

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ

У.С. АБДИБЕКОВ, А.А. ИСАХОВ, А.К. ХИКМЕТОВ
Казахский национальный университет имени аль-Фараби
e-mail: aliisahov@mail.ru

В работе рассматривается моделирование изменения солёности Северного Аральского моря. Построена математическая модель гидродинамики моря. Корректно сформулированы и поставлены начальные и граничные условия задачи с учетом сезонного изменения объема речного стока в море. Разработан численный алгоритм решения задачи. Результаты моделирования изменения солёности Северного Аральского моря представлены в виде графиков.

Комплексное освоение водных ресурсов требует тщательного и продолжительного изучения режимов рек, природных условий, влияния водохозяйственных мероприятий и возможных изменений режимов рек на отдельные отрасли народного хозяйства и окружающую среду. Серьезную экологическую проблему глобального международного значения представляет усыхание Аральского моря. Это крупнейшая экологическая катастрофа современности, которая в силу резкого ухудшения условий проживания местного населения, возрастания уровней заболеваемости и смертности, в особенности детской, превращается также в крупную гуманитарную катастрофу. С 1960 года объем воды в Арале уменьшился в 4 раза, солёность воды увеличилась в 3 раза, а площадь водной поверхности сократилась вдвое. Акватория Арала разделилась на несколько отдельных водоемов. Это северный, восточный и западный водоемы. Функционально эти водоемы не зависят друг от друга: качество и состав этих водоемов различны. Естественно с уменьшением акватории этих водоемов изменяться и климатические характеристики региона. Солёность вод Аральского моря определяется главным образом соотношением составляющих его водного и солевого баланса - речного стока, атмосферных осадков и испарения, взаимодействия некоторых сезонных и многолетних колебаний объема воды и солевого запаса моря. Предметом исследования настоящей работы является моделирование изменения солёности Северного Аральского моря. Уравнения, описывающие, динамику течения и теплоперенос в море в приближении теории мелкой воды и гидростатического распределения давления по вертикали имеют следующий вид [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_1}{\partial \tau} + U_k \frac{\partial U_1}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\nu \frac{\partial U_1}{\partial x_1} - \bar{u}_1^2 \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\nu \frac{\partial U_1}{\partial x_2} - u_1 \bar{u}_2 \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu \frac{\partial U_1}{\partial x_3} - u_1 \bar{u}_3 \right) - g \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\eta + \frac{1}{\rho_0} \int_{x_3}^{z_0} \rho dx_3 \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_2}{\partial \tau} + U_k \frac{\partial U_2}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\nu \frac{\partial U_2}{\partial x_1} - u_1 \bar{u}_2 \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\nu \frac{\partial U_2}{\partial x_2} - \bar{u}_2^2 \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu \frac{\partial U_2}{\partial x_3} - u_1 \bar{u}_3 \right) - g \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\eta + \frac{1}{\rho_0} \int_{x_3}^z \rho dx_3 \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_k}{\partial x_k} = 0, \rho - \rho_0 = \beta \rho_0 (T - T_0) \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + U_k \frac{\partial T}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(a \frac{\partial T}{\partial x_1} - \bar{u}_1 t \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(a \frac{\partial T}{\partial x_2} - \bar{u}_2 t \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(a \frac{\partial T}{\partial x_3} - \bar{u}_3 t \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \tau} + U_k \frac{\partial S}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(c \frac{\partial S}{\partial x_1} - \bar{u}_1 s \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(c \frac{\partial S}{\partial x_2} - \bar{u}_2 s \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(c \frac{\partial S}{\partial x_3} - \bar{u}_3 s \right) \quad (5)$$

где U_k, T, S – осредненные значения скорости, температуры и концентрации соответственно, $\eta(x_1, x_2, t)$ – отклонение свободной поверхности от ее невозмущенного горизонтального положения $\eta_0 = const$.

При численных расчетах принимались следующие граничные условия: на боковых стенках выполнялись условия прилипания, на водостоке скорость считалась постоянной и определялась из условия сохранения массы, производная температуры по нормали к сечению водостока считалась равной нулю, так, что ее значение определялось в результате численного счета. На дне моря принималось условие скольжения для горизонтальных компонент скоростей, равенство нулю вертикальной компоненты и условие адиабатичности для температуры. На поверхности задавалось уравнение колебания уровня водной поверхности, условие равенства касательных напряжений и уравнение теплоотдачи. Колебания уровня свободной поверхности определяется интегрированием уравнения неразрывности по глубине моря. Вертикальная составляющая средней скорости течения в любой момент времени определяется непосредственным интегрированием уравнения неразрывности от произвольного уровня моря до свободной поверхности. Для учета криволинейный береговой контур использовался метод фиктивных областей. Предложенная модель является наиболее информативной и в совокупности с уравнениями температуры (4) и концентрации (5) представляет набор уравнений для решения поставленной задачи. Система уравнений содержит турбулентные обменные члены в правой части уравнения, которые определяются из формул, полученных в работе [3]. Для решения уравнения движения применен метод расщепления по физическим параметрам [4,5], где для нахождения составляющей компонентов скорости применен метод мелких шагов. Уравнения для температуры и концентрации решаются методом мелких шагов с помощью трех - шаговой схемы, где по каждой координате неявное разностное уравнение решается методом скалярной прогонки. Вертикальная составляющая скорости находится из уравнения неразрывности. В результате численного моделирования гидродинамики Северного Аральского моря получены данные характеризующие изменение солёности моря при различных объемах стока реки Сырдарьи. На рисунках показаны результаты моделирования оценки солёности воды в Северной части Аральского моря. На рисунке 1 изображены изолинии изменения солёности в районе стока Сырдарьи в Малый Арал при различных объемах стока. На рисунках 2 динамика изменения солёности при максимальном объеме стока, а на рисунке 3 динамика изменения солёности при среднем объеме стока Сырдарьи. Результаты моделирования показывают, что распространение пресной воды происходит в поверхностном слое, управляемая основными течениями, проточность Малого моря мало влияет на распределение уровня соли в море.

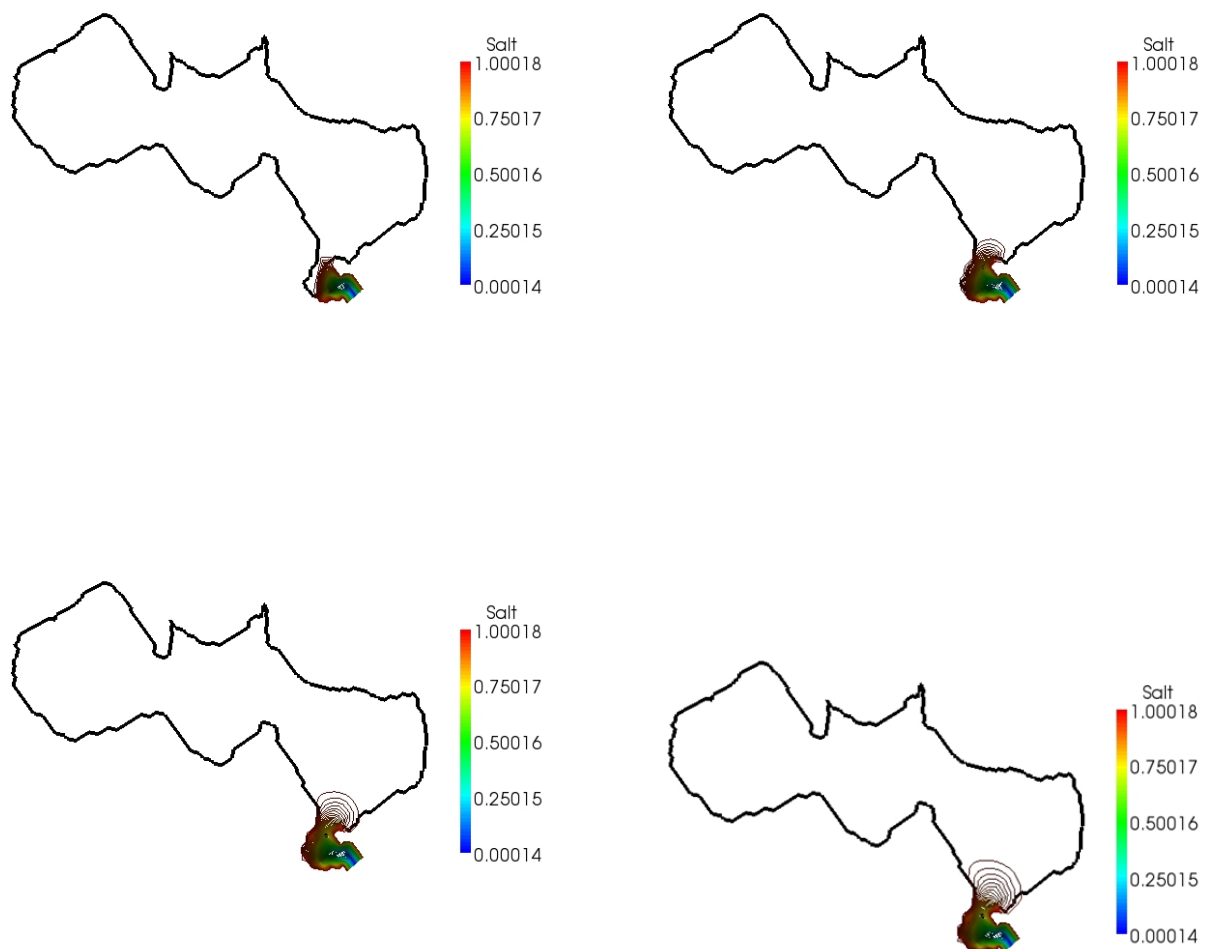


Рис. 1. Изменение солёности в Малом Арале при разных объёмах стока р. Сырдарья

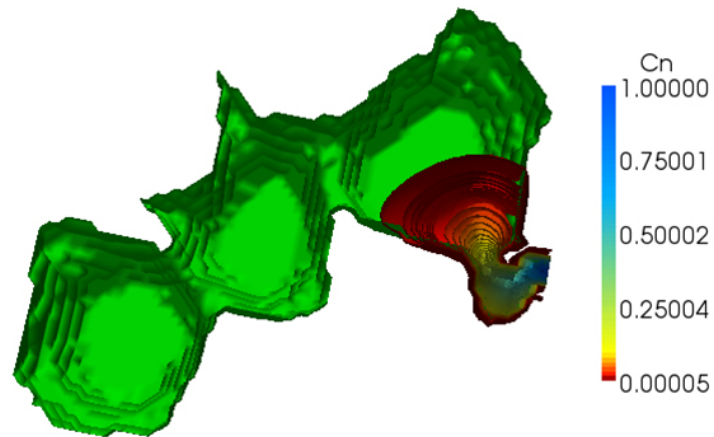


Рис. 2. Динамика изменения солёности Северного Аральского моря при максимальном стоке реки Сырдарья

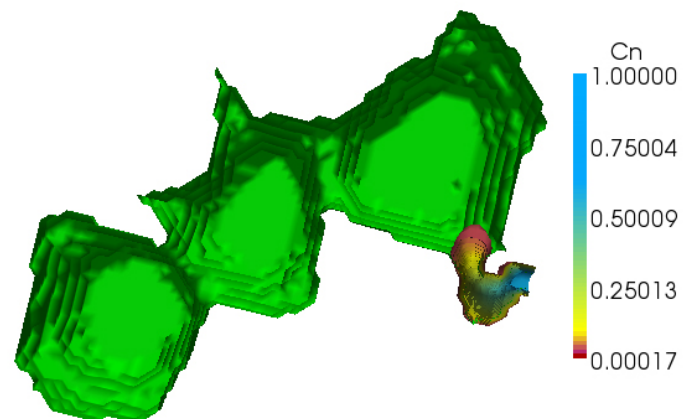


Рис. 3. Динамика изменения солёности Северного Аральского моря при среднем стоке р. Сырдарья

Список литературы

- [1] ФИЛАТОВ Н.Н. Динамика озер. //Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 168 с.
- [2] САРКИСЯН А.С. Численный анализ и прогноз морских течений -Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 181 с.
- [3] АВДИВЕКОВ У. DZHUAGASHTIN К. A semiempirical model of turbulent stratified flow // J. Fluid Dynamics. 1992, V.27, N 5, P. 321-325
- [4] ЯНЕНКО Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. М.: Наука 1967. 196 с.
- [5] САМАРСКИЙ А.А. Теория разностных схем //3-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 616 с.