

В.Ф.Удовик, Л.В.Харитонова

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ НАНОСОВ
К ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКОНЕЧНОСТИ О.КОСА ТУЗЛА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ШТОРМОВОГО ВЕТРА**

На основе ветроэнергетического метода для различных направлений ветра получены оценки характеристик вдольберегового потока наносов, формирующегося на участке береговой зоны Таманского п-ова от м.Тузла до оконечности искусственной дамбы, возведенной в Тузлинской промоине. Дополнительно проведены модельные расчеты для двух траекторий перемещения донных наносов от дамбы к юго-восточной оконечности о. Коса Тузла. Описаны основные сценарии перераспределения объемов наносов на исследуемой акватории. Выделены направления ветро-волнового воздействия, создающие наиболее благоприятные условия для их поступления к юго-восточной оконечности о. Коса Тузла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *береговая зона, перемещение наносов, ветроэнергетический метод, остров Коса Тузла, Керченский пролив, Черное море.*

Остров Коса Тузла (ОКТ) образовался в результате размыва корневой части косы Тузла, примыкавшей к Таманскому п-ову. Произошло это 25 ноября 1925 г. в результате воздействия интенсивного шторма южного и юго-западного направления. Главной причиной, способствовавшей штормовому размыву, считается истощение основных потоков наносов, питающих тело косы и особенно черноморского потока, формирующегося на участке побережья Таманского п-ова от м.Железный рог до м.Тузла [1, 2].

Первоначально ширина прорана составляла около 300 м. В дальнейшем, до 1953 г. с различной скоростью происходило расширение промоины, в основном за счет размыва образовавшегося острова. Далее наступил период относительной стабилизации ее ширины на отметках около 4 км. В период с 1989 по 2003 гг. прослеживалась некоторая интенсификация динамики изменения ширины Тузлинской промоины, выразившаяся в ее сужении до 3,5 км с последующим расширением практически до 4,5 км. Глубины в этот период составляли от 0,5 до 3,0 м. При этом, на всем протяжении существования промоины отмечалась значительная изменчивость планово-высотных отметок рельефа дна. В периоды стабилизации наблюдалась тенденция к эпизодическому образованию островов длиной до 1 км, преимущественно в центральной части промоины. Подобные формы рельефа дна были достаточно недолговечны и существовали от нескольких месяцев до одного – двух лет. При этом тело остаточного подводного образования в промоине к 2003 г. сместилось на 800 – 1000 м к северу [1 – 4].

Проведенное за короткий срок (2003 – 2004 гг.) строительство искусственной дамбы от побережья Таманского п-ова в сторону ОКТ в очередной раз существенно изменило морфометрические параметры бассейна. В качестве отклика природной среды вновь началась интенсивная перестройка существовавшей квазиустановившейся гидролитодинамической системы

© В.Ф.Удовик, Л.В.Харитонова, 2011

Керченского пролива в данном районе. Свое выражение это получило в первую очередь в активизации размыва берегов ОКТ, особенно в районе его юго-восточной части, отделенной от оконечности дамбы Тузлинской промоиной. Одновременно по периметру дамбы наблюдалось интенсивное формирование аккумулятивных тел в виде кос и пляжей в результате перехвата части наносов, питающих тело острова. Наибольшее количество накопленного песчано-ракушечного материала, включая ряд крупных подводных отмелей, сложенных песком и детритом, зафиксировано со стороны Черного моря [5]. При длине дамбы 3780 м ширина не перекрытой ею части промоины резко увеличилась от 500 м в 2004 г. до 1200 м в 2007 г. в результате размыва юго-восточной оконечности острова и в дальнейшем относительно стабилизировалась, в том числе частично и в результате проведения неотложных берегоукрепительных мероприятий.

Однако, следует учитывать, что срок адаптации гидrolитодинамической системы после первоначального образования ОКТ в 1925 г. составил порядка 30 лет, и включал периоды относительной стабилизации. В связи с этим существует большая вероятность дальнейшего продолжения перестройки системы Тузлинская промоина – ОКТ для перехода ее в более стабильное состояние.

Вследствие отсутствия собственных источников питания, дальнейшая тенденция и темпы развития морфометрических характеристик ОКТ, как и ранее в первую очередь будут определяться бюджетом наносов, приходная часть которого может формироваться практически только за счет поступления материала от абрадирующих берегов Таманского п-ова и частично со дна прилегающей акватории [2]. В связи с этим возрастает актуальность решения задач по оценке характера и условий поступления обломочного материала, формирующего тело острова. При этом в рамках комплексного подхода возникает необходимость исследования следующих взаимосвязанных процессов: поступление наносов к оконечности дамбы; перемещение через Тузлинскую промоину; вовлечение и перераспределение в рамках локальной литодинамической ячейки в береговой зоне ОКТ.

Цель настоящей работы: исследование зависимости характеристик черноморской ветви питающего потока наносов на участке от м.Тузла до юго-восточной оконечности острова от направления штормового ветра и выделение гидрометеорологических условий, наиболее благоприятных для поступления песчано-ракушечного материала в бюджет литодинамической ячейки ОКТ.

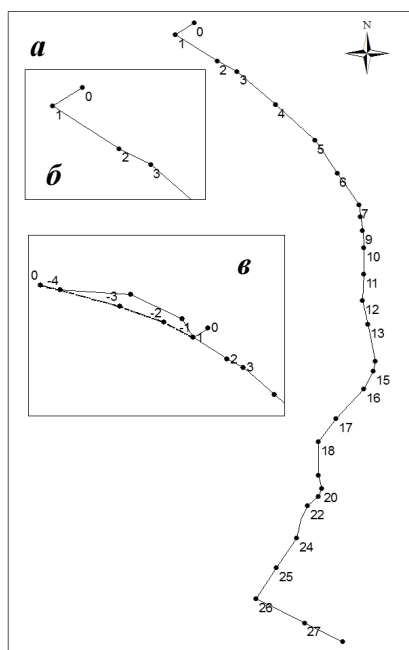
Методика расчетов. Используемая в работе схема расчетов разработана на основе ветроэнергетического метода (ВЭМ), применяющегося для оценки относительной интенсивности вдольбереговых потоков наносов, формирующихся на отмелях песчаных и песчано-гравийных берегах бесприливных морей с любым профилем подводного берегового склона (ПБС), сложенного подвижными грунтами [6, 7]. ВЭМ посредством эмпирической зависимости устанавливает связь непосредственно между энергией ветра, передаваемой водной среде, и интенсивностью перемещения наносов. Подробное описание разработанной на основе ВЭМ расчетной схемы и используемой методики подготовки входных параметров приводится в [8].

Исследуемый участок береговой зоны аппроксимируется ломаной линией, состоящей из прямолинейных отрезков, экспозиция и длина которых определяются характером изменения направления береговой линии и изобат. Расчеты проводятся для всего активного диапазона направлений ветра, в пределах которого происходит вдольбереговое перемещение наносов. Границы активного сектора определяются экспозицией береговой линии и орографией берегов прилегающего бассейна.

Согласно ВЭМ значения, получаемые при проведении расчетов, характеризуют относительную интенсивность вдольбереговой составляющей потока наносов и выражаются в условных единицах. Традиционно принимается, что потокам, направленным вправо от смотрящего с берега наблюдателя, присваиваются положительные значения, а потокам направленным влево – отрицательные. В данной работе для более удобного описания и анализа расчетных значений, искомые величины выражены в процентном отношении к максимальному значению, полученному при проведении всей серии расчетов.

Входные параметры. Расчетная область простирается от м. Тузла до юго-восточной оконечности ОКТ и условно разделена на два участка: от м. Тузла до оконечности дамбы в Тузлинской промоине (участок № 1); от оконечности дамбы до юго-восточной оконечности ОКТ (участок № 2).

Участок № 1 аппроксимирован 27 отрезками (рис.1, а). Нумерация отрезков проведена с севера на юг и имеет следующую пространственную привязку: отрезки 1 – 13 (дамба); 14 – 15 (корневая часть дамбы); 16 – 23 (пересыпь оз. Тузла); 24 – 25 (участок, примыкающий к м. Тузла с севера); 26 – 27 (участок, примыкающий к м. Тузла с юга). Дополнительно проведена аппроксимация шпору, расположенной на оконечности дамбы (отрезок 0) (рис.1, б). Участок № 2 аппроксимирован 4 отрезками, номерам которых для удобства визуализации и анализа результатов присвоены отрицательные значения (рис.1, в). Первые три отрезка аппроксимируют две наиболее вероятные траектории движения наносов через Тузлинскую промоину, четвертый соответствует среднему положению юго-восточной оконечности ОКТ и имеет одинаковые параметры для всех траекторий перемещения. Возможные пути перемещения донных наносов через промоину выбраны в результате анализа распределения глубин в районе промоины, а также на основе существующих представлений о характере распределения мощности вдольберегового потока наносов поперек подводного берегового склона [7, 9].



Первые три отрезка аппроксимируют две наиболее вероятные траектории движения наносов через Тузлинскую промоину, четвертый соответствует среднему положению юго-восточной оконечности ОКТ и имеет одинаковые параметры для всех траекторий перемещения. Возможные пути перемещения донных наносов через промоину выбраны в результате анализа распределения глубин в районе промоины, а также на основе существующих представлений о характере распределения мощности вдольберегового потока наносов поперек подводного берегового склона [7, 9].

Рис. 1. Схема аппроксимации: береговой линии от Тузлинской промоины до м. Тузла (а); оконечности дамбы (б); траекторий перемещения наносов в промоине (в).

Расчеты проведены для диапазона направления ветра 150 – 240°, который выбран с учетом экспозиции береговой линии и изобат на исследуемом участке побережья, а также орографии берегов Керченского пролива и западной части Черного моря. В качестве вынуждающей силы был задан штормовой ветер с постоянной скоростью 10 м/с, воздействующий на водную поверхность в течение 24 часов. Использование фиксированной скорости и продолжительности ветра позволяет непосредственно исследовать пространственную изменчивость характеристик потоков наносов в зависимости от направления ветро-волнового воздействия.

Результаты и обсуждение. Процесс поступления материала, питающего тело ОКТ, можно условно разбить на два этапа: перемещение наносов вдоль берега Таманского п-ова в район оконечности дамбы и перемещение от оконечности дамбы через промоину к юго-восточной оконечности ОКТ. При различном направлении ветро-волнового воздействия указанные процессы могут происходить либо обособленно, либо представлять собой единую систему. На первом этапе проанализируем характер поступления наносов к оконечности дамбы, рассматривая результаты расчетов направления и интенсивности вдольбереговых потоков наносов для отрезков 1 – 27 (рис.2).

При направлении ветра 150° весь исследуемый участок побережья находится в зоне волновой тени, создаваемой м.Панагия, и вдольбереговое перемещение наносов отсутствует. Разворот ветра к 160° приводит к тому, что

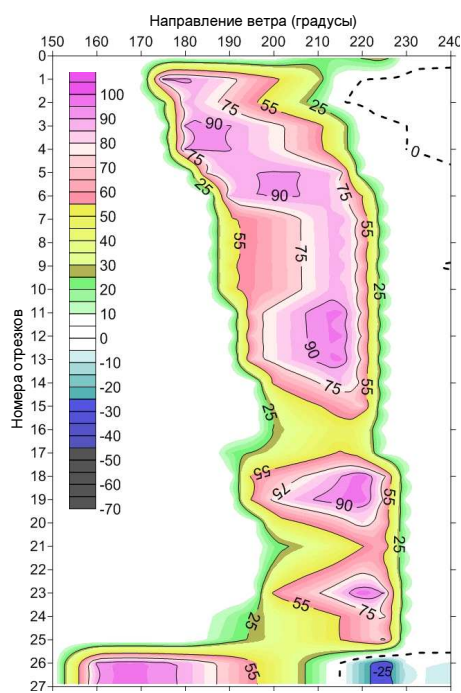


Рис. 2. Зависимость направления и интенсивности вдольберегового потока наносов от направления ветра на участке от оконечности дамбы до м.Тузла.

начинается интенсивное (близкое к 100 %) перемещение наносов с юга в сторону м.Тузла (отрезки 26 – 27), на остальных отрезках емкость потока пренебрежимо мала. Подобная ситуация сохраняется до перехода ветра к направлению 175°, когда из зоны волновой тени, создаваемой м.Тузла, выходит дистальная часть дамбы. Отмечается резкое возрастание интенсивности вдольберегового потока на отрезке 1 (до 93 %) и более умеренное (до 20 %) на отрезке 2. Остальная часть (отрезки 3 – 25) продолжает находиться в секторе волновой тени. При данном направлении начинается интенсивное перемещение наносов на акваторию промоины, количество которых, однако, будет ограничено доступными для вовлечения в движение объемами, сконцентрированными на отрезках 1 и 2.

Дальнейший разворот ветра по часовой стрелке, в диапазоне 180 – 195°, приводит к следующей ситуации. На севере постепенно расширяется участок, на котором отмечается формиро-

вание интенсивного потока наносов, направленного к промоине (60 – 90 %), и при направлении ветра 195° он уже простирается вдоль всей длины дамбы. На юге при ветре 185° начинается движение наносов на участке, примыкающем с севера к м.Тузла (отрезки 24 – 25). Емкость потока на этих отрезках плавно возрастает при дальнейшем развороте ветра к 195°. Появляется и начинает развиваться перемещение наносов в северном направлении на участке, соответствующем выпуклой части пересыпи оз.Тузла. Ветра указанного диапазона могут перемещать в сторону промоины наносы уже со всего участка, примыкающего к дамбе, и, соответственно, доступное количество вовлекаемого в движение материала должно существенно увеличиться. При этом начинается активное перемещение наносов от оконечности м.Тузла, а также их продвижение на север вдоль пересыпи оз.Тузла.

При направлении ветра 200° полностью формируется однонаправленный поток северного направления на всем исследуемом участке береговой зоны и сохраняется таким до направления ветра 210°. Данный диапазон ветро-волнового воздействия можно рассматривать как наиболее благоприятный для перемещения наносов в район промоины, особенно в течение продолжительных штормов. В этом случае происходит вовлечение в движение материала на всем протяжении участка береговой зоны от м.Тузла до оконечности дамбы и одновременно сохраняются условия для обхода м.Тузла единым потоком, имеющим начало у м.Железный рог, что очень важно при учете ограниченности мощности потока в данном регионе.

Переход ветра к 215° сопровождается полной локализацией потока наносов северного направления на участке м.Тузла – дистальная часть дамбы. Обусловлено это тем, что оконечность дамбы начинает входить в зону волновой тени, создаваемой м.Такиль, а к югу от м.Тузла начинает формироваться поток юго-восточного направления и возникает зона дивергенции вдоль береговых потоков наносов, препятствующая поступлению обломочного материала со стороны м.Панагия. В этом случае сохраняется возможность перемещения к оконечности дамбы значительных объемов наносов, однако, при длительном штормовом воздействии общее их количество будет ограничено в результате отсутствия возможности обхода потоком м.Тузла.

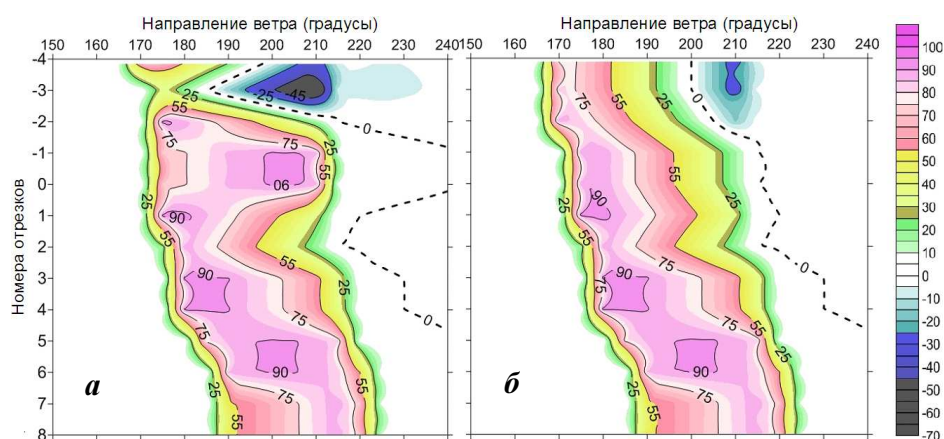
При направлении ветра 220° северная половина дамбы входит в зону тени Керченского полуострова, однако на остальном участке интенсивное движение наносов в северном направлении сохраняется. В данном случае в результате резкого падения емкости потока практически до нуля должна происходить аккумуляция значительных объемов наносов в районе отрезков 6 и 7, что наиболее вероятно и является причиной существования в этой части дамбы аккумулятивных форм.

Незначительное смещение направления ветра к 225° приводит к резкому уменьшению длины участка интенсивного перемещения наносов (отрезки 18 – 25). В данном случае сохраняется тенденция к поступлению и аккумуляции обломочного материала в районе корневой части дамбы. Дальнейший разворот ветра к 230° обуславливает вхождение в зону волновой тени Керченского полуострова всего исследуемого участка, что приводит к резкому падению интенсивности потока наносов до значений 5 – 7 %. Такая же ситуация наблюдается при ветре 240°. При этом одновременно в северной части дамбы

(отрезки 1 – 4) происходит зарождение ветви потока южного направления, полностью блокирующей перемещение материала в сторону промоины.

Определив основные условия поступления объемов наносов к оконечности дамбы, а соответственно в район Тузлинской промоины, проведем оценки механизма их перемещения к юго-восточной оконечности ОКТ на участке 2 по двум рассматриваемым траекториям.

Наиболее благоприятные условия для прямого транзита наносов по дугообразной траектории из района оконечности дамбы к юго-восточной части ОКТ, обращенной в сторону Черного моря, создаются при направлении ветра в диапазоне $175 - 185^\circ$ (рис.3, *а*). В диапазоне $190 - 210^\circ$ отмечается интенсивное перемещение наносов к отрезку – 3, на котором в свою очередь постепенно формируется слабая ветвь потока отрицательного направления, при сохранении положительных значений на отрезке – 4. В данной ситуации, учитывая некоторую произвольность задания траектории, перемещение и перераспределение объемов наносов в промоине можно интерпретировать следующим образом. При направлении ветра $190 - 195^\circ$, не смотря на появление встречного потока незначительной мощности ($15 - 30\%$), сохраняется возможность перемещения некоторой части материала к юго-восточной части ОКТ, но уже обращенной в сторону Таманского залива. Остальная часть наносов в силу формирования зоны конвергенции в районе границы отрезков – 2 и – 3 должна аккумулироваться на теле остаточного подводного образования в промоине. В диапазоне $200 - 210^\circ$ сходящиеся потоки достигают значительной мощности, и поступление материала к берегу ОКТ полностью прекращается, а количество материала доступное для аккумуляции в северном районе остаточного подводного образования в промоине возрастает. Сопоставляя с характером перемещения наносов к оконечности дамбы можно сделать заключение, что прямой и частичный транзит наносов по дугообразной траектории происходит в узком диапазоне ветро-волнового воздействия и преимущественно за счет вовлечения в движение материалов на подводном береговом склоне, расположенном в районе дамбы.



Р и с . 3 . Зависимость направления и интенсивности вдольберегового потока наносов от направления ветра на участке от юго-восточной оконечности ОКТ до середины дамбы, включающем дугообразную (*а*) и близкую к прямолинейной (*б*) траектории перемещения наносов в промоине.

Поступление наносов к ОКТ через промоину по траектории близкой к прямолинейной может происходить в диапазоне ветро-волнового воздействия, заключенном в интервале направления ветра $170 - 200^\circ$ (рис.3, б). При этом интенсивность потока наносов, пересекающего промоину, сохраняет большие значения практически во всей части диапазона. Диапазон $205-210^\circ$ характеризуется образованием зон конвергенции потоков в районе сопряжения отрезков – 3 и – 2, а также отрезков – 2 и – 1, что позволяет предположить, что транзит наносов через промоину может прекратиться достаточно резко, а аккумуляция в промоине будет происходить в районе, расположенном ближе к дамбе. С точки зрения возможности поступления наносов к ОКТ при продолжительном штормовом воздействии, прямолинейная траектория более благоприятна. Обусловлено это в первую очередь тем, что в диапазоне $195 - 200^\circ$ возможно перемещение через промоину материала со всего участка от оконечности дамбы до м.Тузла.

Основные выводы. Получена зависимость от направления модельного ветра структуры и интенсивности вдольбереговых потоков наносов, формирующихся на участке побережья Таманского п-ова от оконечности искусственной дамбы в Тузлинской промоине до м.Тузла. Дополнительно проведено моделирование транзита поступающих к северной части дамбы наносов через Тузлинскую промоину к берегам ОКТ по траекториям двух видов.

По результатам расчетов выявлено, что перемещение наносов через промоину к берегам ОКТ возможно в достаточно узком диапазоне направлений ветро-волнового воздействия. При этом существует зависимость от траектории движения, которая в реальных условиях определяется рельефом дна в районе промоины и параметрами штормовых волн.

Поступление наносов по дугообразной траектории, близкой к форме существующего остаточного подводного образования, происходит в наиболее узком диапазоне направления штормового ветра. Однако, при этом возможно питание наносами не только юго-западного, но и северо-восточного побережья ОКТ, аккумуляция же обломочного материала на дне промоины наиболее вероятна в районе, примыкающем к ОКТ.

Перемещение материала через промоину по прямолинейной траектории возможно в более широком диапазоне ветро-волнового воздействия. При этом существует возможность не только более интенсивного перемещения наносов через промоину, но и поступления с наиболее протяженного участка береговой зоны, простирающегося до м.Тузла. В этом случае создаются более благоприятные условия для перемещения значительных объемов наносов при длительном воздействии сильных ветров соответствующего направления. Аккумуляция обломочного материала на дне промоины наиболее вероятна в районе, смещенном к оконечности дамбы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтман Э.Н., Азарков А.К.* Оценка возможности изменений гидрологического режима Керченского пролива при осуществлении его частичного перекрытия (засыпке прорана Тузлинской промоины) // Труды ГОИН.– 1981.– вып.153.– С.3-13.
2. *Зенкович В.П.* Берега Черного и Азовского морей.– М.: Географиздат, 1958.– 371 с.
3. *Беренбейм Д.Я.* Тузлинская промоина и проблема рыболовства в Керченском

- проливе // Изв. ВГО.– 1955.– т.87, вып.2.– С.175-179.
4. *Иванов В.А., Игнатов Е.И., Чистов С.В.* Происхождение, история развития и динамика косы Тузла // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004.– вып.10.– С.198-206.
 5. *Беспалова Л.А., Ивлева О.В.* Геоморфологические исследования береговой зоны восстановленной косы Тузла в Керченском проливе // V Щукинские чтения.– М.: Изд-во географ. факультета МГУ, 2005.– С.45-47.
 6. *Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях.*– М.: Гидрометеоздат, 1975.– 240 с.
 7. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов.– М.: Наука, 1962.– 438 с.
 8. *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.
 9. *Шишов Н.Д.* Метод построения кривой распределения интенсивности вдольберегового перемещения песчаных наносов. – Океанология.– 1961.– т.1, вып.5.– С.915-919.

Материал поступил в редакцию 15.12.2011 г.

АНОТАЦІЯ. На основі вітроенергетичного методу для різних напрямів вітру отримані оцінки характеристик вдовжберегового потоку наносів, що формується на ділянці берегової зони Таманського півострова від м. Тузла до краю штучної греблі, зведеної в Тузлінській промоїні. Додатково проведені модельні розрахунки для двох траєкторій переміщення донних наносів від греблі до південно-східного краю о. Коса Тузла. Описані основні сценарії перерозподілу об'ємів наносів на досліджуваній акваторії. Виділені напрями ветрохвильової дії, створюючи найбільш сприятливі умови для їх вступу до південно-східного краю о. Коса Тузла.

ABSTRACT. On the basis of wind energetic method the parameters of alongshore stream of alluviums, formed on the Taman peninsula coast from the Tuzla Cape to the end of artificial dam in the Tuzla ravine, is estimated for different wind directions. The model calculations are additionally conducted for two trajectories of bottom alluviums motion from a dam to south-east end of the Tuzla Island. The basic scenarios of redistribution of alluvium volumes on the water area under study are described. The directions of wind and wave influence, creating most favorable conditions for alluvium motion to south-east end of the Tuzla Island are selected.