

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ ДНА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Рахуба А.В.¹, Шмакова М.В.²

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН, ²Институт озерадения РАН, Россия

При изучении условий формирования динамики подводного рельефа крупных водохранилищ наряду с особенностями морфологии котловины и характером обрушения берегов большое значение имеет оценка гидродинамической активности водных масс, которая связана с режимом регулирования стока. В данной работе на основе модельных экспериментов исследуется режим взвешенных наносов и пространственная изменчивость донных отложений Куйбышевского водохранилища.

Моделирование акватории водохранилища представлено гидродинамическими уравнениями «мелкой воды» и аналитической формулой расхода наносов. Система гидродинамических уравнений позволяет оптимально рассчитывать характеристики движения воды в области расчета максимально приближенной к реальной конфигурации водного объекта. Аналитическая формула расхода наносов является следствием основного уравнения движения воды и твердого вещества и имеет вид

$$G = 1.59Q \left[\frac{c}{hg} - (1-f)10^3 I \right], \quad (1)$$

где G – общий расход наносов, кг/с; Q – расход воды, м³/с; c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с²); h – глубина, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент внутреннего трения, б/р; 10^3 – плотность воды, кг/м³; I – уклон, б/р; 1.59 – коэффициент приведения массы твердого вещества в воде к истинной массе твердого вещества, б/р.

Совместное решение уравнений гидродинамики и формулы расхода наносов позволило проследить изменения морфометрических характеристик ложа приплотинной акватории Куйбышевского водохранилища. При изменении гидравлики потока меняется и его транспортирующий потенциал в отдельных ячейках. В зависимости изменения транспортирующего потенциала имело место осажение определенной массы наносов или, наоборот, размыв на площади, характеризуемой размером ячейки. Построение модели осуществлялось в программной среде «ВОЛНА». Вычислительная область приплотинной части водохранилища состояла из 10268 расчетных узлов прямоугольной сетки с шагом 200м. Модельный шаг по времени составил 3 сек.

Моделирование было проведено для следующих основных режимов:

1. Стационарный режим расчета, который позволил верифицировать параметры гидродинамической модели и аналитической формулы расхода наносов. Относительное отклонение между рассчитанными по формуле (1) и наблюдаемыми расходами наносов в нижнем течении р.Волги – створ р.Волга – п.В.Лебяжье – составило 45%. Параметры формулы присвоены значения $c=2,7 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$ и $f=0,95$.

2. Нестационарный режим расчета. Для этого моделировалось прохождение длинной волны, сформированной суточным режимом работы каскадов Волжских ГЭС. Результаты расчета представлены для ежечасных изменений характеристик движения воды в характерных для акватории районах – на плесе и в мелководной зоне. Показано, что на гребне прохождения длинной волны происходит размыв дна, на спаде – намыв. Выявлены тенденции формирования ложа водохранилища в условиях суточного и недельного регулирования стока.

3. Нестационарный режим расчета и ветровое воздействие на акваторию. Для этого моделировалось прохождение длинной волны и преобладающее юго-западное направление ветра в интервале 5–10 м/с. Результаты расчета представлены аналогично предыдущему численному эксперименту. Установлены зоны накопления донных отложений в районах формирования циркуляционных течений, образованных ветрами разной интенсивности.

Таким образом, модельные расчеты показывают, что неустановившийся режим на Куйбышевском водохранилище способствует неравномерному распределению донных отложений. Более высокая интенсивность переформирования дна водохранилища сопровождается воздействием на водную поверхность ветра и объясняется тем, что течения в мелководных зонах слабо выражены и появляются исключительно при ветрах благоприятных направлений. Полученные результаты в среднем соответствуют интенсивности заиления Куйбышевского водохранилища речными наносами – 8–9 см/год.