

Ю.Н.Горячкин, С.И.Кондратьев, А.Д.Лисиченко

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДИНАМИКА ВОД В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ В МАРТЕ 2004 Г.

Анализируются результаты двух гидролого-гидрохимических съемок и измерений течений, выполненных в марте 2004 г. на акватории Керченского пролива. Показано, что после строительства дамбы вблизи о-ва Коса Тузла возросли горизонтальные градиенты гидрологических и гидрохимических характеристик. В потоке между юго-восточной частью о-ва Коса Тузла и дамбой, где происходит взаимодействие азовских и черноморских вод, образовался устойчивый поток вод в сторону Черного моря со скоростями 20 – 40 см/с.

Интерес экологов, океанологов, геологов и других специалистов науки о Земле к процессам, происходящим в Керченском проливе, обусловлен рядом причин. Этот район характеризуется значительной изменчивостью литодинамических и гидрологических процессов, имеет большое промышленное значение и поэтому требует проведения здесь экологического мониторинга. Строительство дамбы между Таманским п-овом и о-вом Коса Тузла и углубление канала между ними явилось примером значительной техногенной нагрузки на акваторию, последствия которой уже проявляются в размыве юго-восточной части о-ва Коса Тузла и требуют дальнейших серьезных исследований с целью прогноза развития ситуации в этом районе.

Термохалинная структура и динамика вод. Термохалинная структура вод в Керченском проливе определяется взаимодействием водных масс Азовского моря, имеющих низкую соленость, и Черного моря, значительно большей солености. В зависимости от характера действующих ветров и величины перепада уровня моря на концах пролива при этом может возникать три характерных ситуации [1]:

- 1) Керченский пролив занимают воды Черного моря (при длительном воздействии ветров от южных румбов);
- 2) Керченский пролив занимают воды Азовского моря (при длительном воздействии ветров от северных румбов);
- 3) промежуточная ситуация, когда фронтальная зона между двумя водными массами располагается непосредственно в проливе.

Выполненный нами анализ среднемноголетних климатических данных показал, что минимум средней температуры поверхностных вод наблюдается в январе, придонных – в марте. С марта начинается прогрев воды и формирование сезонного термоклина, который наиболее развит в июне. В августе, когда температура воды достигает максимальных значений, вертикальные различия ослабевают и до декабря воды пролива в среднем однородны по глубине.

Сезонный ход солености воды в Керченском проливе обусловлен, кроме отмеченных выше причин, и сезонным ходом баланса пресных вод в Черном и Азовском морях. При этом он в большей степени связан с годо-

© Ю.Н.Горячкин, С.И.Кондратьев, А.Д.Лисиченко, 2005

вым ходом солености в Азовском море, поскольку в течение года азовский поток в проливе преобладает. Максимум солености поверхностных вод наблюдается в среднем в январе и ноябре, когда течение из Азовского моря заметно ослабевает. Минимальная средняя соленость на поверхности пролива отмечается в июне, в придонном слое – в апреле и октябре.

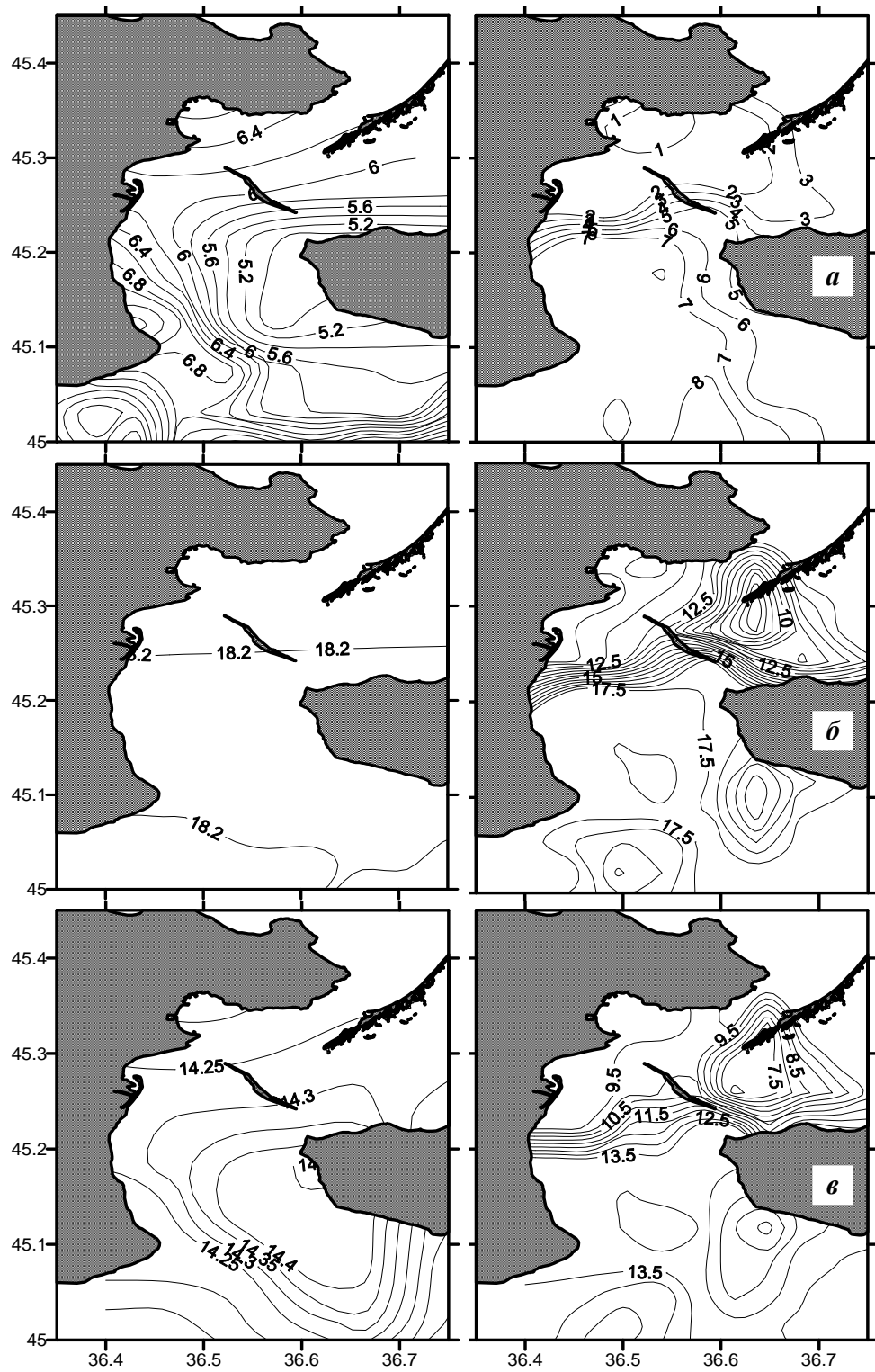
По климатическим данным в марте температура воды в проливе в поверхностном слое составляет около 5 °С, в придонном слое – примерно на 1 °С выше. Соленость воды в проливе в поверхностном слое составляет около 16,5, в придонном слое – до 17,8.

На рис.1 приведено среднеемноголетнее распределение температуры, солености и плотности на поверхности для февраля и марта. Из него видно, что в феврале в проливе преобладают воды из Черного моря, которые можно идентифицировать по высоким значениям солености (до 18,2), при этом распределение температуры более сложное, наименьшие значения отмечаются в мелководной части пролива. Поскольку изменения температуры вносят больший вклад, чем солености в формирование поля плотности, карты распределения плотности отражают распределение температуры по акватории пролива.

В марте ситуация существенно изменяется. Фронтальная зона выделяется по распределению температуры и солености и, соответственно, плотности. Эта зона, разделяющая азовские и черноморские воды, располагается непосредственно в проливе, в его центральной части вблизи о-ва Коса Тузла. Горизонтальные градиенты температуры и солености очень высоки и составляют около 2,5 °С и 2,5 на 1 км.

Термохалинная структура вод в марте 2004 г. *1 съемка (2 – 5 марта 2004 г.).* По характеру вертикальных профилей все выполненные станции можно разделить на три типа, из которых для двух характерна практически полная однородность характеристик воды по вертикали. К первому типу можно отнести воды Азовского моря (температура 2,7 °С; соленость 10; условная плотность 8 кг/м³). Ко второму типу можно отнести воды Черного моря (температура выше примерно на 3,5 °С и составляет 6,1 °С; соленость выше на 7 и составляет 17; соответственно условная плотность больше на 5,5 кг/м³ и имеет значения около 13,5 кг/м³). На двух станциях, которые располагались в промоине между о-вом Коса Тузла и дамбой, зарегистрирован третий тип вертикального профиля. Для него характерна трехслойная структура: 1) верхний квазиоднородный слой мощностью 2 м со свойствами азовских вод; 2) слой резких градиентов температуры, солености и плотности, заключенный между горизонтами 2 и 3 м (вертикальные градиенты составляют: 1,7 °С/м для температуры; 3,1 1/м для солености; 2,3 кг/м³/м для плотности); 3) нижний квазиоднородный слой со свойствами трансформированных черноморских вод.

Обратимся к пространственному распределению термохалинных характеристик. Из рис.2 видно, что зона контакта черноморских и азовских вод находилась практически на траверзе о-ва Коса Тузла, т.е. соответствовала средnekлиматическому ее положению для марта. Из этого же рисунка видно, что проникновение черноморских вод происходит, главным образом, в придонном слое. В целом можно заключить, что в период проведения съемки трансформация черноморских вод происходила к югу от о-ва Коса Тузла.



Р и с . 1 . Среднегодовое распределение температуры (а), солёности (б) и плотности (в) на поверхности в Керченском проливе в феврале (слева) и марте (справа).

2 съемка (16 – 18 марта 2004 г.). Во время проведения второй съемки термохалинная структура существенным образом изменилась. Формально, можно выделить три типа вертикальных профилей гидрологических характеристик. Один из них имеет однородное распределение от поверхности до дна. Для второго типично градиентное распределение от морской поверхности до дна. Наконец, третий характеризуется наличием верхнего квазиоднородного слоя мощностью до 5 м с температурой 4,5 °С, соленостью 11, плотностью 9 кг/м³; слоя средней толщиной около 3 м, в котором температура возрастает с глубиной с большими градиентами до 1 °С/м, и нижнего придонного слоя с относительно однородными характеристиками. Слой термоклина совпадал со слоем галоклина, с возрастанием солености от 11 до 18. Фактически станции с однородным распределением по количественным характеристикам соответствовали верхнему квазиоднородному слою азовских вод, поэтому можно говорить о существовании двух типов вертикальных профилей гидрологических характеристик. Большие вертикальные градиенты солености обусловили устойчивую плотностную стратификацию, также имевшую трехслойную структуру. В целом вертикальные профили свидетельствуют о наличии азовских вод в верхнем 4 м слое и черноморских вод – в придонном слое; между собой они были разделены тонким (до 3 м) градиентным слоем. Пространственное распределение термохалинных характеристик показывает, что зона контакта и смешения вод Азовского и Черного морей происходила в непосредственной близости к югу от о-ва Коса Тузла.

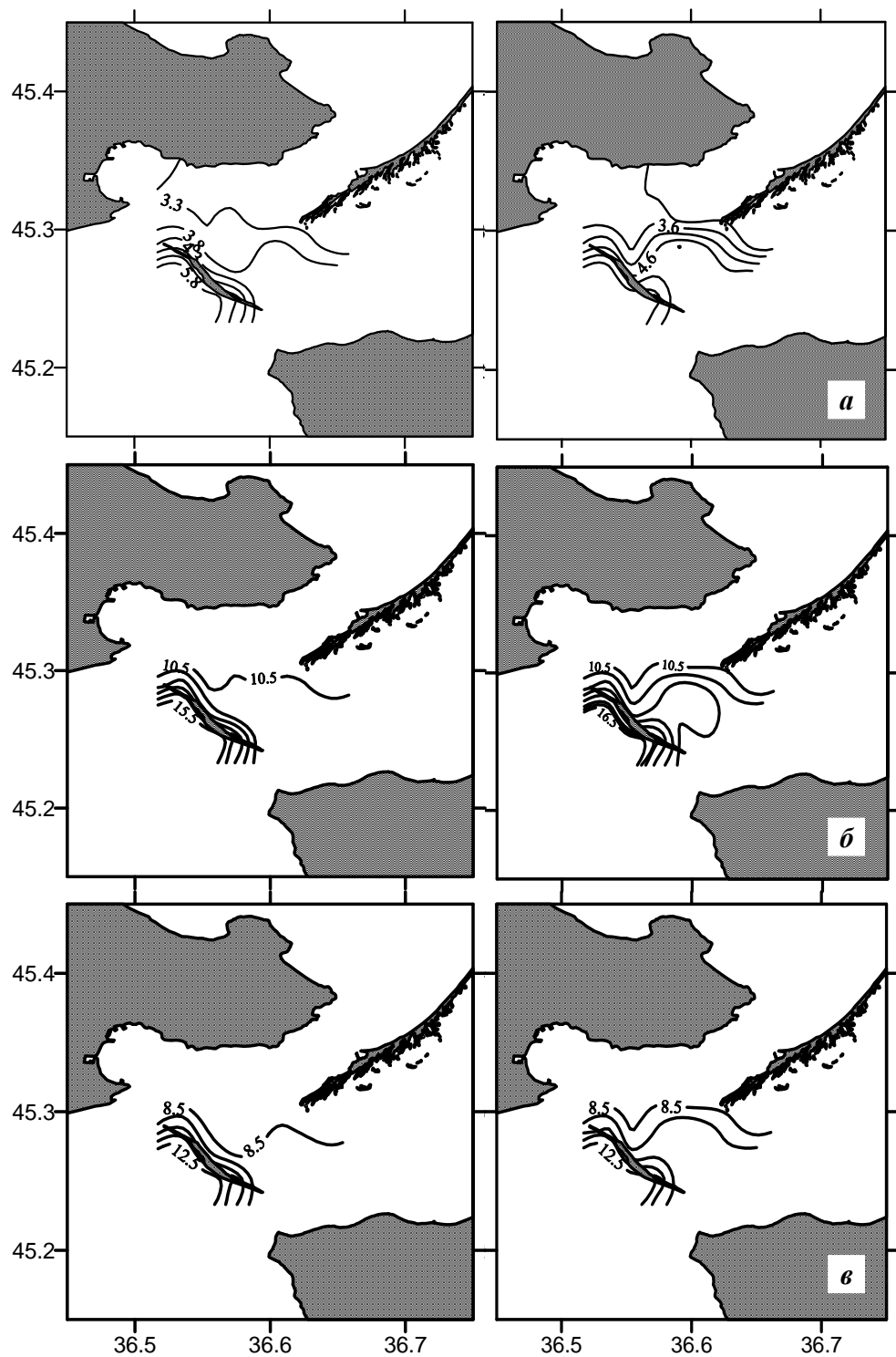
Циркуляция вод до строительства дамбы. Анализ литературы, обобщение которой приведено в [1], показал, что динамика вод в Керченском проливе обусловлена следующими основными факторами: ветровым воздействием, разницей уровня моря на концах пролива и морфометрическими характеристиками пролива.

Главная роль в формировании течений Керченского пролива принадлежит полю ветра. Циркуляция вод в проливе в основном определяется разностью уровней моря на концах пролива и сгонно-нагонными процессами [2].

Течения в узких частях пролива, как правило, однонаправленные. В широких частях они характеризуются значительной временной изменчивостью. Например, при северо-западных и юго-восточных ветрах, когда влияние перепада уровня моря на границах пролива за счет сгонно-нагонных колебаний в бассейнах Черного и Азовского морей минимально, следует ожидать образования в широких частях пролива двунаправленной по вертикали структуры течений. Такая же структура может образоваться и при быстрой смене направления ветра над проливом.

Максимальные скорости течений наблюдаются в районе северной узости. При ветре силой 7 м/с, когда перепад уровня между границами канала наибольший, течения здесь достигают величины 60 – 70 см/с. Другие максимумы скорости течений отмечались также в районах Павловской узости и Тузлинской промоины (до 35 и 25 см/с до строительства дамбы со стороны российского побережья).

Минимальные скорости течений (до 10 см/с) наблюдаются в Таманском заливе и в южной части Керченского пролива, обладающей более значительными глубинами и шириной. По направлению отчетливо выделяются три



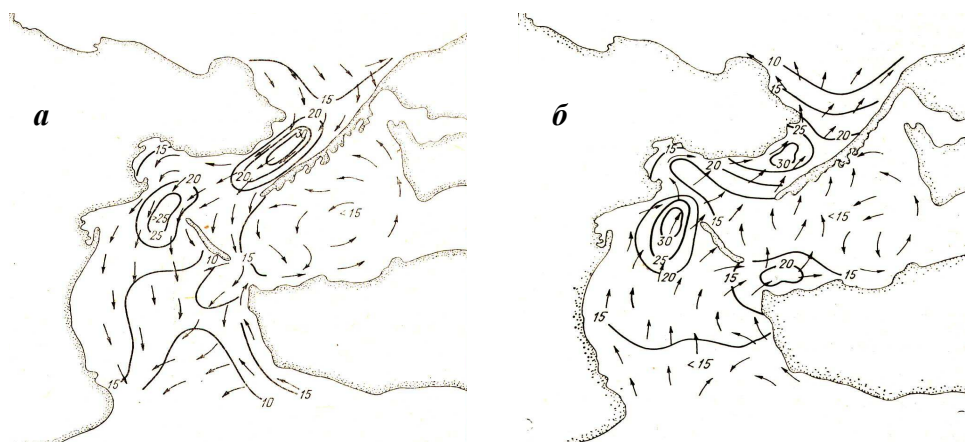
Р и с. 2. Распределение температуры (а), солёности (б) и плотности (в) в Керченском проливе 2 – 4 марта 2004 г. на поверхности моря (слева) и на горизонте 3 м (справа).

типа течений: 1) азовское; 2) черноморское; 3) смешанное.

Циркуляция вод в проливе испытывает значительную межгодовую и сезонную изменчивость. Как уже отмечалось, в проливе преобладает перенос вод из Азовского моря в Черное. Он возникает при ветрах северного направления, которое совпадает с направлением стокового течения, связанного с уклоном уровня от Азовского моря к Черному. По мере продвижения от входа в пролив со стороны Азовского моря до северной узости наблюдается постепенное увеличение скоростей азовского течения от 10 до 40 см/с (рис.3).

В районе северной узости отмечается значительное возрастание скорости течения (средние из наибольших скоростей 70 – 80 см/с). При выходе из нее происходит уменьшение скорости течения. Большая часть потока направлена к Павловской узости, другая движется в район Керченской бухты и Тузлинской промоины. Вторая ветвь дает начало циклоническому движению вод в Таманском заливе. В Павловской узости и Тузлинской промоине снова происходит увеличение скоростей течений до 40 см/с. Затем, при выходе их них, скорость течений уменьшается (до 10 см/с).

При южном ветре развивается, главным образом, черноморский тип течений. По мере движения от южного входа пролива на север, к центральной его части, скорость черноморского течения возрастает от 10 до 40 см/с. У о-ва Коса Тузла течение разветвляется на два потока, один из которых, более мощный, направляется в Павловскую узость, а второй, более слабый, – к Тузлинской промоине. В этих районах скорости течений значительно возрастают. Пройдя Павловскую узость и Тузлинскую промоину, черноморские воды заполняют центральную часть пролива. Затем основная ветвь течения движется на север, с заходом части ее в Керченскую бухту. Поток, прошедший Тузлинскую промоину, формирует довольно сложную циркуляцию вод в Таманском заливе. Часть этого потока из Таманского залива распространяется далее на север. При входе в северную узость два потока (из Павловской узости и Таманского залива) соединяются, образуя сильный поток трансформированных в проливе черноморских вод. Пройдя северную узость, черноморское течение теряет свою интенсивность и выходит в Азовское море.

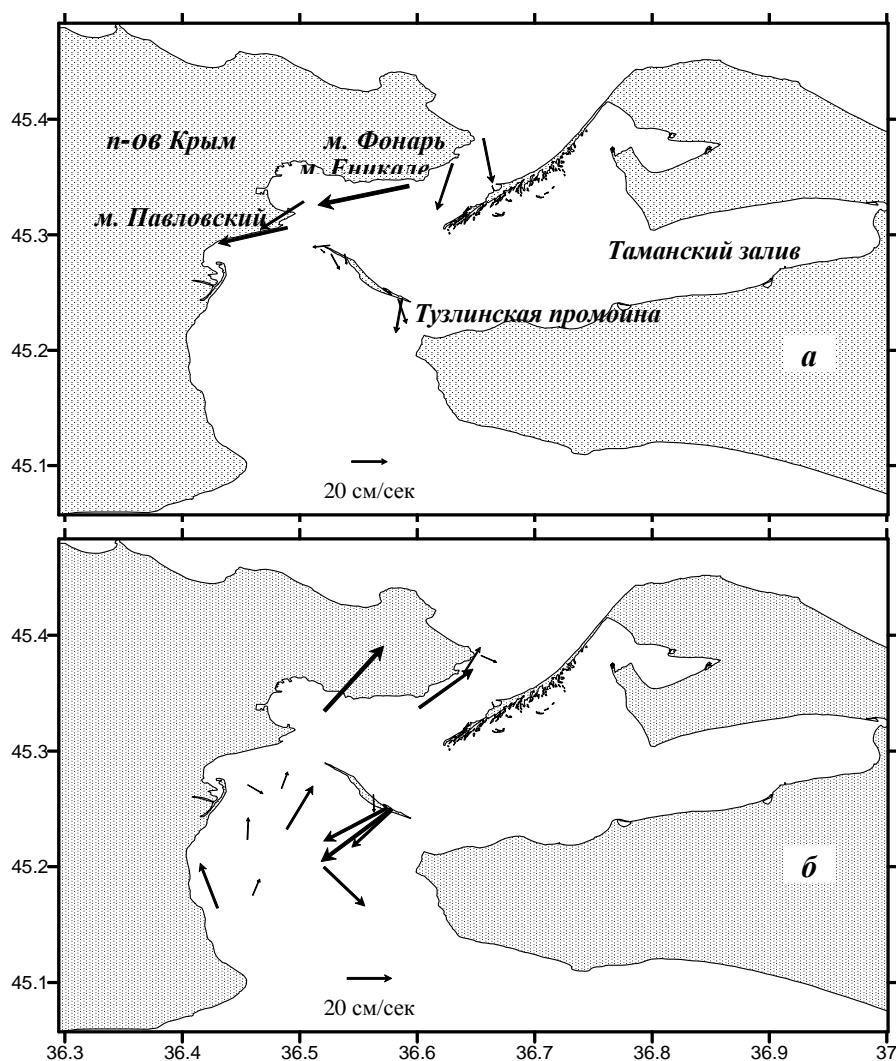


Р и с . 3 . Поле течений в Керченском пролива по [1] при ветрах северных (а) и южных (б) румбов.

Смешанный тип циркуляции вод обычно наблюдается при смене направления ветра или при малоградиентном поле атмосферного давления. [3]

Характеристики течений в марте 2004г. Измерения течений выполнялись с помощью измерителей МГИ 1308 с катера, который фиксировали в точке наблюдений на двух якорях с целью избежать рысканья по курсу. Время экспозиции составляло 20 – 30 мин при дискретности 1 мин.

2 – 5 марта 2004 г. было выполнено 14 якорных станций. На рис.4, а показаны средние за период измерений вектора течений. В период проведения измерений наблюдались ветра преимущественно от северных румбов, скорость их не превышала 5 м/с. Соответственно основной перенос был направлен из Азовского в Черное море. Наибольшие скорости течения (55 см/с) были зафиксированы у м.Еникале. Меньшие скорости отмечены в Керченском заливе (40 см/с). В обоих случаях течения были направлены на запад – юго-запад.



Р и с . 4 . Средние вектора течений в Керченском проливе 2 – 5 (а) и 16 – 18 (б) марта 2004 г.

Еще меньшие скорости были отмечены у м.Фонарь и порта Крым, в северной части пролива. Здесь они составляли около 25 см/с. На станциях, выполненных непосредственно у о-ва Коса Тузла, скорости течений были крайне малы (до 10 см/с), при этом преобладал вдольбереговой перенос. Несколько большие скорости (до 15 – 20 см/с) отмечены в промоине на восточной оконечности о-ва Коса Тузла. В целом характер циркуляции вод соответствовал ситуации преобладания азовского течения, возникающего при ветрах северных румбов.

В отличие от измерений, выполненных 2 – 5 марта, измерения с 16 по 18 марта 2004 г. были сделаны в ситуации преобладания южных ветров силой до 5 м/с. При этом на акватории, непосредственно примыкающей к о-ву Коса Тузла, наблюдались очень слабые течения, со скоростью около 1 – 2 см/с, направленные вдоль берега, преимущественно на юго-запад (рис.4, б). Однако у восточной оконечности острова в районе промоины наблюдались весьма значительные для такого ветра течения, направленные на юго-запад. В среднем скорость течения составляла около 20 см/с, достигая максимальных значений 40 см/с. Течения в Керченском проливе были направлены в Азовское море. Среднюю скорость потока можно оценить величиной 15 см/с. Максимальные скорости течения (до 40 см/с) были зафиксированы в устье северной части пролива.

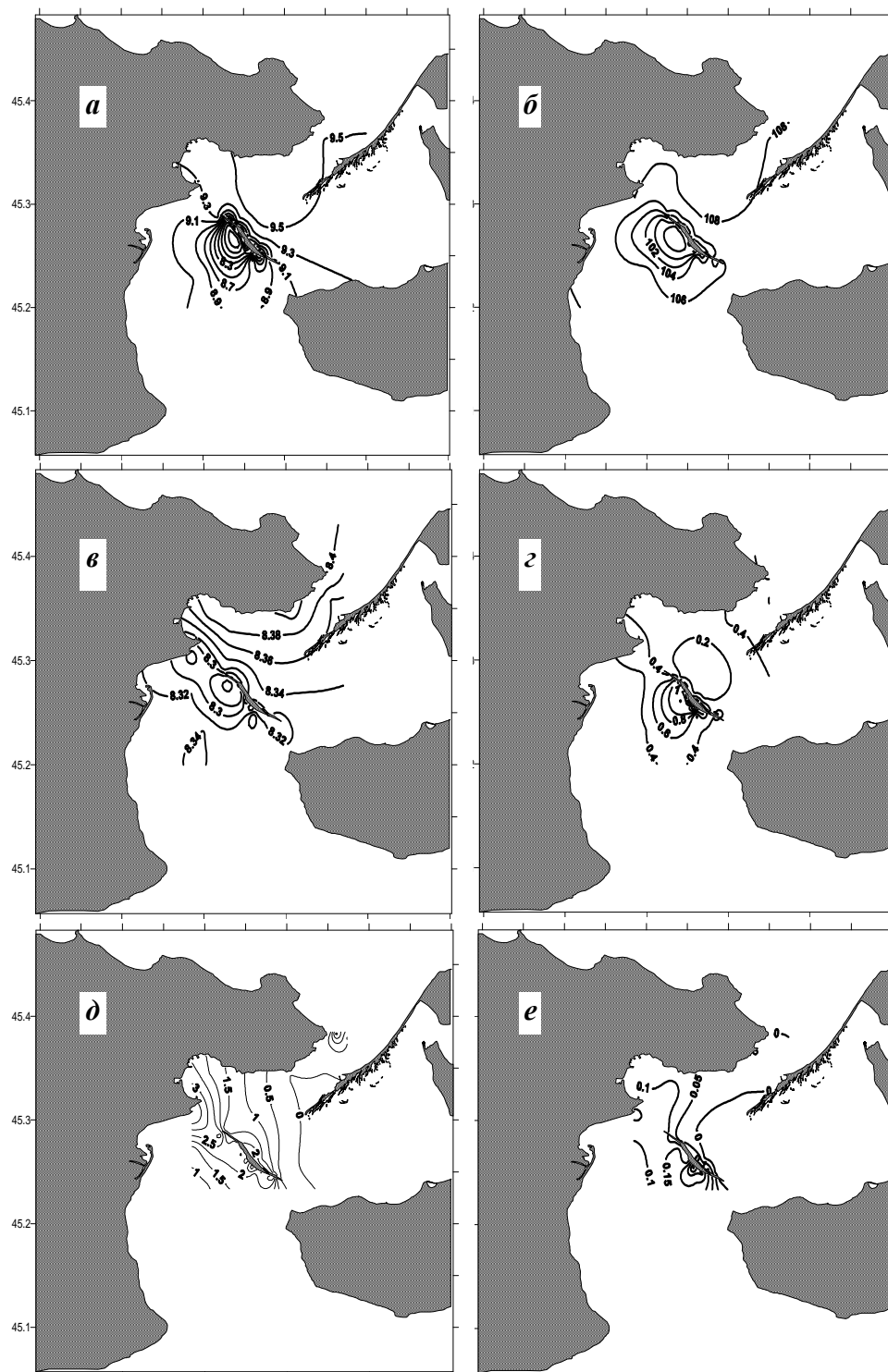
Особенности распределения гидрохимических характеристик в Керченском проливе в марте 2004 г. Отбор проб для исследования гидрохимических характеристик водных масс в Керченском проливе и вблизи о-ва Коса Тузла проводился синхронно с гидрологическими зонированиями. Во время первой экспедиции (2 – 5 марта) было выполнено 27 гидрохимических станций. Во время второй экспедиции (16 – 18 марта) сетка станций была немного изменена и пробы воды были отобраны на 19 станциях. Аналитическое определение концентраций растворенного кислорода, фосфатов, кремниеслоты, нитратов и нитритов и величины рН было проведено в соответствии с руководством [4].

Две гидрохимические съемки Керченского пролива были разделены по времени всего двумя неделями, однако показали серьезные различия в пространственном распределении различных гидрохимических характеристик.

Учитывая сроки проведения экспедиционных исследований в марте, т.е. в тот период, когда течение в Керченском проливе направлено в сторону Черного моря, можно было предполагать различные гидрохимические ситуации в водных массах к северо-востоку и юго-западу от о-ва Коса Тузла.

Постоянное поступление азовоморских вод на акваторию к северо-востоку от о-ва Коса Тузла в период 2 – 5 марта убедительно подтверждается картами поверхностного распределения растворенного кислорода, фосфатов, нитратов, нитритов и величины рН, составленных по данным первой съемки (рис.5). Во всех случаях концентрации вышеназванных характеристик в водах к северо-востоку от острова были почти такими же, как и в водах Азовского моря. В то же время в водах, непосредственно омывающих юго-западный берег острова, концентрации гидрохимических характеристик значительно отличались от азовоморских, (табл.1).

Следует отметить, что столь значительные отличия в концентрациях к северо-востоку и юго-западу от острова наблюдаются только на акватории,



Р и с . 6 . Поверхностное распределение кислорода (*a*) (мл/л); насыщения вод кислородом (*б*) (%); величины рН (*в*); фосфатов (*г*) (мкМ); нитратов (*д*) (мкМ); нитритов (*е*) (мкМ) 1 – 4 марта 2004 г.

Т а б л и ц а 1. Концентрации гидрохимических характеристик и солености в районе о-ва Коса Тузла 2 – 5 марта 2004 г.

характеристика	к юго-западу	к северо-востоку	Азовское море
соленость, епс	16,32 – 17,06	10,40 – 11,24	9,85 – 10,17
кислород, мл/л	7,87 – 7,51	9,00 – 9,15	9,54 – 9,70
кислород, % насыщения	97 – 101	105 – 106	108 – 110
pH	8,26 – 8,30	8,30 – 8,36	8,37 – 8,40
фосфаты, мкМ	0,51 – 1,68	0,17 – 0,33	0,38 – 0,73
кремнекислота, мкМ	2,6 – 3,8	4,3 – 5,9	3,2 – 6,8
нитраты, мкМ	1,62 – 3,32	0,73 – 2,37	0,13 – 2,20
нитриты, мкМ	0,08 – 0,37	0 – 0,20	0

непосредственно примыкающей к острову и ограниченной с юга широтой примерно 45,2° с.ш. На большем отдалении от береговой черты величины гидрохимических характеристик в поверхностных водах вновь становились примерно такими же, как и в водах Азовского моря. Таким образом, течение, направленное в марте в сторону Черного моря, охватывая о-в Коса Тузла с двух сторон, постоянно увлекает за собой поверхностные воды из-под «тыльной», юго-западной части острова и способствует подъему придонных вод в этом районе.

Наиболее контрастно эта ситуация показана на карте поверхностного распределения растворенного кислорода, построенной по результатам первой съемки. К северо-востоку от острова концентрация кислорода находится на уровне 9,0 – 9,2 мл/л, что соответствует 105 – 106 %-ному насыщению, а к юго-западу понижается до 7,5 – 7,9 мл/л, что соответствует всего 97 – 101 %-ному насыщению.

Величина pH водных масс существенно различна по обе стороны от острова. К северо-востоку от него она составляет 8,36 – 8,40; к юго-западу понижается до 8,26 – 8,30, что является весьма значительным изменением для такой консервативной величины, как pH. Аналогичные различия в концентрациях в районах к северо-востоку и юго-западу от острова наблюдаются и для других гидрохимических характеристик (табл.1). Это позволяет предполагать, что к северо-востоку от острова располагались азовоморские воды, в которых уже, видимо, начался процесс цветения фитопланктона, обеспечивающий значительное пересыщение кислородом, а к юго-востоку извлекаемые на поверхность придонные, преимущественно черноморские, воды содержали значительно меньше кислорода, но значительно больше биогенных элементов (за исключением кремнекислоты).

Данные второй съемки не дают такой однозначной картины, согласно которой через о-в Коса Тузла проходит гидрохимический фронт. Причиной этого, вероятно, является, прежде всего, несколько иная сетка станций и значительное увеличение размеров полигона, неизбежно повлекшее за собой увеличение сроков для получения информации. В данном районе, водные массы которого очень быстро реагируют на изменения метеоусловий, увеличение размеров полигона и сроков проведения съемки существенно повлияли на картину пространственного распределения тех или иных характеристик.

Т а б л и ц а 2. Концентрации гидрохимических характеристик и солености в районе о-ва Коса Тузла 16 марта 2004 г.

характеристика	к юго-западу		к северо-востоку		45,3° с.ш., 36,5° в.д.
	поверхн.	придон.	поверхн.	придон.	придон.
соленость, епс	13,49	17,06	10,52	10,50	17,82
кислород, мл/л	8,16	7,92	9,12	9,10	7,08
кислород, % насыщ.	101	105	108	108	94,8
pH	8,27	8,28	8,33	8,33	8,44
фосфаты, мкМ	0,56	0,20	0,24	0,23	0,19
кремнекислота, мкМ	1,7	2,8	0,5	0,6	4,5
нитраты, мкМ	1,82	1,55	1,53	1,23	1,12
нитриты, мкМ	0,09	0,32	0,06	0,01	0,09

При изучении поверхностного распределения по данным второй съемки приходилось сравнивать данные, полученные при различных ветровых ситуациях. Так, в последний день экспедиции соленость поверхностных вод на станции с координатами 45,36° с.ш., 36,65° в.д., находящейся практически в Азовском море, оказалась равной 12,55. А двумя днями ранее, на расположенных гораздо ближе к Черному морю станциях с координатами около 45,26° с.ш., 36,56° в.д., соленость поверхностных вод находилась в пределах 10,52 – 10,97. Поскольку карты распределения гидролого-гидрохимических характеристик, построенные по таким данным, фактически не отражают ни одной из реально существующих ситуаций, они здесь не приводятся.

Однако если сравнить гидрохимические данные, полученные практически одновременно (в течение трех часов) на двух «полярных», т.е. расположенных по разные стороны острова, станциях (к северо-востоку и к юго-западу от острова), то возникает та же ситуация, что и в первой экспедиции (табл.2). Вновь в районе к северо-востоку от острова содержание кислорода и величина pH выше, а концентрации биогенных элементов ниже, чем в районе к юго-западу. Можно также отметить, что величины гидрохимических характеристик для поверхностных вод к юго-западу от острова весьма близки к их аналогам в придонных водах в южной части исследованного полигона с координатами около 45,3° с.ш., 36,58° в.д.

Притом, что глубина места для обеих станций практически одинакова, (2,5 м для северо-восточной и 3,5 м для юго-западной станции), вертикальное распределение гидрохимических характеристик на них резко отличается. Для северо-восточной станции практически нет различия в значениях величин для поверхностных и придонных вод, тогда как на юго-западной станции содержание гидрохимических параметров в поверхностных и придонных водах резко отличаются. Такой ситуации для юго-западной станции и следовало ожидать, принимая во внимание различие в солености у дна и на поверхности (17,06 и 13,49 соответственно).

Следует также отметить, что центр подъема к поверхности черноморских вод во время второй съемки пришелся даже не на юго-западную стан-

цию, а располагался несколько северо-западнее. Так, соленость поверхностных вод на станции с координатами 45,29° с.ш., 36.52° в.д. (у северо-западной оконечности острова) достигла абсолютного максимума (16,91), наблюдавшегося для поверхностных вод в обеих съемках. На той же станции достигло максимума содержание в поверхностных водах кремнекислоты (3,3 мкМ) – элемента, консервативно связанного с величиной солености.

Несмотря на обсужденные выше различия в пространственных распределениях отдельных гидрохимических характеристик в периоды 2 – 5 и 16 – 19 марта 2004 г., обе съемки подтвердили естественное предположение о том, что о-в Коса Тузла, вследствие своего географического положения, является своеобразной границей гидрохимического фронта в Керченском проливе. Весной особенности течений в районе о-ва Коса Тузла приводят к постоянному поднятию придонных вод на акватории к юго-западу от острова. Таким образом, о-в Коса Тузла является геохимическим барьером, к юго-западу от которого подъем к поверхности придонных черноморских вод создает источник биогенных элементов в поверхностных водах.

В заключение сформулируем основные выводы работы:

1. Строительство дамбы и углубление протоки между дамбой и о-вом Коса Тузла привело к существенному изменению динамики вод в Керченском проливе и гидрологической ситуации, которое, в первую очередь, проявилось в обострении характеристик гидрологического фронта вблизи острова.

2. Появился устойчивый поток южного направления в протоке между дамбой и о-вом Коса Тузла. Усиление динамических процессов в юго-восточной части косы привело к увеличению площади размыва этой части острова.

3. При относительно благополучном экологическом состоянии вод региона, гидрохимические характеристики которого находятся в пределах среднесезонных, отмечено существование четко выраженного гидрохимического фронта, проходящего практически на траверзе о-ва Коса Тузла, и зоны подъема вод, примыкающей к южной части острова.

В целом, результаты наших исследований свидетельствуют о необходимости организации мониторинга гидрологических и геофизических процессов в районе о-ва Коса Тузла с дискретностью выполнения экспедиционных исследований не менее, чем раз в сезон, для достаточно надежного моделирования и прогноза развития ситуации в этом районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Моря СССР*. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.4. Черное море. Вып.1.– СПб: Гидрометеоздат.– 1991.– 422 с.
2. *Альтман Э.Н.* Структура течений Керченского пролива // Труды ГОИН.– 1975.– вып.125.– С.3-16.
3. *Альтман Э.Н., Агарков А.К.* Оценка возможных изменений гидрологического режима Керченского пролива при осуществлении его частичного перекрытия (засыпке Тузлинской промоины) // Труды ГОИН.– 1980.– вып.153.– С.3-13.
4. *Методы гидрохимических исследований океана* / Под ред. Бордовского О.К.– М.: Наука, 1978.– 267 с.

Материал поступил в редакцию 21.02.2005 г.
После доработки 22.04.2005 г.