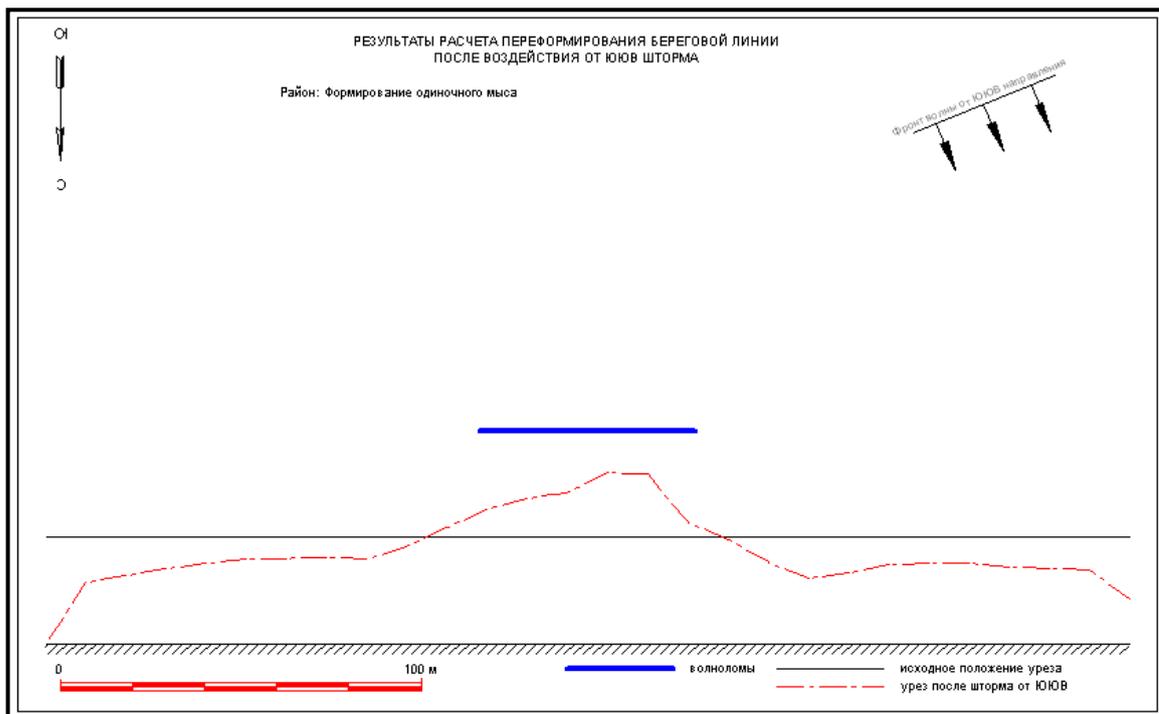


Рис. 4. Результаты моделирования формирования искусственного мыса при $l = 20h_{cr} = 60$ м, $b = l$

Как видно из рис. 4, при заданных значениях l и b формируется навалок, однако он не соединяется с волноломом и искусственный мыс не образуется. Поэтому в дальнейшем выполнялось моделирование с увеличением длины волнолома на 5 м, т.е. на $0.08 b$. В результате моделирования установлено, что искусственный мыс примыкает к волнолому при $b = 75$ м, то есть при $b = 1.25l$ – рис. 5.

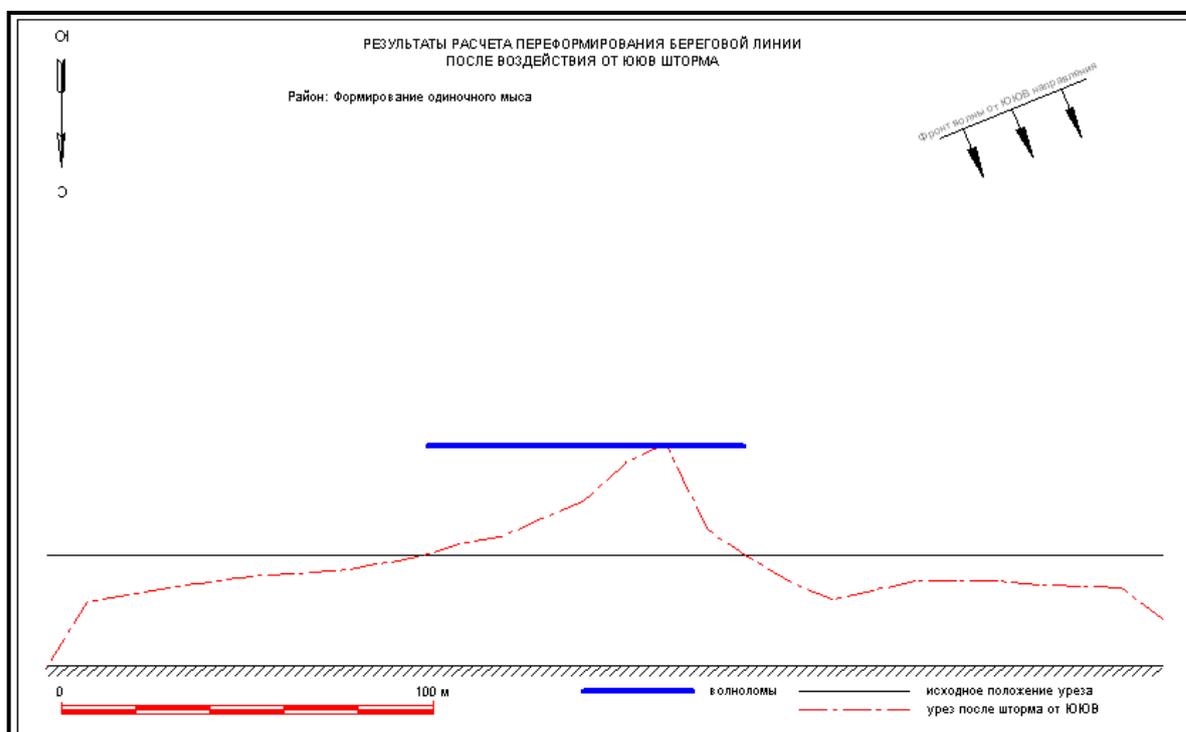


Рис. 5. Результаты моделирования формирования искусственного мыса при $l = 20h_{cr} = 60$ м, $b = 1.25l = 75$ м

Далее было выполнено моделирование для определения расстояния S , при котором ширина пляжа в акватории между искусственными мысами уменьшается не более, чем в 2 раза по сравнению с шириной исходной отсыпки. Вначале расстояние между мысами задавалось равным $S = 2l = 120$ м. Длина волноломов $b = 75$ м. Результаты расчета приведены на рис. 6.

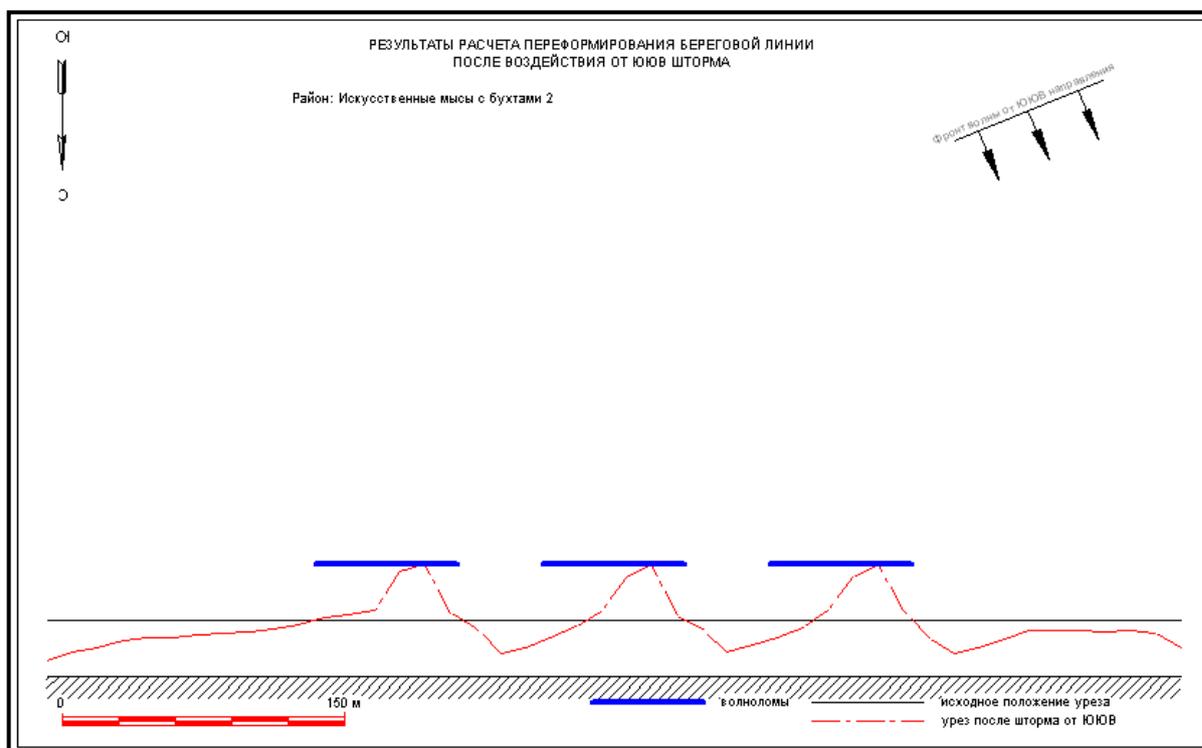


Рис. 6. Результаты моделирования динамики галечного пляжа между искусственными мысами при $l = 20h_{cr} = 60$ м, $b = 1.25l = 75$ м, $S = 2l = 120$ м

Из рис. 6 видно, что при заданных параметрах системы волноломов, пляжи в бухтах размываются до ширины 12 м, то есть их ширина сокращается более, чем в 2 раза по сравнению с шириной исходной отсыпки.

При дальнейшем моделировании ширина бухт (расстояние между волноломами) сокращалась с шагом 5 м. Приемлемые результаты получены при ширине бухт $S = 110$ м, то есть при $S = 1.83l$ – рис. 7.

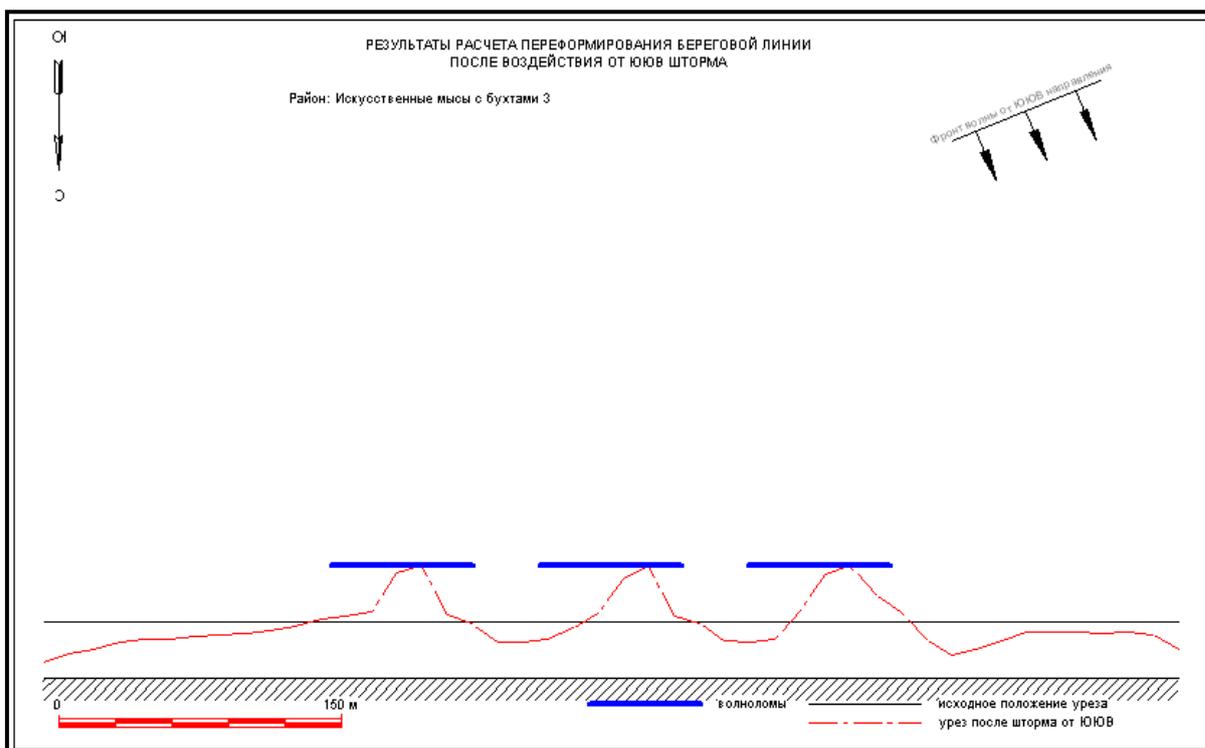


Рис. 7. Результаты моделирования динамики галечного пляжа между искусственными мысами при $l = 20h_{cr} = 60$ м, $b = 1.25l = 75$ м, $S = 1.83l = 110$ м

Результаты. По результатам выполненного математического моделирования формирования искусственных мысов и бухтовых пляжей из галечного пляжеобразующего материала могут быть сделаны следующие выводы:

1. Волноломы для формирования искусственных мысов на галечных берегах рекомендуется располагать на расстоянии от коренного берега или от волнозащитной стены $l = 20h_{cr}$, где h_{cr} – высота расчетной волны 5% обеспеченности по линии последнего обрушения;

2. Искусственные мысы, примыкающие к волноломам (томболо), формируются при длине волноломов $b \geq 1.25l$;

3. Галечные пляжи в бухтах между искусственными мысами являются динамически устойчивыми при расстоянии между мысами $S \leq 1.8l$.

Заключение. Предложенные соотношения могут использоваться для предварительного назначения параметров систем искусственных мысов с бухтами между ними на галечных берегах, с дальнейшим уточнением этих параметров методами математического или гидравлического моделирования.

Работа выполнена в рамках госбюджетной НИР № 7.3694.2011 Сочинского государственного университета.

Примечания:

1. Смирнова Т.Г., Правдивец Ю.П., Смирнов Г.Н. Берегозащитные сооружения. Учебник. М., Изд-во АСВ, 2002, 302 с.

2. Смирнов Г.Н. Океанология: Учеб. для вузов. М., Высш. шк., 1987, 312 с.

3. Леонтьев И.О. Изменения береговой линии моря в условиях влияния гидротехнических сооружений. Океанология, 2007. т.47, № 6, с. 940-946.

4. ВСН 183–74. Технические указания по проектированию морских берегозащитных сооружений. М.: Минтрансстрой СССР, 1975, 118 с.

5. СП 32–103–97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. М.: Трансстрой, 1998, 224 с.

6. Рекомендации по проектированию и строительству свободных галечных пляжей. М., ЦНИИС, 1988, 85 с.

7. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012, 111 с.
8. Макаров К.Н. Математическое моделирование в морской гидротехнике. Сочи, СГУТ и КД, 2008, 397 с.
9. Макаров Н.К. Математическая модель динамики галечных пляжей искусственных островных комплексов. Гидротехника, 2012, № 2 (27), с. 84-87.
10. Kantargi I. G., Makarov N. K. Calibration of Mathematical Model of the Island Pebble Beach. European Journal of Technology and Design, 2013, Vol. (1), № 1, pp. 48-53.
11. Пешков В.М. Галечные пляжи неприливных морей. Основные проблемы теории и практики. Краснодар, 2005. 370 с.

UDC 626.01

Creating Artificial Capes and Cove-shaped Shingle Beaches which Are Protected by Breakwaters

Nikolay K. Makarov

Sochi State University, Russia
26a, Sovetskaya street, Sochi city, 354000
Post-graduate student
E-mail: ktk99@mail.ru

Abstract. Artificial cove-shaped beaches protected by breakwaters are being increasingly utilised as part of shore protection measures. However, presently there are no recommendations as to the key parameters of these beaches such as the length of the breakwaters, their distance from the main shore and the distance between the breakwaters. In numerous cases, this has led to these structures being incorrectly designed and, in turn, extra operating costs. The author uses mathematical modelling to define the abovementioned parameters for breakwater systems, which can be used to create artificial capes and reinforced cove-shaped shingle beaches between them from the initial dumping of the gravel material in a straight line.

Keywords: breakwater; artificial shingle beach; artificial cape; beach dynamics.