

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА НА СГОННО-НАГОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЫ

Т. Я. Шульга

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

В работе методом математического моделирования исследуются сгонно-нагонные колебания, возникающие под действием касательных напряжений ветра в ограниченном бассейне, геометрические характеристики которого соответствуют оз. Донузлав. Дан анализ зависимостей амплитуд сгонно-нагонных колебаний от величины и направления скорости ветра в ряде пунктов побережья.

Введение. Исследование динамических процессов в ограниченных бассейнах представляет собой одну из важнейших задач динамики моря [1—3]. В данной работе численным методом исследуются волновые процессы, возникающие под действием касательных напряжений ветра в ограниченном бассейне, геометрические характеристики которого соответствуют оз. Донузлав.

Для определения составляющих горизонтальной скорости $u(x, y, t)$ и $v(x, y, t)$ (по осям x, y соответственно) и профиля свободной поверхности $\zeta(x, y, t)$ имеем систему трех линейных дифференциальных уравнений для скоростей [3, 4]

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left[\frac{\partial(H \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(H \cdot v)}{\partial y} \right], \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{ax}}{\rho \cdot H} - \mu \cdot u, \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{ay}}{\rho \cdot H} - \mu \cdot v, \quad (3)$$

Бассейн ограничен рельефом дна $H(x, y)$ и свободной поверхностью $\zeta(x, y, t)$. На боковых границах рассматриваемой области выполняется условие непротекания. Начальные возмущения в момент времени $t = 0$ отсутствуют:

$$\zeta(x, y, 0) = 0, u(x, y, 0) = 0, v(x, y, 0) = 0. \quad (4)$$

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы выполнить численное моделирование штормовой ситуации, вызванной переменным ветром и проанализировать сгонно-нагонные явления в оз. Донузлав. Как показывает анализ данных ветрового режима (обобщенная информация из банка данных Морского отделения УкрНИГМИ за период 45 лет), в рассматриваемом районе наибольшую повторяемость имеют штормовые ветры восточного и западного направления со скоростью 10 м/с—20 м/с.

Восточный и западный ветер направлены вдоль оси x . Вдоль оси y ветра нет, поэтому составляющая скорости ветра $W_y = 0$. Изменение по времени составляющей скорости ветра W_x задается следующим образом:

$$W_x(t) = \pm \begin{cases} a \cdot t, & 0 \leq t < t_1 \\ a \cdot t_1, & t_1 \leq t < t_2 \\ a \cdot t_1 - a(t - t_2), & t_2 \leq t < t_3 \end{cases} \quad (5)$$

где $at_1 = u_{\max}$ м/с; знак «-» соответствует восточному направлению ветра, «+» — западному направлению ветра; $t_1 = 3$ ч; $t_2 = 9$ ч; $t_3 = 12$ ч. В начальный момент времени ($t = 0$) вода в озере находится в состоянии покоя. При $t > 0$ на водную поверхность начинает действовать однородный по пространству ветер, скорость которого нарастает и через 3 ч достигает своего предельного значения, оставаясь неизменной в течение 6 ч. Далее она убывает до нуля.

Аналитическое решение задачи (1)—(4) неизвестно, поэтому найдено численно с помощью разностной схемы, аппроксимирующей уравнения теории мелкой воды [4]. Схема построена на разнесенной сетке C [4], где в центрах ячеек заданы значения уровня, а на боковых гранях значения компонент скорости. Такое расположение узлов существенно упрощает численную реализацию граничных условий. В расчетной области вводится сетка с горизонтальным разрешением $\Delta x, \Delta y$ и с шагом по времени $\Delta t = 3$ с, величина которого определяется условием Куранта [4].

В результате численных расчетов получены значения $\zeta(x, y, t)$ и составляющих горизонтальной скорости за период времени от 0 до 12 часов. Распределение высот волн (см) для восточного и западного направлений ветра в различных точках озера (рис. 1) приведены в таблице 1. Точки, в которых даны значения отклонения свободной поверхности, расположены на противоположных границах озера: A_1, A_3, A_5 и A_7 — на левом берегу, A_2, A_4, A_6 и A_8 — на правом берегу, и в центральной его части — A_9, A_{10}, A_{11} . Из таблицы 1 видно, что отклонения свободной поверхности

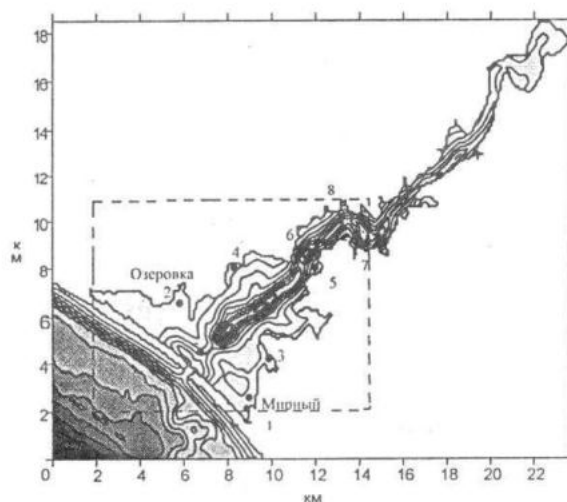


Рис. 1 — Рельеф дна (м) озера Донузлав

Таблица 1 — Отклонения свободной поверхности вызванные восточным ветром в различных пунктах озера.

$\zeta(x, y, t)$	На границах озера ($A_1, A_3, A_5, A_7, A_2, A_4, A_6$)	Центральная часть озера (A_9, A_{10}, A_{11})
Макс. скорость ветра		
$U_{1\max} = -10$ м/с	16 см	22 см
$U_{2\max} = 10$ м/с	—13 см	—22 см
$U_{3\max} = -15$ м/с	20 см	25 см
$U_{4\max} = 15$ м/с	—20 см	—34 см

при восточном ветре и заданной максимальной скорости ветра 10 м/с не превышают 22 см. Наибольшее значение $\zeta(x, y, t)$ в выбранных точках отмечено в пери от 3 од до 5 часов и достигается в центральной части озера. У берега возвышения свободной поверхности, вызванные ветром, меньше, чем в центре, и их максимумы 16—20 см. В выбранных пунктах, расположенных на юго-западной границе озера, абсолютный максимум отклонений $\zeta(x, y, t)$ больше, чем в пунктах, находящихся, на северо-восточной границе.

Выполнены численные эксперименты по моделированию волн в озере без учета влияния силы Кориолиса для ветра восточного направления при максимальной скорости ветра 15 м/с. Во всех отмеченных точках, отклонения свободной поверхности, вычисленные без учета силы Кориолиса, отличаются незначительно (не более 9%) от значений ζ вычисленных с учетом этой силы.

Проведено численное моделирование волновых процессов, вызванных восточным

ветром при $|u|_{\max} = 20$ м/с за период времени от 0 до 18 часов. Изменение составляющей скорости ветра W_x от 0 до 12 часов задается соотношением (5), затем от 12 до 18 часов полагаем $W_x = 0$.

В таблице 2 приведены экстремумы отклонения свободной поверхности, вызванные восточным ветром при его максимальной скорости 20 м/с и соответствующие им моменты времени в различных пунктах озера. Здесь же представлены значения отклонений уровня при $t = 18$ часов ($\zeta = \zeta_K$). Из данных, приведенных в таблице 2 для левого берега озера следует, что во всех точках отклонения свободной поверхности нарастают в начальный период времени. Во всех указанных пунктах, за период времени от 12 до 18 часов отклонения уровня достигают минимального значения, а потом происходит нарастание амплитуды. В пунктах A_1, A_3, A_5, A_7 ветер восточного направления в начальный период времени формирует нагон. В последующее время происхо-

Таблица 2 – Экстремумы отклонения свободной поверхности вызванные восточным ветром и соответствующие им моменты времени

	A_j	ζ_{\max}	T_{\max}	ζ_{\min}	T_{\min}	ζ_k
1.	A_2	22	3ч 21 мин	-30	12ч 02 мин	-16
	A_4	11	3ч 09 мин	-9	12ч 49 мин	8
	A_6	4	7ч 39 мин	-5	16ч 45 мин	-3
	A_8	26	12ч 10 мин	-3	17ч 40 мин	-2
2.	A_1	42	3ч 25 мин	-32	15ч 17 мин	-28
	A_3	11	3ч 18 мин	—	—	-14
	A_5	5	7ч 41 мин	-5	15ч 43 мин	-2
	A_7	2	10ч 12 мин	-22	12ч 21 мин	2
3.	A_9	44	3ч 12 мин	-39	13ч 31 мин	-29
	A_{10}	13	3ч 10 мин	—	—	-41
	A_{11}	5	3ч 16 мин	—	—	-15

дит сгон до минимума, и затем повышение уровня. Во всех пунктах, расположенных на северо-восточном берегу озера, экстремумы $|\zeta|$ больше, чем в пунктах юго-западного берега. Таким образом, в пунктах, расположенных на побережье озера, наибольшие возвышения свободной поверхности несколько меньше, чем максимальные значения уровня в его центральной части.

Заключение. С помощью численной модели волнения в ограниченном морском бассейне, выполнено исследование динамических процессов в озере для двух направлений ветра восточного и западного. Отмечено, что ветер, имеющий большую максимальную скорость, вызывает большие по абсолютной величине отклонения свободной поверхности. При ветре одного направления и одной и той же скорости максимальные значения сгонов и нагонов в центральной части озера, больше, чем на его побережье. Во всех рассмотренных пунктах, расположенных на северо-восточном берегу озера максимальные значения сгона

и нагона больше, чем на юго-западном берегу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Н. Сретенский Теория волновых движений жидкости. – Москва: ОНТИ, 1936. – 303 с.
2. Г. Ламб Гидродинамика. – Москва: Гостехиздат, 1947. – 948 с.
3. Л.В. Черкесов, В.А. Иванов, С.М. Хартиев Введение в гидродинамику и теорию волн. – Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1992. – 264 с.
4. Н.Е. Вольцингер Длинные волны на мелкой воде. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 158 с.