

Ю.Н.Горячкин*, Л.Н.Репетин**

**Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь*

***Морское отделение УкрНИГМИ, г. Севастополь*

ШТОРМОВОЙ ВЕТРО-ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ У ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА

Рассматриваются ветро-волновые характеристики штормовой силы на черноморском побережье Крыма. Использован массив данных наблюдений береговых гидрометеорологических станций Крыма за 1945 – 2008 гг. Получены режимные характеристики штормовых ветров и волнения, обсуждается их межгодовая изменчивость, приводятся экстремальные величины ветра и волнения. Исследована климатическая изменчивость штормового волнения и штормовых ветров от волноопасных направлений.

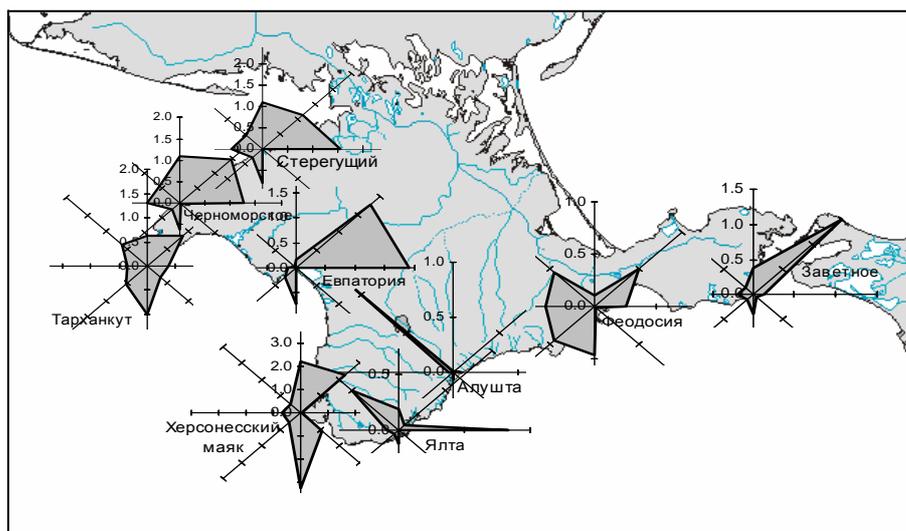
Ветровое волнение является главным фактором, определяющим изменения морских берегов. Сильные штормы вызывают разрушения гидротехнических сооружений, подмыв и обрушение берегов, приводят к изменениям береговой линии. При этом существенное значение имеет соотношение направлений ветра и конфигурации берегов. Наибольшее воздействие оказывает штормовое волнение от волноопасных направлений ветра, которые для каждого региона побережья Крыма различны. В Черном море, несмотря на сравнительно небольшие размеры, разгоны волн достаточно велики по большинству направлений, и при ветрах ураганной силы высоты волн могут превышать 10 м. В условиях глобального изменения климата за последние 20 – 25 лет, которые оказались аномальными по сравнению с вековыми рядами, актуальность изучения изменений ветро-волнового режима морских регионов значительно возросла.

Опубликованные данные о волновом режиме Черного моря получены, в основном, с помощью расчетных методов и относятся к глубоководной части Черного моря. Основными, наиболее детальными пособиями по режиму ветрового волнения открытой акватории Черного моря являются монография [1] и атласы [2 – 5], которые позволяют получить значения параметров волн, рассчитанные по типизированным картам полей ветра [4] или заранее спрогнозированному полю ветра, но в них представлены весьма ограниченные сведения об измеренных параметрах волн. В [1] приведена подробная информация о расчетных методах оценки режима волнения в глубоком море и библиография исследований ветрового волнения как вероятностного гидродинамического процесса. В [5] для получения характеристик ветра и волнения использовалась региональная климатическая численная модель атмосферной циркуляции. В качестве входных были взяты данные реанализа за 1958 – 1997 гг. Как отмечают авторы, в работе не ставилась задача детального анализа ветрового волнения в прибрежных областях моря с учетом особенностей береговой черты и топографии дна. Анализ данных наблюдений за ветром на береговых станциях посвящена работа [6], в которой

приведены оценки параметров режима ветра северо-западной части Черного моря, а также для морской акватории по данным полей давления и ветра (1960 – 1998 гг.). Режимные характеристики ветра и волнения для побережья Крыма от Севастополя до Феодосии по данным гидрометеорологических станций содержатся в наших публикациях [7 – 9].

Целью данной работы является анализ характеристик штормового волнения у берегов Крыма от волноопасных направлений, которое в наибольшей степени влияет на разрушение берегов и деформацию береговой линии. Сделана попытка оценки особенностей ветро-волнового режима на основе обработки многолетних рядов наблюдений за ветром и волнением на станциях и волномерных постах Крыма. Реально оценивая известные недостатки полуинструментальных и визуальных наблюдений над волнением, представляется все же целесообразным использовать данные многолетних натуральных наблюдений для расчета статистических характеристик штормового волнения, которые будут полезны для всех, чья деятельность связана с использованием прибрежной зоны в хозяйственных или природоохранных целях, а также при решении инженерных задач по защите берегов Крыма от разрушения.

В работе использованы данные многолетних регулярных 4-х срочных наблюдений на 9 станциях Гидрометслужбы Украины (рис.1) в период 1945 – 2005 гг. Эти станции, с продолжительностью наблюдений от 40 до 60 лет, представляют все характерные в климатическом и ландшафтном отношении районы побережья Крыма. Измерения скорости и направления ветра производились с применением сначала флюгеров с легкой и тяжелой досками, а затем, с 1978 г., стандартными анеморумбометрами ГМ-63. Подробный анализ достоверности измерений ветра на береговых станциях Украины, приведенный в [6], показал их достаточную надежность. Измерения высоты и направления распространения волн проводились, в основном, с помощью волномеров-перспектометров ГМ-12 и волномерных вех или буюв, установ-



Р и с . 1 . Среднеголетние розы штормовых ветров (≥ 10 м/с) по данным береговых станций Крыма.

ленных на глубинах 10 – 20 м в 150 – 300 м от берега. Измерения характеристик волнения производились в зонах внешних рейдов портов. На волномерных постах Стерегущее, Алушта и Заветное проводились визуальные наблюдения за волнением. Недостатками полуинструментальных и визуальных наблюдений являются недостаточная (по сравнению с волнографами) точность измерений и неопределенность обеспеченности значения высоты волны в наблюдаемой квазистационарной системе волнения. Тем не менее, наблюдения на станциях и постах производились регулярно на протяжении длительных периодов времени, что существенно сглаживает недостатки рядов наблюдений и повышает достоверность режимных статистических характеристик волнения.

В целом для побережья Крыма характерно преобладание ветров северного, северо-восточного и северо-западного направлений. В большинстве случаев эти ветры направлены от берега, следовательно, они практически не оказывают влияния на переформирование берегов. Основное воздействие таких ветров на берега связано с эоловыми процессами, которые характерны для тех побережий, где имеются песчаные аккумулятивные формы – Феодосийский залив и Западный Крым (от оз.Кызыл-Яр до оз.Донузлав, район Бакальской косы). Подробно различные сценарии развития эоловых процессов в зависимости от запаса наносов и ветрового режима рассмотрены в [10].

Как известно, наибольшее воздействие на морские берега оказывают ветры штормовой и ураганной силы. Поэтому наибольший практический интерес вызывает информация о ветрах скоростью >10 м/с. На северо-западном побережье Крыма (Стерегущее, Черноморское) отмечается наибольшая повторяемость сильных ветров от северо-восточного, восточного и северного направлений, дующих, в основном, вдоль побережья (рис.1). В районах м.Тарханкут и Евпатории преобладают северо-восточные, восточные штормовые ветры, направленные от берега, и южные – к берегам. На побережье от Сак до м.Херсонес преобладают вдольбереговые штормовые ветры; вклад северных и южных штормовых ветров примерно одинаков. Для Южного берега Крыма (ЮБК) наиболее высока повторяемость штормовых ветров восточного и юго-западного направлений, дующих вдоль берегов. Станции Ялта и Алушта закрыты для ветров западных и юго-западных направлений, которые регистрируются на станции Кацивели и океанографической платформе МГИ НАН Украины [11]. Как следует из рис.1, в зоне ЮБК значителен вклад штормовых северо-западных горнодолинных ветров. Феодосийский залив – это единственный регион, где преобладают штормовые ветры от южного направления, ориентированные по нормали к береговой линии. Вместе с тем, здесь не редки и вдольбереговые юго-западные и северо-западные штормовые ветры. В южной части Керченского пролива наибольшую повторяемость имеют штормовые северо-восточные и северные ветры, направленные из Азовского в Черное море. Повторяемость южных ветров здесь невелика, однако они наиболее волнопасны.

Максимальный ущерб береговым регионам наносит штормовое волнение, генерируемое ветрами от наиболее волноопасных направлений. В штормовых условиях степень воздействия на берег зависит от нескольких основных факторов: глубины в прибрежной зоне шельфа, рельефа дна, кон-

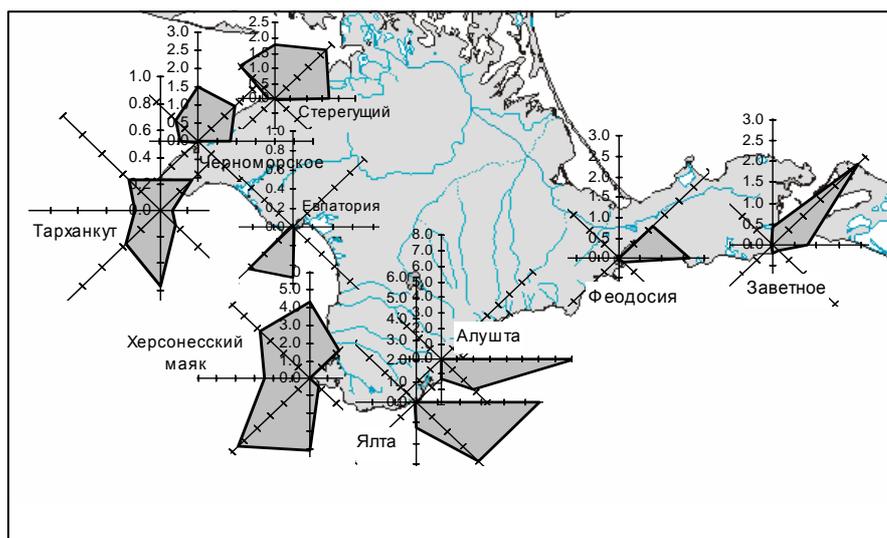
фигурации береговой линии, высоты штормового нагона, повышающего уровень моря у берега, и непосредственного воздействия волн. Энергия волн, в свою очередь, зависит от силы и продолжительности действия ветра вдоль наибольшего разгона волн, а также от уклона дна на каждом конкретном участке крымского побережья [12]. Для регионов побережья Крыма наиболее опасные направления распространения волн представлены на рис.2 в виде роз штормового волнения высотой ≥ 3 баллов (0,75 м) и более (Стерегущее, Черноморское) и ≥ 4 баллов (1,25 м) и более (Тарханкут, Евпатория, Херсонесский маяк, Ялта, Алушта, Феодосия, Заветное).

Рассмотрим характеристики ветро-волнового режима для отдельных относительно прямолинейных участков побережья.

От Сиваша до м.Тарханкут. На значительной части этого участка берег представляет собой сочетание легко размываемых глинистых обрывов с аккумулятивными формами. Для него характерна значительная миграция наносов и изменчивость береговой линии [13]. Только в районе м.Тарханкут абразионный берег относительно стабильный.

Для характеристики режима штормовых ветров этого района использованы данные морской гидрометеорологической станции (МГ) Черноморское (1948 – 2008 гг.). В период с 1939 по 1964 гг. действовала МГ Стерегущее, располагавшаяся у корневой части Бакальской косы с её восточной стороны. Сравнение данных этих двух станций за синхронное время наблюдений показало, что характеристики режима ветра довольно близки.

Анализ данных показывает, что периоды времени с ветром > 10 м/с от всех направлений составляют менее 6 % всего количества случаев, а ветры от волноопасных направлений составляют около 25 % всех случаев штормовых ветров. Другими словами, ветры от волноопасных направлений действуют только в течение 1,5 % всего времени. Наибольшую повторяемость имеют штормовые ветры (>10 м/с) западного и северо-западного волно-



Р и с . 2 .Среднеголетние розы штормового волнения в прибрежной зоне Крыма.

опасных направлений (по 0,6 %). Повторяемость штормовых ветров с силой >15 м/с по направлениям примерно такая же. Штормовые ветры от волноопасных направлений могут наблюдаться во все сезоны, однако чаще всего они наблюдаются в осенне-зимний период. Небольшой локальный максимум повышения штормовой активности отмечается в июне. Анализ данных за последние 10 лет (1998 – 2008 гг.) показывает, что повторяемость юго-западных ветров силой >10 м/с за этот период увеличилась примерно вдвое, а западных и северо-западных уменьшилась. В градации >15 м/с заметно участились ветры от западного направления. Увеличение вклада этих ветров дали жестокие штормы 20 – 25 января и 11 ноября 2007 г., а также 18 – 19 сентября 2008 г., которые привели к размыву полотна дороги на Бакальской косе, к отделению и превращению в остров её дистальной части.

Особенностью данного региона является наличие вышеупомянутого аккумулятивного образования – Бакальской косы, которая на 8 км выдаётся в сторону моря почти перпендикулярно берегу. На динамику её восточной части значительное влияние оказывают ветры от севера и северо-востока. Хотя разгон для волн от этих направлений сравнительно небольшой (до 30 км), однако формирующееся при этом поле волн, ввиду мелководности Бакальской бухты, приводит к образованию интенсивного потока наносов, направленного в сторону восточной части косы [14]. Немаловажно, что повторяемость штормовых ветров от этих направлений весьма значительна. Так, для ветров силой > 10 м/с она составляет около 45 %, а для ветров силой > 15 м/с – половину всех случаев (для периода 1998 – 2008 гг. эти значения уменьшились до 33 и 25 % соответственно).

Регулярные многолетние наблюдения ветрового волнения на станциях Черноморское и Стерегущее производились визуально и полуинструментальным методом. Особенности расположения МГ Черноморское (в полузакрытой бухте Узкой) и Стерегущее (в закрытой от юго-западного волнения бухте Бакальской) приводят к тому, что данные наблюдений не в полной мере отражают характер волнения для рассматриваемого побережья из-за явлений рефракции и дифракции волн. Этим же можно объяснить различия преобладающих направлений распространения волнения на двух пунктах наблюдений. В целом за год величины повторяемости волнения ≥ 3 балла за сравниваемый период распределяются между станциями следующим образом: Стерегущее – 0,24 %, Черноморское – 1,6 %. За весь период наблюдений в Черноморском средняя повторяемость сильного волнения составила 0,5 %. В соответствии с особенностями режима ветра, максимальная интенсивность штормового волнения соответствует холодному периоду года – с октября по март. Абсолютный максимум повторяемости штормового волнения приходится на январь, минимум – на июль. Локальный максимум, как и для ветра, отмечается в июне. Повторяемость зимой штормового волнения в 3 балла и более в районе Черноморского составляет 1,6 – 2,1 %, а в районе Бакальской бухты – не более 1 % от всех случаев. Волны с высотой более 2 м наблюдаются только в январе.

В целом, у северо-западного побережья Крыма наибольшую повторяемость имеют штормы от юго-западного, западного и северо-западного направлений. В Черноморском наиболее волноопасным является северо-

восточное направление распространения волн, а также северное и восточное. С северо-запада к обоим пунктам подходят в основном дифрагированные восточным мысом бухты Узкой и Бакальской косой штормовые волны. Однако, именно от этого направления в Стерегущем было отмечено волнение силой в 5 баллов. В районе Черноморского штормовое волнение высотой более 2 м развивалось от северо-восточного и северного направлений. За рассматриваемый период волнение, превышающее 1,25 м, наблюдалось в Черноморском 215 раз (из них 133 в период 1954 – 1964 гг.). Волны высотой ≥ 2 м наблюдались 6 раз, но все они, как и абсолютный максимум (2,6 м), отмечены в периоды январских штормов. В Стерегущем за 10 лет наблюдений волнение, превышающее 1,25 м, наблюдалось 26 раз, а волнение высотой ≥ 2 м наблюдалось 1 раз (3 м) в период майского шторма в 1955 г. Максимальные значения высот волн в районе северо-западного побережья Крыма не превышают 3 м. В районе Стерегущее 3 мая 1955 г. при северо-западном ветре силой 26 м/с отмечена максимальная волна высотой 3 м. В районе Черноморского волнение в 5 баллов и более наблюдается гораздо чаще, однако высоты волн более 2,6 м наблюдениями не зафиксированы. Между тем известно, что в северо-западной части моря достаточно часто наблюдается волнение высотой более 5 м. Например, во время жестокого шторма 9 – 11 ноября 1981 г. в районах мысов Херсонес и Тарханкут была отмечена высота волн 8 м [9], а неподалеку от м.Тарханкут в открытом море волнами был снесен настил нефтегазодобывающей платформы на высоте 14 м над уровнем моря.

Для оценки межгодовой изменчивости штормового ветра и волнения были рассчитаны значения повторяемости градаций сильного ветра (> 10 и > 15 м/с) и волнения более 3-х баллов (рис.3). Анализ графиков многолетней изменчивости повторяемости сильного ветра и штормового волнения показывает, что в период 50 – 60-х гг. XX в. наблюдалась высокая интенсивность ветра и волнения. На станции Черноморское в этот период повторяемость ветров > 10 м/с достигала 18 – 20 %, а > 15 м/с 5 – 8 % в год. Повторяемость штормового волнения ≥ 3 баллов достигала 10 – 14 %, а волнения ≥ 4 баллов – 1,5 – 3,0 % в год. В 70 – 80-е гг. наблюдался определенный

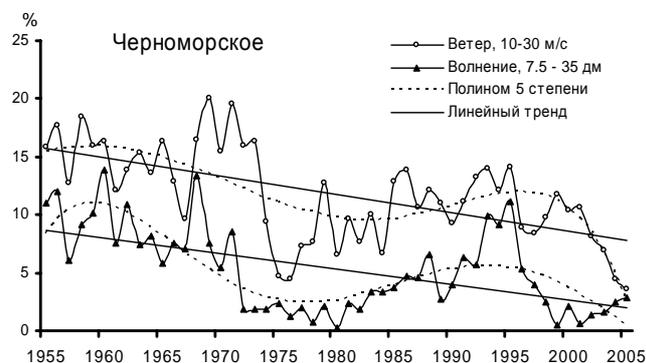


Рис. 3. Межгодовая изменчивость повторяемости (%) сильных ветров и штормового волнения на МГ Черноморское.

спад ветро-волновой активности. В 90-е гг. она опять возросла; особенно заметно увеличилась повторяемость штормовых ветров от юго-западного и западного направлений, а от северо-западного и северо-восточного уменьшилась. В эти же годы повторяемость волнения ≥ 3 баллов увеличилась до 9 – 11 %, а ≥ 4 баллов не превышала 1,3 %. Бли-

зость тенденций изменчивости повторяемости сильных ветров и штормового волнения может служить подтверждением надежности используемых рядов независимых наблюдений (рис.3).

От м.Тарханкут до Сак. Для характеристики ветро-волновых условий на участке побережья от м.Тарханкут до Сак использованы данные МГ Тарханкут и Евпатория. Последняя расположена в центральной части участка аккумулятивного берега, протянувшегося от оз. Донузлав до Сакской пересыпи и отличающегося повышенной динамикой. Только в районе м.Тарханкут абразионно-оползневые берега сложены из прочных известняков и, как показано в [15], мало подвержены абразии, хотя на МГ Тарханкут отмечается повышенная ветро-волновая деятельность. Данные за 1945 – 2008 гг. показывают, что периоды времени с ветром > 10 м/с от всех направлений составляют около 5 %. Сильные ветры со скоростью > 10 м/с от южного, западного и юго-западного направлений наблюдаются в среднем за год всего в 1,1 % случаев, а со скоростью >15 м/с – в 0,25 % случаев. Характерной особенностью этих ветров является значительная величина изменчивости их повторяемости по сезонам. Годовой ход выражен достаточно хорошо. Максимальные величины повторяемости ветров со скоростью > 10 м/с отмечаются в январе и феврале, а в летние месяцы их повторяемость крайне мала. Даже в наиболее штормовые для Черного моря месяцы (ноябрь, декабрь и март) она составляет около 3 %. Распределение ветров от юго-запада, запада и юга с градацией скорости > 15 м/с более сложно. Хотя в декабре – январе и отмечается увеличение их повторяемости до 1 %, однако максимальная повторяемость отмечается в апреле – мае (1,2 %). Необходимо отметить, что МГ Евпатория частично закрыта от западного ветра, поэтому повторяемость этих ветров возможно занижена. Наибольшую повторяемость имеют южные (0,7 %), юго-западные (0,3 %) и западные (0,1%) ветры от волноопасных направлений.

В межгодовой изменчивости ветра, также как и для МГ Черноморское, отмечается увеличение скорости ветра в период 1985 – 2005 гг. (рис.4). Расчет трендов показал, что только в январе – марте они отрицательны, во все остальные месяцы положительны, причем максимум положительных трендов приходится на апрель. В целом за весь рассматриваемый период для этого района побережья характерно существенное уменьшение повторяемости

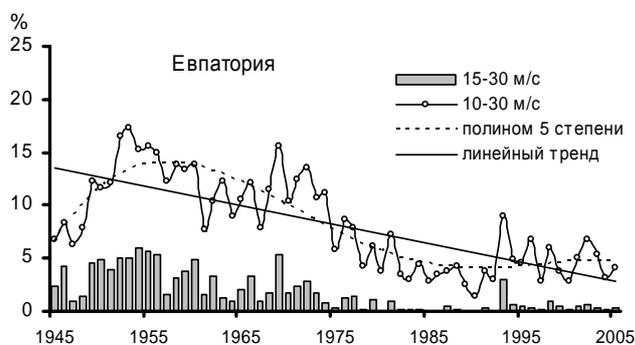


Рис. 4. Межгодовая изменчивость повторяемости (%) сильных ветров на МГ Евпатория.

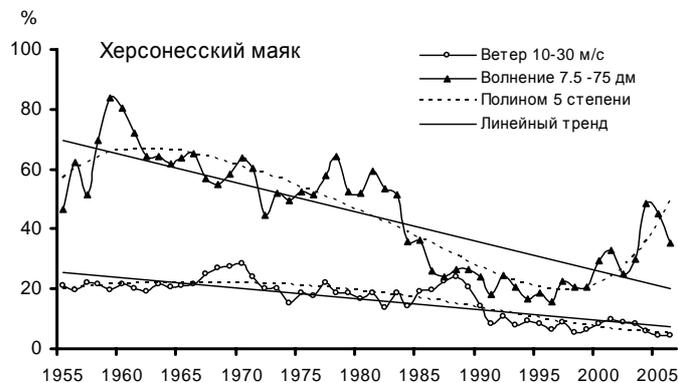
ветров от волноопасных направлений до середины 80-х гг. прошлого века, после чего наметилось возрастание их повторяемости, особенно для южных и западных ветров. Соответственно увеличилось и количество штормов. Начиная с середины 80-х гг., повторяемость волнения высотой > 1,25 м от южного и

юго-западного направлений возросла более чем в три раза.

От Сак до м.Херсонес. За Сакской пересыпью берег вплоть до района Севастополя имеет практически меридиональное направление. В северной части находится типичный лиманный берег, затем идет ровный абразионно-обвальный берег с клифами, сложенными четвертичными глинами. В настоящее время этот берег активно отступает. На юге района расположена Севастопольская бухта. К юго-западу от нее берег сильно расчленен рядом бухт меньшего размера. Это так называемые риасовые берега – погруженные низовья долин возвышенных местностей, сложенные устойчивыми горными породами, мало подверженными абразии. Для данного участка побережья волноопасными являются западные, юго-западные и северо-западные ветры, а для района Севастополя, кроме того, и северные.

Для характеристики ветро-волнового режима использованы данные наиболее репрезентативной для рассматриваемого района станции Херсонесский маяк, расположенной на м.Херсонес. В целом здесь преобладают северные (23 %), южные (22 %) и северо-восточные (15 %) ветры. Такое же распределение характерно и для градации сильных ветров >10 м/с. От волноопасных направлений повторяемость сильных ветров составляет всего 2,8 %; при этом по направлениям они распределяются следующим образом: северные (1,2 %), западные (0,6 %), северо-западные и юго-западные (по 0,5 %). Для ветров силой >15 м/с повторяемость по направлениям следующая: северные (0,2 %), западные (0,1 %), северо-западные и юго-западные (по 0,1 %), а в целом составляет 0,5 % всех случаев наблюдений. Штормовое волнение, как и сильный ветер, имеет выраженный сезонный ход. Максимальная интенсивность штормового волнения приходится на холодный период года: с ноября по март. В декабре – феврале величины повторяемости сильного волнения в районе м. Херсонес могут достигать 40 – 42 %, при этом высота волн может составлять 6 – 7 м. В летний период повторяемость сильного волнения не превышает 14 %. Наибольшую повторяемость от волноопасных направлений с высотой волны $> 1,25$ м имеют штормы от юго-западного и северного направлений (по 5 %), несколько меньше повторяемость от северо-западного (4 %) и западного (3 %) направлений (рис.2). Наибольшая повторяемость случаев самых жестоких штормов, когда волнение развивается до 6 баллов, соответствует штормам от юго-западного (0,3 %) и западного (0,1 %) направлений. За последние 50 лет волнение, превышающее 6 м, наблюдалось на МГ Херсонесский маяк 6 раз, по 2 случая от юго-западного, западного и северо-западного направлений. Все они, как и абсолютный максимум (7,3 м), отмечены в периоды ноябрьских штормов.

Для оценки межгодовой изменчивости штормового волнения и ветра по данным каждого года были рассчитаны значения повторяемости градаций сильного ветра (> 10 и > 15 м/с) и штормового волнения ≥ 4 баллов, а также ≥ 5 баллов (высота волны $> 2,1$ м). Анализ графиков многолетней изменчивости повторяемости сильного ветра и штормового волнения показывает, что в период с 50-х до 80-х гг. XX в. наблюдалась высокая интенсивность ветра и волнения (рис.5). В этот период повторяемость ветров >10 м/с достигала 15 – 28 %; > 15 м/с 3 – 5 % в год. Повторяемость волнения ≥ 3 баллов в районе м.Херсонес составляла 65 – 85 %, а волнения ≥ 5 баллов 10 – 11 % в год.



Р и с . 5 .Межгодовая изменчивость повторяемости (%) сильных ветров и штормового волнения на МГ Херсонесский маяк.

В 90-е гг. наблюдался резкий спад ветро-волновой активности. В период с 1983 по 2005 гг. повторяемость волнения ≥ 4 баллов удерживалась на уровне 9 – 12 %, а ≥ 5 баллов не превышала 2 %. На фоне значительных межгодовых изменений отмечается выраженный отрицательный тренд, который прослеживается

вплоть до середины 90-х гг. XX в., что, несомненно, связано с общим уменьшением ветро-волновой активности. С начала XXI в. намечился некоторый рост повторяемости штормовых ветров, в основном, от юго-западного направления, который послужил причиной увеличения повторяемости штормового волнения.

От м.Херсонес до Феодосии. Протяженный участок побережья южного Крыма представляет собой абразионный берег, сложенный прочными породами и мало подверженный изменениям. Только сравнительно небольшой участок берега от Алушты до Судака сложен глинистыми породами. Особенностью береговой линии является наличие большого числа берегозащитных сооружений, большая часть пляжей – искусственные. Так на отрезке бухта Ласпи – Феодосия размещено 635 бун (~ 3,5 на 1 км), из них 140 или разрушены или требуют срочного ремонта. Большую часть бетонных бун разрушил печально знаменитый шторм 14 – 16 ноября 1992 г., он же размыл значительную часть пляжей ЮБК. В пассажирском порту Ялты был поврежден причальный пирс, а в грузовом – только что построенный мол.

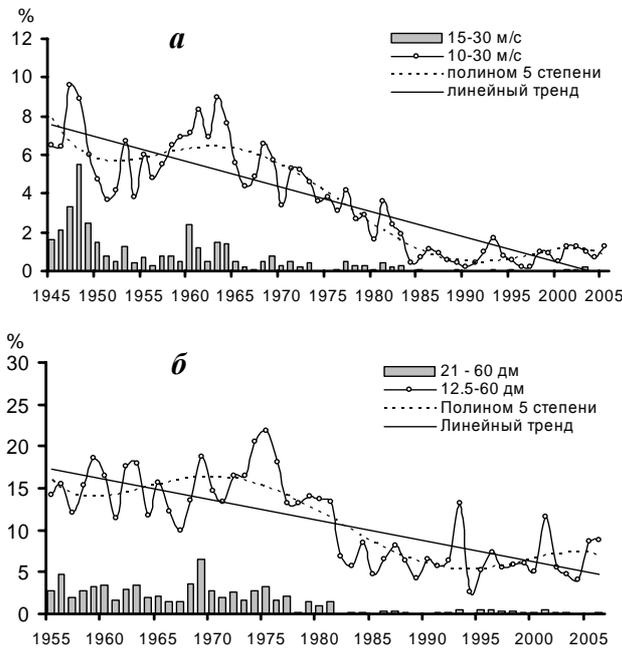
Для характеристики ветро-волновой деятельности нами использовались данные МГ Ялта. ЮБК является районом с интенсивной штормовой деятельностью. Наибольшая повторяемость штормовых ветров (>10 м/с) отмечается с января по апрель. Величина повторяемости случаев сильных ветров в этот сезон составляет 2 – 3 %. В период с мая по август повторяемость таких ветров – 0,8 – 1,5 %. От волноопасных направлений повторяемость ветров >10 м/с в среднем за период 1945 – 2005 гг. составляет 1 %, при этом наибольшей повторяемостью отличаются ветры от восточного (0,8 %) и южного (0,1%) направлений. Повторяемость ветров силой > 15 м/с составляет около 0,2 %. Сильные ветры от южного и юго-западного направлений на метеоплощадках станций Ялта и Алушта наблюдаются крайне редко. Однако даже на сравнительно небольшом удалении от берега распределение ветров по направлениям существенно изменяется. Например, по 20-ти летним наблюдениям на океанографической платформе (ОП) Морского гидрофизического института НАН Украины в районе Качивели определено, что преобладающими на удалении 600 м от берега являются вдольберего-

вые ветры северо-восточного и юго-западного направлений [11].

В целом за год повторяемость штормового волнения с высотой волны $> 1,25$ м в районе Ялты составляет около 10 %, а более 2,1 м 1,5 %. Наибольшая повторяемость штормов $> 1,25$ м (14 – 18 %) и $> 2,1$ м (1 – 4 %) отмечается в период с ноября по февраль. В летний период эти величины составляют 1 – 3 и 0,1 – 0,3 % соответственно. Наибольшая повторяемость присуща волнению от востока и юго-востока. Для градации волн $> 1,25$ м она составляет 6 и 4 % соответственно. Для южного и юго-западного направлений повторяемость очень мала, в сумме она составляет немногим более 1 %. Такое распределение штормового волнения характерно как для отдельных сезонов, так и в среднем за год. За рассматриваемый период наблюдений волнение с высотой волны, превышающей 3,5 м, наблюдалось на МГ Ялта всего 49 раз, из них 40 случаев от востока, 8 от юго-востока и 1 от южного направления. Большая часть штормов отмечена в период с января по март. Высоты максимальных наблюдаемых волн изменяются от 2,3 – 3,0 м в летний период до 4,0 – 5,5 м в осенне-зимний и весенний сезоны. По данным измерениям на ОП максимальная высота волн достигала 6,8 м, однако, наибольшие волны в районе ОП, видимо, достигали 10 – 15 м [11], что подтверждается повреждениями палубы платформы, расположенной на высоте 11 м над уровнем моря, во время шторма 14 – 16 ноября 1992 г. Необходимо отметить, что наибольшее волнение вызывают осенние штормы, вызываемые вторичными термическими циклонами. О вероятности в районе ЮБК высот волн более 15 м свидетельствовали очевидцы «балаклавской бури», бушевавшей 14 – 15 ноября 1854 г., которая потопила 30 кораблей англо-французского флота. Они утверждали: «...волны на море были чуть ли не равны со скалами балаклавскими в 10 – 20 сажень высоты» (21,3 – 42,6 м), что представляется явным преувеличением [16]. Аналог этому стихийному бедствию в новейшей истории – отмеченный выше шторм 9 – 11 ноября 1981 г., также приведший к исключительным разрушениям.

Графики изменчивости сильных ветров от волноопасных направлений показывают небольшой отрицательный тренд для западного ветра. Для восточных ветров характерно увеличение повторяемости с середины 40-х до 60-х гг. прошлого столетия, после чего последовало значительное уменьшение, вплоть до 80-х гг. XX в., когда наметилось небольшое увеличение. Для ветров от других направлений значительных изменений повторяемости не отмечается. На графиках повторяемости сильных ветров и штормового волнения (рис.6) заметно, что в 50 – 70-е гг. XX в. наблюдалась максимальная ветро-волновая активность, когда повторяемость штормового волнения $> 1,25$ м достигала 18 – 23 %, а $> 2,1$ м 5 – 7 % в год. После 1980 г. наблюдается резкий спад волновой активности. В период с 1983 по 2005 гг. повторяемость волнения с высотой волны $> 1,25$ м удерживалась в среднем на уровне 6,5 %, а для волн $> 2,1$ м 0,2 %.

От Феодосии до Керченского пролива. Этот участок побережья представляет собой сочетание аккумулятивного песчаного и абразионно-обвального в глинистых породах берега. Море здесь вырезало большой участок глинистой суши, образовав глубоко вдающийся в сушу овальной формы Феодосийский залив.



Р и с . 6. Межгодовая изменчивость повторяемости (%) сильных ветров (а) и штормового волнения (б) на МГ Ялта.

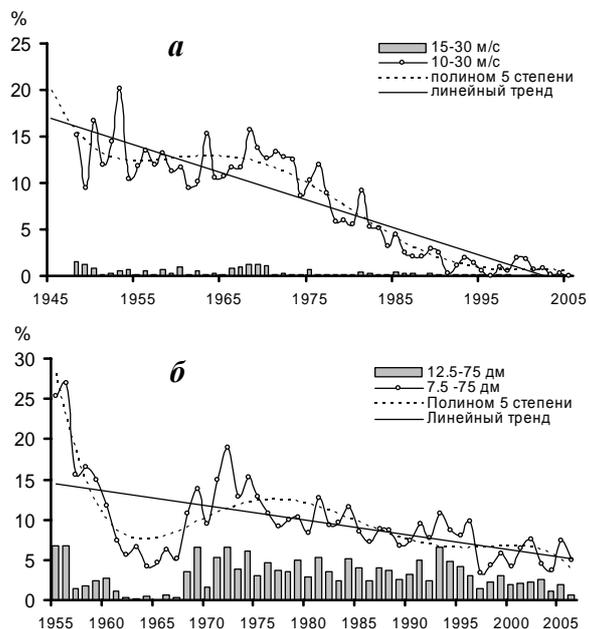
Для характеристики штормового волно-ветрового режима использовались данные МГ Феодосия. Скорость ветра, как и в других районах, имеет выраженный годовой ход с максимумом в холодный период и минимумом в теплый. Сезон с наибольшей повторяемостью штормовых ветров (> 10 м/с) соответствует холодному периоду года с ноября по март. Штормовые ветры со скоростью более 20 м/с бывают в любое время года. Зимой максимальные скорости ветра могут превышать 30 м/с. В этот период значения повторяемости случаев сильных ветров изменяются от 3 до 5,5 %.

Суммарная годовая повторяемость сильных ветров от волноопасных направлений составляет 1,3 %. При этом наибольшей повторяемостью обладают южные и юго-западные ветры (по 0,5 %). Несколько меньше повторяемость восточных ветров (0,3 %), а юго-восточных крайне мала (0,03 %) Характерно, что такое качественное соотношение присуще как ветрам > 10 м/с, так и ветрам > 15 м/с, однако повторяемость вторых в почти в 10 раз меньше, чем первых.

Среднегодовое повторяемость штормового волнения составляет 3,5 %. Максимальная интенсивность штормового волнения в районе Феодосии приходится также на холодный период года – с ноября по март, когда повторяемость штормов составляет 5 – 7 %. В летний период их повторяемость уменьшается до 0,5 – 1,5% . Штормы с высотой волны > 2,1 м в зимний период наблюдаются в 10 раз реже, чем для градации волн 1,25 – 2,1 м; летом они наблюдаются крайне редко. Несмотря на то, что для волн от восточного направления разгон минимальный, по сравнению с другими направлениями, именно от этого направления повторяемость штормового волнения максимальная (1,7 %). Для сравнения, повторяемость штормового волнения от юго-востока в 10 раз меньше.

Анализ графиков многолетнего хода величин повторяемости штормового ветра безотносительно направления (рис.7) показывает, что в период 40 – 60-х гг. XX ст. их значения были стабильно высокими (10 – 15 %). С начала 70-х гг. повторяемость штормовых ветров стала заметно снижаться и в начале 90-х гг. достигла 2 – 3 %. С этого периода до настоящего времени повторяемость штормовых ветров на фоне относительно небольших межгодовых колебаний остаётся стабильно низкой. Что касается ветров от волноопасных

направлений, то повторяемость сильных ветров от востока в течение 40 – 80-х гг. была относительно стабильна, на уровне 0,2 %. Вместе с тем наблюдались три всплеска, когда она возрастала до 1,2 % (1952, 1969, 1981 гг.). В конце 90-х гг. повторяемость этих ветров упала практически до нуля. Повторяемость южных ветров имела максимум около 2 % в начале 50-х гг. После этого на фоне довольно значительной межгодовой изменчивости повторяемость неуклонно снижалась и в начале 80-х гг. прошлого века достигла минимума. Повторяемость юго-западных ветров испытывала значительную межгодовую изменчивость, варьируя вокруг средней величины 0,5 % вплоть до начала 90-х гг. прошлого века, после чего резко уменьшилась.



Р и с . 7 .Межгодовая изменчивость повторяемости (%) сильных ветров (а) и штормового волнения (б) на МГ Феодосия.

В прикерченском регионе преобладают северные, северо-восточные, восточные и южные направления ветра (МГ Заветное). Опасными по воздействию ветрового потока на берега, морские транспортные средства и гидротехнические сооружения, установленные на берегах и в зоне шельфа, являются ветры ураганной силы северо-восточного и восточного направлений, скорости которых достигают 34 – 40 м/с, а порывы могут превышать 50 м/с. Наиболее волноопасны ветры южного, юго-западного и юго-восточного направлений, которые на максимальных разгонах вызывают экстремальное волнение (шторм 10 – 12 ноября 2007 г.). Их повторяемость невелика, но разрушительная сила максимальна.

Суммируя вышесказанное, приведем сводную таблицу, в которой показаны знаки трендов для повторяемости ветров со скоростью > 10 м/с за 30-ти летний период, рекомендуемый Всемирной метеорологической организацией (табл.1). Из неё видно, что на всех станциях, кроме Евпатории и Черноморского, расположенных в западном Крыму, отмечается уменьшение повторяемости штормовых ветров. Такая тенденция, скорее всего, связана с наблюдающимся климатическим смещением траекторий циклонов, выходящих на Черное море [17].

Необходимо отметить, что с начала 2000-х гг. наметилась тенденция к увеличению повторяемости штормовых ветров практически на всех станциях.

В табл.2 приведены экстремальные расчетные величины ветра и волнения и реально наблюдаемые на МГ.

Таблица 1. Знаки трендов для повторяемости ветров со скоростью > 10 м/с за период 1975 – 2005 гг. (+ положительный, – отрицательный, ⊗ тренд не выражен, ± отмечены разнонаправленные тенденции).

МГ	направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Черноморское	+	⊗	⊗	–	+	–	+	–
Евпатория	–	–	+	⊗	+	⊗	+	–
Херсонесский маяк	–	±	⊗	–	–	–	–	–
Ялта	±	⊗	–	–	–	⊗	–	–
Феодосия	–	–	–	–	–	–	–	⊗

Таблица 2. Экстремальные значения ветра и волнения.

МГ	ветер (м/с)		волнение (м)	
	возможный раз в 100 лет	по данным наблюдений	возможный раз в 100 лет	по данным наблюдений
Черноморское	40	28	4,0	2,6
Евпатория	41	34	5,2	4,0
Херсонесский маяк	40	40	7,7	7,3
Ялта	32	28	6,3	5,5
Феодосия	30	28	4,0	3,0

В табл.2 представлены средние (за 10 мин) значения скорости ветра. Порывы ураганных ветров могут значительно превышать приведенные величины. Данные о высотах волн относятся только к узкой прибрежной полосе, где проводились измерения.

Известно, что интенсификация литодинамических процессов в прибрежной зоне начинает отмечаться при волнении 4 балла [15]. При этом непрерывный региональный вдольбереговой поток наносов не формируется, но в пределах литодинамических ячеек отмечается движение наносов на литорали, в основном же процесс локализуется в зоне пляжа. При волнении 5 и более баллов, формируется мощный вдольбереговой поток, литодинамические ячейки объединяются в зоны, происходит выраженная перестройка донного рельефа и всей зоны заплеска. Как было показано выше, штормовая ветро-волновая деятельность у Крымского побережья имеет выраженную межгодовую изменчивость. Конец XX в. отличался существенным уменьшением штормовой деятельности, но с начала XXI в. наметилась тенденция её увеличения, что необходимо учитывать при планировании хозяйственной деятельности. Как пример можно привести значительные изменения береговой линии в районе Бакальской косы, вызванные участвовавшими в последние годы штормами [18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник по климату Черного моря.*– М.: Гидрометеиздат, 1974.– 405 с.
2. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия.*– СПб.: Гидрометеиздат, 1991.– 430 с.

3. *Атлас волнения и ветра Черного моря* / Под ред. Г.В. Ржеплинского.– Л.: Гидрометеиздат, 1969.– 111 с.
4. *Типовые поля ветра и волнения Черного моря* / Под ред. Э.Н.Альтмана, Г.А. Матушевского.– Севастополь: ФОЛ СО ГОИН, 1987.– 116 с.
5. *Ефимов В.В., Комаровская О.И.* Атлас экстремального ветрового волнения Черного моря.– Севастополь: МГИ НАНУ, 2009.– 59 с.
6. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.17.– С.225-243.
7. *Иванов В.А., Репетин Л.Н., Мальченко Ю.А.* Климатические изменения гидрометеорологических и гидрохимических условий прибрежной зоны Ялты / Препринт.– Севастополь: МГИ НАНУ, 2005.– 164 с.
8. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н.* Гидрометеорологические условия Феодосийского залива / Препринт.– Севастополь: МГИ НАНУ, 2004.– 74 с.
9. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М.* Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.9.– С.13-28.
10. *Выхованец Г.В.* Эоловый процесс на морском берегу.– Одесса: Астропринт, 2003.– 368 с.
11. *Куклин А.К., Куклина Н.Я., Шабалина О.А.* Исследование гидрометеорологических характеристик ЮБК с океанографической платформы в Качивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.2(7)– С.66-82.
12. *Ржеплинский Г.В.* Расчет режима волнения шельфовых акваторий на примере Черного моря // Метеорология и гидрология.– 1974.– № 1.– С.63-68.
13. *Горячкин Ю.Н., Харитонова Л.В., Долотов В.В.* Изменчивость береговой линии северо-западного Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. (настоящий выпуск)
14. *Зенкович В.П.* Бакальская коса // Сб. работ Ин-та Океанологии АН СССР.– 1959.– № 4.– С.86-101.
15. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов.– М.: Изд-во АН СССР, 1962.– 710 с.
16. *Шик Н.И.* Долгое эхо отшумевших раскатов.– «Слава Севастополя», 15 ноября 2006.
17. *Полонский А.Б., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н.* Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // Морской гидрофизический журнал.– 2007.– № 6.– С.47-58.
18. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Изменения климата и динамика берегов Украины // Доп. НАН України, 2008.– № 10.– С.118-122.

Материал поступил в редакцию 30.10.2009 г.