

Секция «Математика и механика»

Влияние радиационного и турбулентного потоков тепла на математическое моделирование байкальского термобара

Цыденов Баир Олегович

Аспирант

Томский государственный университет, Механико-математический факультет,
Томск, Россия

E-mail: ba1r@sibmail.com

Теплообмен между озером и атмосферой происходит посредством радиационного и турбулентного потоков тепла. Эти потоки играют важную роль на формирование термобара в весенне-летний период. *Термобар* – узкая вертикальная зона в водоемах умеренных широт, которая разделяет водоем на области с разными характеристиками воды. Актуальность изучения явления термобара в озере Байкал подробно изложена в ранее проведенных исследованиях [2],[3].

Модель, представленная в данной работе, использует гипотезу о квазидвухмерности, при этом учитывается влияние силы Кориолиса, связанной с вращением Земли. Рассматривается взятый из работы [4] прибрежный профиль озера, отражающий реальный береговой рельеф южного бассейна озера Байкал. Протяженность расчетной области ($Lx = 10$ км) намного больше глубины, а глубина ($H = 900$ м) примерно соответствует средним глубинам южного бассейна Байкала. В качестве уравнения состояния используется уравнение, связывающее плотность воды с температурой, давлением и соленостью. На свободной поверхности ставятся граничные условия с учетом воздействия ветра и задается переменный тепловой поток, состоящий из длинноволновой и коротковолновой солнечной радиации, а также скрытого и чувствительного потоков тепла. На дне, помимо условия непроницаемости, задается связь касательных напряжений с придонной скоростью (квадратичный закон трения) и условие наличия геотермального тепла.

Математическая постановка задачи основана на негидростатической модели в приближении Буссинеска для конвективного течения. Решение конвективно-диффузионных уравнений основано на конечно-разностном методе конечного объема. Численный алгоритм нахождения поля течения и температуры опирается на разностную схему Кранка–Николсона. Конвективные слагаемые в уравнениях аппроксимируются по противоположной схеме Леонарда 2-го порядка. Для согласования поля скорости и давления использована процедура SIMPLE Патанкара [1]. Системы разностных уравнений на каждом шаге по времени решаются методом нижней релаксации или явным методом Булеева. Для вычисления компонент скорости применяется метод релаксации. Для нахождения температуры, давления используется явный метод Булеева.

Путем блокировки (приравнивая нулю компоненты скорости в выключенной зоне за счет использования очень больших значений коэффициента вязкости) некоторых конечных объемов прямоугольной неравномерной сетки расчетная область приближена к прибрежному профилю озера. Используется неравномерная ортогональная сетка 126×90 с измельчением шагов у берега. В результате h_x меняется от 25 до 200 м, $h_z = 10$ м. Шаг по времени $\Delta t = 60$ сек. Начальные условия соответствуют состоянию покоя и

заданным полям температуры воды (температура однородна по горизонтали, но переменна по вертикали), соответствующим измеренному его вертикальному распределению в мае, которое изменялось от 1,7 градусов на водной поверхности до максимального значения 3,8 на глубине 900 м [4]. Расчет притока тепла на водную поверхность производится согласно атмосферным данным.

Результаты численных экспериментов показывают, что благодаря радиационному и турбулентному потокам тепла поверхностные слои воды достигают температуру максимальной плотности, вследствие чего происходит формирование циркуляционных течений. Это согласуется с описаниями натуральных наблюдений.

Литература

1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 96–98 с.
2. Цыденов Б. О., Старченко А. В. Численное моделирование эффекта термобара в озере Байкал в период весенне-летнего прогрева // Вестник Том. гос. ун-та. Математика и механика, 2011, - 1(13). – с. 120–130.
3. Цыденов Б. О. Математическое моделирование механизма образования весенне-летнего термобара в озере Байкал / Материалы XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». Математика и механика. – М.: МАКС Пресс, 2011.
4. Physical Limnology of Lake Baikal: a Review / Shimaraev M. N., Verbolov V. I., Granin N. G., Sherstyankin P. P. – Irkutsk–Okayama, 1994. – 81 с.

Слова благодарности

Автор выражает благодарность профессору, д.ф.-м.н. Старченко А.В. за научное руководство и постоянное внимание.