

О возможном пути решения проблемы защиты берегов заповедника «Херсонес Таврический»

© 2016 В.Ф. Удовик, С.Ю. Михайличенко, Ю.Н. Горячкин

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
E-mail: udovik_uvfv@mhi-ras.ru, liham@rambler.ru, yngor@yandex.ru*

Поступила в редакцию 16.07.2015 г. После доработки 08.12.2015 г.

Рассматриваются причины и последствия разрушения берегов заповедника «Херсонес Таврический». Проанализированы концептуальные принципы создания берегозащитных сооружений, позволяющих сохранить исторический ландшафт берегов. С использованием модели SWAN на основе метода вложенных сеток выполнено численное моделирование полей ветрового волнения у берегов Херсонесского городища с высоким пространственным разрешением. Исследована зависимость параметров волн от направления и скорости ветра. Проведено моделирование полей ветрового волнения при различных вариантах размещения гидротехнических сооружений в прилегающей акватории Черного моря. Предложены схемы расположения подводных волноломов, которые обеспечивают эффективное гашение энергии штормовых волн при подходе к береговой линии и сохраняют возможность водообмена с прилегающей акваторией в периоды слабых ветров.

Ключевые слова: ветровые волны, защита берегов, заповедник «Херсонес Таврический», модель SWAN, подводные волноломы, Черное море.

Введение. Разрушение берегов заповедника «Херсонес Таврический», расположенного в границах территории г. Севастополь и включенного в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, приводит к сокращению площади древнего городища, уничтожению архитектурных деталей археологических и исторических памятников, что определяет настоятельную необходимость проведения комплекса берегозащитных мероприятий.

Эффективность морской берегозащиты во многом зависит от соблюдения основных концептуальных принципов, выработанных на основе опыта строительства гидротехнических сооружений в различных условиях [1]. При разработке и реализации проектов по защите берегов в местах расположения объектов культурного наследия особое внимание необходимо уделять соблюдению принципа максимально возможного в данных условиях сохранения существующих природных ландшафтов.

Предлагавшиеся ранее проекты защиты берегов заповедника «Херсонес Таврический» были отклонены в первую очередь по причине предполагаемого существенного изменения внешнего вида берегов, как это, например, предусматривал проект, описание которого приводится в статье [2]. Заложенное в указанном проекте техническое решение основано на использовании в качестве основных конструктивных элементов каменных набросок, защитных стен, берм и банкет-полюсов, сооруженных из каменных глыб, железобетон-

ных блоков и фигурных массивов, что в случае его реализации могло привести к превращению берегов заповедника в индустриальный пейзаж.

Очевидно, что разработка оптимального варианта проекта защиты берегов объекта, имеющего большое социальное и экономическое значение, возможна только в результате комплексного подхода к решению поставленных задач, который включает проведение необходимого объема научных исследований и изыскательских работ, а также привлечение мирового опыта планирования и осуществления берегозащитных мероприятий в подобных условиях.

Целью проведенных исследований являлась подготовка научных рекомендаций, которые могут использоваться для разработки проекта по защите берегов заповедника «Херсонес Таврический», позволяющего сохранить исторический ландшафт берегов древнего городища и прилегающей акватории Черного моря. В данной работе представлены результаты численного моделирования полей ветрового волнения при различных схемах пространственного расположения гидротехнических сооружений.

Физико-географические условия. Территория древнего городища заповедника «Херсонес Таврический» расположена на выступе береговой линии Гераклеяского п-ова между бухтами Карантинная и Песочная. Общая протяженность морской границы Херсонесского городища составляет около 1800 м. На большей ее части берега представляют собой обрывистые клифы, которые сложены в основном известняками различной плотности и выходят непосредственно к урезу воды. В пологих вогнутостях береговой линии у подножия клифов расположены участки обнаженного бенча или узкие прислоненные пляжи неполного профиля (шириной до 5 – 8 м), состоящие из обломочного материала, образовавшегося преимущественно в результате местной абразии берегов.

Основным гидродинамическим фактором, приводящим к разрушению берегов городища, выступает ветровое волнение. Ширина существующих пляжей явно недостаточна для гашения энергии штормовых волн. Преобладание гальки и более крупных фракций в составе пляжеобразующего материала усиливает дренажный эффект во время наката волн при их разрушении, что приводит к увеличению диссипации энергии волн незначительной амплитуды (до 2 – 3 баллов). Однако при сильных штормах, в дополнение к основной гидродинамической нагрузке, клифы подвергаются интенсивной бомбардировке крупнообломочным материалом, перемещаемым потоком жидкости, что усиливает разрушающее воздействие волн большой амплитуды. В результате повсеместно образуются волноприбойные ниши, которые в наибольшей степени интенсифицируют естественное разрушение берегов в виде обвалов и оползней.

За длительную историю существования Херсонеса темпы абразии на различных участках берега претерпевали определенные изменения. Суммарное отступление берега за 2000 лет по различным оценкам в среднем составляет около 25 м, а на некоторых участках оно достигает 40 – 45 м. Соответствующее уменьшение площади городской застройки в пределах оборонительных стен составляет около 7,5 – 8 га, что говорит об утрате примерно четвертой части территории за данный промежуток времени [3].

В период проведения регулярных раскопок, составляющий около 185 лет, выявлено, что в результате абразии берегов произошло частичное разрушение таких широко известных памятников, как Уваровская базилика и шести-столпный храм. При прохождении сильных штормов верхняя отметка заплеска волн часто достигает символа Херсонеса – средневековой базилики – и приводит к подтоплению раскопов на прилегающей территории.

Для северного и северо-восточного участков морской границы городища получены оценки скорости отступления клифов на современном этапе развития берегов заповедника [3]. Исследования выполнены на основе сравнительного анализа планов и схем, на которых при проведении раскопок в различные годы точно зафиксировано положение границ клифов и береговой черты относительно сохранившихся архитектурных деталей сооружений, а также результатов измерений современного положения берегов. Рассчитанная по данным за последнее столетие средняя скорость отступления берегов на северном участке городища составляет 0,23 – 0,25 м/год, а максимальная скорость зафиксирована в районе Уваровской базилики и достигает 0,48 м/год.

Таким образом, можно констатировать, что наиболее значимые археологические памятники, подвергающиеся интенсивному разрушению, располагаются в районе северного участка берегов городища, где отмечаются наибольшие скорости абразии клифов, что позволяет выделить данный сектор как нуждающийся в первоочередном проведении комплекса берегозащитных мероприятий.

Методика расчетов и входные параметры модели. При исследовании пространственного распределения характеристик ветрового волнения применялась волновая модель *SWAN (Simulating Waves Nearshore)*, базирующаяся на численном решении уравнения баланса волновой энергии в спектральной форме [4]. Математическая постановка задачи и метод решения, используемые в данной работе при моделировании волновых полей в акватории Черного моря у берегов Херсонесского заповедника, описаны в статье [5].

При проведении расчетов применялся параллельный вариант модели *SWAN*, реализованный на вычислительном кластере Морского гидрофизического института РАН. По частотной координате задавалась сетка, состоящая из 31 узла и покрывающая интервал 0,02 – 2 Гц. Угловое разрешение при определении волнового спектра составляло 10°. Донное трение задавалось по модели Гранта – Мадсена с коэффициентом шероховатости донной поверхности $\kappa_v = 0,05$ м. Диссипация энергии за счет обрушений волн на критической глубине учитывалась в модели через коэффициент $\gamma = 0,73$, характеризующий отношение высоты волны к глубине в данной точке.

При параметризации процесса прохождения волн над подводным препятствием использовалось следующее соотношение для коэффициента затухания [4]:

$$K_t = -0,4[(h-d)/H_s] + 0,64(B_k/H_s)^{-0,31}(1 - e^{-0,5\xi_p}).$$

Здесь d – глубина от поверхности моря до дна; h – глубина от гребня препятствия до дна; B_k – ширина гребня препятствия; $\xi_p = \text{tg}(\alpha/\sqrt{H_s/L_{0p}})$ – параметр

обрушения, α – постоянная, зависящая от формы препятствия, H_s – высота значительных волн на глубокой воде, $L_{0,p}$ – длина волны на глубокой воде.

При построении пространственной схемы проведения расчетов применялся пятиступенчатый алгоритм с использованием вложенных сеток с различным шагом по пространству [5], основу которого составляют первые три сетки, ранее использовавшиеся при моделировании ветрового волнения в акватории Черного моря [6, 7]. Применение данного алгоритма позволяет проводить численное моделирование волновых полей с высоким пространственным разрешением для ограниченной по пространству области без потери связи с волновыми процессами на прилегающей акватории. На последнем шаге при проведении расчетов для акватории у берегов Херсонесского городища использовалась прямоугольная сетка с пространственным разрешением 3 м.

Обсуждение результатов. На первом этапе исследований проведены расчеты пространственного распределения параметров ветровых волн у берегов заповедника «Херсонес Таврический» при различных направлениях и скоростях ветра, результаты которых предварительно проанализированы в работе [5]. В пределах сектора активного волнового воздействия, заключенного в диапазоне $270 - 360^\circ$, задавался модельный ветер пяти направлений (западный, западный-северо-западный, северо-западный, северо-северо-западный, северный), а также дополнительно рассматривалась генерация волн ветром юго-западного направления. Для средних штормовых ветров задавалась скорость 15 м/с, а для экстремальных, наблюдающихся хотя бы один раз в год, – 25 м/с.

Сопоставляя результаты расчетов, полученные для рассматриваемых скоростей модельного ветра, отметим следующие основные особенности формирования полей ветрового волнения у берегов заповедника «Херсонес Таврический».

Пространственное распределение высот штормовых волн на исследуемой акватории имеет характерные черты и существенно зависит от рельефа дна при всех рассматриваемых направлениях ветра. Взаимодействие волн с поднятием дна в северо-западной части расчетной области проявляется в увеличении амплитуды с одновременным уменьшением их длины.

Изменение направления штормового ветра в границах активного волнового сектора не оказывает существенного влияния на общую структуру полей развитого ветрового волнения, формирующихся непосредственно у берегов заповедника, что обусловлено преобладающим влиянием эффектов рефракции при выходе волн на мелководье. Вследствие этого по мере распространения в сторону берега и уменьшения глубин усиливается тенденция к ориентации фронта волны параллельно изобатам.

При одинаковой скорости ветра наиболее сильное волнение генерируется при ветрах северо-западного направления, которое можно считать наиболее опасным из-за увеличения интенсивности волновой нагрузки на берега Херсонесского городища.

По мере распространения к берегу затухание волн большей амплитуды, развивающихся при ветрах со скоростью 25 м/с, происходит более интенсивно, чем волн, образующихся при ветрах со скоростью 15 м/с. Если на

расстоянии 100 – 150 м от берега еще сохраняется значительное различие высот волн, генерируемых при задаваемых скоростях модельного ветра, то на расстоянии 40 – 70 м от берега происходит более быстрое уменьшение высот волн большей амплитуды, в результате чего высоты волн, достигающих береговой черты, рассчитанные при скоростях ветра 15 и 25 м/с, различаются менее значительно, чем в мористой части акватории.

Результаты расчетов для северо-западного ветра со скоростью 25 м/с приведены на рис. 1, где прослеживаются описанные выше особенности пространственного распределения высот волн. В узкой полосе, примыкающей к берегу, начинающие разрушаться волны имеют высоту около 2,1 – 2,3 м. Высота волн, достигающих уреза воды, составляет в среднем 1,5 м. Таким образом, можно считать, что при прохождении сильных штормов малой повторяемости, береговые клифы, расположенные на северном участке морской границы Херсонесского городища, подвергаются воздействию динамических нагрузок, возникающих в результате разрушения волн высотой от 1,5 до 2 м.

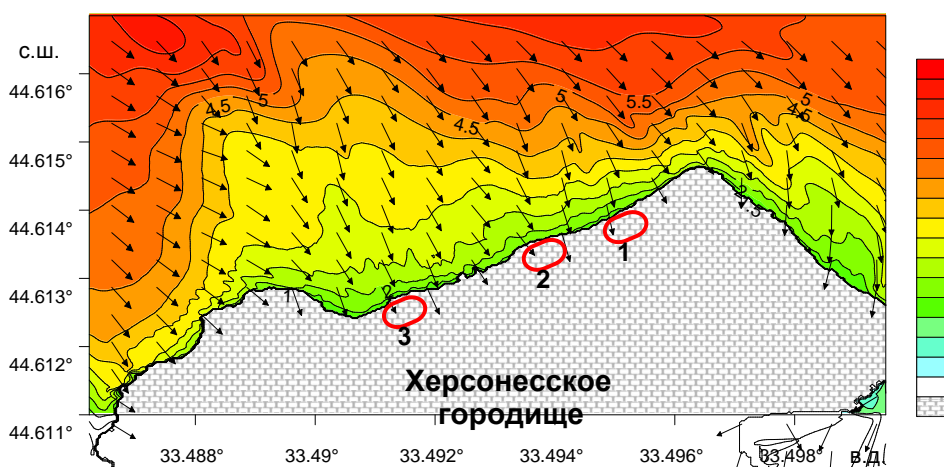


Рис. 1. Пространственное распределение высот (м) и направления распространения волн у берегов Херсонесского городища при северо-западном ветре со скоростью 25 м/с (1 – Уваровская базилика, 2 – шестистолпный храм, 3 – средневековая базилика)

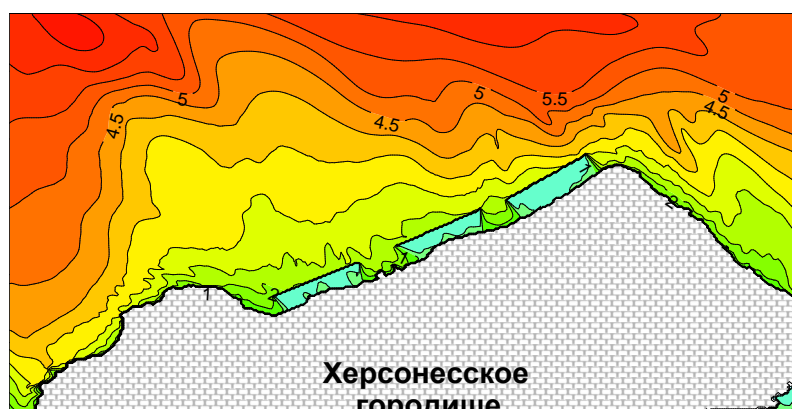
На втором этапе исследований проведена серия численных экспериментов по моделированию полей ветрового волнения при различных схемах пространственного расположения гидротехнических сооружений в акватории Херсонесского городища. При составлении схем размещения берегозащитных сооружений в качестве основных конструктивных элементов, призванных обеспечивать гашение энергии штормовых волн при подходе к берегу, рассматривались подводные волноломы, которые располагаются субпараллельно береговой линии на некотором расстоянии от нее.

Волноломы задавались в виде непроницаемого прямоугольного по вертикали препятствия шириной 5 м. Заглубление гребня для каждого волнолома принималось равным 1,5 м относительно невозмущенной поверхности моря. В процессе адаптации модели осуществлялась проверка чувствительности результатов моделирования к задаваемой ширине подводного препятствия. Расчеты показали, что уменьшение ширины волнолома до 3 м практически не

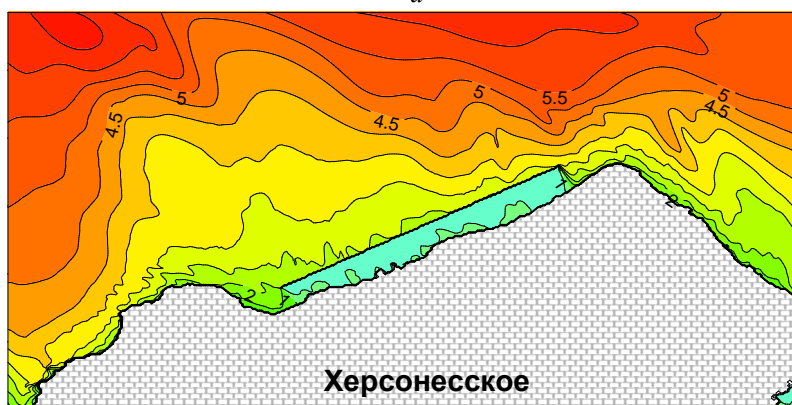
влияет на результаты, а увеличение до 15 м приводит к снижению рассчитанных величин высот волн в заволноломном пространстве на 20 – 25% при сохранении качественной структуры полей волнения.

При проведении серии численных экспериментов варьировались длина и количество волноломов, а также расстояние от берега до места их размещения. Дополнительно рассматривалась возможность включения в схему берегозащиты непроницаемых бун, выполняющих преимущественно функцию пляжеудерживающих конструкций. В качестве вынуждающей силы во всех численных экспериментах задавался однородный ветер северо-западного направления со скоростью 25 м/с.

Первоначально рассмотрим результаты расчетов, полученные для наиболее распространенных способов размещения волноломов. На рис. 2, *а* приведены результаты расчета поля высот значительных волн для схемы размещения подводных препятствий по типу прерывистого волнолома. Система состоит из трех волноломов, которые расположены параллельно берегу на среднем расстоянии около 50 м от уреза воды. Длина волноломов составляет 120 м (западный) и 130 м (центральный и восточный). Расстояние между препятствиями – 55 и 40 м соответственно.



а



б

Рис. 2. Пространственное распределение высот волн (м) при размещении прерывистого (*а*) и сплошного (*б*) подводных волноломов

Со стороны мористой части акватории практически по нормали к берегозащитным сооружениям подходят волны, имеющие высоты, заключенные в диапазоне 2,2 – 2,7 м. Амплитуда колебаний поверхности моря возрастает в направлении с запада на восток. Непосредственно после прохождения через волноломы высоты волн резко уменьшаются до 0,6 – 0,7 м практически по всей длине препятствий. При этом поле высот волн, формирующееся в заволноломной полосе, расположенной ближе к берегу, имеет существенные неоднородности. В значительной степени это обусловлено возможностью беспрепятственного прохождения волн в промежутках между волноломами. В результате чего на этих участках к берегу могут проходить волны высотой до 1,0 – 1,3 м. По мере приближения к береговой линии ширина акватории с высотами волн более 1 м несколько увеличивается, что обусловлено в том числе эффектом дифракции волн при обходе концов волноломов.

На участках, находящихся в центральной части зон волновой тени, создаваемых центральным и западным волноломами, дополнительно отмечается эффект некоторого увеличения высот волн до 0,8 м в приурезовой полосе.

Результаты численного эксперимента показали, что при данной схеме расположения берегозащитных сооружений в заволноломном пространстве происходит уменьшение высоты значительных волн практически в 3 раза. Это в первую очередь показывает эффективность волногасящего действия подводных волноломов, имеющих достаточно значительное заглубление гребня, при рассматриваемых величинах высот волн, подходящих из мористой части акватории. Прохождение волн в промежутках между волноломами сопровождается некоторым увеличением волновой нагрузки на коротких отрезках защищаемого участка берега, что при необходимости может быть минимизировано путем смещения конструкций во вдольбереговом направлении.

В следующем эксперименте рассматривается случай размещения одного сплошного волнолома длиной 420 м параллельно генеральному направлению береговой линии на среднем расстоянии около 50 м от уреза воды (рис. 2, б). Волны на подходе к препятствию имеют те же характеристики, что и в предыдущем эксперименте.

Высота волн за препятствием уменьшается до 0,6 – 0,65 м. При этом, в связи с непрерывностью волнолома, исчезают зоны беспрепятственного распространения волн к линии уреза воды. На краях волнолома отмечается незначительное сужение полосы волновой тени вследствие дифракции волн. В данном эксперименте в приурезовой полосе также проявляются зоны небольшого увеличения (на 10 – 15 см) высот волн. Близость их очертаний и местоположения к наблюдавшимся в первом эксперименте, а следовательно, относительная независимость от формы препятствия позволяют считать, что процесс локального увеличения амплитуд волн обусловлен преимущественно их взаимодействием с рельефом дна.

Размещение сплошного волнолома приводит к образованию непрерывной полосы существенно ослабленного волнения. Высота подходящих непосредственно к берегу волн уменьшается практически в 3 раза. С точки зрения защиты аварийных участков данная схема расположения берегозащитных сооружений является более эффективной по сравнению с рассмотренной в первом случае. Однако остается открытым вопрос, связанный с характери-

стиками водообмена между полосой заволноломного пространства и прилегающей акваторией в периоды безветрия.

Далее проанализируем результаты расчетов для варианта размещения трех подводных волноломов в «шахматном» порядке, когда центральный из них смещен в сторону берега (рис. 3, *a*). Восточный и западный волноломы имеют длину 170 и 175 м соответственно и расположены на расстоянии около 90 м от берега. Центральный волнолом длиной 175 м размещен на дистанции около 50 м от уреза воды. Расстояние между восточным и западным волноломами составляет 150 м, в результате чего происходит частичное перекрытие проекций волноломов на генеральное направление береговой линии.

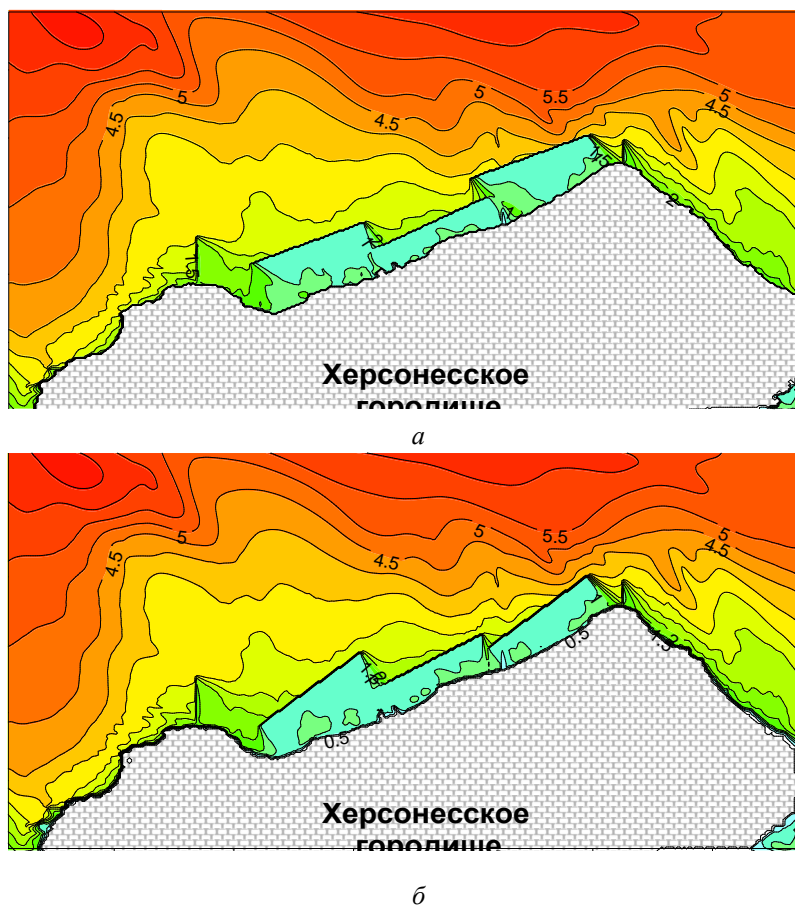


Рис. 3. Пространственное распределение высот волн (м) при наличии трех бун и размещении подводных волноломов в «шахматном» (*a*) и «ступенчатом» (*б*) порядке

Каждый из волноломов приводит к достаточно эффективному уменьшению высот волн непосредственно за препятствием до значений 0,6 – 0,7 м. Наблюдается образование практически непрерывной зоны волновой тени в заволноломном пространстве, где высоты волн не превышают 0,7 м. В при-

урезовой полосе высоты волн не превышают величин 0,6 – 0,8 м. Таким образом, все три аварийных участка береговой линии в северной части Херсонесского городища, на которых в настоящее время происходит разрушение археологических памятников (рис. 1), могут быть достаточно надежно защищены от сильного штормового волнения.

Кроме того, предполагается, что при размещении волноломов в «шахматном» порядке параллельно берегу на различном расстоянии от него, помимо достаточно высокой эффективности гашения энергии волн на подходе к берегу, будут создаваться более благоприятные условия для водообмена с прилегающей акваторией.

В следующем численном эксперименте рассматривалась «ступенчатая» схема размещения волноломов, при которой восточный и западный волноломы расположены под углом к основному направлению береговой линии, таким образом, расстояния от берега до их западных концов меньше, чем до восточных (рис. 3, б). Восточный волнолом имеет длину 180 м, западный – 185 м, а центральный – 155 м. Расстояния от берега до концов восточного препятствия составляют 60 и 110 м, а до концов западного препятствия – 45 и 65 м. Центральный волнолом расположен практически параллельно берегу на дистанции около 60 м от уреза воды. При этом, как и в предыдущем варианте, соблюдается условие частичного перекрытия проекций волноломов на генеральное направление береговой линии.

При использовании данной схемы размещения волногасящих конструкций наблюдается формирование практически непрерывной зоны волновой тени в заволноломном пространстве. Высоты волн непосредственно после прохождения подводных препятствий не превышают 0,75 м. Площадь проникновения между центральным и восточным волноломами колебаний с высотой около 1 м существенно ограничена. В приурезовой полосе высоты волн составляют 0,6 – 0,8 м, что обеспечивает достаточно надежную защиту всего участка берега от воздействия сильного штормового волнения.

Что касается обеспечения водообмена с прилегающей акваторией, то предполагается, что размещение западного и восточного волноломов под небольшим углом должно способствовать созданию более благоприятных условий для циркуляции вод в заволноломном пространстве при генерации вдольберегового течения под воздействием ветров восточного и северо-восточного направлений, имеющих большую повторяемость, однако не приводящих к возникновению волн значительной амплитуды.

В двух последних численных экспериментах в систему берегозащиты дополнительно включены три буны (рис. 3). Западная буна имеет длину 70 м, восточная – 40 м, а размещенная в центральной части района – 35 м. Предполагается, что восточная и западная буны, расположенные на мысовых выступах, ограничивают участок возможного вдольберегового перемещения наносов с целью минимизации вероятности безвозвратного выноса пляжеобразующего материала за пределы литодинамической ячейки исследуемого района, что особенно актуально при создании искусственных пляжей посредством подсыпки материала. Центральная буна рассматривается в качестве пляжеудерживающей конструкции, расположенной в западной части существующего в настоящее время прислоненного пляжа.

Согласно результатам расчетов, восточная и западная бун оказывают влияние на формирование поля волнения в приурезовой полосе, приводящее к незначительному уменьшению высот волн в результате образования дополнительных участков волновой тени (рис. 3). При этом общая картина распределения высот волн в приурезовой зоне несколько усложняется.

Возведение бун не является обязательным элементом рассматриваемой системы берегозащиты, так как предполагается, что гашение значительной части энергии штормовых волн будет происходить вследствие взаимодействия с подводными препятствиями, в результате чего к урезу воды будут распространяться существенно ослабленные волны, для дальнейшей диссипации энергии которых при необходимости достаточно создания искусственного пляжа незначительной ширины. Однако в процессе эксплуатации такого пляжа может возникнуть необходимость сооружения поперечных пляже-удерживающих конструкций. В этом случае рекомендуется использовать бунны, размещенные согласно используемой в расчетах схеме. Длина бун и их высотные отметки относительно невозмущенной поверхности моря могут быть определены с учетом планируемых объемов применяемого для подсыпки пляжей материала и его характеристик. В качестве основных конструктивных элементов предлагается использовать каменно-набросные бунны незначительной высоты с плотной укладкой камня на поверхности и формированием дугообразного поперечного профиля. Это позволит существенно увеличить устойчивость бун к разрушению под воздействием ветрового волнения, а также органично вписать данные элементы в природный ландшафт.

Выводы. Использование подводных волноломов в качестве основных конструктивных элементов при создании системы защиты берегов заповедника «Херсонес Таврический» позволит сохранить исторический ландшафт берегов древнего городища и прилегающей акватории моря.

Проведенное исследование структуры поля высот волн при различных схемах размещения подводных волноломов вдоль северного участка морской границы Херсонесского городища показало возможность эффективного гашения энергии штормовых волн при ширине гребня волноломов 3 – 5 м и их заглуплении относительно невозмущенной поверхности моря на 1,5 м.

Расчеты показали, что при ветре со скоростью 25 м/с наиболее волноопасного северо-западного направления высоты волн, достигающих незащищенных берегов городища, составляют 1,5 – 2 м. После размещения системы берегозащиты, состоящей из трех подводных волноломов, расположенных в полосе 50 – 90 м от берега, высоты волн, подходящих к линии уреза, уменьшаются в среднем до 0,7 – 0,8 м.

Размещение трех подводных волноломов субпараллельно берегу в «шахматном» и «ступенчатом» порядке обеспечивает практически полное покрытие зоной волновой тени защищаемого аварийного участка берегов заповедника. При этом должен соблюдаться принцип частичного перекрытия проекций волноломов на генеральное направление береговой линии. Предполагается также, что при использовании указанных схем пространственного размещения волноломов будут создаваться наиболее благоприятные условия для водообмена с прилегающей акваторией.

В случае необходимости возведения пляжеудерживающих конструкций предлагается использовать каменно-набросные буны с плотной укладкой камня на поверхности, имеющей дугообразный поперечный профиль.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-45-01603.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Проектирование* морских берегозащитных сооружений СП 32–103–97. – М.: Транстстрой, 1998.
2. *Ромащенко М.І., Ляшевський В.І., Войтович І.В. та ін.* Берегоукріплення древнього городища «Херсонес Таврійський» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – Вып. 25. – С. 111 – 116.
3. *Лебединский В.В., Пронина Ю.А.* Исследование древней береговой линии Херсонеса Таврического и его хоры // Підводні дослідження: Археологія. Історія. Дайвінг. – 2013. – Вип. 5. – С. 145 – 153.
4. *SWAN Cycle III version 40.85, User Manual, Delft University of Technology, Netherlands.* – 2012. – 119 p. – (<http://swan.ct.tudelft.nl>).
5. *Михайличенко С.Ю.* Исследование режимов штормового волнения в акватории Херсонеса // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – Вып. 29. – С. 22 – 30.
6. *Алексеев Д.В., Фомин В.В., Иванча Е.В. и др.* Математическое моделирование ветрового волнения в Севастопольской бухте // Морской гидрофизический журнал. – 2012. – № 1. – С. 75 – 84.
7. *Алексеев Д.В., Иванов В.А., Иванча Е.В. и др.* Оценка влияния защитных молв на характеристики ветрового волнения в Севастопольской бухте // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 4. – С. 47 – 57.

On possible way of solving the problem of coastal protection in the preserve «Tauric Chersonesos»

V.F. Udovik, S.Yu. Mikhailichenko, Yu.N. Goryachkin

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
e-mail: udovik_uvf@mhi-ras.ru, liham@rambler.ru, yngor@yandex.ru*

Reasons and consequences of coast destruction in the preserve «Tauric Chersonesos» are considered. Conceptual principles of creating coast-protecting structures permitting to retain the coast historical landscape are analyzed. The wind wave fields nearby the Chersonesos ancient settlement coast are numerically simulated with high spatial resolution using the model *SWAN* and based on the nested grids technique. Dependence of the waves' parameters upon the wind direction and speed is investigated. The wind wave fields are simulated under various variants of arranging hydraulic structures on the Black Sea adjacent area. Proposed are the schemes of placing the submerged breakwaters which both provide effective energy dissipation of storm waves approaching the coastline, and retain possibility of water exchange with the adjacent waters during the periods of weak winds.

Keywords: wind waves, coastal protection, preserve «Tauric Chersonesos», *SWAN* model, submerged breakwaters, Black Sea.