

# ПРИДОННЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ НА ШЕЛЬФЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

**A.H. Морозов, Е.М. Лемешко**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: anmorozov@yahoo.com

*Приведены осредненные профили течений в придонной области, рассчитанные на основе данных, собранных с использованием акустического доплеровского профилометра течений. Параметры придонного пограничного слоя определены в предположении логарифмической зависимости скорости течения от расстояния до дна. Параметр шероховатости дна составил 0.4 м, скорость трения в придонной области – 3.14 и 2.46 см/с для 2007 и 2009 годов.*

Экспериментальное исследование параметров придонного пограничного слоя (ППС) является одной из важных задач современной океанографии. Результаты таких исследований могут найти применение в численном моделировании динамических процессов и циркуляции в море, а также в задачах размыва грунта и седиментации. В настоящее время получены эмпирические зависимости параметров ППС для средних условий океана [1]. В Черном море натурные исследования характеристик ППС выполнены с использованием профилометра течений ОЛТ [2, 3]. Цель статьи конкретизировать характеристики ППС в районе южного берега Крыма, отличающегося повышенной динамической активностью [4, 5].

В работе использовались результаты двух экспедиций. На рисунке 1 схематично представлено расположение станций на фоне топографии дна в районе Кацивельского полигона: черные квадратики – станции, выполненные в рейсе судна “Эксперимент” 20 – 21 июля 2007 года, полые треугольники – станции, выполненные в рейсе судна “Сапфир” 29 – 30 июля 2009 года, пунктирные линии – изобаты 100 и 200 метров.

В качестве измерителя профилей скорости течений использовался акустический доплеровский профилометр течений (АДПТ) на основе WHM-300 производства RDI США. Прибор использовался в режиме

погружаемого зонда. Расчет абсолютных значений скорости течений в придонном слое производился на основе использования опции отслеживания дна, позволяющей дополнительно к профилям течений измерять скорость движения прибора относительно дна и удаление прибора от дна. Дискретность измерений по глубине устанавливалась 4 м, по времени – 1 секунда. Для более точного измерения профиля течений в придонной области производилась 5-минутная выдержка прибора на расстоянии 50 метров от дна. Минимальное расстояние до дна, при котором измеренные данные являются корректными, составляло около 10 метров. Для измерения гидрологических параметров использовался зонд ШИК, производство МГИ НАН Украины, результирующие профили интерполировались на сетку 0.5 метра по глубине, измерения выполнялись по всей толще воды до 5 метров до дна. Характерным для экспедиций является наличие ярко выраженного стабильного течения преимущественно западного направления со скоростями от 20 до 50 см/с. Предположительно часть Основного Черноморского течения в моменты наблюдения проходила над плато в районе пгт. Кацивели, в 2007 году струя была прижата вплотную к берегу, в 2009 струя наблюдалась на расстоянии около 5 км от берега.

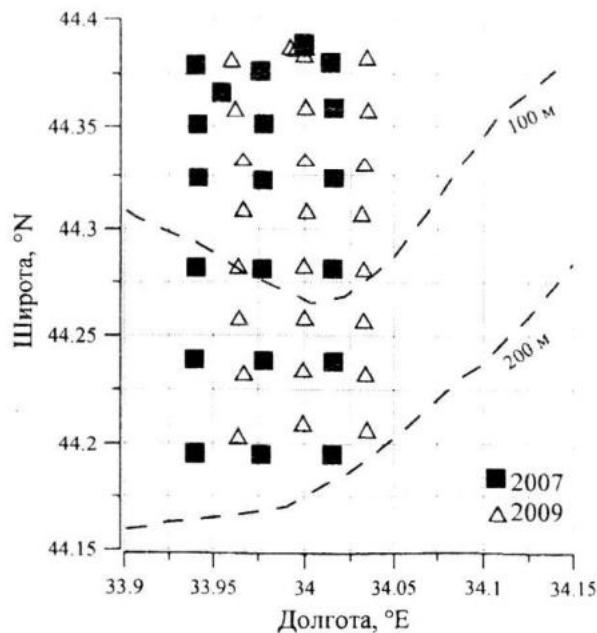


Рисунок 1 – Схема расположения станций

Наблюдения показали, что отдельно взятый профиль скорости течения не выявляет ярко выраженных характерных изменений в придонной области, поскольку представляет собой суперпозицию большого количества динамических процессов, включая короткопериодные внутренние волны, инерционные колебания и другие, амплитуда, которых в рассматриваемом районе может превышать значения скорости Основного Черноморского течения [4]. В других районах Черного моря граница ППС может быть определена по характерному поведению профилей скорости течений и условной плотности, как это представлено в работе [3]. Было интересным получить представление о поведении осредненного по ансамблю станций профиля скорости течений и определить существует ли характерные черты его изменчивости в придонной области. С этой целью было выполнено осреднение профилей скорости течений по ансамблю станций в зависимости от расстояния до дна. Для выполнения расчетов станции отбирались из общего массива на основе критерия приблизительно равных средних по глубине скоростей течений. Осреднения выполнялись раздельно для двух экспедиций 2007 и 2009 годов. На рисунке 2 черными сплошными линиями представлены результатирующие осредненные профили скорости течения в зависимости от расстояния до дна, линии помечены 2007 и 2009 соответственно годам проведения экспедиций. Прямая пунктирная линия представляет эмпирическую зависимость скорости течения на верхней границе ППС от расстояния до дна, приведенную в работе [3]. Как можно видеть из рисунка в 2009 году верхняя граница ППС выделяется достаточно отчетливо и в пределах погрешности измерений соответствует результатам работы [3], для 2007 года верхняя граница ППС отчетливо не проявляется. Характерным для двух профилей является постепенное уменьшение скорости течения по мере приближения ко дну. Для того чтобы получить количественные оценки параметров ППС полученные профили были аппроксимированы логарифмическими зависимостями [6]:

$$U = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_b}\right),$$

где  $u_*$  – скорость трения;  $k$  – постоянная Кармана (0.41);  $z_b$  – параметр шероховатости дна;  $z$  – расстояние до дна, которые представлены на рисунке пунктирными линиями. Наиболее близко, полученные профили могут быть представлены логарифмической зависимостью при значении параметра шероховатости дна 0.4 метра, при этом скорость трения для 2007 года составила 3.14 см/с, для 2009 – 2.46 см/с. Значение коэффициента придонного трения составило 0.083, что в два раза превосходит среднюю оценку для Черного моря, полученную в работе [3].

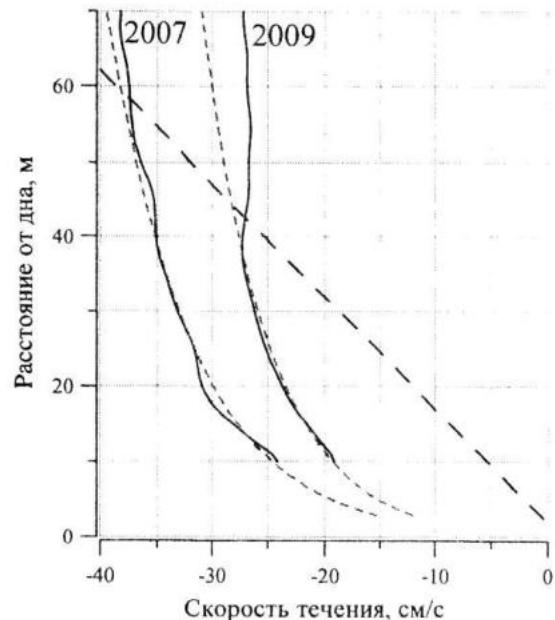


Рисунок 2 – Осредненные профили течений

Оценка параметров ППС может быть получена другим путем на основе усредненного для условий океана соотношения, представленного в работе [1]:

$$u_* = 2.5 \cdot H \cdot f,$$

где  $H$  – толщина пограничного слоя;  $f$  – параметр Кориолиса ( $1.016 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ). Соответственно для 2007 года значение скорости трения составит 1.5 см/с, для 2009 года – 1.14 см/с. Оценка коэффициента придонного трения при таком подходе составит 0.04, что находится в полном соответствии с результатами [3].

Наблюдаемое несоответствие оценок параметров ППС, полученных при использовании разных подходов, возможно, является следствием особенности рассматриваемого района, где условия формирования

ППС значительно отличаются от средних океанских условий. Район характеризуется сложным рельефом дна – с восточной стороны на переходе глубокое море – шельф наклон дна достигает значений  $1 - 3^\circ$ , кроме того, в восточной части шельфа существует относительное возвышение на долготе  $34.02^\circ\text{E}$  (данные судна "Pathfinder" сентябрь 2008 г.). При набегании потока Основного Черноморского течения с восточной стороны на сложный рельеф создаются благоприятные условия для передачи части кинетической энергии потока в более мелкие масштабы, включая турбулентность. Косвенным признаком высокого уровня турбулентации потока может служить полное перемешивание изначально стратифицированных придонных слоев. На рисунке 3 приведено распределение толщины придонного однородного перемешанного слоя вдоль западного разреза 2007 года, полученное из данных по гидрологии. Изменение потенциальной энергии стратификации в придонном слое достигают больших значений около  $0.017 \text{ Дж}/\text{кг}$ , при средней скорости потока около  $37 \text{ см}/\text{с}$ . При скорости трения  $3.14 \text{ см}/\text{с}$  и логарифмическом придонном пограничном слое число Ричардсона достигает критических значений лишь в придонном 5-метровом слое, в то время как наблюдения выявляют почти 30-метровую толщину придонного перемешанного слоя.

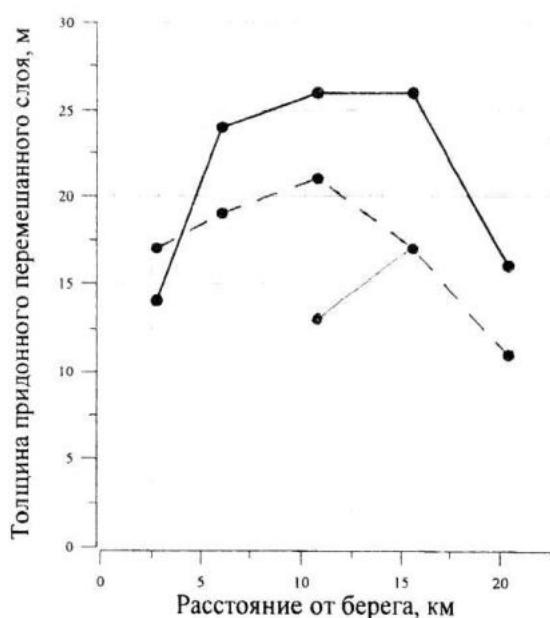


Рисунок 3 – Придонный перемешанный слой

Толщина придонного перемешанного слоя увеличивается в направлении потока с такой же скоростью, как и глубина моря, около  $2 \text{ м}/\text{км}$ . Это указывает на то, что разрушение стратификации в придонном слое моря происходит вследствие перетекания потока над взвышенностью в восточной части шельфа южного берега Крыма. По мнению авторов именно взаимодействие струйного течения со сложным рельефом дна определяют особенность данного района в отношении условий формирования ППС, и приводит к относительному увеличению скорости трения и коэффициента придонного трения.

Работа выполнена в рамках национального Проекта "Оперативная океанография" и международного Проекта "SESAME".

Авторы выражают признательность участникам экспедиций и экипажам судов, оказавшим неоценимую помощь при проведении измерений.

### Л и т е р а т у р а

1. Weatherly G.L., Martin P.G. On the structure and dynamics of the ocean bottom boundary layer / J. Phys. Oceanogr., 1978. – V. 8, № 4. – P. 557 – 570.
2. Kushnir V.M. Turbulent diffusion in the near bottom boundary layer of the Black sea shelf zone / J. of Marine Systems, 1999. – V. 21. – P. 243 – 253.
3. Кушнир В.М. Придонный пограничный слой в Черном море: экспериментальные данные, турбулентная диффузия, потоки / Океанология, 2007. – т. 47, № 1. – С. 39 – 48.
4. Власенко В.И., Иванов В.А., Сташук Н.М. Генерация квазинерционных колебаний при апвеллинге у Южного берега Крыма / Океанология, 1996. – т. 36, № 1. – С. 43 – 51.
5. Власенко В.И., Иванов В.А., Красин И.Г., Лисиченок А.Д. Генерация интенсивных короткопериодных внутренних волн во фронтальной зоне прибрежного апвеллинга / Морской гидрофизический журнал, 1997. – № 3. – С. 3 – 16.
6. Иванов В.А., Фомин В.В. Математическое моделирование динамических процессов в зоне море – суши / Севастополь, 2008. – 363 с.