

УДК 519.632.4

Вариационная ассимиляция данных наблюдений в задаче о распространении тепла и солености в акватории с «жидкими» границами

Т.О. Шелопут<sup>1</sup>, В.И. Агошков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Институт вычислительной математики Российской академии наук

В гидродинамике известна проблема моделирования акваторий с «жидкими» границами. «Жидкой» (или открытой) называется та часть границы, на которой нарушается условие непротекания. Такой является, например, граница между морем и его заливом, южные границы Индийского океана и т.д. Существуют различные способы учета «жидких» границ в моделях. Например, можно использовать приближение «материальной» границы [1] (граница считается подвижной, но накладывается условие непротекания). Но данное приближение обладает рядом неудобств, его возможно использовать только в случае, если, например, воды рассматриваемых акваторий смешиваются слабо и рассматриваемый интервал времени невелик. Более того, граница в данном случае является дополнительным неизвестным, что затрудняет теоретическое исследование и использование стандартных вычислительных алгоритмов. Можно также использовать результаты моделирования более крупных акваторий на грубой сетке и подставить их в качестве граничной функции. Можно подставлять некоторые осредненные данные о потоках через «жидкую» границу. Ясно, что все рассмотренные методы вносят дополнительные ошибки в решение (как показано, например, в работе [2])

Тем не менее, задача уточнения гидрофизических полей (в том числе полей температуры и солености) является на настоящий момент актуальной. Известно, что эффективность использования подводных сил зависит от знания ГФП (гидрофизических полей) в некоторой ограниченной области. На данный момент необходимо решать задачу точного расчета ГФП для окраинных морей России [3].

Целью данной работы является исследование возможности использования ассимиляции данных наблюдений для уточнения получаемых при моделировании акваторий с «жидкими» границами полей температуры и солености. Для этого была сформулирована и исследована двумерная задача о восстановлении полей температуры и солености и неизвестной граничной функции. Была получена разрешимость задачи и условия, необходимые для однозначной и плотной разрешимости. Согласно методике, изложенной в [4] и [5], был предложен итерационный алгоритм, который был численно реализован применительно к акватории Балтийского моря.

Численный эксперимент был проведен на тестовых функциях. По его результатам была получена относительная ошибка решения порядка  $10^{-4}$ , причем данный результат может быть улучшен за счет уменьшения ошибки решения прямой и сопряженной задач. В дальнейшем планируется проведение и других экспериментов, а также исследование трехмерной задачи.

#### Литература

1. *Гилл А.* Динамика атмосферы и океана: В 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. - М.: Мир, 1986
2. *Чернов И.А., Толстиков А.В.* Численное моделирование крупномасштабной динамики Белого моря // Институт прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН. – 2014. - № 4
3. *Родионов А.А., Семенов Е.В., Зимин А.В.* Развитие системы мониторинга и прогноза гидрофизических полей морской среды в интересах обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* – 2012. – Т. 5, № 2
4. *Агошков В.И.* Методы оптимального управления и сопряженных уравнений в задачах математической физики. – М.: ИВМ РАН, 2003
5. *Марчук Г.И.* Сопряженные уравнения. – М.: ИВМ РАН, 2000