

# Анализ результатов наблюдений и методы расчета гидрофизических полей океана

УДК 551.465

А.Н. Морозов, Е.М. Лемешко, С.А. Шутов, В.В. Зима

## Течения в Севастопольской бухте по данным ADCP-наблюдений (июнь 2008 года)

Обсуждаются результаты экспедиции, проходившей 26 июня 2008 г. в акватории Севастопольской бухты. Измерения течений выполнялись на ходу судна с использованием акустического доплеровского профилера течений *ADCP WHM1200* производства *RDI*, США. Приведены распределения скорости течений вдоль разрезов на внешнем рейде и внутри бухты. По данным измерений наблюдается хорошо выраженное двухслойное распределение течений на расстояниях 1 км западнее и 2 км восточнее от входа в бухту. Выявлены пульсации баротропного потока в районе входа в бухту с амплитудой 6 см/с, которые могут быть представлены в виде бегущей в западном направлении волны длиной 2,9 км с периодом 1,1 ч, близким к периоду наиболее энергонесущих сейш в бухте. Приведены оценки скорости водообмена через поперечные сечения в различных частях бухты. Представлено распределение концентрации взвешенного вещества, рассчитанное по интенсивности акустического эхосигнала, регистрируемого *ADCP*.

**Ключевые слова:** течения, Севастопольская бухта, *ADCP*, сейши, взвесь.

### Введение

Севастопольская бухта является важным морским объектом народного хозяйства Севастопольского региона. В ней располагаются пассажирский порт, грузовой терминал, судоремонтные заводы, стоянки судов, базы военных кораблей, промышленные предприятия. В то же время береговая линия бухты насыщена пляжными, гостиничными и развлекательными комплексами. Обеспокоенность общественности загрязнением вод акватории отходами промышленной деятельности привела к созданию концепции постоянно действующей системы экологического мониторинга [1]. В последнее десятилетие в рамках национальных и международных проектов выполнен большой объем экспериментальных исследований по гидро- и геохимии, биологии и гидрологии с целью получения объективной оценки текущего состояния экологической ситуации в Севастопольской бухте и динамики ее развития в условиях растущей антропогенной нагрузки [2 – 7]. Несмотря на большую интенсивность экспериментальных исследований, в настоящее время существует явный недостаток данных по течениям, которые могли бы послужить основой для валидации разработанных численных моделей [8 – 10] и дать натурный материал для более глубокого понимания влияния динамики вод на

© А.Н. Морозов, Е.М. Лемешко, С.А. Шутов, В.В. Зима, 2012

*ISSN 0233-7584. Мор. гидрофиз. журн., 2012, № 3*

31

экологическую ситуацию в бухте. Цель статьи – представить данные по течениям, полученные с помощью акустического доплеровского профилимера течений *ADCP*, и показать возможности прибора для его более активного использования в натурных исследованиях.

### Условия проведения измерений и приборы

В статье использованы данные, собранные в ходе экспедиции в акватории Севастопольской бухты, выполненной сотрудниками отдела гидрофизики шельфа МГИ НАН Украины. Время проведения экспедиции с 07 ч 30 мин до 11 ч 30 мин 26.06.2008 г. (время *UTC*). Работы производились с маломерного судна длиной около 12 м, его осадка 1 – 1,5 м. Измерения проводились по мере продвижения судна от внешнего рейда бухты до устья р. Черной. Гидрологические станции выполнялись при нахождении судна в дрейфе, продолжительность работ на станции составляла от 5 до 10 мин. Скорость дрейфа судна на станциях изменялась от 10 до 35 см/с, направление  $115 \pm 10^\circ$  (углы отсчитывались от северного направления по часовой стрелке). Скорость движения судна между станциями составляла около 2 м/с.

*CTD*-зондирования выполнялись с помощью гидрологического автономного прибора ГАП-16 производства МГИ НАН Украины. Профили температуры, солёности и плотности интерполировались на сетку с шагом 0,25 м по глубине.

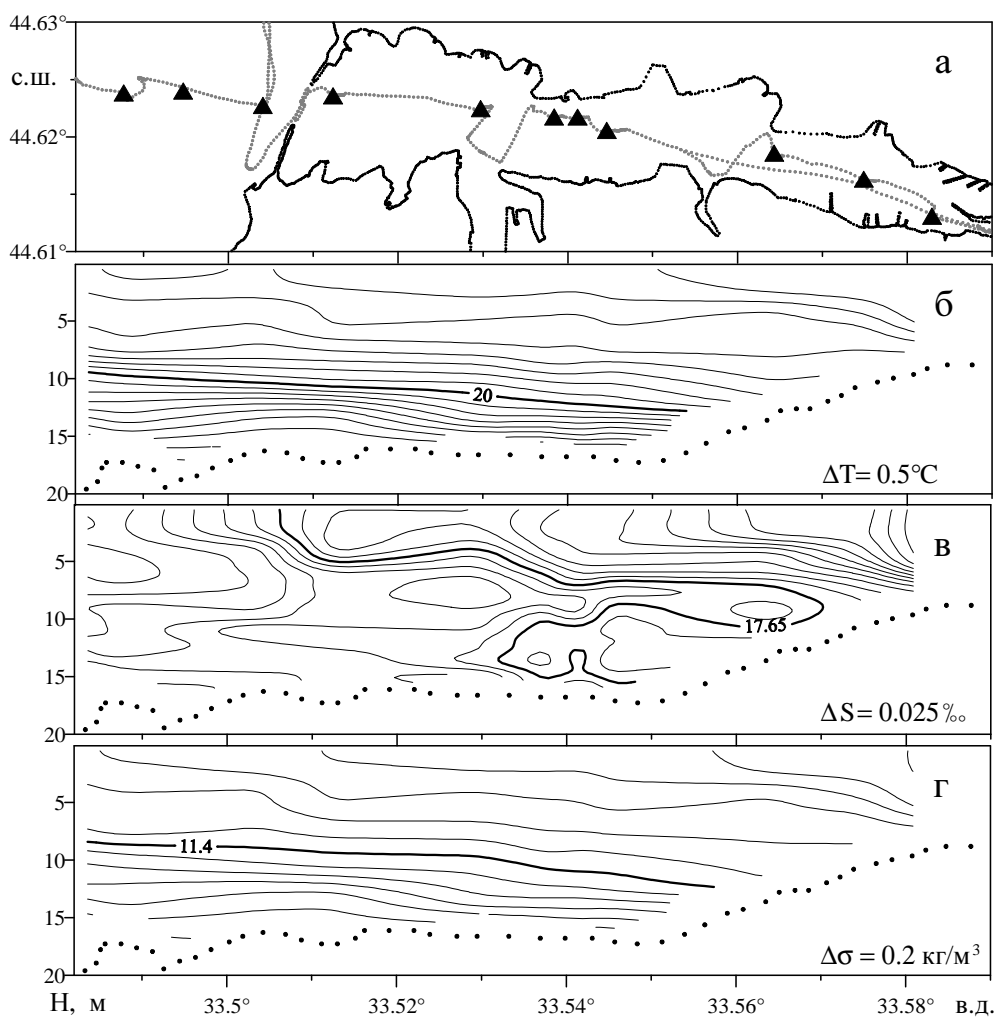
В качестве профилимера течений использовался *ADCP WHM1200* производства *RDI*, США. Прибор жестко крепился к правому борту по центру судна на специально изготовленной штанге. Запись данных велась непрерывно. Дискретность измерений по времени составляла 0,3 с, по глубине – 0,5 м. Абсолютные скорости течений рассчитывались с использованием опции *BT (Bottom Track)*. Коррекция показаний магнитного компаса прибора выполнялась на основе *BT*- и *GPS*-данных, аналогично работе [11]. Детально методика проведения *ADCP*-измерений с борта судна в мелководных акваториях рассмотрена в статье [12].

Скорость ветра измерялась с помощью ручного анемометра во время проведения гидрологических станций. По данным судовых наблюдений скорость ветра находилась в пределах от 5 до 7 м/с, направление ветра изменялось с северо-западного до западного по мере продвижения судна в восточную часть бухты. По данным метеопоста, расположенного на м. Павловском, в конце июня 2008 г. доминировали северные и северо-западные ветры со среднесуточной скоростью 3 м/с. Широтная составляющая ветра имела хорошо выраженную суточную гармонику с амплитудой 4 м/с, максимум достигался в 12 ч *UTC*. По данным метеопоста во время экспедиции скорость северо-западного ветра изменялась от 3 до 5 м/с.

### Результаты измерений

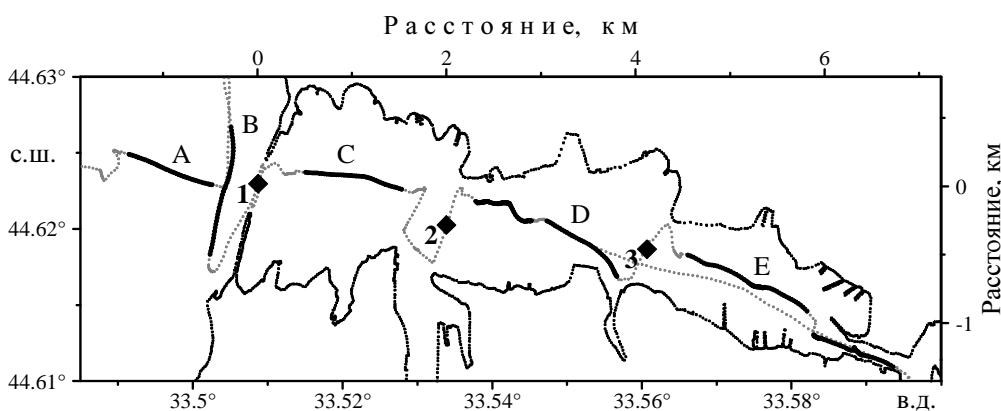
**Гидрология.** На рис. 1, *a* приведена схема проведения *CTD*-измерений в Севастопольской бухте. На рис. 1, *б – г* представлены распределения температуры *T*, солёности *S* и условной плотности  $\sigma$ , построенные на основе данных, полученных на дрейфовых станциях. Температура воды в бухте изменяется от 15°C в нижних слоях до 25°C в верхних. В распределении температуры (рис. 1, *б*) наблюдается почти линейное увеличение глубин залегания изо-

терм в восточном направлении с характерным наклоном около 60 см/км. Соленость изменяется от 17,4 до 17,8‰. Приведенное на рис. 1, б распределение выявляет наличие слоя повышенной солености. Толщина слоя около 2 м, глубина залегания его центра соответствует положению изотермы 22°C. Среднее значение солености в слое составляет 17,72‰. Верхний распределенный слой характеризуется средним значением солености 17,58‰, на глубине 13 м среднее значение солености составляет 17,68‰. Условная плотность изменяется от 10,2 кг/м<sup>3</sup> в верхних слоях до 12,6 кг/м<sup>3</sup> в придонном слое. Распределение плотности (рис. 1, в) аналогично распределению температуры. Плотностная стратификация в верхнем 2-метровом слое незначительна, в нижележащих слоях среднее значение частоты плавучести составляет 0,03 рад/с (17 цикл/ч).



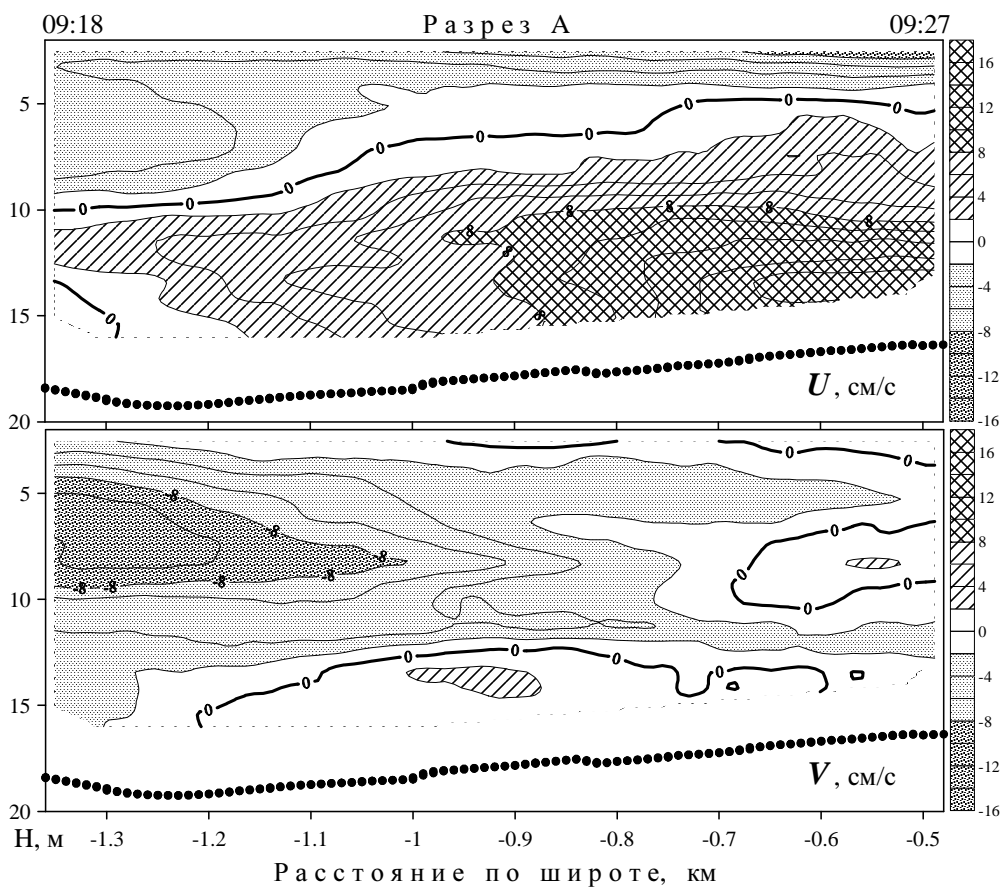
**Р и с. 1.** Схема проведения CTD-измерений (а), а также распределения температуры (б), солености (в) и плотности (г) (на рис. 1, а пунктирная линия обозначает трек судна по данным GPS, черные треугольники – расположение гидрологических станций; в нижней правой части на рис. 1, б – г приведена разность между изолиниями, крупными точками обозначено положение дна)

**Течения.** На рис. 2 показана схема ADCP-измерений. Для удобства восприятия графического материала введена прямоугольная система координат с началом по центру входа в бухту, положительное направление оси абсцисс – на восток по широте, оси ординат – на север по меридиану. Шкалы декартовой системы координат – верхняя и правая.

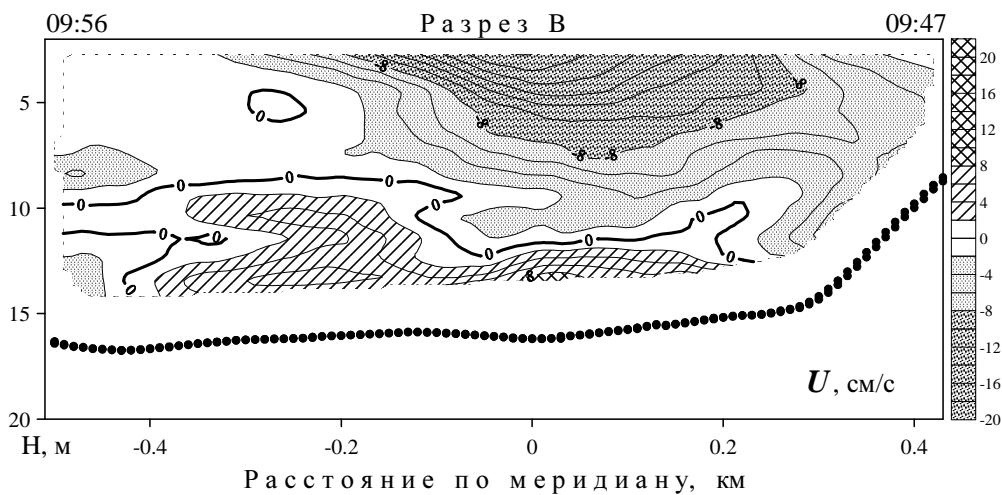


**Р и с. 2.** Схема проведения ADCP-измерений (черные жирные линии, промаркированные заглавными латинскими буквами А – Е, обозначают разрезы, распределения течений вдоль которых приводятся в статье; черные квадратики, помеченные цифрами 1 – 3, — центры поперечных разрезов, выбранных для оценки скорости водообмена)

**Внешний рейд бухты.** На рис. 3 приведены распределения восточной ( $U$ , см/с) и северной ( $V$ , см/с) компонент скорости течения вдоль разреза А в зависимости от расстояния по широте. Во время выполнения разреза судно двигалось со скоростью 1,93 м/с в направлении  $104^\circ$ . Распределение  $U$ , на момент проведения измерений, выявляет течение восточного направления в нижнем слое моря на расстоянии менее 1 км до входа в бухту. Скорость придонного течения возрастает в восточном направлении и достигает 14 см/с на расстоянии  $-0,7$  км. В верхнем слое моря течения имеют западное направление с характерными скоростями от 4 до 10 см/с. По распределению  $V$  обнаруживаются значительные скорости, достигающие  $-10$  см/с, на расстоянии более 1 км от входа в бухту. На расстоянии менее 1 км меридиональные течения имеют скорости менее 4 см/с по модулю и мелкослоистую структуру в восточной части разреза. На расстоянии менее 0,7 км от входа доминируют течения широтных направлений, что определяется рельефом дна в рассматриваемом районе моря. На рис. 4 показано распределение  $U$  вдоль поперечного разреза В в зависимости от расстояния по меридиану. Среднее расстояние по широте от разреза до входа в бухту около 0,3 км. Судно двигалось со скоростью 1,93 м/с, среднее направление  $194^\circ$ . На рисунке хорошо выделяется область повышенных значений скорости течений с характерным горизонтальным масштабом 0,5 км, близким по значению к ширине входа в бухту 0,43 км. В этой области скорости течений в верхнем слое достигают значений  $-18$  см/с, в нижнем  $+8$  см/с.

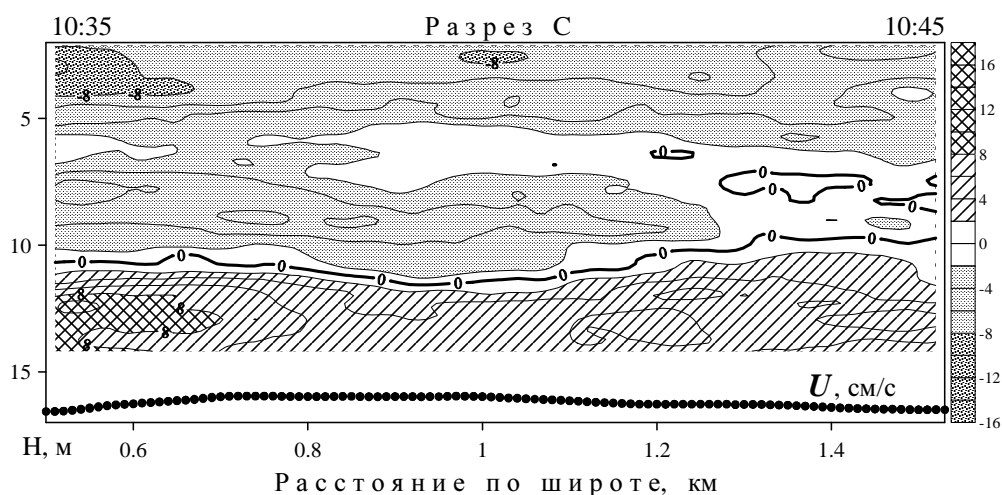


Р и с. 3. Распределение скорости течений на разрезе А (черными точками обозначено дно по данным опции *BT* прибора; над верхней шкалой графика приведено время проведения измерений)



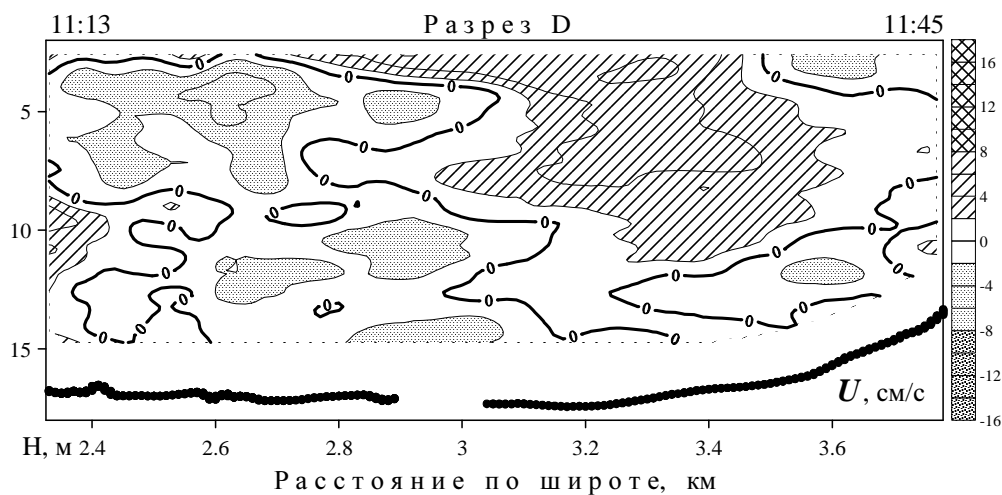
Р и с. 4. Распределение скорости течений на разрезе В (обозначения, как на рис. 3)

*Западная часть бухты.* На рис. 5 приведено распределение  $U$  вдоль продольного разреза С в зависимости от расстояния по широте. Судно двигалось со скоростью 2,02 м/с, среднее направление 98°. Распределение имеет двухслойное строение на всем протяжении разреза: нижний слой – течение на восток, верхний слой – на запад. Характерные скорости течений уменьшаются от 8 до 4 см/с по мере отдаления от входа в бухту. Можно отметить более мелкомасштабное расслоение потоков с характерным размером по вертикали около 2 м и амплитудой до 2 см/с.



Р и с. 5. Распределение скорости течений на разрезе С (обозначения, как на рис. 3)

*Центральная часть бухты.* На рис. 6 демонстрируется распределение  $U$  вдоль продольного разреза D в зависимости от расстояния по широте.



Р и с. 6. Распределение скорости течений на разрезе D (обозначения, как на рис. 3)

При выполнении разреза судно двигалось неравномерно с остановкой для проведения гидрологических станций. Разрез выполнялся в течение получаса и пересекал бухту от северного берега до южного. По данным измерений наблюдается отсутствие двухслойности распределения по вертикали и уменьшение характерных значений скорости течения до 2 см/с. Можно предположить наличие циклонической циркуляции с характерным масштабом 0,3 км по меридиану и 0,8 км по широте.

*Восточная часть бухты.* На рис. 7 приведено распределение  $U$  вдоль продольного разреза Е в зависимости от расстояния по широте. Характерным является наличие верхнего 5-метрового слоя течения восточного направления со скоростями до 8 см/с, который прослеживается на всем протяжении разреза. В западной части разреза наблюдается многослойное строение поля скорости течений. В восточной части разреза прослеживается хорошо выраженная двухслойность распределения течений, при этом течения в нижнем слое направлены на запад.



Р и с. 7. Распределение скорости течений на разрезе Е (обозначения, как на рис. 3)

#### Анализ результатов измерений

Приведенные распределения описывают как пространственную, так и временную изменчивость поля скорости течений вдоль трека судна. Сложность интерпретации полученных данных связана с тем обстоятельством, что они отображают всю совокупность динамических процессов, происходящих в акватории бухты. Как правило, в таких измерениях на распределения скорости стационарных течений накладываются возмущения, вызванные мелко-масштабными высокочастотными процессами.

Сопоставление распределений  $U$ , полученных на разрезах А и В (рис. 3 и 4), показывает, что глубина залегания нулевой изолинии на восточной границе разреза А составляет 5 м, по центру разреза В – 11 м, при этом расстояние между точками измерения составляет менее 200 м. Это несоответствие может быть объяснено пульсациями средней скорости течений, вызванными прохо-

ждением баротропной волны. На рис. 8, а приведена зависимость среднего по глубине значения  $U_{cp}$  от расстояния на разрезе А (серая линия – измеренные значения, черная – аппроксимирующая гармоника с амплитудой 5,1 см/с и длиной наблюдаемой с движущегося судна волны  $\lambda_o$ , равной 2,1 км). Скорость движения судна 1,93 м/с ( $U_s$ ). Длина волны в неподвижной системе координат ( $\lambda_w$ ) определяется соотношением:

$$\lambda_w^{W,E} = \frac{U_s T_w}{U_s T_w \mp \lambda_o} \lambda_o, \quad (1)$$

где  $\lambda_w^W$  – длина волны, бегущей в западном направлении,  $\lambda_w^E$  – в восточном;  $T_w$  – истинный период волны. Для оценки  $T_w$  использовались данные, собранные на внешнем рейде при нахождении судна в пределах  $\pm 50$  м по ординате. Исходные значения  $U_{cp}$  представлены на рис. 8, б серыми кружочками, справа сверху от них указано расстояние по широте до входа в бухту. С учетом соотношения (1) аппроксимирующие гармоники задавались в виде:

$$U^{W,E}(t, x) = U_m \sin \left( \frac{2\pi}{T_w} t \pm 2\pi \frac{T_w U_s \mp \lambda_o}{T_w U_s \lambda_o} x + \varphi \right), \quad (2)$$

где  $U_m$  – амплитуда;  $\varphi$  – фаза;  $U^W$  – для волны, бегущей в западном направлении,  $U^E$  – в восточном. Параметры  $U_m$ ,  $T_w$ ,  $\varphi$  определялись методом наименьших квадратов. Для волн, бегущих в западном направлении, амплитуда составила 6,1 см/с, период – 1,11 ч, длина волны – 2,88 км, с.к.о. – 0,23 см/с. Соответствующая гармоника изображена на рис. 8, б жирной черной линией. Черные треугольники и серая линия представляют исходные данные, приведенные ко времени прохождения волны через вход в бухту. Наблюдаемые изменения амплитуды (5,1 и 6,1 см/с) могут объясняться как временной изменчивостью, так и затуханием при распространении. Для волн, бегущих в восточном направлении, амплитуда составила 6,9 см/с, период – 0,66 ч, длина волны – 3,9 км, с.к.о. – 2,3 см/с; полученные параметры не согласуются с исходными данными разреза А (см. рис. 8, в). Таким образом, наблюдаемые в этом районе пульсации скорости течений могут быть интерпретированы как волна, бегущая в западном направлении. Период волны (1,11 ч) близок по значению к периодам наиболее энергонесущих сейш в Севастопольской бухте: 50 мин и 1,25 ч [13, 14]. Несмотря на то, что полученные оценки представляются достаточно грубыми вследствие малого количества измерений, тем не менее можно утверждать, что наблюдаемые пульсации скорости течений вызваны сейшами с характерной длиной около половины длины бухты.

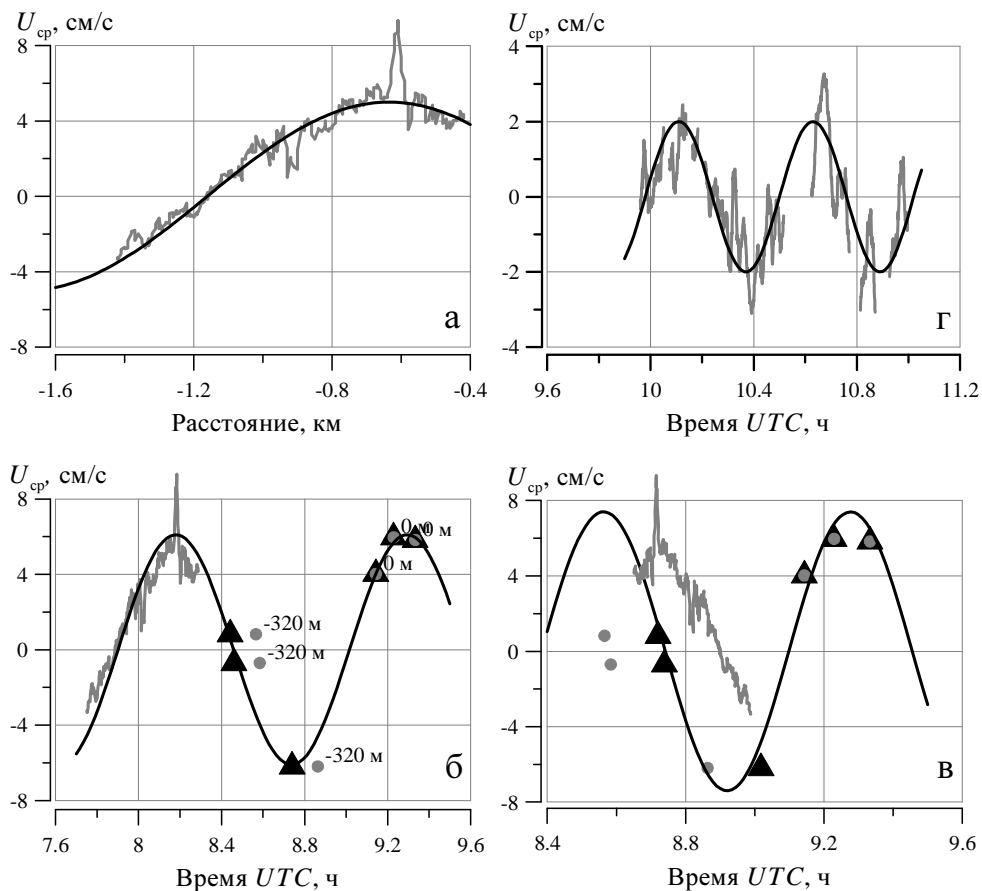
С целью оценки вклада сейш в данные измерений аналогичные расчеты были выполнены для внутренней части бухты. На рис. 8, г приведена зависимость  $U_{cp}$  от времени (серая линия – данные измерений, черная – аппрокси-



мирующая гармоника с периодом 0,52 ч ( $T_0$ ) и амплитудой 2 см/с. Корректировка с учетом скорости движения судна производилась по соотношению

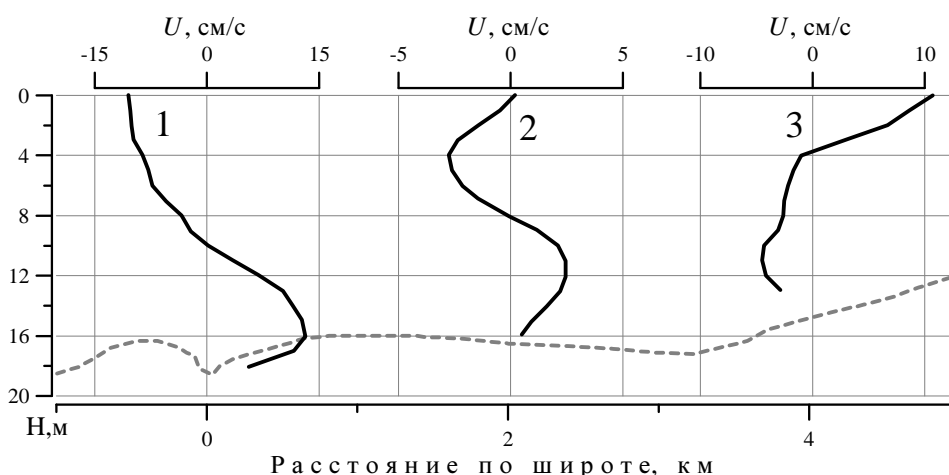
$$\lambda_w = \frac{T_0}{T_w - T_0} U_s T_w, \quad (3)$$

где  $U_s$  – средняя скорость движения судна (0,83 м/с),  $T_w$  – 1,11 ч. Длина волны составила 2,95 км – значение, близкое к полученному для внешнего рейда. Средняя кинетическая энергия течений ( $E_k$ ) в центре бухты составила около 0,45 Дж/м<sup>3</sup> ( $\sqrt{E_k/(2\rho)} \approx 3$  см/с), энергия сейшевых колебаний – 0,1 Дж/м<sup>3</sup> ( $\sqrt{E_k/(2\rho)} \approx 1,4$  см/с). Можно видеть, что среднеквадратические значения соответствующих скоростей сопоставимы. Следует отметить, что большая часть кинетической энергии (80%) в данных измерений представлена бароклинной составляющей вертикального распределения течений.



**Р и с. 8.** Определение параметров волны: *а* – определение длины волны; *б*, *в* – определение периода волны на внешнем рейде; *г* – определение периода волны внутри бухты (см. пояснения в тексте)

Доступная потенциальная энергия, оцененная по наклону изопикн ( $E_p = 0,5 \rho N^2 \bar{\xi}^2$ ) [15], составила  $0,62 \text{ Дж/м}^3$  ( $\sqrt{E_p}/(2\rho) = 3,5 \text{ см/с}$ ). Сопоставимость значений кинетической и потенциальной энергий может служить признаком того, что система находится в состоянии динамического развития, характеризующего ее адаптацию под изменяющийся ветер. Более четко динамика развития системы прослеживается на поперечных разрезах, обозначенных на рис. 2 черными квадратиками. На рис. 9 приведены профили поперечной разрезу составляющей скорости течений (черные сплошные линии) с учетом сейшевых колебаний. Профили экстраполированы за пределы слоя измерения (для верхнего слоя – по вертикальному сдвигу, для нижнего – по условию отсутствия движения воды на дне). На входе в бухту (профиль 1) скорость водообмена составила около  $250 \text{ м}^3/\text{с}$ , воды в верхнем слое движутся на запад, в нижнем – на восток. На разрезе у бухты Южной (профиль 2) скорость водообмена  $100 \text{ м}^3/\text{с}$ , течение в верхнем слое направлено запад, в нижнем – на восток. На разрезе у Килен-бухты (профиль 3) скорость водообмена составила  $70 \text{ м}^3/\text{с}$ , но распределение по слоям поменяло знак на противоположный: в верхнем слое течение направлено на восток, в нижнем – на запад. Если исключить возможность проникновения придонных вод в верхние слои, то представленное распределение потоков воды должно приводить к дальнейшему увеличению наклона изопикн. Возможно, наличие суточной гармоника ветров широтных направлений значительной амплитуды будет вызывать суточные колебания наклона изопикн. В этих условиях наблюдаемые распределения плотности и скорости течений представляют определенную фазу эволюции системы.



**Р и с. 9.** Распределение течений на поперечных разрезах, соответствующих разрезам на рис. 2 (кривые 1, 2, 3) (штриховой линией обозначено дно)

*Внутренние волны* также представлены в записях *ADCP*, однако данные, собранные в рассматриваемой экспедиции, позволяют лишь косвенно определить их характерные параметры в районе входа в бухту: длина волны по

вертикали составила 4 м, по горизонтали 400 м, период 5,5 ч, амплитуда менее 2 см/с.

Кроме измерения профилей скорости течений и определения положения дна, дополнительно прибором регистрируется вертикальное распределение интенсивности акустического эхосигнала. Этот параметр используется многими исследователями для получения оценки распределения концентрации взвешенного вещества [16 – 18]. Моночастотные акустические приборы не позволяют дифференцировать состав взвеси по материалу и размерам частиц. По интенсивности эхосигнала объективно может быть получено только распределение коэффициента обратного рассеяния. В данной статье этот коэффициент выражен через эквивалентную концентрацию частиц морского песка с размерами 60 мкм [16, 19]. На рис. 10 представлены распределения десятичного логарифма концентрации взвеси ( $C$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) вдоль пути следования судна в зависимости от расстояния по широте. Жирная сплошная линия соответствует концентрации 0,04 мг/л, темные области – концентрациям более 0,1 мг/л. Распределение по горизонтали показывает хорошо выраженное увеличение концентрации взвеси в восточной части бухты. Для вертикального распределения характерным является наличие верхнего слоя повышенной концентрации. Предположительно слой образуется органическим веществом, поступающим в бухту с водами р. Черной. Проявляется также придонный слой повышенных концентраций взвеси, который может формироваться как за счет поднятия донного материала, так и вследствие поступления определенной части взвешенного вещества в придонные слои в восточной части бухты. В среднем слое наблюдаются относительно малые концентрации, глубина минимума концентрации приблизительно соответствует глубине залегания слоя осолоненных вод.



**Р и с. 10.** Распределение логарифма концентрации взвеси (жирная сплошная линия соответствует концентрации 0,04 мг/л, темные области – концентрациям более 0,1 мг/л)

### Выводы

В рассматриваемой экспедиции *ADCP* располагался на борту судна из магнитного материала, что привело к значительным затруднениям при обработке данных. Для более успешного использования прибора целесообразно проводить экспедиции на судах из немагнитного материала, что позволит

выполнять цикл сбора и обработки данных даже относительно неопытным пользователям с помощью программы *WinRiver, RDI*.

Для получения распределения стационарных течений в бухте необходимо учитывать вклад сейшевых колебаний, что может быть обеспечено неоднократным повторением разрезов.

Прибор может быть эффективно использован в натурных исследованиях водообмена бухты с открытым морем как в режиме донной постановки, так и в судовых условиях.

Измерение интенсивности эхосигнала позволяет проводить экспресс-диагностику распределения взвеси вдоль пути следования судна, локализовать районы максимальных концентраций для последующего исследования состава взвеси традиционными методами (оптические, отборы проб и т. д.).

Работа выполнена в рамках Проекта «Управление» НАН Украины.

Авторы выражают признательность сотрудникам отдела гидрофизики шельфа МГИ НАН Украины, оказавшим помощь при выполнении измерений. Особая признательность Л.Н. Репетину за предоставленные метеоданные.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жулько Л.М., Иванов В.А., Ильин Ю.П. и др.* Система экологического мониторинга морской среды Севастопольского региона: обоснование и организационная концепция // Глобальная система наблюдений Черного моря. Фундаментальные и прикладные аспекты. – Севастополь. – 2000. – С. 109 – 118.
2. *Овсяный Е.И., Кемп Р.Б., Репетин Л.М. и др.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты в условиях антропогенного воздействия (по наблюдениям 1998 – 1999 гг.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. – Вып. 1. – С. 79 – 103.
3. *Овсяный Е.И., Романов А.С., Миньковская Р.Я. и др.* Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона // Там же. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2001. – Вып. 2. – С. 138 – 151.
4. *Репетин Л.Н., Гордина А.Д., Павлова Е.В. и др.* Влияние океанографических факторов на экологическое состояние Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – № 2. – С. 66 – 80.
5. *Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н. и др.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. – Севастополь, 2006. – 91 с. – (Препринт / НАН Украины. МГИ).
6. *Макаров М.В.* Сезонная динамика *Gastropoda* в Севастопольской бухте (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – Вып. 10. – С. 184 – 189.
7. *Чмыр В.Д., Сеничева М.И.* Особенности структуры сообществ фитопланктона приустьевой зоны Севастопольской бухты // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 401 – 406.
8. *Шапиро Н.Б., Юценко С.А.* Моделирование ветровых течений в севастопольских бухтах // Морской гидрофизический журнал. – 1999. – № 1. – С. 42 – 56.
9. *Иванов В.А., Михайлова Э.Н., Репетин Л.Н. и др.* Модель Севастопольской бухты. Воспроизведение полей температуры и солености в 1997 – 1999 годах // Там же. – 2003. – № 4. – С. 15 – 35.
10. *Михайлова Э.Н., Шапиро Н.Б.* Моделирование циркуляции и пространственной структуры полей в Севастопольской бухте с учетом реальных внешних данных (зима 1997 г.) // Там же. – 2005. – № 2. – С. 60 – 76.

11. *Морозов А.Н., Лемешко Е.М.* Методические аспекты использования акустического доплеровского измерителя течений (*ADCP*) в условиях Черного моря // Там же. – 2006. – № 4. – С. 31 – 48.
12. *Морозов А.Н., Лемешко Е.М., Иванов В.А и др.* Течения в Керченском проливе по данным *ADCP*-наблюдений 2008 – 2009 годов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – Вып. 22. – С. 253 – 267.
13. *Фомичева Л.А., Рабинович А.Б., Демидов А.Н.* Уровень моря // Моря СССР. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические исследования – СПб.: Гидрометеониздат, 1991. – С. 329 – 339.
14. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Хмара Т.В. и др.* Сейши в Севастопольской бухте // Тр. УкрНИГМИ. – Киев, 2002. – Вып. 250. – С. 342 – 353.
15. *Нелепо Б.А., Булгаков Н.П., Тимченко И.Е. и др.* Синоптические вихри в океане. – Киев: Наукова думка, 1980. – 288 с.
16. *Kim Y.H., Voulgaris G.* Estimation of suspended sediment concentration in estuarine environments using acoustic backscatters from an ADCP // Proc. Internat. Conf. Coas. Sediments. – 2003. – 10 p.
17. *Gartner J.* Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay // California, Marine Geology. – 2004. – 211. – P. 169 – 187.
18. *Wall G.R., Nystrom E.A., Litten S.* Use of an ADCP to compute suspended-sediment discharge in the tidal Hudson River // New York: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. – 2006. – 5055/2006. – 16 p.
19. *Морозов А.Н., Лемешко Е.М.* Оценка концентрации взвеси по данным *ADCP WHM1200* // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – Вып. 14. – С. 42 – 46.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,  
Севастополь  
E-mail: anmorozov@yahoo.com

Материал поступил  
в редакцию 23.12.10  
После доработки 09.03.11

АНОТАЦІЯ Обговорюються результати експедиції, яка проходила 26 червня 2008 р. в акваторії Севастопольської бухти. Вимірювання течій виконувалися на ходу судна з використанням акустичного доплеровського профілеміра течій *ADCP WHM1200* виробництва *RDI*, США. Наведені розподіли швидкості течій уздовж розрізів на зовнішньому рейді та всередині бухти. За даними вимірювань спостерігається добре виражений двошаровий розподіл течій на відстанях 1 км західніше і 2 км східніше від входу в бухту. Виявлені пульсації баротропного потоку в районі входу в бухту з амплітудою 6 см/с, які можуть бути представлені у вигляді хвилі, яка біжить в західному напрямі, завдовжки 2,9 км з періодом 1,1 год, близьким до періоду найбільш енергонесучих сейшів у бухті. Наведені оцінки швидкості водообміну через поперечні перетини в різних частинах бухти. Представлено розподіл концентрації зваженої речовини, розрахований по інтенсивності акустичного ехосигналу, який реєструє *ADCP*.

**Ключові слова:** течії, Севастопольська бухта, *ADCP*, сейші, суспензія.

ABSTRACT Results of the research expedition in the Sevastopol bay (June, 26, 2008) are discussed. Current measurements were carried en route of the vessel using acoustic Doppler current profiler *ADCP WHM1200* produced by *RDI*, USA. Distributions of currents' velocities along the sections outside and inside the bay are represented. Based on the measurement data, a well manifested two-layer currents' distribution at 1 km to the west and 2 km to the east off the bay mouth is observed. Barotropic current variations with amplitude 6 cm/s are observed in the bay mouth region. They can be represented as west running waves with a wavelength 2.9 km and a period 1.1 hour which is close to that of the most energy-carrying seiches. Velocities of water exchange through the cross-sections in various parts of the bay are estimated. Distribution of suspended matter concentration computed from intensity of acoustic echo recorded by *ADCP* is represented.

**Keywords:** currents, Sevastopol bay, *ADCP*, seiches, suspended matter.

