



Пространственная структура апвеллинга наряду с рельефом дна связана со скоростью возникающих вследствие специфического воздействия ветра придонных течений и стратификации. Различным сценариям апвеллинга соответствуют числа Фруда, равные примерно 1,2; 0,6 и 0,1.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №07-05-00833, 06-05-65295 и №06-05-64138.

Авторы благодарят администрацию фирмы «ЛУКОЙЛ Калининграднефтегаз» за предоставленные для анализа данные экспериментальных наблюдений.

Список литературы

1. Андросов А. А., Вольцингер Н. Е. Проливы мирового океана. Общий подход к моделированию. СПб.: Наука, 2005.
2. Власенко В. И., Иванов В. А., Стацук Н. М. Генерация квазиинерционных колебаний при апвеллинге у южного берега Крыма // *Океанология*. 1996. Т. 36, №1. С. 43–51.
3. Журбас В. М. [и др.]. Мезомасштабная изменчивость апвеллинга в Юго-Восточной Балтике: ИК-изображения и численное моделирование // *Океанология*. 2004. Т. 44, №5. С. 660–669.
4. Blumberg A. F., Mellor G. L. A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model. Washington, DC: American Geophysical Union, 1987. P. 16.
5. Jankowski A. Application of a σ -coordinate baroclinic model to the Baltic Sea // *Oceanologia*. 2002. V. 44, №1. P. 59–80.

Об авторе

М. Н. Голенко – мл. науч. сотр., Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, golenko@ioran.baltnet.ru

УДК 551.463.6

В. М. Василенко, Е. А. Кожевникова

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПО ВЕРТИКАЛИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Приводится пример оценки коэффициента теплопроводности по вертикали по данным натурных наблюдений в прибрежных водах Самбийского полуострова. Проведен учет объемного поглощения солнечной радиации.

The article provides the example of an evaluation of thermal conductivity in vertical direction under the data of field observations in the coastal waters of Sambia peninsula is considered. The calculation of volume absorption of solar radiation is made.

Ключевые слова: прибрежные воды, натурные наблюдения, оценка коэффициента теплопроводности.



Знание коэффициентов турбулентного обмена тепла в море играет важную роль в ряде практических и теоретических задач. Достаточно сказать, что вопросы прогноза погоды могут быть решены с достаточной точностью только при правильном учете взаимодействия и распределения между морем и атмосферой тепла, поступающего от Солнца. А это распределение существенно зависит от коэффициентов турбулентного обмена: чем больше коэффициент вертикального турбулентного обмена (теплопроводности), тем быстрее и на большую глубину происходит распространение температурных колебаний в слоях морской воды.

В данной статье приводится пример оценки коэффициента теплопроводности по данным натуральных наблюдений, проведенных летом 2006 г. в прибрежных водах Калининградской области. Эти измерения были выполнены сотрудниками кафедры географии океана РГУ им. И. Канта в рамках экспериментального изучения фронтальных зон и термохалинной структуры вод вдоль северо-западной оконечности Самбийского полуострова. Измерения параметров термохалинной структуры проводились с борта яхты «Аквариус» с помощью зонда STD 90M фирмы «SEA&SUN Technology» (Германия).

Четвертого июля 2006 г. измерения проводились с 10 до 13 ч, практически в одной точке в штилевую погоду. Глубина моря в точке измерения составляла 25 м. Было выполнено 6 зондирований с интервалом между ними около 30 мин.

Типичное распределение температуры и солёности по вертикали приведено на рисунке 1.

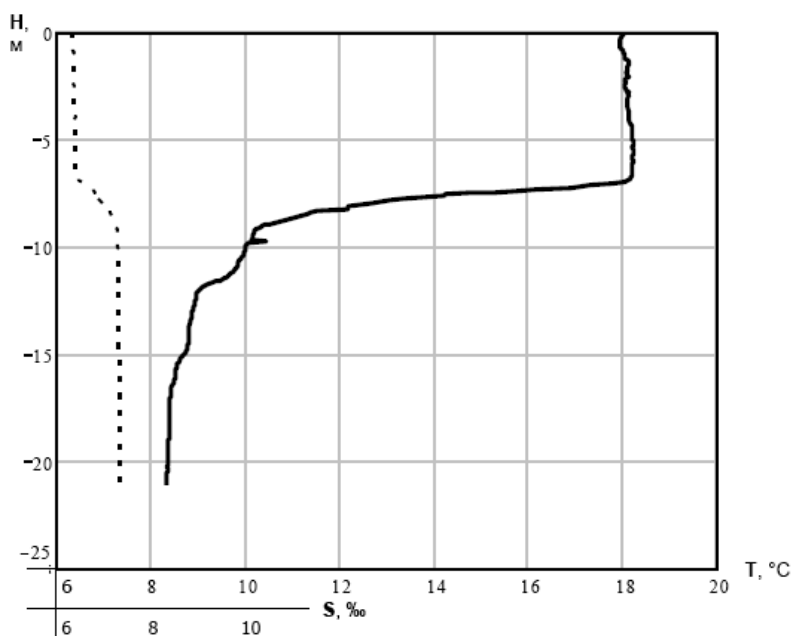


Рис. 1. Типичное распределение температуры и солёности по вертикали для района работ
 (- - - распределение солёности, — распределение температуры)



Видно, что и поле солёности, и поле температуры по вертикали имеют двухслойную структуру (с узким переходным слоем), характерную в целом для Балтийского моря [1]. Последовательность вертикальных зондирований поля температуры в период с 10 до 13 ч в штилевую погоду приведена на рисунке 2.

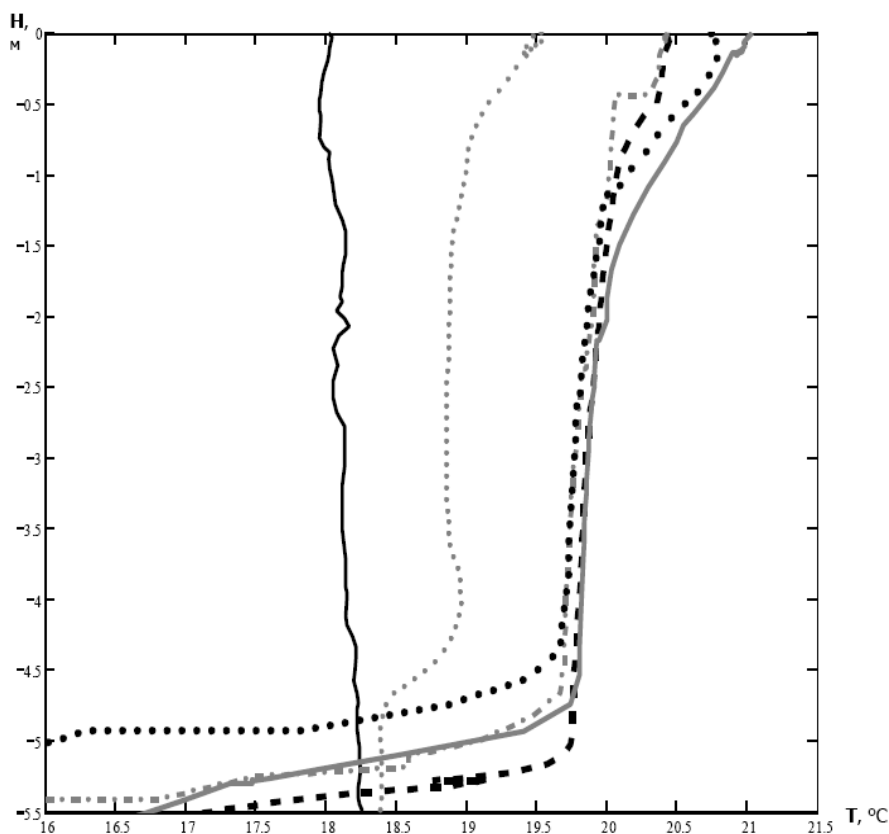


Рис. 2. Последовательность вертикальных зондирований поля температуры (— зондирование №26, ··· зондирование №27, ···· зондирование №28, - - - зондирование №29, ●●● зондирование №30, — зондирование №31)

На температурных профилях заметно, что из-за ослабления ветра в пределах изотермического слоя у поверхности океана образуется новый однородный слой меньшей толщины, который постепенно начинает заглубляться (распространяется так называемая «тепловая волна»).

Запишем теперь уравнение теплопроводности в следующем виде:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + K_l \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

где T — температура воды, t — время, u, v — скорости горизонтальных течений, K_z, K_l — соответственно коэффициенты вертикальной и горизонтальной теплопроводности.



Так как наши измерения проходили в штилевую погоду, то горизонтальная адвекция была мала и не учитывалась. Тогда уравнение (1) сводится к следующему:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (2)$$

Проинтегрируем теперь это уравнение для вертикального столба моря, простирающегося от поверхности раздела с атмосферой z_0 до дна z_h . Тогда получим:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = K_z \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (3)$$

здесь S – теплосодержание вертикального столба воды, определяемое как:

$$S = \int_{z_h}^{z_0} c\rho T dz,$$

где c – удельная теплоемкость воды, ρ – плотность воды.

Таким образом, вычисляя S для разных зондирований и зная временной интервал между ними ($\frac{\partial T}{\partial z}$ определялось по методу линейной регрессии), можно вычислить коэффициент вертикальной теплопроводности. Отметим, что фактически вычисления проводились нами в слое от поверхности моря до глубины термоклина (так как глубже ничего не меняется).

Вычисленные таким образом оценки K_z находятся в диапазоне от 2 до 7,5 см²/с, что достаточно хорошо согласуется с данными других авторов [2], в том числе для Балтийского моря [3].

В то же время следует отметить, что формула (3) относится к случаю, когда не учитывается объемное поглощение солнечной радиации и принимается, что проникновение тепла происходит только за счет вертикального перемешивания. Благодаря этому оценка коэффициента вертикальной теплопроводности получается завышенной.

При учете радиационного переноса ситуация меняется следующим образом: поступающая на поверхность моря радиация частично отражается, а остальная доля проникает вглубь, рассеиваясь там и поглощаясь. Отражательная способность – альbedo α – для наших условий находится в пределах от 0,02 до 0,06. Из экспериментальных данных известно, что основная доля радиации поглощается в поверхностном слое океана. Так, 20 % радиации, проникающей в море, поглощается слоем толщиной в 1 см, 5-сантиметровый слой поглощает уже 40 % радиации, 10-сантиметровый – 50 % радиации.

Для учета объемного поглощения радиации в море наиболее употребительна формула Богуславского:

$$\frac{1-\alpha}{c\rho} Q_0 \int_{z_0}^{z_h} \exp(-\beta z) dz,$$

здесь α – альbedo поверхности, Q_0 – поступление солнечной радиации на поверхность моря, β – показатель ослабления «света», который говорит, во сколько раз уменьшается поток, проходя слой воды в 1 м.



Для вычислений мы использовали средние значения для наших широт: $a = 0,04$; $Q_0 = 295$ кал/см² в сутки, $\beta = 30$ м⁻¹ [2; 4], так как прямые измерения не проводились.

Таким образом, с учетом объемного поглощения радиации формула для оценки вертикального коэффициента теплопроводности будет следующей:

$$K_z = \frac{\int_{z_0}^{z_h} \frac{\partial S}{\partial t} dz - \frac{1-\alpha}{c\rho} Q_0 \int_{z_0}^{z_h} \exp(-\beta z) dz}{\frac{\partial T}{\partial z}}. \quad (4)$$

46

Проведенные нами расчеты по формуле (4) показали, что учет объемного поглощения солнечной радиации уменьшает показатели вертикальной температуропроводности не более чем на 15–20 % для условий Балтийского моря.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №06-05-64138, 07-05-00850.

Список литературы

1. Добровольский А.Д., Залогин Г.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982.
2. Доронин Ю.П. Взаимодействие атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
3. Калацкий В.И. Моделирование вертикальной термической структуры деятельного слоя океана. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
4. *Океанология*. Гидрофизика океана. Т. 1 / под ред. А.С. Моница. М.: Наука, 1978.

Об авторах

В.М. Василенко — канд. физ.-мат. наук, доц., РГУ им. И. Канта, ocean@albertina.ru.

Е.А. Кожевникова — асп., РГУ им. И. Канта, catrinwhite@gmail.com.