

В.Ф.Удовик, Ю.Н.Горячкин

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПОТОКА НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА

Выполнены расчеты межгодовой изменчивости направления и интенсивности перемещения наносов в береговой зоне Западного Крыма. Применен ветроэнергетический метод. В качестве вынуждающей силы использованы данные о ветре ре-анализа *JRA* за период 1979 – 2008 гг. Обсуждаются результаты расчетов, выполненных для холодного и теплого периодов года. Выделены типичные и аномальные ситуации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *береговая зона, Западный Крым, перемещение наносов, ветроэнергетический метод, межгодовая изменчивость.*

Динамика береговой линии и изменения рельефа береговой зоны на участке побережья Западного Крыма от Севастополя до Евпатории в значительной степени обусловлены вдольбереговым перемещением объемов прибрежно-морских наносов, представленных преимущественно песчано-гравийным материалом [1]. В свою очередь, направление и интенсивность вдольбереговых потоков определяются характеристиками ветро-волнового режима на прилегающей акватории. Изменения этих характеристик в северо-западной части Черного моря [2] могут приводить к перестройке пространственного распределения параметров потоков наносов, которые в значительной степени определяют основные тенденции современного реформирования береговой линии в исследуемом районе. Целью работы являлось получение характеристик межгодовой изменчивости направления и интенсивности перемещения наносов в береговой зоне Западного Крыма.

Расчеты проведены с использованием ветроэнергетического метода (ВЭМ), который посредством эмпирической зависимости устанавливает связь непосредственно между энергией ветра, передаваемой водной среде, и интенсивностью перемещения наносов. Более подробное описание разработанной на основе ВЭМ расчетной схемы и используемой методики подготовки входных параметров приводится в [3]. Областью применения ВЭМ являются отмельные песчаные и песчано-гравийные берега бесприливных морей с любым профилем подводного берегового склона (ПБС). Основная часть исследуемого побережья Западного Крыма характеризуется плавным изгибом береговой линии и изобат, преобладают малые уклоны дна, пляжи и ПБС преимущественно сложены подвижными песчаным и песчано-гравийным грунтами, что соответствует условиям применимости ВЭМ.

Исследуемый район охватывает береговую зону Западного Крыма длиной около 75 км на участке побережья от Севастополя (пляж «Любимовка») до Евпатории (пляж «Золотые пески»). При подготовке входных параметров была проведена аппроксимация береговой черты ломаной линией, состоящей из 114 отрезков со средней длиной 500 м. Ориентация отрезков коррек-

тировалась с учетом распределения глубин до изобаты 5 м. Лучи разгона волнения для каждого отрезка рассчитывались в пределах сектора 120° в обе стороны от нормали с шагом 5° по угловой координате. Вследствие того, что воздействующее на исследуемый участок береговой зоны волнение может формироваться как в глубоководной части акватории, так и в прибрежных мелководных районах, при подготовке входных параметров использовались оцифрованные батиметрические карты западной части Черного моря и Каламитского залива. Стыковка данных, полученных на картах разного масштаба, производилась с учетом конфигурации береговой линии. В пределах исследуемого района выделены три участка, характеризующих динамику наносов в его южной, центральной и северной частях. Из рассмотрения исключены район от м. Маргопуло до устья р. Альма и безымянный выступ, расположенный в северной части побережья на территории пос. Николаевка, т.к. в районах мысов процессы вдольберегового перемещения наносов имеют свои особенности. Исследование их представляет собой отдельную задачу, решение которой выходит за рамки данной работы.

В качестве вынуждающей силы использованы данные ре-анализа *JRA* о направлении и скорости приводного ветра за период 1979 – 2008 гг. [4]. Климатический сдвиг 1976 – 1977 гг. определяет начало нового климатического периода [5]. Следовательно, можно считать, что используемые данные наиболее полно характеризуют современный ветровой режим над акваторией западной части Черного моря.

При расчетах использован непрерывный ряд значений направления и скорости ветра в точке с координатами $44^\circ 54'$ с.ш., $33^\circ 24'$ в.д. за период с 1979 – 2008 гг., с дискретностью 6 часов. Исходные значения получены в результате интерполяции данных из ближайших узлов регулярной сетки массива *JRA*. Зональная и меридиональная компоненты ветра предварительно были скорректированы путем умножения на поправочный коэффициент 1,3 [5], полученный в результате валидации модели *SWAN*. При этом, согласно используемой методике расчетов, вводилось предположение об однородности поля ветра вдоль лучей разгона волнения. Из массива данных о направлении и скорости ветра выделены временные ряды, соответствующие холодному (1 октября – 31 марта) и теплomu (1 апреля – 30 сентября) периодам каждого года. При расчетах не использовались данные о ветре со скоростью менее 5 м/с, т.к. генерируемое им волнение не оказывает значимого воздействия на вдольбереговое перемещение наносов [6]. Для каждого из указанных периодов проведены расчеты пространственного распределения средней за сезон относительной интенсивности вдольбереговых потоков наносов в исследуемом районе. Холодные сезоны отнесены к номеру года, на начало которого приходится окончание данного сезона.

Холодный период. На северном участке четко выделяется существование двух потоков наносов, направленных навстречу друг другу (рис. 1). При этом зона конвергенции изменяет свое пространственное положение в очень широких пределах, что приводит к межгодовым вариациям длины береговой зоны, охватываемой потоками различного направления. Наиболее вероятное положение зоны конвергенции располагается на участке береговой зоны от пос. Новофедоровка до пересыпи оз. Сакское.

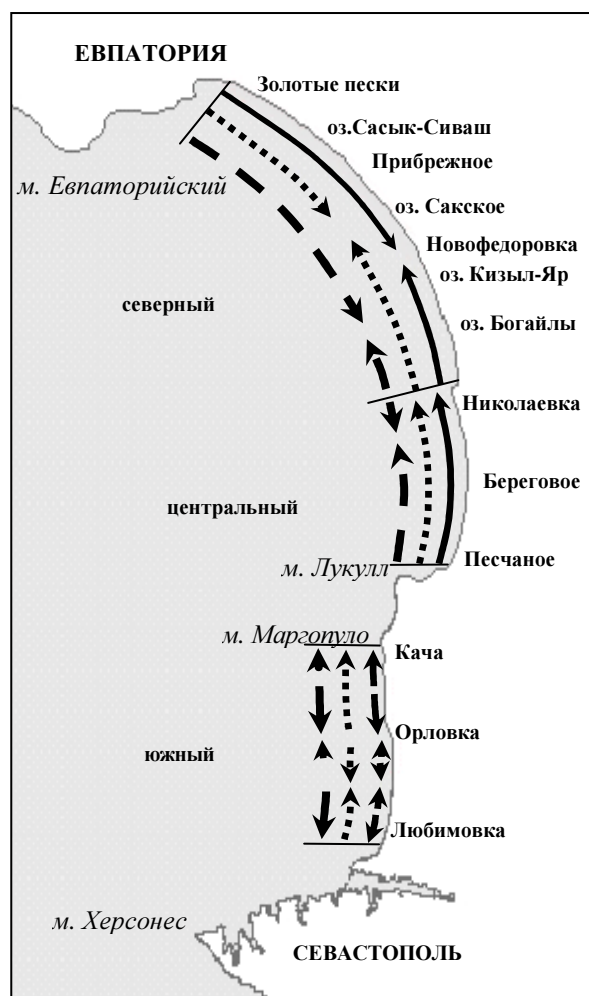


Рис. 1. Направление движения наносов: среднесноголетнее (1979 – 2008 гг.) (—); для теплых (---) и холодных (···) сезонов.

ройка вдольберегового потока наносов была также в 1992 г. В 1988 и 1997 гг. отмечалось формирование короткой ветви южного направления в районе пос. Николаевка. Наблюдаемое пространственное и временное распределение параметров вдольберегового потока наносов позволяет классифицировать центральный участок как зону транзита, обеспечивающую перемещение объемов материала с южного участка на северный. В случае преобладания переноса в южном направлении вдоль всего участка создаются предпосылки к аккумуляции материала в его южном секторе, соответствующем рекреационной зоне в пос. Песчаное.

На южном участке наблюдается устойчивое существование нескольких ветвей потока наносов (рис.1), что очевидно обусловлено изменениями направления береговой линии, наиболее отчетливо прослеживающимися в районе пляжа пос. Орловка, а так же близостью к Гераклеяскому п-ову, создающему волновую тень при ветрах южных румбов. В целом на южном участке

При этом нередко могут возникать ситуации (1985, 1986, 1994, 1995 гг.), когда практически на всем северном участке происходит достаточно мощный перенос прибрежно-морских наносов с юга на север. Значительная протяженность потока северного направления, отмечается также в 1983, 1990, 2004 и 2008 гг., когда суммарный поток оканчивался на участке, примыкающем с севера к пересыпи оз. Сакское (в районе п. Прибрежное). В 1992 и 1997 гг. наблюдалась обратная ситуация, когда уже поток южного направления охватывал весь северный район.

На центральном участке в течение всего исследуемого периода явно преобладал перенос в северном направлении (рис.1). На этом фоне аномальным выглядит 1985 г., когда поток менял направление на противоположное по всей длине участка. Близкая по характеру резкая перестройка

преобладает перемещение наносов в южном направлении, наиболее отчетливо проявлявшееся в 1985, 1992 и 1997 гг. Однако может возникать ситуация, когда и поток северного направления охватывает весь участок, что должно приводить к перемещению материала на центральный участок в результате обхода м. Лукулл, а соответственно, безвозвратному выводу значительных объемов наносов из бюджета южного участка. Подобная ситуация наиболее отчетливо прослеживалась в 1983, 1994, 1995, 1999 и 2001 гг. Примечательно, что на южном участке в период 2002 – 2008 гг. произошла некоторая стабилизация во времени структуры перемещения прибрежно-морских наносов с тенденцией к преобладанию переноса в южном направлении.

Теплый период. Для *северного участка* так же характерно существование двух потоков встречного направления (рис. 1). Однако поток южного направления охватывает более протяженный участок по сравнению с холодным сезоном. Положение зоны конвергенции потоков сдвинуто южнее и в среднем соответствует участку от пос. Новофедоровка до южной части пересыпи оз. Богайлы. Резкое ее смещение к северу отмечается крайне редко. Наибольшие длины ветви северного направления, прослеживающиеся до северной части пересыпи оз. Сакское, отмечались только в 1987 и 1994 гг. Более вероятно существование непрерывного потока южного направления, охватывающего весь северный участок, что наиболее отчетливо прослеживалось в 1995, 1996 и 2001 – 2003 гг.

На *центральной* участке формируется структура вдольберегового перемещения наносов, существенно отличающаяся от холодного сезона. В северной части участка наблюдается достаточно устойчивое существование ветви потока наносов южного направления (рис. 1), что приводит к образованию зоны конвергенции, которая располагается в пределах участка береговой зоны, включающего южные пляжи пос. Николаевка и пляжи пос. Береговое. Дополнительно к этому результаты расчетов показывают, что начиная с 1995 г. существовала возможность перемещения наносов в южном направлении и на коротком участке, расположенном к северу от пос. Песчаное. В первую очередь это говорит о том, что во время теплого сезона центральный участок в значительной степени теряет функцию прямого транзита наносов в северном направлении.

На *южном* участке, как и в холодный период, отмечается существование нескольких потоков противоположного направления. Однако для периода 1999 – 2008 гг. характерно явное преобладание среднего потока наносов южного направления, что до этого наблюдалось в основном в течение одного либо двух последовательных сезонов. В это время только в районе пляжей пос. Орловка и пос. Кача отмечалось существование коротких ветвей незначительной интенсивности, направленных на север, которые по всей вероятности не могут серьезно повлиять на общий характер перемещения наносов. Формирование непрерывного потока северного направления получено только для 1986 и 1997 гг. Развитие переноса в южном направлении наиболее отчетливо проявлялось в 1995 и 1996 гг.

На южном участке наблюдается достаточно сложная структура перемещения наносов как в холодный так и в теплый периоды года, что приводит к определенным трудностям при выявлении среднесезонного потока

наносов на данном участке и выделении наиболее вероятных границ устойчивых литодинамических систем в пределах всего исследуемого района. Это объясняет тот факт, что в настоящее время существует как минимум две генеральные схемы направления среднего потока наносов на участке береговой зоны от Севастополя до м. Лукулл [1, 6], каждая из которых подкреплена материалами экспедиционных и теоретических исследований. Проведенные расчеты показывают, что на фоне преобладающей ячеистой структуры потока наносов, могут возникать случаи, когда в определенные сезоны, годы или даже периоды в несколько лет может происходить практически однонаправленное перемещение наносов как в южном, так и в северном направлениях.

При использовании представленных результатов для решения практических задач, следует учитывать, что расчетная методика не позволяет учесть влияние волн зыби на перемещение наносов. В свою очередь, конфигурация береговой линии Западного Крыма предполагает возможность подхода, особенно к северному участку, волн зыби значительной амплитуды, образовавшихся в юго-западной и западной частях Черного моря. В связи с этим, в реальных условиях, наиболее вероятно некоторое увеличение северной составляющей для всех описанных потоков и соответствующее смещение к северу зон конвергенции, особенно на северном участке.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Направление и интенсивность вдольбереговых потоков наносов на исследуемых участках береговой зоны Западного Крыма характеризуются значительной межсезонной и межгодовой изменчивостью.

2. На северном участке наиболее вероятно существование двух потоков наносов, направленных навстречу друг другу с образованием зоны конвергенции. Поток южного направления в течение всего года имеет большую протяженность. В теплый сезон зона конвергенции в среднем располагается южнее, чем в холодный. В холодный период возможно формирование однонаправленного потока северного направления. Непрерывное перемещение наносов с севера на юг возможно во все сезоны года.

3. Центральный участок в холодный период года характеризуется преобладанием непрерывного потока, направленного на север, и преимущественно представляет собой зону транзита наносов с южного участка на северный. Тенденция к резкому возрастанию интенсивности потока и существование устойчивого максимума в его центральной части предполагает помимо транзита так же необходимость дополнительного вовлечения в движение значительных объемов наносов для насыщения потока, что может ускорять процессы разрушения берегов. В теплый период транзитная функция потока наносов существенно ослабевает, в первую очередь в связи с появлением в северной части центрального участка достаточно устойчивой ветви южного направления.

4. На южном участке наблюдается самая сложная картина перераспределения объемов наносов, выражающаяся в практически постоянном существовании нескольких ветвей различного направления и переменной длины, а также возможности существования однонаправленных потоков как северного, так и южного направлений.

Полученные результаты позволяют уточнить возможные схемы вдоль-берегового перераспределения объемов наносов на современном этапе развития литодинамической системы и могут быть использованы при планировании и реализации различных проектов берегоукрепления и берегозащиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуйский Ю.Д. Основные закономерности морфологии и динамики Западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.13.– С.62-72.
2. Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н. Штормовой ветро-волновой режим у черноморского побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.19.– С.56-69.
3. Иванов В.А., Удовик В.Ф. Оценка баланса интенсивности потоков наносов и основных тенденций переформирования береговой зоны на северо-восточном побережье о.Коса Тузла в 2004 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.13.– С.159-178.
4. Onogi K., Tsutsui J, Koide H. et al The JRA-25 Reanalysis // J. Meteor. Soc. Japan.– 2007.– v.85.– P.369-432.
5. Полонский А.Б., Фомин В.В., Гармашов А.В. Характеристики ветрового волнения Черного моря // Доп. НАН України.– 2011.– № 8.– С.108-112.
6. Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей.– М.: Географиздат, 1958.– 371 с.

Материал поступил в редакцию 15.07.2013 г.

АНОТАЦІЯ Виконані розрахунки міжрічної мінливості напряму і інтенсивності переміщення наносів в береговій зоні Західного Криму. Використовувався ветроенергетичський метод. Як сила, що вимушує, використані дані про вітер реаналіза JRA за період 1979 – 2008 рр. Обговорюються результати розрахунків, виконані для холодного і теплого періоду роки. Виділені типові і аномальні ситуації.

ABSTRACT The interannual variability in the direction and intensity of the movement of sediments in the coastal zone of Western Crimea was calculated. Wind energy method was used. As the driving force of the wind data from JRA reanalysis for the period 1979 – 2008 was used. The results of the calculations for the cold and warm periods of the year were discussed. Typical and abnormal situations were identified.