

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

Морской гидрофизический институт, г.Севастополь

ТЕЧЕНИЯ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ ПО ДАННЫМ ADCP-НАБЛЮДЕНИЙ, НОЯБРЬ 2014 г.

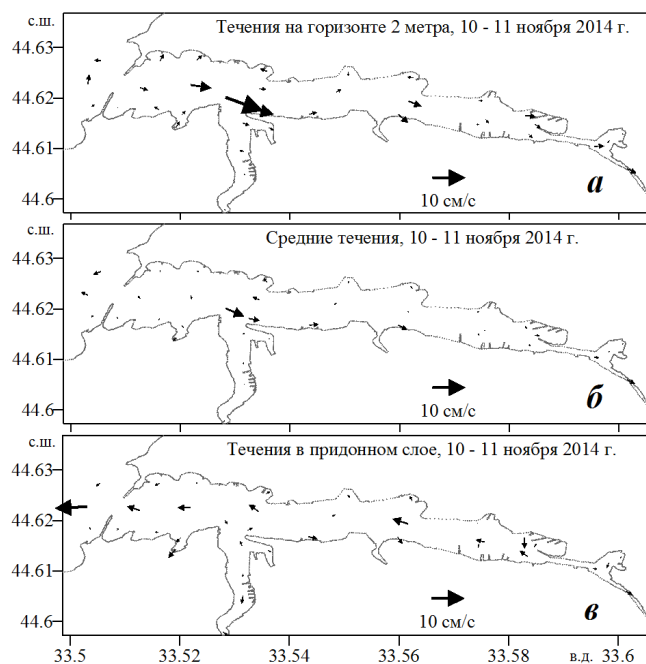
В статье обсуждаются результаты измерения течений, выполненных с помощью ADCP, в ноябре 2014 г. в различных районах Севастопольской бухты. Измерения выполнялись в штилевую погоду. Данные, собранные 10 – 11 ноября, при использовании прибора в режиме выдержки у борта судна на гидрологических станциях, не выявили устойчивой горизонтальной структуры течений. Среднеквадратическое значение скорости течений составило 2,2 см/с. В глубоководной части бухты профили скорости течений имели хорошо выраженную двухслойную структуру. В верхнем слое течения направлены на восток, в нижнем слое – на запад. Скорость водообмена с открытым морем составила около 100 м³/с. Среднеквадратическое значение скорости средних по глубине течений составило 1,4 см/с. 20 ноября измерения выполнялись на ходу судна и показали характерные горизонтальные масштабы изменчивости средних по глубине течений вдоль бухты порядка O(1 км). Разрезы, выполненные поперек бухты, не выявили значимой изменчивости течений. Скорость средних по глубине течений внутри бухты не превышала 2 см/с. В окрестности входа в бухту зафиксирована фронтальная термохалинная зона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *течения, ADCP, Севастопольская бухта.*

Севастопольская бухта представляется важным объектом народного хозяйства региона и является предметом интенсивных научных исследований на протяжении многих лет. В настоящее время выполнено и выполняется большое количество проектов биологической, геологической, гидрохимической и гидрологической направленности, что позволило достигнуть значительного прогресса в понимании факторов, определяющих экологическую ситуацию в бухте и тенденции ее развития в условиях возрастающей антропогенной нагрузки [1 – 3]. В тоже время натурным исследованиям динамики вод бухты уделяется меньше внимания, несмотря на то, что именно течения влияют на обменные процессы с открытым морем и являются ключевым фактором, определяющим экологическую ситуацию в акватории. Известно, что после строительства дамбы в 1976 – 1977 гг. величина водообмена с открытым морем уменьшилась в среднем за год на 40 – 70 %, а время полного обмена вод в бухте увеличилось почти вдвое [4]. Наиболее полно различные аспекты динамики вод бухты исследовались методами математического моделирования [5 – 7]. Результаты моделирования показали быструю адаптацию дрейфовых течений около 1 часа под изменяющийся ветер и возможность существования вихревых структур внутри бухты, в частности при южных ветрах. Натурные данные по течениям в бухте представлены в литературе в меньшей степени [3, 8].

В данной статье обсуждаются результаты предварительной обработки данных по течениям, полученным в ноябре 2014 г. В качестве измерителя

© Е.М.Лемешко, А.Н.Морозов, С.А.Шутов, В.В.Зима, А.А.Чепыженко, 2014

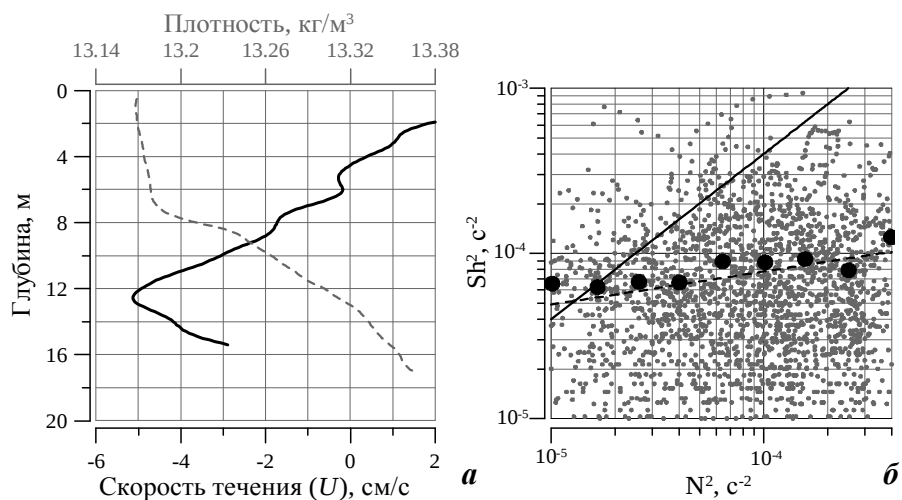


Р и с . 1 . Распределение течений в Севастопольской бухте 10 – 11 ноября 2014 г. на горизонте 2 м (а), осредненные по глубине течения (б), течения в придонном слое (в).

течений на глубине 2 м (рис.1, а), осредненных по глубине (рис.1, б) и в придонном слое (рис.1, в). На горизонте 2 м доминируют течения восточного направления, в придонном слое хорошо выражены течения западного направления. Осредненные по глубине течения имеют относительно небольшие значения модуля скорости, и не выявляют устойчивой горизонтальной структуры. В отсутствии ветра в верхнем слое наблюдается втекание вод открытого моря в бухту, в нижнем слое воды поступают из бухты в открытое море. Такая ситуация, предположительно, определяется условиями на границе бухты с открытым морем. Оценка водообмена по данным измерений в окрестности входа в бухту, составила $100 \text{ м}^3/\text{с}$. Среднее значение полной кинетической энергии по всему ансамблю станций составило $2,6 \cdot 10^{-4} \text{ Дж/кг}$. Среднее значение кинетической энергии осредненных по глубине течений составило $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж/кг}$. На рис.2, а приведены профили восточной компоненты скорости течения (сплошная линия) и условной плотности (пунктир), полученные на одной из станций. На всех глубоководных станциях отмечается высокая изменчивость скорости течений по глубине. Среднее значение частоты плавучести составило 6,4 цикл/ч. На рис.2, б приведена зависимость квадрата вертикального сдвига скорости течений от квадрата частоты плавучести. Серые точки – исходные данные, черные кружочки – после осреднения. Черная сплошная линия соответствует критическому числу Ричардсона (0,25). В 10 % случаев число Ричардсона меньше его критического значения. Отношение среднего квадрата частоты плавучести к среднему квадрату сдвига составило 1,4.

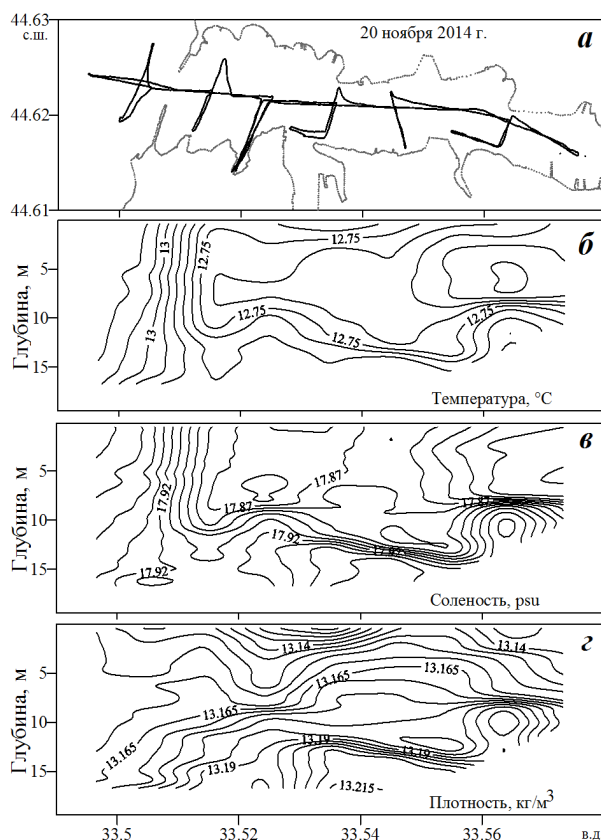
течений использовался акустический ровский профилометр течений (ADCP) модель WHM1200 производства RDI США. Измерения выполнялись в штилевую погоду.

Первая экспедиция проходила в два этапа 10 и 11 ноября, в первый день измерения выполнялись в западной части полигона, включая Южную бухту, во второй – в восточной части Севастопольской бухты. Прибор использовался в режиме выдержки у поверхности моря на гидрологических станциях. На рис.1 в векторном виде приведено распределение

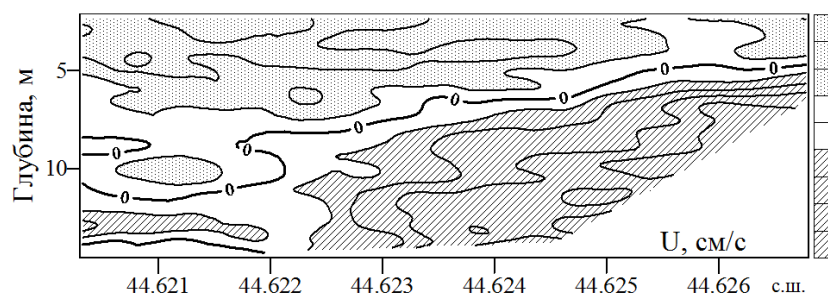


Р и с . 2. Типовой профиль восточной компоненты скорости течения (—) и условной плотности (---) (а). Зависимость квадрата сдвига скорости течений от квадрата частоты плавучести (серые точки – исходные данные, черные кружочки – осредненные) (б).

Вторая экспедиция проходила 20 ноября и охватила всю акваторию Севастопольской бухты. Измерения течений выполнялись на ходу судна. Датчики ADCP располагались на глубине 0,6 м. На рис.3 приведены трек судна, распределения температуры, солености и условной плотности. На момент проведения измерений гидрологическая ситуация характеризовалась наличием термохалинной фронтальной зоны в окрестности входа в бухту. Внутри бухты в придонном слое наблюдается холодная вода повышенной солености. Распределение условной плотности не выявляет наличия значимых горизонтальных фронтальных зон. Вертикальная структура поля плотности характеризуется наличием локальных пикноклинов с ча-



Р и с . 3. Трек судна (а), распределение температуры (б), солености (в) и условной плотности (г), 20 ноября 2014 г.



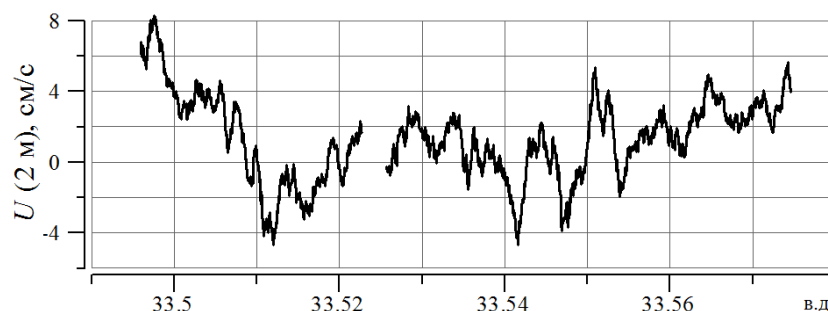
Р и с . 4 . Распределение восточной компоненты скорости течений на поперечном разрезе западнее входа в бухту.

стойкой плавучести около 10 цикл/ч. Отметим, что глубина залегания изопикн изменяется в широком диапазоне глубин. Например, глубина изопикны $13,165 \text{ кг/м}^3$ изменяется от 5 (33.55° в.д.) до 15 м (33.5° в.д.). Средняя потенциальная энергия на момент наблюдения составила около 10^{-4} Дж/кг.

Вертикальная структура течений в окрестности входа в бухту характеризуется двухслойностью. В нижнем слое поток воды направлен в открытое море. В верхнем слое воды поступают из открытого моря в бухту. Наиболее наглядно это проявилось на поперечном разрезе западнее входа в бухту (рис.4).

На рис. 5 приведена зависимость восточной компоненты скорости течений на глубине 2 м, полученная на протяженном продольном разрезе. Западнее входа в бухту скорости течений достигают 8 см/с. При переходе через фронтальную зону (33.51° в.д.) скорость течения меняет направление с восточного на западное. Внутри бухты скорость течений изменяется в диапазоне ± 4 см/с и наблюдаются ее вариации с характерным масштабом по горизонтали около 500 м, что возможно вызвано внутренними волнами. Следует также отметить низкочастотные вариации амплитуды около 2 см/с и характерным горизонтальным масштабом около 2,5 км, что, предположительно, может быть следствием сейшевых колебаний.

В данной статье представлены предварительные результаты обработки данных по течениям, измеренным в акватории Севастопольской бухты в ноябре 2014 г. Совокупность полученных данных выявляет двухслойную вертикальную структуру течений в окрестности входа в бухту. Несмотря на то, что измерения выполнялись в безветренные дни, наблюдения показывают высокий уровень кинетической и потенциальной энергии в акватории. Причиной этому может быть поступление энергии через границу бухты с



Р и с . 5 . Распределение течений вдоль бухты на глубине 2 м.

открытым морем. Кинетическая энергия осредненных по глубине течений составляет около половины полной кинетической энергии, что характеризует высокий уровень вертикальной изменчивости течений. Среднеквадратическое значение вертикального сдвига скорости течений составило $9,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, при среднем значении частоты плавучести 6,4 цикл/ч.

Приведенные в работе данные относительно характерных горизонтальных масштабов изменчивости течений носят исключительно предварительный характер. Это вызвано тем, что в наблюдениях распределение течений маскируется сейшевыми колебаниями, которые в Севастопольской бухте представлены в широком диапазоне периодов от 5 минут до 2,5 часа [9, 10]. Проявление сейш в поле скорости течений и их влияние на обменные процессы в бухте в настоящее время остаются не изученными вопросами, и являются предметом дальнейших исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-45-01592, код "р_юг_a региональный конкурс Юг России".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– вып.1.– С.79-103.
2. 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.
3. 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 / Препринт.– Севастополь, 2006.– 91 с.
4. Хоролич Н.Г. Расчет водообмена мелководного залива (бухты) с морем // Тр. ГОИН.– 1986.– вып.168.– С.113-118.
5. Шати́ро Н.Б., Ющенко С.А. Моделирование ветровых течений в севастопольских бухтах // Морской гидрофизический журнал.– 1999.– № 1.– С.42-56.
6. Михайлова Э.Н., Шати́ро Н.Б. Моделирование циркуляции и пространственной структуры полей в Севастопольской бухте с учетом реальных внешних данных (зима 1997 г.) // Морской гидрофизический журнал.– 2005.– № 2.– С.60-76.
7. Алексеев Д.В., Задорожный А.И., Иванча Е.В. и др. Моделирование штормового волнения в Севастопольской бухте 10 – 11 ноября 2007 г. // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– вып.15.– С.113-117.
8. Морозов А.Н., Лемешко Е.М., Шутов С.А., Зима В.В. Течения в Севастопольской бухте по данным ADCP-наблюдений (июнь 2008 г.) // Морской гидрофизический журнал.– 2012.– № 3.– С.31-43.
9. 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– С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1991.– С.329-339.
10. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Хмара Т.В. и др. Сейши в Севастопольской бухте // Тр. УкрНИГМИ.– 2002.– вып.250.– С.342-353.

Материал поступил в редакцию 01.12.2014 г.

АНОТАЦІЯ Обговорюються результати вимірювання течій, виконаних за допомогою *ADCP*, в листопаді 2014 р. в різних районах Севастопольської бухти. Вимірювання виконувалися в штильову погоду. Дані, зібрані 10 – 11 листопада, при використанні приладу в режимі витримки у борту судна на гідрологічних станціях, не виявили стійкої горизонтальної структури течій. Среднеквадратичне значення швидкості течій склало 2,2 см/с. У глибоководній частині бухти профілі швидкості течій мали добре виражену двошарову структуру. У верхньому шарі течії направлені на схід, в нижньому шарі – на захід. Швидкість водообміну з відкритим морем склала близько 100 м³/с. Среднеквадратичне значення швидкості середніх по глибині течій склало 1,4 см/с. 20 листопада вимірювання виконувалися на ходу судна і показали характерні горизонтальні масштаби мінливості середніх по глибині течій уздовж бухти порядку O(1 км). Розрізи, виконані упоперек бухти, не виявили значущої мінливості течій. Швидкість середніх по глибині течій усередині бухти не перевищувала 2 см/с. У околиці входу в бухту зафіксована фронтальна термохаліна зона.

ABSTRACT The results of current measurements provided by *ADCP* in November 2014 in the different regions of the Sevastopol bay are discussed. Measurements were fulfilled in calm weather. The data obtained in 10 – 11 November by using the equipment in the mode of self-control at a shipboard at the hydrological stations, did not expose the steady horizontal current structure. The standard deviation of current velocity value was 2.2 cm/s. In the deep-water part of bay the current velocity profiles had the well expressed two-layer structure. In the upper layer the currents are directed to east, in the lower layer – to west. The water-exchange rate with the open sea was about 100 m³/s. The standard deviation of current velocity value averaged by the depth was 1.4 cm/s. The measurements were fulfilled during the ship motion on 20 November and demonstrated the characteristic horizontal scales of variability of the depth averaged currents along the bay by order about O(1 km). The transects executed across the bay did not expose the meaningful currents variability. The depth averaged currents velocity into the inner region of the bay did not exceed 2 cm/s. The thermohaline zone was observed near the bay entrance.