

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ
ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ
ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФфуЗИИ**

А.В. Багаев, С.Г. Демышев

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь ул. Капитанская, 2
E-mail: otw@alpha.mhi.iuf.net

На основе трехмерной гидродинамической модели исследуется влияние двух типов параметризации турбулентной диффузии в рамках подхода Филандера – Покановского на результаты численного эксперимента по построению климатических полей Черного моря. В первом эксперименте коэффициент турбулентной диффузии соли отличался от аналогичного коэффициента для температуры, во втором они совпадали. Проведено сопоставление результатов двух расчетов.

Введение. Для адекватного воспроизведения термодинамики Черного моря необходимо правильно аппроксимировать процессы перемешивания в верхнем слое моря. Известны различные подходы для решения этой проблемы [1, 2]. В работах [3, 4] было показано, что приближение Филандера-Покановского может успешно применяться для моделирования климатических полей Черного моря.

Настоящая работа является продолжением этих исследований. Проведено два расчета климатической циркуляции Черного моря с различными значениями коэффициентов турбулентной диффузии тепла и соли.

Результаты расчетов. Подробно уравнения модели, параметры задачи и метод решения приведены в [5]. Здесь укажем те особенности, при которых были проведены два эксперимента.

Для описания верхнего перемешанного слоя использовалось приближение Филандера-Покановского [1, 4]. В этом случае коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии по вертикали имеют вид

$$\nu = \nu_0(1 + Ri)^{-2} + \nu_1^V,$$

$$\kappa^S = [(\nu_0(1 + Ri)^{-2} + \nu_1)](1 + Ri)^{-1} + \kappa_1^S,$$

$$\kappa^T = [(\nu_0(1 + Ri)^{-2} + \nu_1)](1 + Ri)^{-1} + \kappa_1^T,$$

где

$$Ri = (g / \rho_0) \partial \rho / \partial z [(\partial u / \partial z)^2 + (\partial v / \partial z)^2]$$

– число Ричардсона и в классическом варианте κ_1^S, κ_1^T – постоянные.

В работах по моделированию климатической циркуляции Черного моря [3, 4] было показано, что при разрешении 14,8 км по горизонтали лучшее соответствие между модельным климатом и данными наблюдений [6] достигается при различных коэффициентах вертикальной турбулентной диффузии тепла и соли. В работе [5] построены климатические поля с разрешением по горизонтали (5×5 км) и на основе серии расчетов получены значения $\nu_0, \nu_1, \nu_1^V, \kappa_1^S, \kappa_1^T$.

Отличия двух вариантов расчетов, результаты которых представлены в настоящей работе, следующие. В первом эксперименте κ_1^S зависел от z [5], во втором от z и t . Таким образом, во втором варианте $\kappa^T = \kappa^S$.

Сопоставление результатов двух расчетов показало, что отличия в среднем значении уровня и кинетической энергии составляют примерно 0,1 %.

Наибольшая невязка между значениями уровня в двух экспериментах наблюдалась (до 1,5 см) на свале глубин в районе северо-западного шельфа в весенний период, как показано на рисунке 1. По всей видимости, причина таких отличий связана с увеличивающимся поступлением воды в это время года и интенсивным формированием Севастопольского антициклона. Область свала глубин является наиболее чувствительной к процессу перемешивания вод и, следовательно, к используемой параметризации коэффициентов турбулентной диффузии по вертикали.

Рассмотрим полученные невязки в поле солёности. Наибольшие расхождения располагаются в слое 40–80 м. (см. рис. 1) и составляли порядка 0,5 ‰. Они были зафиксированы лишь в небольшой области близ западного берега моря на глубинах 0–40 м. В слое 40–80 м. в весенний период характерными значениями невязки были 0,25 ‰. Большую же часть времени расхождения не превышали 0,1 ‰.

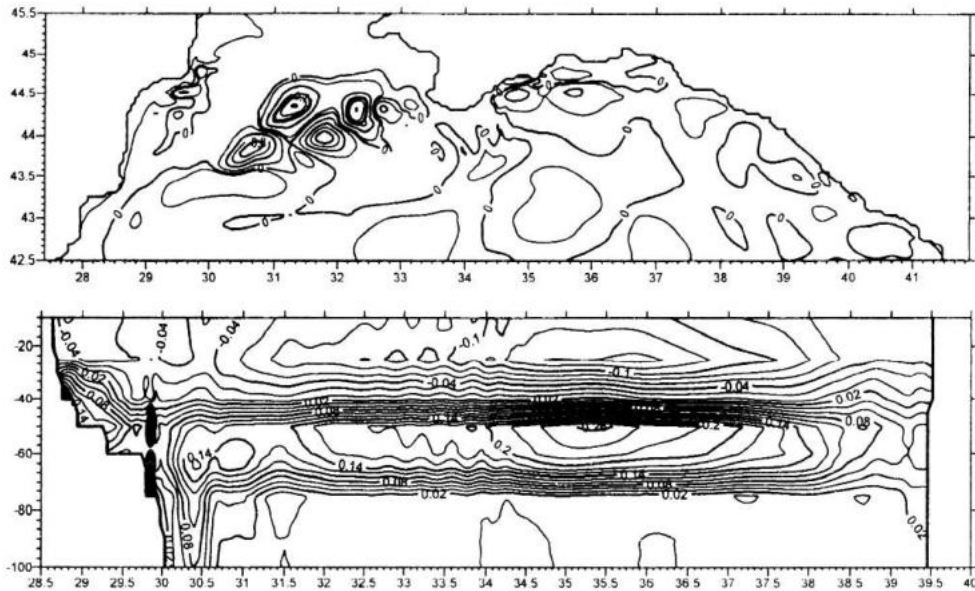


Рисунок 1 – Невязка в поле уровня и сечении поля солёности (сечение проведено через середину бассейна, т.е. около 44° С.Ш., в широтном направлении) на 25 марта для экспериментов с различной параметризацией коэффициента вертикальной турбулентной диффузии соли

Сопоставление ассимилируемого и рассчитанного поля солёности показало следующее. С конца марта на глубинах 0–40 м. вдоль западного берега наблюдается область максимальной невязки (доходящая для эксперимента [5] до 1,1 ‰, для нашего эксперимента – до 0,9 ‰, что видно на рисунке 2), вызванная горизонтальным распространением пресного речного стока. Однако, в отличие от эксперимента [5], в нашем расчете она занимает меньший объ-

ем и существует меньшее время (уже к 25 июня не превышает 0,5 ‰, а в эксперименте [5] лишь к августу невязка снижается до этого уровня, как показано на рисунке 3). В остальной области отклонения имеют характерные значения 0,2 ‰. Особенностью также является разница в знаке невязки между полем климатической и ассимилируемой солёности для двух разных способов параметризации коэффициента вертикальной диффузии соли.

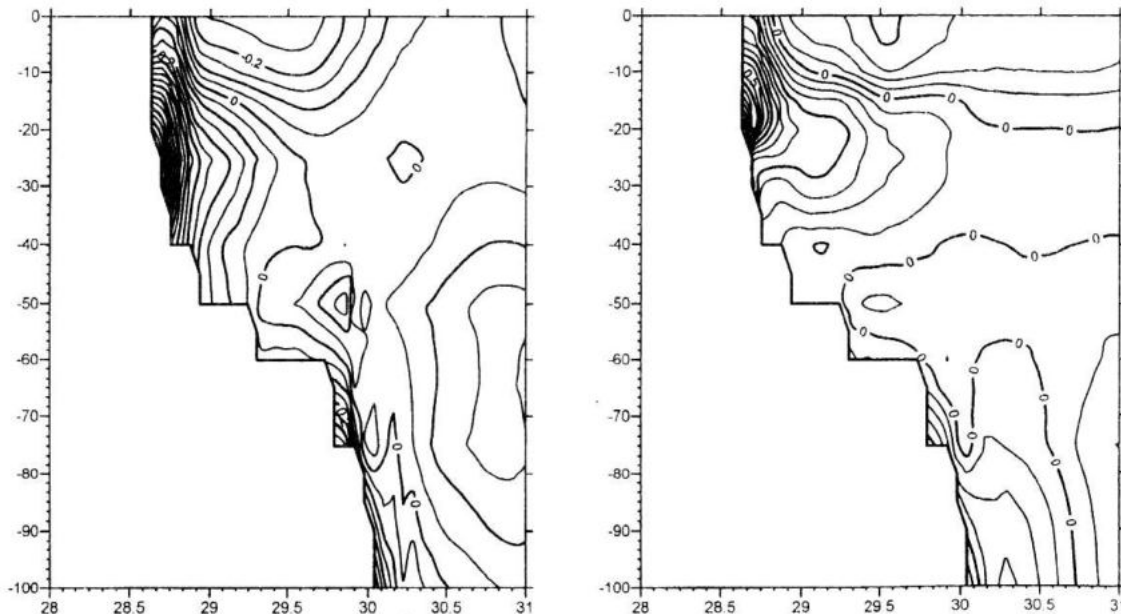


Рисунок 2 – Невязка в сечении поля солёности на 25 марта между данными наблюдений за климатом и результатами численных экспериментов. Для эксперимента [5] – слева, для данной работы – справа

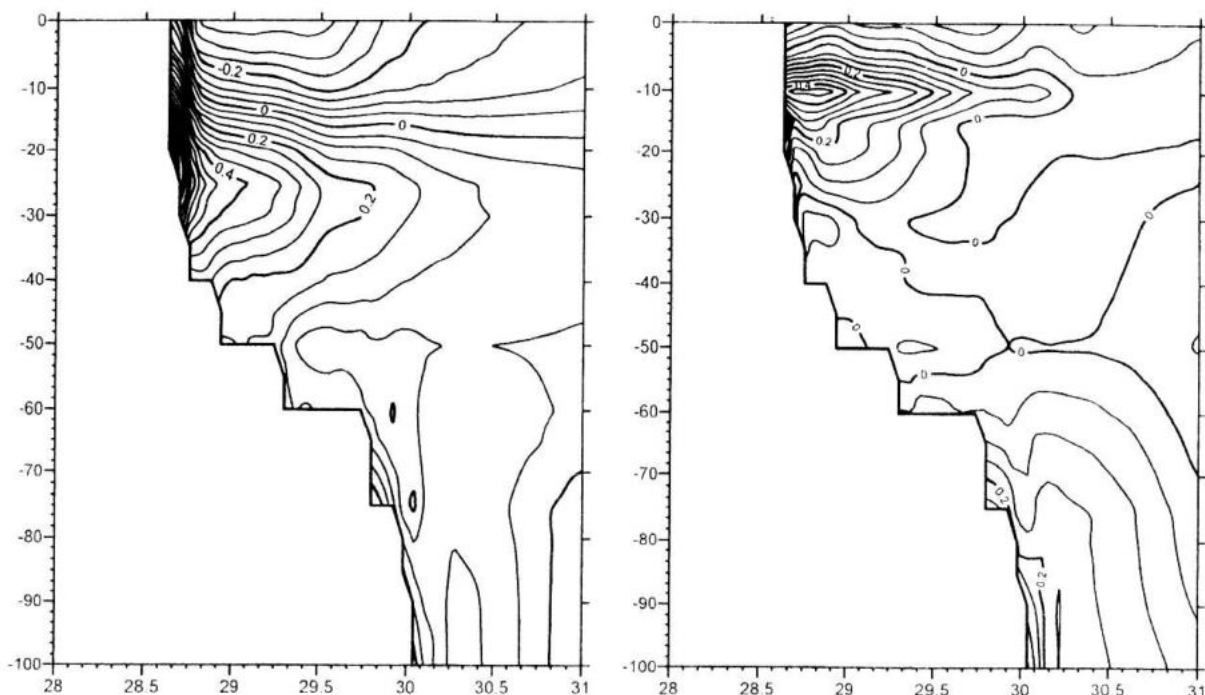


Рисунок 3 – Невязка в сечении поля солёности на 25 июня между данными наблюдений за климатом и результатами численных экспериментов. Для эксперимента [5] – слева, для данной работы – справа

Заключение. Существенное расхождение между результатами в эксперименте [5] и проведенном расчете было отмечено в поле уровня. Весной, с середины марта до середины апреля, на склоне глубин по краю северо-западного шельфа отмечается невязка до 1,5 см. Отличие обусловлено расхождениями в модельных полях солёности на глубине 20–60 м. Наибольшие значения невязки для поля солёности приходятся на весенний период, когда поступление речной воды в бассейн Черного моря максимально.

Сопоставление модельного климата с архивной информацией в весенне-летний период показывает, что в выполненном эксперименте по сравнению с предыдущим [5] получено лучшее соответствие для поля солёности в западной части моря на береговом склоне.

Литература

1. Pacanowski R.C., Philander S.G.H. Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans. *J. Physical Oceanography*. – 1981. – 11. – P. 1443–1451.
2. Mellor G.L., Yamada T. Development of a turbulence close model for geophysical

fluid problems // *Rev. Geophys. Space Phys.* – 1982. – 20. – P. 851 – 875.

3. Демьшев С.Г., Кныш В.В., Коротаев Г.К. Моделирование сезонной изменчивости температурного режима верхнего деятельного слоя Черного моря. – *Известия РАН ФАО*. – 2004. – т. 40, № 2. – С. 259–270.

4. Демьшев С.Г., Кныш В.В., Саркисян А.П. Некоторые особенности климатической циркуляции и формирования холодного промежуточного слоя Черного моря. *Известия РАН ФАО*. – 2004, т. 40, № 5. – С. 636–650.

5. Демьшев С.Г., Иванов В.А., Маркова П.В., Черкесов Л.В. Построение поля течений в Черном море на основе вихререшающей модели с ассимиляцией климатических полей температуры и солёности // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2007. – вып. 15. – С. 215–226.

6. Белокопытов В.Н. Термохалинная и гидролого-акустическая структура вод Черного моря. Дисс. канд. геогр. наук Севастополь, МГИ НАН Украины 2004. 160 с.