

Структурообразование и вертикальный турбулентный обмен в прибрежной зоне Севастопольского региона

© 2015 А.С. Самодуров, А.М. Чухарев, А.Г. Зубов, О.И. Павленко

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
E-mail: anamol_samodurov@mail.ru, alexchukh@mail.ru*

Поступила 04.09.2015 г.

С применением высокоразрешающего зонда-турбулиметра «Сигма-1» собраны натурные данные о распределении флуктуаций гидрофизических параметров в верхнем слое моря вокруг Гераклейского п-ова (Крым). На основе анализа этих данных по разработанной ранее методике оценены масштабы турбулентных пятен в стратифицированном слое, рассчитаны коэффициенты вертикального турбулентного обмена и величины скорости диссипации турбулентной энергии в исследуемом районе. Показано, что пространственное распределение коэффициентов диффузии отражает особенности вертикального обмена, обусловленные гидрологической структурой и морфологией дна. Сопоставление результатов с предложенной нами ранее «спектральной» моделью обмена показало ее хорошее соответствие натурным измерениям.

Ключевые слова: зонд-турбулиметр, микроструктура, внутренние волны, сдвиговая неустойчивость, турбулентная диффузия, диссипация энергии, модели обмена.

Введение. Одной из важнейших экологических характеристик для интенсивно осваивающихся прибрежных морских акваторий является их способность к самоочищению. Поскольку антропогенные нагрузки на прибрежную часть Крымского побережья весьма ощутимы [1], в связи с возрастающей ролью Крымского и Севастопольского регионов как зон рекреации исследование особенностей циркуляции и вертикального обмена в прибрежных водах становится особенно актуальным.

В весенне-летний период в отсутствие зимней конвекции основным фактором, определяющим вертикальный обмен в верхних слоях моря, становится турбулентность. В устойчиво стратифицированном океане, в удалении от резких фронтальных зон, областей яркого проявления механизмов двойной диффузии и т. п., основным источником турбулентности служит механизм сдвиговой неустойчивости в поле квазиинерционных внутренних волн (ВВ) [2]. Оценкам вклада этого механизма в вертикальный обмен посвящено немало работ. Основное направление этих исследований обычно связано с поиском степенных зависимостей скорости диссипации энергии и коэффициента вертикальной турбулентной диффузии от частоты плавучести. Это дает возможность, зная изменение частоты плавучести с глубиной, получить вертикальное распределение коэффициента диффузии.

В поисках таких теоретических соотношений применяются различные подходы. Например, в работах [3 – 5] используются аналитические и численные модели внутренних волн, учитывающие механизмы нелинейной передачи энергии по спектру Гаррета – Манка к волнам низких частот и малых вертикальных масштабов. В итоге авторы получили квадратическую зависимость скорости диссипации энергии от частоты плавучести.

В работе [6] для анализа использовалось стационарное уравнение баланса турбулентной энергии. В итоге для узкополосного частотного спектра внутренних волн была получена линейная зависимость скорости диссипации энергии от частоты плавучести, а для широкополосного спектра соответствующий показатель степени оказался равен 1,5.

В работе [7], где за основу взят спектр Гаррета – Манка с учетом диссипативных потерь, получена квадратическая зависимость искомой функции от частоты плавучести. Эта модель считается наиболее адекватной для рассматриваемых условий.

Отметим, что каждая из указанных моделей предлагает единую степенную зависимость для всего стратифицированного слоя.

Целью настоящей работы является установление региональных особенностей вертикального турбулентного обмена в верхнем стратифицированном слое Черного моря в районе шельфа и свала глубин Гераклеийского п-ова и верификация модели обмена. При этом нами использовались две собственные оригинальные разработки:

– полуэмпирическая модель расчета коэффициента турбулентной диффузии и скорости диссипации в зависимости от частоты плавучести для механизма обрушения ВВ по измеренным вертикальным профилям пульсаций температуры. Эта модель представляет собой практический метод расчета реально наблюдаемых величин;

– модифицированная теоретическая модель зависимости искомых параметров от частоты плавучести, которая основана на усовершенствованной модели климатического спектра ВВ и не требует для восстановления одномерных спектров привлечения данных измерений [8]. В отличие от прежних моделей в модифицированном варианте предложены различные степенные зависимости для верхнего и нижнего стратифицированных слоев в естественных бассейнах, что подтверждается анализом опубликованных в литературе данных натуральных измерений [9]. Такая модель является более универсальной по сравнению с другими известными на сегодняшний день экспериментальными и теоретическими зависимостями.

Измерения. Натурные измерения пульсационных характеристик проводились с помощью измерительного комплекса «Сигма-1» [10], предназначенного для исследования микроструктуры и турбулентного обмена в верхнем слое моря. Внешний вид комплекса приведен на рис. 1, его основные технические характеристики – в таблице.



Рис. 1. Измерительный комплекс «Сигма-1» на борту НИС «Николаев» 28 ноября 2014 г.

Технические характеристики измерительного комплекса «Сигма-1»

Измеряемые параметры	Диапазон	Разрешение	Точность	Дискретность измерений
Три компоненты вектора пульсаций скорости, м/с	± 2	10^{-3}	$\pm 10\%$	По всем каналам 100 Гц
Температура, °С	0 – 30	0,001	$\pm 5\%$	
Электропроводность, отн. ед.	0 – 0,9	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$\pm 5\%$	
Три компоненты линейных ускорений, м/с ²	± 20	0,002	0,002	
Крен и дифферент прибора, °	± 20	0,01	± 1	
Угол азимута прибора, °	0 – 360	10	± 5	
Давление, МПа	0 – 6	$5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 1\%$	

Экспериментальные работы велись с борта НИС «Николаев» 27 – 28 ноября 2014 г. Сбор данных о тонкой структуре полей скорости течения, температуры и электропроводности осуществлялся проведением зондирований на станциях полигона от поверхности до 50 – 130 м в зависимости от глубины места. Зондирование осуществлялось в режиме свободного падения со скоростью $\sim 0,7$ м/с. Отклонения зонда от вертикали во время установившегося движения не превышали 1° , причем частота этих колебаний в основном лежала вне диапазона частот, используемых для анализа. Таким образом, собственные колебания носителя не оказывали существенного влияния на получаемую информацию о турбулентных пульсациях. Тем не менее, чтобы избежать возможного проявления в анализируемых данных собственных колебаний, предпочтение при анализе отдавалось скалярной величине – пульсациям температуры. На рис. 2 представлена схема станций, которые выполнялись в ходе эксперимента.

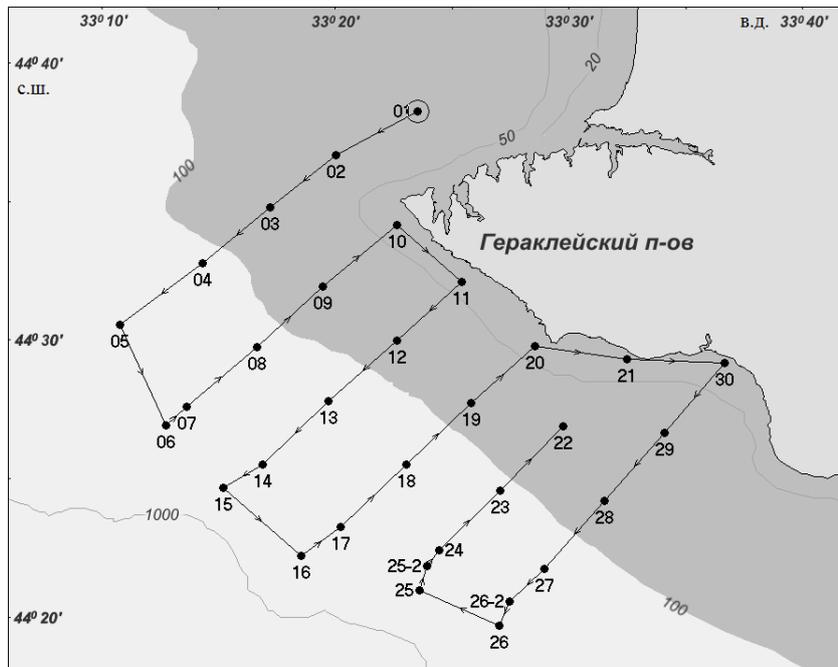


Рис. 2. Схема проведенных измерений на полигоне вокруг Гераклеийского п-ова 27 – 28 ноября 2014 г.

Как известно [11], одним из основных механизмов генерации турбулентности в стратифицированных слоях является опрокидывание внутренних волн. Такие события ведут к образованию турбулентных пятен, в которых происходит интенсивное перемешивание, приводящее к выравниванию гидрологических характеристик в пределах пятна. На профилях плотности это проявляется в виде участков с постоянной плотностью по глубине, так называемых «ступенек». На рис. 3 показан полученный в ходе измерений характерный профиль распределения плотности, где хорошо видны такие участки.

Методика оценки масштабов турбулентных пятен заключалась в следующем. На профилях плотности выбирались отрезки с примерно постоянной

величиной частоты плавучести $N = \sqrt{\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho}{dz}}$ (рис. 4), где ρ – плотность; g –

ускорение свободного падения. По ним рассчитывались вертикальные спектры градиентов пульсаций температуры в пространстве волновых чисел. На спектрах находился локальный минимум, который соответствует характерному масштабу турбулентных пятен в данном слое. Типичный спектр пульсаций градиента температуры приведен на рис. 5, где отчетливо виден такой локальный минимум.

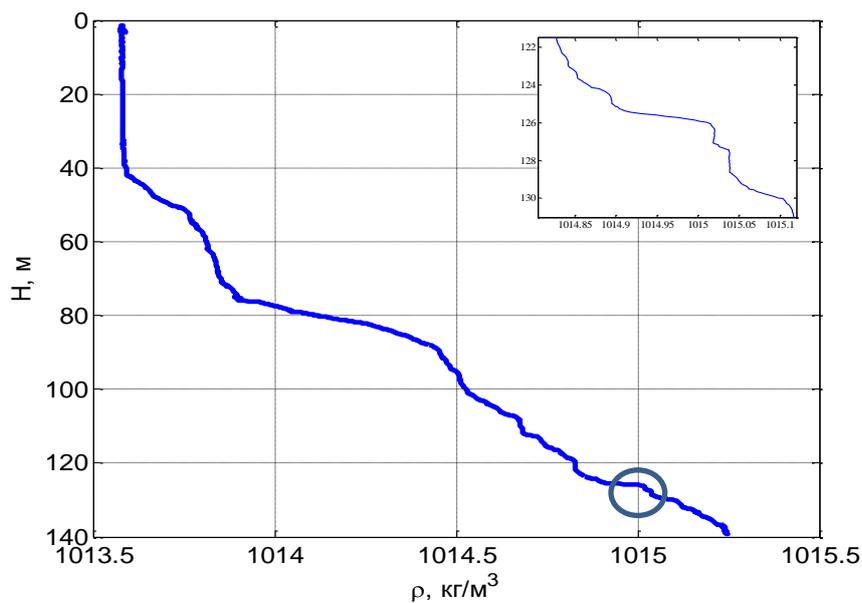


Рис. 3. Проявления турбулентных пятен на профилях плотности (на врезке – в увеличенном виде)

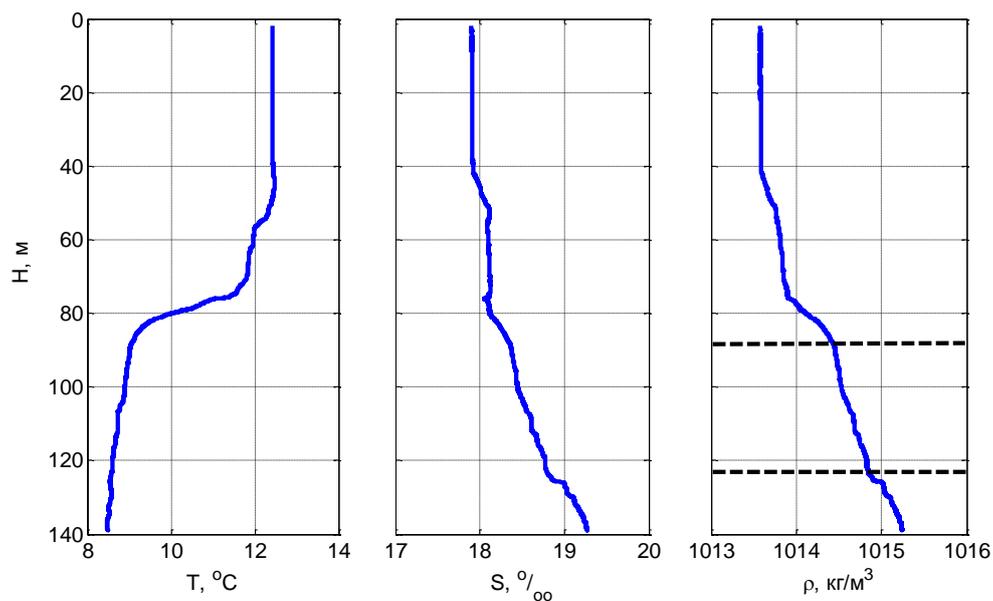


Рис. 4. Характерные профили распределения температуры, солёности и плотности. Горизонтальными линиями отмечен диапазон глубин с приблизительно постоянным градиентом плотности, в котором рассчитываются вертикальные спектры градиентов температуры и масштабы турбулентных пятен

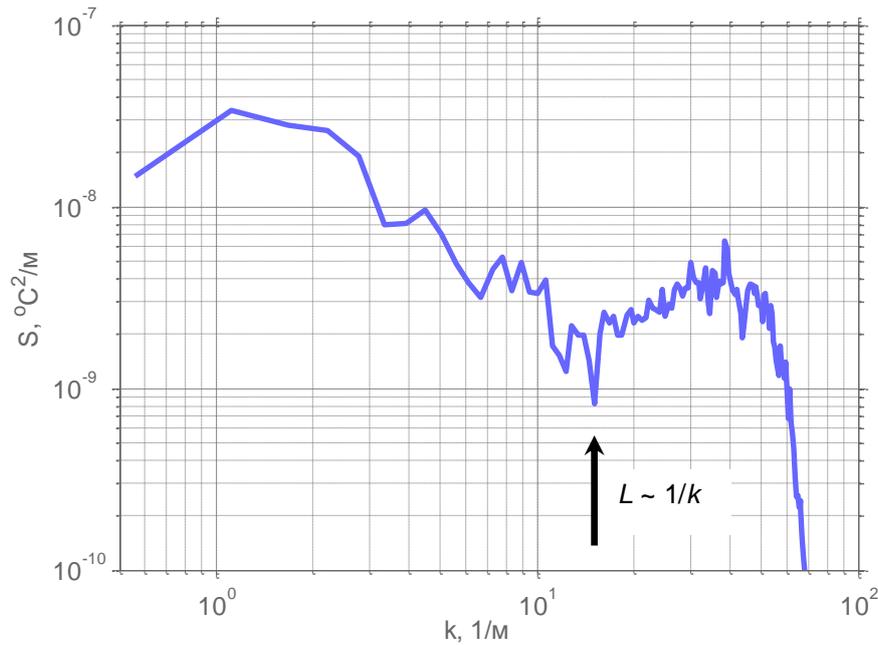


Рис. 5. Спектр пульсаций градиента температуры в диапазоне глубин 51 – 74 м по измерениям на ст. 26-2 (28 ноября 2014 г.). Минимум на спектре соответствует масштабу турбулентных пятен

Сравнение интенсивности обмена в весенний и осенний сезоны. По современным представлениям, ключевая роль в вертикальном перемешивании в стратифицированных слоях принадлежит внутренним волнам [11, 12]. Как уже отмечалось во введении, основным механизмом, ответственным за перемешивание и поддержание вертикальной турбулентной диффузии, является локальная неустойчивость и обрушения квазигоризонтальных сдвиговых течений, формируемых инерционно-гравитационными ВВ [2]. Именно указанный механизм вносит главный вклад в вертикальный турбулентный обмен. С учетом этого факта в работе [13] была построена полуэмпирическая модель зависимости скорости диссипации энергии ε и коэффициента вертикальной турбулентной диффузии K от локальной частоты плавучести N . Для оценки этих величин используется понятие характерного масштаба турбулентных пятен, который определяется из экспериментальных наблюдений. В основе метода определения масштаба пятна L в зависимости от частоты плавучести лежит энергетический подход к описанию турбулентного пятна согласно соотношению из работы [13]:

$$L \approx 2,3\varepsilon_s^{1/3} N^{-1}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_s = \varepsilon L$ – скорость диссипации энергии на единицу площади (ε – на единицу объема).

В результате анализа представительного массива данных зондирований в сезонном термоклине океана [13] была получена эмпирическая зависимость

$$L = DN^{-1} \text{ м}, \quad (2)$$

где размерность частоты плавучести $[N] = \text{цикл/ч}$; коэффициент пропорциональности $D \approx 1,4 \text{ м} \cdot \text{цикл/ч}$.

С использованием известного соотношения Осборна $K \cong 0,2\varepsilon N^{-2}$ [14] и с учетом (1) можно получить для ε и K следующие зависимости:

$$\varepsilon \approx 4,3 \cdot 10^{-10} D^2 N \text{ м}^2/\text{с}^3, \quad (3)$$

$$K = 4,8 \cdot 10^{-5} D^2 N^{-1} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (4)$$

На основании наших экспериментальных результатов [15 – 17] было установлено, что величина коэффициента D может меняться в зависимости от типа стратификации и условий распространения ВВ. В открытой части моря, в верхнем стратифицированном слое, его значение составляет примерно 1,4, тогда как в зоне сопряжения шельфа и континентального склона оно может возрастать до 4,2.

При практическом использовании такой модели зависимость $L(N)$ оценивалась экспериментально по массиву данных вертикальных зондирований, как это было описано выше. На рис. 6 представлены все имеющиеся эмпирические массивы расчетов $L(N)$ в исследуемом слое [15 – 17].

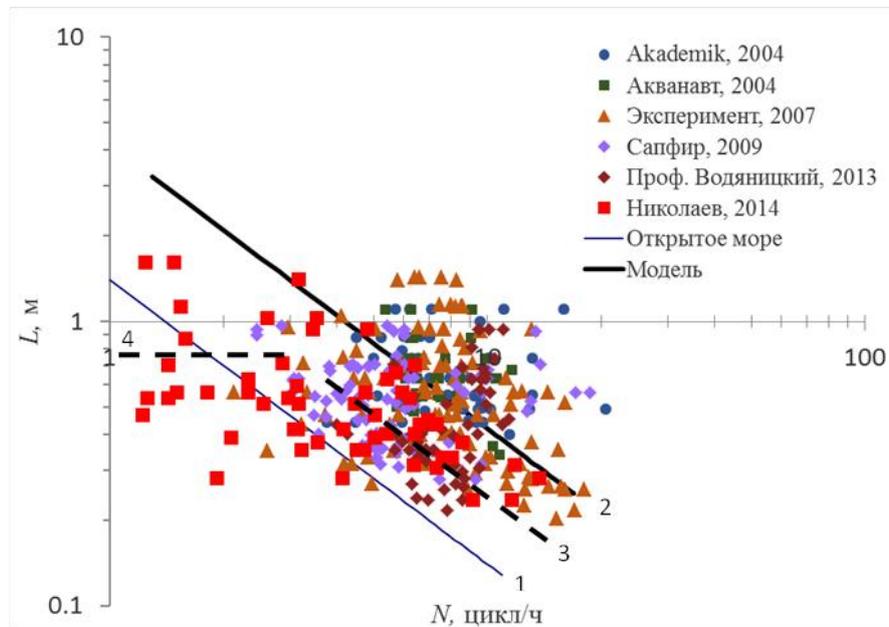


Рис. 6. Эмпирические массивы расчетов зависимости $L(N)$ по многолетнему массиву данных зондирований с использованием циклической частоты N . В верхнем правом углу первые шесть надписей – названия НИС и год проведения экспедиции. Значки – экспериментальные значения; прямая 1 – полуэмпирическая зависимость для открытой части моря по результатам работы [13]; 2 – зависимость для зоны сопряжения шельфа и континентального склона по результатам весенне-летних измерений 2004 – 2013 гг.; 3 – зависимость по данным измерений в ноябре 2014 г. для слоя с большими градиентами плотности; 4 – зависимость в ноябре 2014 г. для слоя с малыми градиентами плотности

Эти результаты получены по данным зондирований с использованием зонда «Сигма-1» в 2004 – 2014 гг. в зоне сопряжения шельфа и континентального склона Черного моря. Красными квадратными значками отмечены обсуждаемые здесь расчеты, выполненные на основе измерений в ноябре 2014 г.

Прямые линии на рис. 6 представляют собой эмпирические степенные аппроксимации зависимости $L(N)$: 1 – верхний стратифицированный слой открытых частей океана, описанный в работе [13], и аналогичный слой в Черном море из работ [13, 18]; 2, 3 и 4 – верхний стратифицированный слой Черного моря в зоне сопряжения шельфа и континентального склона.

Искомые зависимости 1 и 2 имеют вид $L \cong 1,4N^{-1}$ м и $L \cong 4,2N^{-1}$ м соответственно. При этом числовые множители в выражениях (3) и (4) для величин ε и K в диапазоне значений частоты плавучести 5 – 10 цикл/ч различаются почти на порядок величины.

В силу того что диапазон изменения N в верхнем слое рассматриваемых районов Черного моря относительно мал, а разброс данных $L(N)$ в нем достаточно большой, для определения степенной зависимости $L(N)$ использовалась рассчитанная в работе [8] средняя многолетняя степенная зависимость $N(z)$ для верхнего стратифицированного слоя Черного моря

$$N \propto 1/z, \quad (5)$$

где z – вертикальная координата.

Как видно из рис. 6, результаты измерений, выполненных поздней осенью, показали существенное отличие от результатов, полученных весной и летом. Причем если в диапазоне масштабов $N = 5 – 10$ цикл/ч различие носит лишь количественный характер, т. е. уровень ε и K оказался несколько ниже (прямые 2 и 3), то в низкочастотной области (линия 4) величина L практически перестает зависеть от N , т. е. указанная зависимость приближается к соотношению $L = \text{const}$. В «теплый» сезон диапазон значений $N < 5$ цикл/ч в верхнем стратифицированном слое весьма мал, что не позволяло нам оценить такие особенности ранее.

Зависимость коэффициента вертикальной турбулентной диффузии K от величины локального вертикального градиента плотности в верхнем стратифицированном слое в зоне сопряжения для «холодного» сезона можно приближенно выразить как

$$K \propto N \quad (6)$$

для низкоградиентного диапазона,

$$K \propto N^{-1} \quad (7)$$

для высокоградиентного диапазона.

Различия в характере зависимости коэффициента K от частоты плавучести N наблюдаются и в океане [9]. Объяснить полученный выше результат можно, основываясь на «спектральной» модели вертикальной турбулентной диффузии из работы [8], которая верифицирована на большом массиве разнообразных натурных измерений [9]. Модель обмена основана на оригиналь-

ной модели климатического спектра ВВ из работы [13] с учетом диссипации энергии за счет обрушений в поле волн. В модели рассматривается влияние величины градиента плотности на диапазон волновых чисел, в котором могут существовать ВВ с учетом их потерь на диссипацию.

Таким образом, имеют место различные зависимости K от стратификации для различной структуры слоев. Для верхнего стратифицированного слоя с более высокими градиентами N по глубине модельное соотношение имеет вид

$$K \propto N |\partial N / \partial z|^{-1}. \quad (8)$$

Учитывая среднюю многолетнюю зависимость N от глубины (5), получим выражение для K в верхнем стратифицированном слое:

$$K \propto N^{-1}. \quad (9)$$

Для нижнего стратифицированного слоя, с плавным изменением $N(z)$, реализуется следующая модельная зависимость:

$$K \propto N. \quad (10)$$

Нетрудно убедиться, что в зависимости от структуры локального вертикального градиента плотности анализ данных измерений по методике [13] и теоретическая модель [8] дают одни и те же результаты. Это справедливо при условии приложения моделей к одному району, где ключевым механизмом вертикальной диффузии служат обрушения в поле низкочастотных внутренних волн, а распределение частоты плавучести удовлетворяет выражению (5).

Наглядно иллюстрирует различие в параметрах стратификации рис. 7, где показано распределение условной плотности на разрезе, выполненном на ст. 26 – 30 (см. рис. 2). По аналогии с моделью [8] стратифицированный слой в исследуемом случае можно разделить на две части – верхнюю, слабо стратифицированную, и нижнюю, сравнительно сильно стратифицированную. Граница раздела между ними проходит приблизительно по изопикне 13,7. Следует сказать, что описываемая физика процессов перемешивания сохраняется и при наличии вдольберегового течения, например Основного Черноморского [15].

В данном случае слабоградиентный слой находится выше более сильно стратифицированного, в отличие от рассмотренной ситуации в модели [8], где он располагается ниже. Тем не менее именно условия стратификации, по видимому, играют главную роль в динамике распространения и обрушения внутренних волн. По мере уменьшения градиента плотности в осенне-зимний период динамика ВВ в верхнем слое Черного моря (точнее, в его поверхностной части (рис. 7)) переходит, при достижении определенного порогового состояния, в «режим основного пикноклина» по терминологии из работы [8].

Таким образом, верификация «спектральной» модели показала, что слабо стратифицированные слои, расположенные выше или ниже сильно стратифицированного слоя, обладают одинаковой локальной динамикой, определяющей перемешивание и вертикальный обмен ($K \propto N$), т. е. данный результат расширяет рамки применения «спектральной» модели [8].

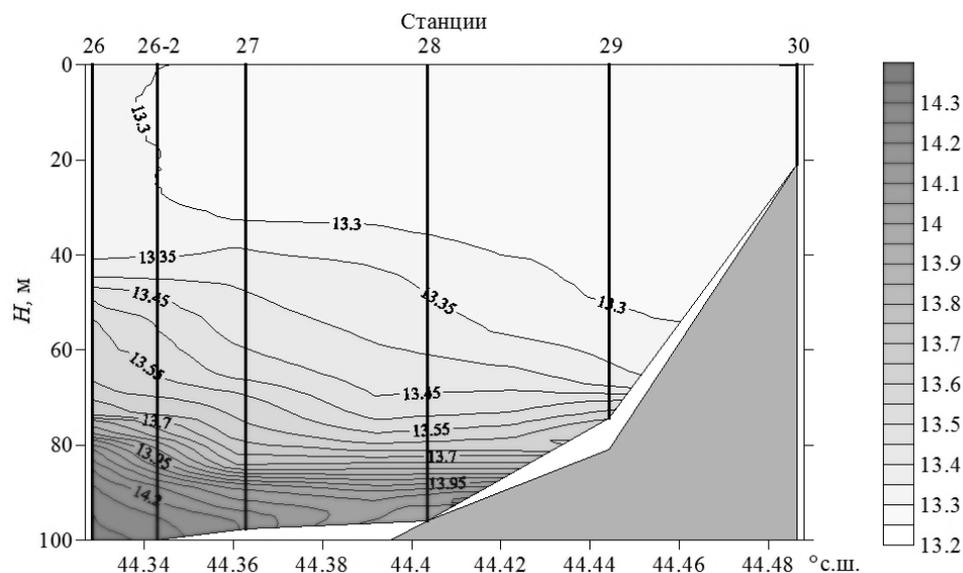


Рис. 7. Распределение условной плотности на разрезе поперек изобат (ст. 26 – 30)

Структурные особенности исследуемых характеристик в верхнем слабоградиентном слое. Пример расчета коэффициента вертикальной турбулентной диффузии на полигоне в диапазоне глубин 30 – 80 м приведен на рис. 8. Коэффициент в данном случае рассчитывался с использованием соотношения (10), поскольку в диапазоне глубин, в котором он определялся, характерный масштаб турбулентных пятен L практически не зависел от локальной частоты плавучести (рис. 6). В целом распределение K по горизонтальной плоскости отражает совместное влияние гидрологической структуры и морфологии дна. Важная особенность зоны сопряжения шельфа и континентального склона в Черном море – наличие полосы резкого перепада глубин, где интенсивность образования турбулентных пятен возрастает [15, 16], что приводит к заметному увеличению коэффициента диффузии и скорости диссипации энергии. На примере рис. 8 этот эффект (темная область, характеризующаяся повышенными значениями коэффициента диффузии) наблюдается в промежутке между шельфовой зоной и открытым морем, хотя и не вполне соответствует зоне резкого перепада глубин.

Отдельное внимание следует обратить на обнаруженную в процессе измерений область аномалий температуры и солености вблизи м. Херсонес (в районе ст. 10 на рис. 2). Наличие этого образования на горизонтах от поверхности до приблизительно 80 м, по всей видимости, связано с мощным выбросом здесь сточных вод, имеющих более низкую температуру и соленость. На

рис. 9 показано распределение температуры в этом районе на горизонте 30 м, где пятно выбросов имеет вид интрузии, распространяющейся от прибрежной области в море. Вероятность такой формы подобных пятен подтверждает рис. 10, на котором показано распределение потенциальной температуры на разрезе, пересекающем зарегистрированную структуру. В сравнительно теплую массу воды, расположенную в центре разреза, проникают более холодные интрузии со стороны берега. При этом область жидкости, сформированная под влиянием распресненной холодной воды от выброса, разделяется на верхний плюм с мелкими интрузиями и отдельную нижнюю интрузию, или «классический» плюм, стекающий по склону (в правом нижнем углу рис. 10, горизонт 80 м). Такие ситуации необходимо учитывать при оценке интенсивности механизмов обмена в зонах сопряжения шельфа и континентального склона.

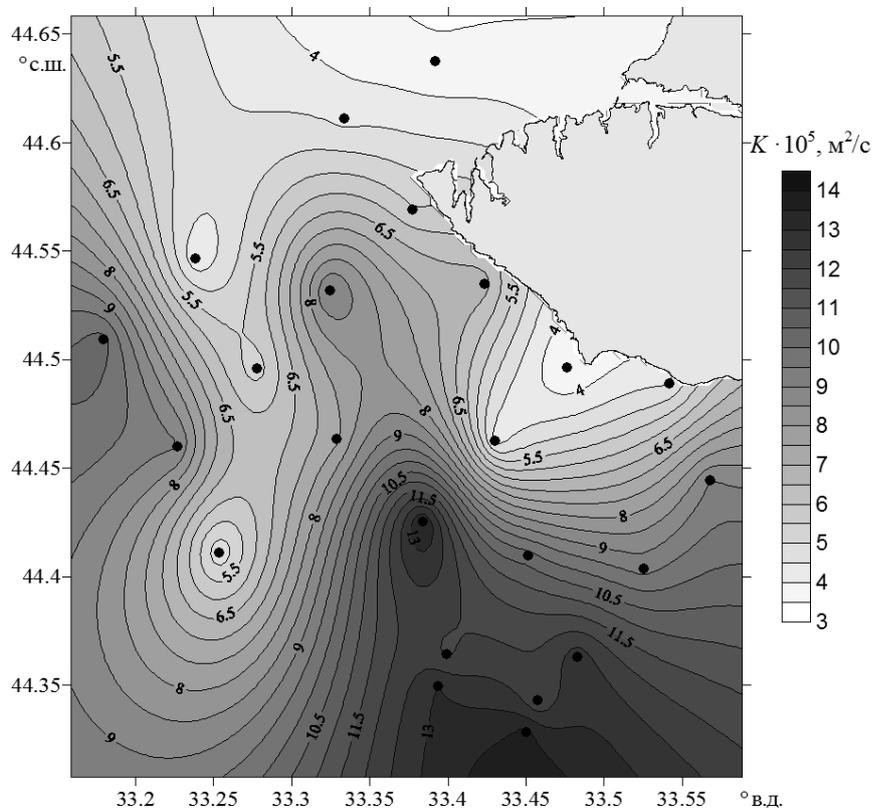


Рис. 8. Пространственное распределение коэффициента вертикальной турбулентной диффузии в верхнем стратифицированном слое по результатам измерений 27 – 28 ноября 2014 г. (точками отмечены станции)

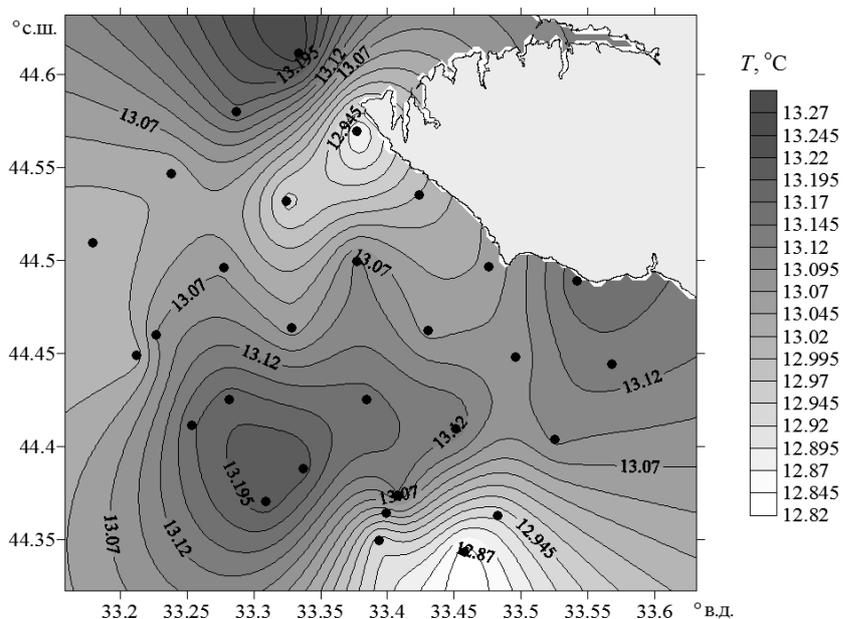


Рис. 9. Распределение температуры на горизонте 30 м по результатам измерений 27 – 28 ноября 2014 г.

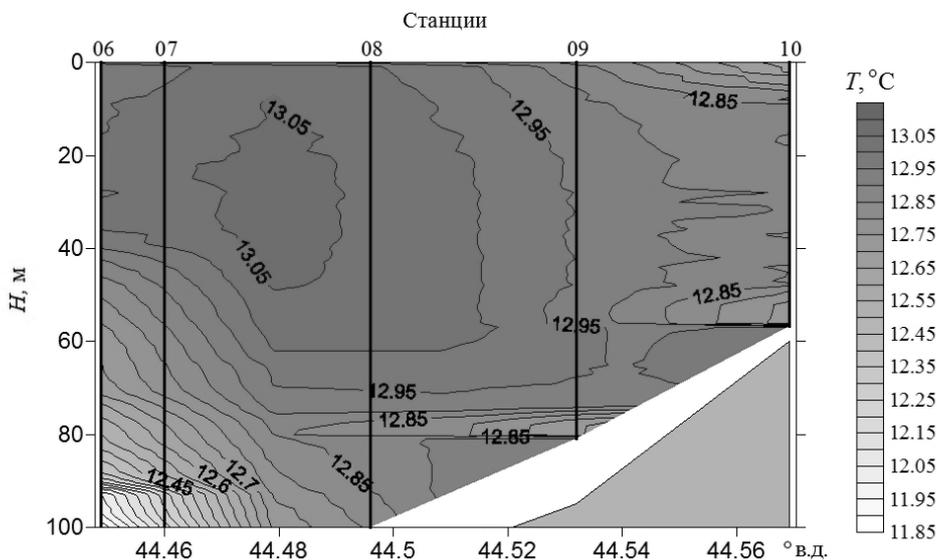


Рис. 10. Распределение потенциальной температуры на разрезе (ст. 6 – 10, см. рис. 2)

Выводы. Проведенные исследования показали наличие особенностей режима вертикального обмена в прибрежной зоне Гераклейского п-ова, которые, в первую очередь, обусловлены гидрологической структурой, формирующейся в соответствии с сезоном, а также топографией дна. Модельные зависимости коэффициента вертикальной турбулентной диффузии от частоты плавучести (9) и (10) удовлетворительно описывают полученные экспери-

ментальные значения в слоях с высокими и низкими градиентами плотности соответственно.

Исследования проведены в Морском гидрофизическом институте РАН при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0110), а также при финансовой поддержке РФФИ, проект «Юг России» №14-45-01545.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совга Е.Е., Пасынков А.А., Андреева О.А.* Экологическое состояние прибрежно-морских районов Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2011. – Вып. 25. – Т. 1. – С. 169 – 180.
2. *Wunsch C., Ferrari R.* Vertical mixing, energy, and the general circulation of the ocean // *Ann. Rev. Fluid Mech.* – 2004. – 36. – P. 281 – 314.
3. *McComas C.H., Muller P.* The dynamic balance of internal waves // *J. Phys. Oceanogr.* – 1981. – 11, № 7. – P. 970 – 986.
4. *Henye F.S., Wright J., Flate S.M.* Energy and action flow through the internal wave field: An eikonal approach // *J. Geophys. Res.* – 1986. – 91. – P. 8487 – 8495.
5. *Winters K.B., D'Asaro E.A.* Direct simulation of internal wave energy transfer // *J. Phys. Oceanogr.* – 1997. – 27, № 9. – P. 1937 – 1945.
6. *Gargett A.E., Holloway G.* Dissipation and diffusion by internal wave breaking // *J. Mar. Res.* – 1984. – 42, № 1. – P. 15 – 27.
7. *Gregg M.C.* Scaling turbulent dissipation in the thermocline // *J. Geophys. Res.* – 1989. – 94, № 7. – P. 9686 – 9698.
8. *Самодуров А.С., Глобина Л.В.* Диссипация энергии и вертикальный обмен в стратифицированных бассейнах за счет сдвиговой неустойчивости в поле квазиинерционных внутренних волн // *Морской гидрофизический журнал.* – 2011. – № 6. – С. 16 – 27.
9. *Самодуров А.С., Глобина Л.В.* Зависимость скорости диссипации турбулентной энергии и вертикального обмена от стратификации по обобщенным экспериментальным данным (сравнение с существующими моделями) // Там же. – 2012. – № 6. – С. 17 – 34.
10. *Самодуров А.С., Дыкман В.З., Барабаш В.А. и др.* Измерительный комплекс «Сигма-1» для исследования мелкомасштабных характеристик гидрофизических полей в верхнем слое моря // Там же. – 2005. – № 5. – С. 60 – 71.
11. *Океанология. Физика океана / Отв. ред. В.М. Каменкович, А.С. Монин.* – М.: Наука, 1978. – Т. 2. Гидродинамика океана. – 455 с.
12. *Hebert D., Moum J.N., Paulson C.A. et al.* Turbulence and internal waves at the equator. II. Details of a single event // *J. Phys. Oceanogr.* – 1992. – 22, № 11. – P. 1346 – 1356.
13. *Самодуров А.С., Любичкий А.А., Пантелеев Н.А.* Вклад опрокидывающихся внутренних волн в структурообразование, диссипацию энергии и вертикальную диффузию в океане // *Морской гидрофизический журнал.* – 1994. – № 3. – С. 14 – 27.
14. *Osborn T.R.* Estimations of local rate of vertical diffusion from dissipation measurements // *J. Phys. Oceanogr.* – 1980. – 10, № 1. – P. 83 – 89.
15. *Самодуров А.С., Чухарев А.М., Носова А.В., Глобина Л.В.* Интенсификация внутренних волн в зоне сопряжения шельфа и континентального склона как фактор интенсификации вертикального обмена // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* – 2013. – 6, № 2. – С. 12 – 24.
16. *Самодуров А.С., Чухарев А.М.* Экспериментальная оценка коэффициента вертикального турбулентного обмена в стратифицированном слое Черного моря в окрестности свала глубин // *Морской гидрофизический журнал.* – 2008. – № 6. – С. 14 – 24.

17. Самодуров А.С., Чухарев А.М., Кульша О.Е. Режимы вертикального турбулентного обмена в верхнем стратифицированном слое Черного моря в районе Гераклейского полуострова // Процессы в геосредах. – 2015. – № 3. – С. 63 – 69.
18. Ivanov L.I., Samodurov A.S. The role of lateral fluxes in ventilation of the Black Sea // J. Mar. Syst. – 2001. – 31, № 1 – 3. – P. 159 – 174.

Structure-formation and vertical turbulent exchange in the coastal area of the Sevastopol region

A.S. Samodurov, A.M. Chukharev, A.G. Zubov, O.I. Pavlenko

*Marine Hydrophysical Institut, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
e-mail: anamol_samodurov@mail.ru, alexchukh@mail.ru*

Field data on distribution of hydrophysical parameters' fluctuations in the sea upper layer around the Herakleian Peninsula (Crimea) are collected using a high-resolution probe-turbulimeter "Sigma-1". Analysis of these data by the previously developed method constitutes a basis for evaluating the scales of turbulent patches in the stratified layer, calculating the coefficients of vertical turbulent exchange and the values of the turbulent energy dissipation rate in the region under study. It is shown that spatial distribution of diffusion coefficients reflects the vertical exchange features conditioned by the hydrological structure and the bottom morphology. Comparison of the results with the previously proposed "spectral" model of exchange shows its good agreement with the field measurements.

Keywords: probe-turbulimeter, microstructure, internal waves, shear instability, turbulent diffusion, energy dissipation, exchange models.