

Ю.Н.Горячкин

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

ПРИДОННЫЕ ТЕЧЕНИЯ В КАЛАМИТСКОМ ЗАЛИВЕ

Рассмотрены режимные характеристики течений в Каламитском заливе Черного моря. Анализируются данные донных станций. Показано, что преобладают вдоль-береговые течения преимущественно циклонической завихренности. Обсуждается изменчивость направлений и скоростей течений. Приводятся схемы течений в поверхностном и придонном слоях Каламитского залива, полученные по данным съемки акустическим профилографом течений.

Придонные течения играют важную роль в динамике и экологии прибрежной зоны, поскольку наряду с другими процессами осуществляют перенос и перераспределение донных осадков и пассивных примесей. Вместе с тем, в Черном море они практически не изучены. Не является исключением и район Каламитского залива, где изучение динамики наносов особенно актуально в связи с абразией берегов и катастрофической деградацией знаменитых евпаторийских пляжей [1, 2].

Каламитский залив – залив у западного берега Крымского п-ова, ограниченный с севера м.Евпаторийский, с юга – м.Лукулл (по другой классификации м.Херсонес), в северный берег залива вдаётся Евпаторийская бухта. В этой части залива берега низменные, песчаные, к югу становятся глинистыми и обрывистыми. Максимальные глубины в заливе около 30 м.

Процессы перемещения, аккумуляции и размыва наносов в Каламитском заливе Черного моря отличаются сложностью и многофакторностью. По существующим представлениям значительный вклад в них вносят морские течения. Так, в [3] отмечается, что «Евпаторийская бухта представляет собой вершину «входящего угла» движущихся наносов громадных размеров. Западный берег, сложенный прочными породами, может рассматриваться как сторона неподвижная (аналог портового мола), а с юга и востока должны приходиться наиболее сильные штормовые течения. Компенсационный отток придонных вод, по-видимому, вымывает дно бухты и распределяет поступающие в нее наносы на обширном пространстве». В этой же работе, анализируя распределение донных осадков и деформацию береговой черты, делается предположение, что поток донных наносов под действием результирующего течения движется вдоль берега с юга на север Каламитского залива.

Вместе с тем, данных о течениях в Каламитском заливе крайне мало. Можно отметить только статью восьмидесятилетней давности, где приводятся некоторые сведения об инструментальных измерениях течений в Евпаторийской бухте [4]. В этой работе анализируются данные, полученные с помощью вертушки Экмана. Несовершенство прибора и методики проведения измерений (однократное измерение течений на станциях в маловетренную погоду на «рейдовых выездах» с катера, стоявшего на якоре) вызывает некоторые сомнения в достоверности полученных результатов, о чем, впро-

© Ю.Н.Горячкин, 2008

чем, говорит и сам автор. Тем не менее, приведем полученные результаты, поскольку сборник, в котором опубликована работа, представляет собой библиографическую редкость и практически недоступен.

Указанные измерения производились в период июля – ноября 1925 г., всего было выполнено 17 съемок течений, в каждом случае на 11 станциях. Все полученные данные были сведены к двум случаям – наблюдавшимся течением при действии северо-восточного и юго-западного ветров. В первом случае во всей Евпаторийской бухте в поверхностном и придонном слое отмечались течения, параллельные берегу и направленные на юго-запад. Во втором случае в поверхностном слое отмечались течения, направленные на северо-восток, а в придонном слое в почти противоположном направлении – на запад. Автор высказывает предположение, что в целом на течения в Евпаторийской бухте, главным образом, влияет ветер, вместе с тем существует и стационарное течение циклонической завихренности, связанное с течением открытого моря. Что касается скоростей потоков, то в большинстве случаев они были до 10 см/с, но в отдельные моменты фиксировались скорости 20 – 30 см/с (в максимуме до 35 см/с). Представляет интерес расчет так называемого ветрового фактора (отношение выраженной в см/с скорости течения к выраженной в м/с скорости ветра). Для действия юго-западного ветра он составлял 1,8, для северо-восточного 1,6, что представляется естественным, поскольку последний ветер действует с берега.

Кроме указанной статьи, имеются сведения о течениях, полученные в 1972 г. в ходе изыскательских работ под строительство глубоководного пассажирского причала п.Евпатория. Поскольку о течениях в ведомственном отчете приведено буквально несколько строк, приведем их полностью. «По данным рейдовых наблюдений у м.Карантинный в западной части Евпаторийской бухты, у дна преобладают южные и юго-западные, на поверхности северо-восточные и юго-западные течения. Преобладающие течения у головы строящегося оградительного мола – южных и юго-западных направлений с повторяемостью 15 % случаев, максимальная зарегистрированная скорость составляла 75 см/с. Направления поверхностных течений и их повторяемость практически совпадают с направлением и повторяемостью ветров. Сильные и частые северо-восточные ветры вызывают юго-западные течения».

Целью данной работы является анализ новых данных о течениях в Каламитском заливе, полученных Морским гидрофизическим институтом НАН Украины.

Были использованы данные измерений течений МГИ-1301 на трех донных станциях (ДС), располагавшихся в Каламитском заливе и проработавших около 5 месяцев (с июля по ноябрь 1992 г.). Измерители располагались на глубинах 10 – 15 м и регистрировали течения в одном метре от дна. Место постановки донных станций определялось с учетом наиболее типичных, с точки зрения динамики наносов, районов (рис.1).

В целом в придонном слое Каламитского залива наблюдались течения циклонической завихренности с преобладанием вдольбереговых потоков.

Вместе с тем, распределение течений по направлениям на каждой ДС имело свои особенности. К сожалению, по техническим причинам, не удалось получить синхронный ряд для всех станций. В нашем распоряжении



Р и с . 1 . Местоположение и номера донных станций.

имелись синхронные ряды в течение июля – августа для ДС2 и 3 и августа – сентября для ДС1 и 2.

Рассчитанные розы течений для периода 4 июля – 5 августа 1992 г. показали, что на ДС2 резко преобладали вдольбереговые течения, при этом наибольший вклад вносили

западные и северо-западные течения (до 15 % всех случаев), меньший вклад был у юго-восточных течений (до 10 %). В 65 % случаев наблюдались течения со скоростью 2 см/с и меньше. В целом для этой станции было характерно бимодальное распределение направлений течений. Средние скорости течений составляли 6 – 8 см/с, максимальные достигали 25 – 27 см/с.

Для ДС3 было характерно одномодальное распределение течений. В большинстве случаев течение было направлено вдоль берега на запад, юго-запад (почти в 50 % случаев). В отличие от ДС2 слабые течения наблюдались только в 20 % случаев. Средние скорости течений составляли 6 – 8 см/с, максимальные достигали 23 – 25 см/с, причем максимальные скорости соответствовали преобладающему направлению течений.

В этот период по данным ГМС Евпатория преобладали северные и северо-восточные ветры (до 50 % всех случаев), однако сила их была относительно невелика: в 85 % случаев до 5 м/с.

В течение 7 – 9 июля на реализациях отмечалось возмущение, которое сопровождалось резким увеличением скоростей течений с 6 – 8 до 20 – 25 см/с и поворотом направления течения на противоположное. Это возмущение более отчетливо прослеживалось на ДС2. На ДС3 оно было зафиксировано со сдвигом во времени 10 часов. Возмущение наблюдалось в течение 30 часов, после чего направление течения вернулось к первоначальному, а скорости резко уменьшились. Отметим, что в поле ветра каких-либо значимых изменений в это время не отмечалось. Предположительно возмущение было вызвано действием локального прибрежного круговорота, которые часто генерируются меандрами Основного черноморского течения [5]. Исходя из зарегистрированных больших амплитуд изменения скоростей, вряд ли оно вызвано захваченными шельфовыми волнами.

Датчики температуры, установленные на измерителях МГИ-1301, зафиксировали на ДС3 (м.Евпаторийский) в течение 12 июля 1992 г. довольно редкое для этого района явление – апвеллинг. В течение 8 часов температура воды уменьшилась с 18,7 до 12,2 °С (измеритель был установлен на глубине 12 м). Апвеллинг вызвал устойчивый, сильный (10 – 15 м/с) восточный ветер, который действовал более суток. Течение, которое до этого было направлено на юго-запад, изменило свое направление в придонном слое на северное, а скорости от 5 – 6 см/с возросли до 12 – 14 см/с. После прекращения действия восточного ветра гидрологическая ситуация довольно быстро восстановилась. Учитывая конфигурацию берега, очевидно, что зафиксиро-

ванный апвеллинг, согласно классификации, приведенной в [6], является сгонным, вызванным ветром, дующим с суши по нормали к берегу.

Синхронные ряды на ДС1 и 2 в течение августа – сентября 1992 г. показали, что на ДС1 наблюдалось относительно равномерное распределение векторов течений по направлениям, при этом скорости течений были относительно невелики 5 – 6 см/с, при максимальных 12 – 14 см/с. Анализ прогрессивных векторных диаграмм свидетельствует, что в целом перенос был направлен на запад – северо-запад. Примерно такой же характер имело распределение течений и на ДС2. В этот период преобладали восточные и северо-восточные ветры (до 60 % всех случаев), однако сила их за редким исключением была относительно невелика. В целом в 86 % случаев наблюдались ветры силой до 5 м/с.

Значительный интерес представляют данные, полученные на ДС2 в период 23 сентября – 21 ноября 1992 г. В этот период происходит перестройка атмосферных процессов от летнего типа к зимнему, в ходе которой резко активизируется циклоническая деятельность. Усиление ветров должно приводить к интенсификации течений, что и наблюдалось. Средняя за этот период роза течений показывает резкое преобладание вдольбереговых течений (примерно по 20 % всех случаев составляют северо-западное и юго-восточное течения), значительна также роль и течений, направленных от берега. Напротив, повторяемость течений, направленных к берегу, крайне мала. Скорости течений в этот период резко возросли, по сравнению с летним периодом. Так, средние скорости составляли 10 – 12 см/с, максимальные в период штормов возрастали до 60 – 70 см/с. Повторяемость течений со скоростями 10 – 19 см/с составляла 25 % всех случаев, а более 20 см/с составляла 7 %. Одновременно значительно уменьшилась повторяемость слабых течений (17 % случаев).

Рассмотрим изменения течений в период сильного шторма 16 – 17 ноября 1992 г. Перед штормом наблюдались слабые течения со скоростью 3 – 5 см/с переменных направлений. В течение 16 – 17 ноября действовал юго-западный ветер силой 12 – 15 м/с (порывами до 25 м/с) который вызвал сильное волнение. Высота волны достигала 15 – 18 дм. Действие волнения вызвало подъем уровня на 11 см. К сожалению, в этот момент действовала только одна донная станция из трех, находящаяся в восточной части Каламитского залива. По её данным течение довольно быстро приобрело устойчивый характер и было направлено от берега (преимущественно на юго-запад). При этом скорости течений составляли от 30 до 50 см/с (в максимуме 70 см/с). Вероятно, что это течение было компенсационным, связанным со штормовым нагоном. Похоже, что такие течения в придонном слое являются основными в период сильных штормов. Роза ветров для рассмотренного периода показывает почти равномерное распределение ветров по румбам (с преобладанием основных – север, юг, запад, восток) и не соответствует полученным розам течений.

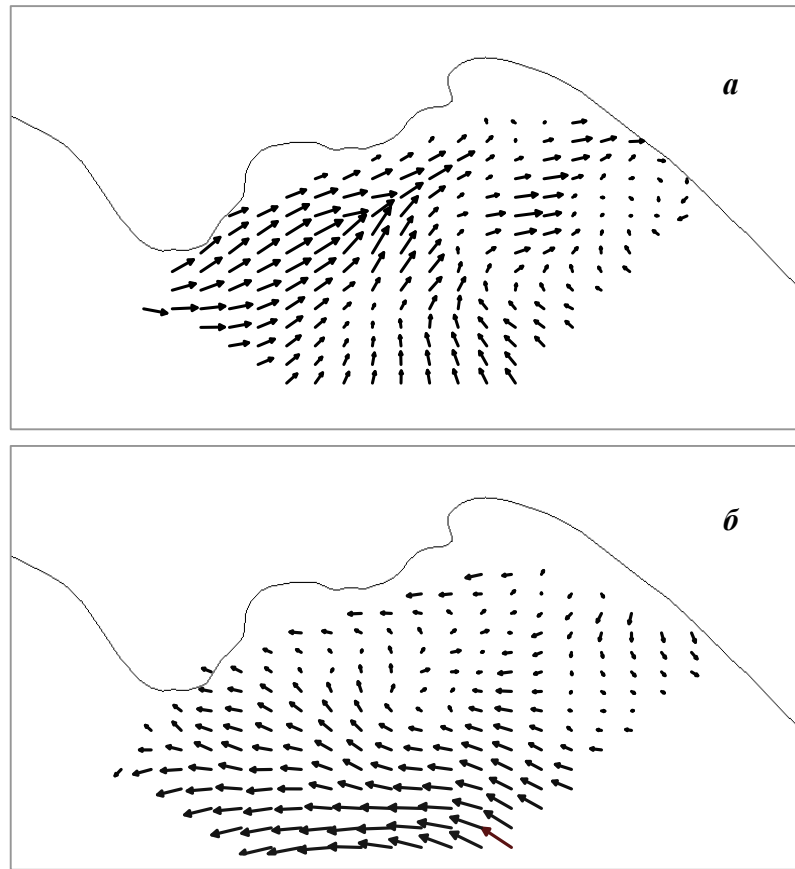
Расчеты энергетических спектров пульсаций течений показали, что какого-либо ярко выраженного периода изменчивости течений на всех реализациях не отмечается. На спектрах заметно некоторое повышение энергии на зональной компоненте скорости течений, соответствующее периодам 2 и

5 – 6 суток. Первый период соответствует характерным периодам шельфовых волн для района северо-западного шельфа Черного моря, а второй обычно связывают с синоптической изменчивостью.

В течение 12 октября 2008 г. МГИ НАН Украины впервые была выполнена съемка течений в северной части Каламитского залива с использованием современного акустического профилографа течений ADCP Workhorse-1200 kHz, специально предназначенного для измерения течений в мелководной зоне. Измерения течений были проведены на 34 станциях. В период проведения съемки и в предшествующие дни наблюдался слабый (до 5 м/с) юго-западный ветер.

Полученные данные позволили выделить два типа профилей течений. Для первого типа вертикального распределения течений было характерно мало меняющееся с глубиной направление течений, с максимумом в поверхностном слое. Характерные скорости при этом изменялись в значительных пределах, от 1 – 2 до 25 – 28 см/с. Какой-либо четкой географической привязки станций с однонаправленным потоком выделить не удастся, тем не менее, в общем случае, большинство их располагалось в восточной части полигона и в большинстве на мелководных станциях. Количество таких станций составляло примерно половину от всех. Для второго типа характерно наличие двухслойного распределения течений по глубине. При этом с глубиной наблюдается разворот вектора течения вплоть до противоположного направления. В поверхностном течении скорости устойчиво высокие. Как правило, их характерные значения составляют 18 – 25 см/с, реже 10 – 15 см/с. Поворот вектора течений происходит в среднем на глубинах 5 – 6 м. Скорость придонного течения была в 2 – 3 раза меньше поверхностного. На глубинах, где течение меняет знак, отмечаются очень маленькие их значения (1 – 2 см/с). В соответствии с отмеченными выше особенностями вертикальных профилей были построены карты пространственного распределения течений. Максимальные скорости течений в поверхностном слое отмечались непосредственно в прибрежной зоне, течение со средней скоростью около 20 см/с было направлено по часовой стрелке. При этом наибольшие скорости зафиксированы в западной части полигона, примыкающей к м.Евпаторийский. В придонном слое наблюдалась противоположная картина. Наибольшие скорости течений (около 10 см/с) выделялись в наиболее глубокой (южной) части полигона. При этом течения были направлены также вдоль берега, но против часовой стрелки. В соответствии с вертикальными особенностями течения мы осреднили течения в слое 2 – 5 м и слое 6 м – дно и проинтерполировали их в узлы регулярной сетки с шагом 1 км. Полученные схемы течений в части Каламитского залива, примыкающего к Евпатории, приведены на рис.2.

Исходя из полученной схемы, можно считать, что при данной метеорологической ситуации в Каламитском заливе наблюдается двухслойная структура потоков. В поверхностном слое течение направлено на северо-восток, а в придонном практически в противоположном направлении. Интересно, что полученная нами схема течений в части, касающейся собственно Евпаторийской бухты, качественно близка к полученной в [4] для юго-западного ветра и не противоречит схеме течений, полученной с помощью



Р и с . 2 . Средние течения в слое 0 – 6 м (а), 6 м – дно (б).

математической модели [7].

Таким образом, проведенный анализ показал, что в придонном слое Каламитского залива:

1. Преобладают вдольбереговые течения, преимущественно циклонической завихренности.
2. Наиболее устойчивые по направлению течения наблюдаются в западной части, в районе м.Евпаторийский.
3. В летний период средние скорости течений составляют 6 – 8 см/с, максимальные достигают 23 – 25 см/с. Повторяемость слабых течений достаточно велика (до 65 % всех случаев).
4. В осенний период в связи с интенсификацией атмосферных процессов происходит увеличение скоростей течений. Средние скорости возрастают до 10 – 12 см/с, максимальные в период штормов до 60 – 70 см/с. В период штормов преобладают компенсационные течения с преобладающим направлением от берега.
5. Спектры изменчивости течений не выделяют статистически значимых пиков, отмечается некоторое повышение энергии на зональной компоненте скорости течений для периода около 2 и 5 – 6 суток.

6. В Каламитском заливе ADCP-съемка течений зафиксировала наличие двух типов вертикального распределения течений. Для одного характерно мало меняющееся с глубиной направление течения, с максимумом в поверхностном слое. Диапазон измерений скорости от 1 – 2 до 25 – 28 см/с. Для другого типа характерно наличие двухслойного распределения течений по глубине с разворотом вектора течения до противоположного направления.

7. В поверхностном слое течения были направлены вдоль берега преимущественно на северо-восток. В придонном слое выделялся поток, направленный на запад. Скорости в придонном слое примерно в 2 раза меньше, чем в поверхностном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горячкин Ю.Н., Игнатов Е.И.* К вопросу о деградации пляжей в районе Евпатории // Конференция «Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря». Отв. ред. Жиндарев Л.А., Косьян Р.Д. Дивинский Б.В.– Краснодар, 2007.– С.67-69.
2. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Проявление климатических изменений в динамике берегов западного Крыма // Доп. Національної академії наук України.– 2008.– № 10.– С.118-122.
3. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов.– М.: Изд-во АН СССР, 1962.– 710 с.
4. *Визе В.Ю.* Течения в Евпаторийской бухте // Изв. Центрального гидрометеорологического бюро.– 1927.– № 7.– С.1-23.
5. *Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С.* Изменчивость гидрофизических полей Черного моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1984.– 239 с.
6. *Блатов А.С., Иванов В.А.* Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны моря (на примере Южного берега Крыма).– Киев: Наукова думка, 1992.– 244 с.
7. *Фомин В.В., Иванов В.А.* Моделирование волновых течений и транспорта наносов в прибрежной зоне Евпатории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.13.– С.211-228.

Материал поступил в редакцию 28.11.2008 г.