

П.Д.Ломакин, А.И.Чепыженко, А.А.Чепыженко

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

### **ОСОБЕННОСТИ АБРАЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ О. КОСА ТУЗЛА ПРИ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ ВЕТРАХ**

На основе анализа данных трех комплексных океанологических экспедиций, проведенных МГИ НАНУ и ЮгНИРО, проанализированы особенности циркуляции вод и переноса суммарного взвешенного вещества в области о. Тузла при типичных для Керченского пролива устойчивых меридиональных ветрах. Показано, что сгонно-нагонный эффект, вызываемый этими ветрами в районе о. Тузла, – один из значимых факторов, формирующих поля гидрофизических и геологических элементов на рассматриваемой акватории. Выявлены участки эрозии и аккумуляции взвеси в области о. Тузла и дамбы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Керченский пролив, о. Тузла, дамба, течения, суммарное взвешенное вещество.*

**Введение.** Сооруженная в 2003 г дамба существенным образом отразилась на составляющих водной экосистемы Керченского пролива. Наиболее ярко это проявилось на участках акватории вокруг о. Тузла, где качественно изменилась циркуляция вод, интенсифицировались процессы деформации береговой линии и подводного склона острова [1 – 3].

Несмотря на то, что в настоящее время Керченский пролив, и особенно акватория вокруг о. Тузла, активно исследуются как на экспериментальном [1, 3], так и на теоретическом [2, 4] уровнях, процессы и механизмы, вызывающие локальную динамику вод и взвеси, а также формирующие здесь структуру гидрофизических полей, остаются недостаточно изученными. Это препятствует решению экологических, геологических, гидротехнических задач.

Цель предлагаемой статьи – выявить закономерности циркуляции вод, движения суммарного взвешенного в водной толще вещества, участков абразии и аккумуляции взвеси в области о. Тузла при типичных для Керченского пролива устойчивых ветрах северных и южных румбов.

**Материал и методы.** В качестве исходных данных выбраны материалы трех комплексных океанологических экспедиций, которые были выполнены в условиях действия достаточно продолжительных устойчивых ветров меридионального направления. Две из них были реализованы в условиях северо-восточного ветра и третья – при юго-восточном ветре. Съёмки МГИ НАН Украины (г.Севастополь) 15 апреля 2009 г. и ЮгНИРО (г.Керчь) 24 – 25 июля 2010 г. были проведены в условиях устойчивого северо-восточного ветра. Обе экспедиции реализованы при сходных синоптических ситуациях, обусловивших над исследуемым регионом северо-восточный атмосферный перенос и, соответственно, генеральный поток вод из Азовского моря в Черное. Аналогичные для обеих съёмок фоновые условия в воздушной и водной средах позволяют объединить их результаты. Съёмка МГИ, проведенная 11 – 12 ноября 2010 г., отражала ситуацию, когда устойчивый ветер

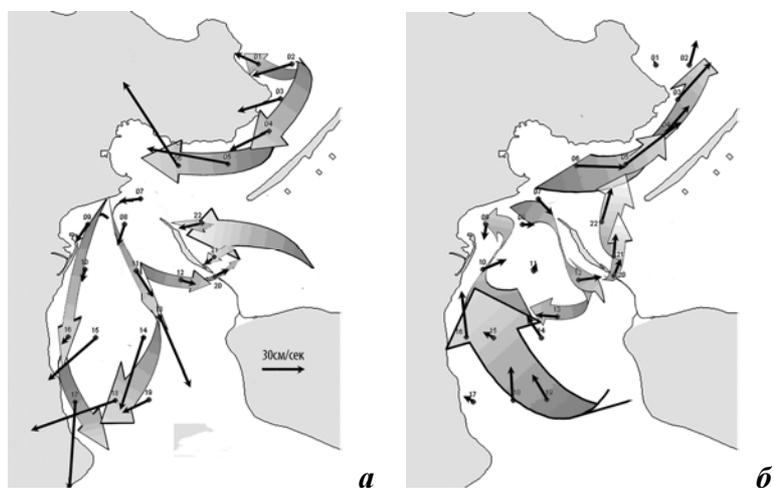
южной четверти сформировал в проливе генеральный перенос вод из Черного моря в Азовское.

Работы проведены с борта маломерного судна при непосредственном участии авторов. Диапазон глубин на этом полигоне 1 – 16 м. Массивы исходной информации получены при помощи биофизического комплекса «Кондор» [5]. Температура, соленость, суммарное взвешенное в водной толще вещество и растворенная органика фиксировались в зондирующем режиме с шагом по глубине 0,1 м. Течения измерялись при помощи портативного автономного регистратора, которым снабжен комплекс «Кондор», на горизонтах 0,5; 2; 4 м и у дна. Дискретность наблюдений за течениями 20 с. Время экспозиции прибора на горизонтах каждой станции 20 – 40 минут. Для анализа использованы средние по каждой из фактических реализаций векторы течений. При анализе течений использованы данные, полученные при помощи комплекса «Кондор», с привлечением косвенных методов анализа структуры термохалинного поля. Структура мутьевых потоков в районе о. Тузла оценивалась по косвенным признакам на основе анализа составляющих трехмерного поля суммарного взвешенного вещества.

**Обсуждение результатов.** Рассмотрим динамику вод и взвешенного вещества в условиях северо-восточного ветра, обуславливающего перенос вод из Азовского моря в Черное. Этот ветер преобладает над проливом в течение всего года. Его повторяемость на годовом масштабе максимальна и равна 22 %, а в осенние месяцы достигает 35 % [2, 7, 8]. Для представления условий формирования локальной динамики вод в районе о. Тузла, описание полученных результатов целесообразно начать с анализа крупномасштабной системы течений в проливе, вызываемой устойчивым северо-восточным ветром.

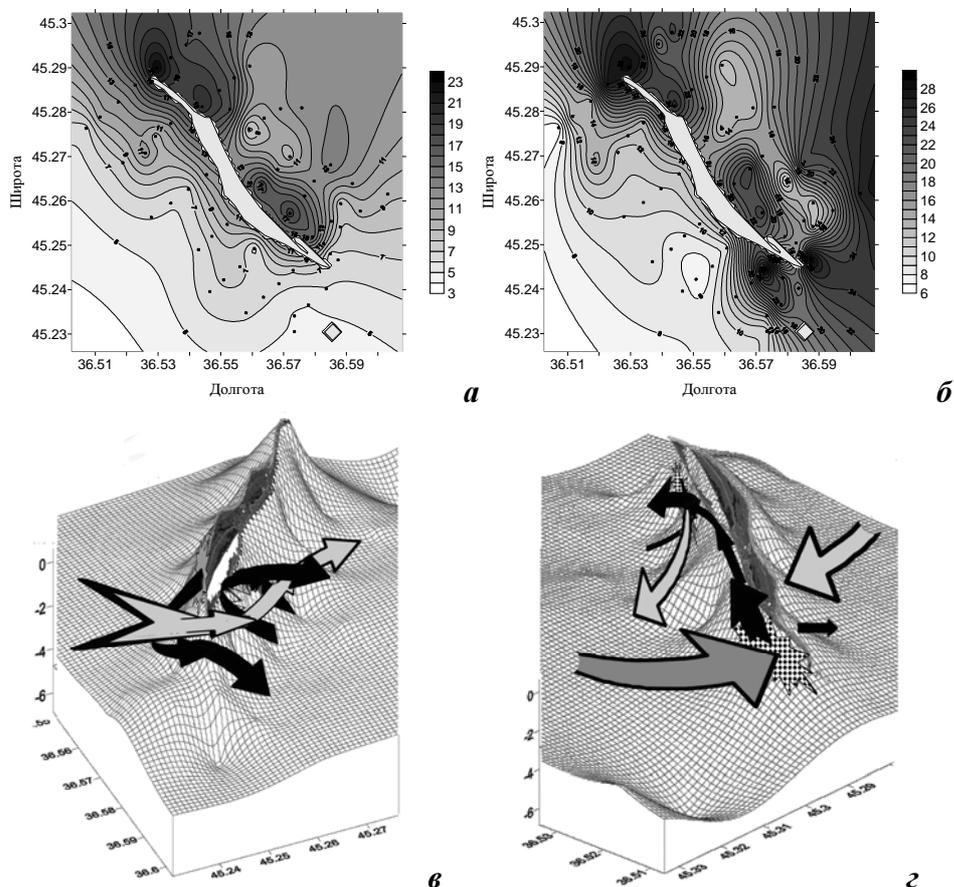
В ходе съемки ЮгНИРО в верхнем слое пролива зафиксирован поток азовоморских вод, который, следуя Азовской узкостью, обтекал берег Керченской бухты. Южнее Павловской узкости этот поток разделялся на две ветви. Одна (меридиональная), прижимаясь к западному берегу пролива, распространялась в Черное море. Другая (зональная) ветвь разворачивалась к востоку, разделяясь на две составляющих. Одна из них, проникающая в узкость между Тузлой и дамбой, омывала остров по циклонической траектории. Другая, более мощная, формировала в южной части пролива антициклональную циркуляционную ячейку (рис.1, а). В срединном и придонном слоях на преобладающей части акватории наблюдалось компенсационное течение, ориентированное противоположно направлению течения в верхнем слое вод (рис.1).

Вокруг о. Тузла отмечалась циклоническая циркуляция. В верхнем метровом слое течение имело хорошо выраженную вдольбереговую составляющую. На южном подводном склоне о. Тузла вектор скорости с глубиной разворачивался влево по нормали к берегу, что может быть следствием эффекта ветрового сгона. Напомним, что данный участок (при анализируемом направлении ветра) расположен с подветренной стороны острова. Вдоль северо-восточного склона Тузлы в срединном слое и у дна течение имело составляющую, направленную в Таманский залив, что свидетельствует о процессе размыва данного участка. Отток вод у дна из прибрежной области здесь вероятно связан с ветровым нагоном, возникшим вдоль северного побережья Тузлы при северо-восточном ветре (рис.1).



Р и с . 1 . Векторы течений и циркуляция вод в Керченском проливе в июле 2010 г.: верхний слой (а), придонный горизонт (б).

Аналогичная описанной выше ситуация в районе о. Тузла была зафиксирована в апреле 2009 г. в ходе съемки МГИ. Анализ трехмерного поля взвеси вокруг о. Тузла, проведенный нами по данным экспедиции МГИ НАН Украины в апреле 2009 г. (рис.2), свидетельствует о следующем. В северной части пролива и в Таманском заливе наблюдались воды с высоким содержанием взвеси. Южнее Тузлы преобладали черноморские воды с минимальной концентрацией суммарного взвешенного в воде вещества. На рис.2, а, б отчетливо видно, что с юга и севера от о. Тузла находились воды с качественно различными свойствами. Содержание взвеси между соответствующими участками различалось на порядок. На рис.2, в, г, где о. Тузла развернут соответственно своей восточной и западной оконечностями по нормали к их, рисункам, плоскости, построены траектории мутьевых потоков. Здесь стрелки белого цвета соответствуют черноморским водам с минимальной концентрацией взвеси 3 – 10 мл/л. Стрелки серого цвета – мутьевые потоки срединного слоя вод с содержанием взвеси 10 – 20 мл/л и черные стрелки – придонные потоки с максимальной концентрацией взвешенного вещества 20 – 30 мг/л. Видна трехслойная структура мутьевых потоков. Их вертикальный масштаб – от нескольких дециметров до одного метра. В верхнем слое черноморские воды с минимальным содержанием суммарного взвешенного вещества (белая стрелка) по циклонической траектории обтекали восточную часть острова. В Таманском заливе вдоль северного склона острова эта струя с минимальной концентрацией взвеси опускалась на дно и далее, следуя к проходу между косой Чушка и о. Тузла, вновь выходила на поверхность. Отток взвеси от восточной оконечности Тузлы, направленный в Таманский залив, в системе мутьевых потоков происходил, как в срединном (стрелки серого цвета), так и в придонном (черные стрелки) слоях (рис.2, в). То есть, в данной ситуации преобладали процессы, вызывавшие эрозию берега и подводного склона восточной оконечности Тузлы, сопровождавшиеся выносом взвешенного вещества в Таманский залив.



Р и с . 2 . Распределение взвеси (мг/л) в верхнем (а) и придонном (б) слоях; схема мутьевых потоков у восточной (в) и западной (з) оконечностей о. Тузла в апреле 2009 г.

Рассмотренный эффект подтверждается результатом геологических экспериментальных исследований [7], проведенных российскими авторами в районе дамбы. Согласно цитируемой работе, при северо-восточном ветре, как и в нашем случае, происходит размыв восточной оконечности Тузлы. Образовавшаяся при этом взвесь аккумулируется у дамбы. Основным источником поступления осадочного материала в береговую зону дамбы, помимо песков из береговых обрывов и ракуши, служит материал размыва о. Тузла. Возможно, что выносимая в Таманский залив из зоны размыва восточного края о. Тузла взвесь также стала причиной существенных изменений рельефа дна. В районе промоины и к северу от нее за время 2008-2010 гг повсеместно уменьшились глубины. По всей этой акватории и, особенно, вдоль дуги, представляющей собой мористое продолжение дамбы, появились многочисленные отмели. Некоторые из них в течение двух последних лет стали устойчиво выступать из воды.

У западного края Тузлы (рис.2, з) наблюдалась конвергенция мутьевых потоков, которые поступали сюда со стороны Черного и Азовского морей, формируя локальную циклоническую вихревую ячейку. В результате непо-

средственно у западного края острова внутри этой ячейки у дна наблюдалась обособленное плотное скопление взвеси (рис.2, з). Здесь преобладали процессы ее аккумуляции. В придонном слое вдоль северного склона Тузлы отмечен поток взвешенного вещества, направленный на восток. У северо-восточного побережья острова он отклонялся к северу в Таманский залив. Возможно, что один из источников, подпитывающих этот поток, связан с взвесью, аккумулирующейся у западной оконечности Тузлы (рис.2, з).

Сопоставление результатов двух анализируемых экспедиций, иллюстрируемых на рис.1 и 2, выявляет хорошее сходство показателей локальной динамики вод и структуры поля взвеси в районах восточной и западной оконечностей о. Тузла. Это дает основание полагать, что типичные для Керченского пролива, наиболее часто повторяющиеся северо-восточные ветры, генерируют вокруг Тузлы локальную систему течений, которая способствует размыву его восточной оконечности. При этом на участках, примыкающих к западной оконечности Тузлы, преобладает механизм, аккумулирующий взвесь. Так, при устойчивых ветрах северной четверти в верхнем слое вод вокруг острова устанавливается циклоническая циркуляция и антициклоническая – при устойчивых южных ветрах. При этом течения у дна имеют меридиональную составляющую.

Генерируемые меридиональными ветрами мощные компенсационные течения в придонном слое промоины способствуют размыву участков восточной оконечности о. Тузла. При ветрах северной четверти наблюдается отток взвеси из этих участков в Таманский залив, где она осаждается у берега дамбы, в промоине и в области, находящейся севернее от промоины. Устойчивые ветры южной четверти вызывают в промоине придонные компенсационные течения, направленные к югу. При этом, как и в случае северных ветров, размываются участки у восточной оконечности Тузлы, откуда взвесь в системе мутьевых потоков частично выносится в черноморскую часть пролива и частично оседает на таманском склоне дамбы.

У западной оконечности о. Тузла меридиональные устойчивые ветры, независимо от их направления, способствуют формированию вихревой циркуляционной ячейки, которая аккумулирует взвесь.

Согласно [6], ситуации, когда над Керченским проливом преобладают зональные независимо от их силы ветры, неустойчивые меридиональные ветры, маловетрие и штили, сопровождаются низкой динамической активностью вод. В связи с этим можно считать, что подобные ветровые условия благоприятствуют осаждению взвешенного вещества в донные отложения.

Результат настоящей статьи, касающийся мест расположения основных участков абразии и аккумуляции взвеси в районе о. Тузла, подтверждают данные геологических [2] и космических [7] исследований.

**Заключение.** Выявленные особенности циркуляции вокруг о. Тузла в условиях устойчивых ветров северной и южной четверти, позволяют утверждать, что локальная динамика вод и взвеси здесь в существенной мере определяется сгонно-нагонными явлениями, которые, вероятно, были менее значимыми до сооружения дамбы. Морфометрическая зонально ориентированная система «о. Тузла + дамба» стала препятствием для разгона меридиональных ветров на значительном расстоянии. Вдоль наветренного скло-

на этой системы меридиональные ветры формируют нагонные явления и стгонные – вдоль подветренного. В срединном слое и у дна возникают компенсационные течения, способствующие оттоку взвешенного вещества. Наиболее мощные течения и мутьевые потоки наблюдаются в придонном слое вод тузлинской промоины.

При устойчивых ветрах северной четверти в верхнем слое вод вокруг острова устанавливается циклоническая циркуляция и антициклональная – при устойчивых южных ветрах. При этом течения у дна имеют меридиональную составляющую.

Генерируемые меридиональными ветрами мощные компенсационные течения в придонном слое промоины способствуют размыву участков восточной оконечности о. Тузла. При ветрах северной четверти наблюдается отток взвеси из этих участков в Таманский залив, где она осаждается у берега дамбы и в области, находящейся к северу от промоины. Устойчивые ветры южной четверти вызывают в промоине придонные компенсационные течения, направленные к югу. В этой ситуации, как и в случае северных ветров, размываются участки у восточной оконечности Тузлы, откуда взвесь в системе мутьевых потоков оседает на таманском склоне дамбы.

У западной оконечности о. Тузла меридиональные устойчивые ветры, независимо от их направления, содействуют формированию вихревой циркуляционной ячейки, которая аккумулирует взвесь. При неустойчивых над проливом меридиональных ветрах, зональных ветрах, маловетрии и штилях в исследуемом районе формируются условия, способствующие осаждению взвешенного вещества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брянцев В.А.* Возможные экологические последствия сооружения Тузлинской дамбы (Керченский пролив) // *Морской экологический журнал.*– 2005.– 4, №1.– С.47-50.
2. *Проведение* научно-исследовательских работ и осуществление математического моделирования и прогнозирования основных гидрометеорологических процессов в районе Керченского пролива. Отчет (первый этап).– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009.– 225 с.
3. *Ломакин П.Д., Стиридонова Е.О.* Природные и антропогенные изменения в полях важнейших абиотических элементов экологического комплекса Керченского пролива в течение двух последних десятилетий.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– 118 с.
4. *Моделирование* динамики вод в Керченском проливе и предпроливных зонах / Под ред. Иванова В.А.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– 205 с.
5. <http://www.dent-s.narod.ru/kondor.html>.
6. *Альтман Э.Н.* Динамика вод Керченского пролива / *Гидрометеорология и гидрология морей СССР. Проект “Моря СССР”. Т.4. Черное море.*– Л.: Гидрометеоиздат, 1991.– С.291-328.
7. *Степняк Ю.Д., Баширцева Е.В.* Морфология и литодинамика о. Коса Тузла по данным дистанционных наблюдений // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.20.– С.100-107.

Материал поступил в редакцию 26.08.2013 г.

*АНОТАЦІЯ* На основі аналізу даних трьох комплексних океанологічних експедицій, проведених МГІ НАНУ і ПдНІРО, проаналізовано особливості циркуляції вод і перенесення сумарного зваженого речовини в області о. Тузла при типових для Керченської протоки стійких меридіональних вітрах. Показано, що згінно-нагінні ефект, викликаний цими вітрами в районі о. Тузла, – один із значущих чинників, що формують поля гідрофізичних і геологічних елементів на розглянутій акваторії. Виявлені ділянки ерозії та акумуляції суспензії в області о. Тузла і дамби.

*ABSTRACT* Based on the analysis of these three complex oceanographic expeditions conducted by MHI NASU and YugNIRO, the features of ocean circulation and transport of total suspended matter near the Tuzla Island in the Kerch Strait during typical stable meridional winds are analyzed. It is shown that the tide effect caused by these winds near Tuzla Island is one of the factors forming the hydrophysical and geological fields in the area under consideration. A suspended matter erosion and accumulation areas near Tuzla Island and dams are identified.