

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМА

Перекальский В.М., Кременецкая Е.Р.

Институт водных проблем РАН, Россия

Дискретный характер информации, полученной при натурных наблюдениях, ограничивает возможность оценки внутригодовой изменчивости гидроэкологического состояния водоемов в годы с различными гидрометеорологическими условиями. Поэтому использование математических моделей позволяет получить более детальное представление о пространственно-временной изменчивости характеристик гидрологической структуры водохранилищ.

Для исследования качества воды на примере 30-ти километрового (по длине затопленной русловой ложбины) участка Можайского водохранилища (от створа Поздняково до плотины) была модернизирована разработанная ранее двумерная в вертикальной плоскости X-Z математическая модель (превосходящая предыдущую на порядок по быстродействию, с удобным для пользователя интерфейсом). Изучалось формирование полей скорости, температуры, растворенного в воде кислорода, развитие стратификации, формирование аноксидной зоны в гипolimнионе, взмучивание донных отложений, электропроводность. Успешно проведено исследование устойчивости постановки задачи при суточном изменении в 1.5-2 раза соотношения расходов на входе и выходе из водохранилища (регулируемый сброс из гидроузла). Компенсационный эффект для уравнения неразрывности обеспечивался наличием изменяющимся уровнем свободной поверхности.

В качестве факторов, влияющих на решение задачи, рассматривались 3-х часовые изменения скорости и направления ветра, изменение температуры и влажности воздуха, взаимодействие с атмосферой, влияние фотосинтеза, аэрации, биохимического окисления, скорости потребления кислорода донными отложениями. Гидродинамические характеристики потока (компоненты скорости) рассчитываются с учетом пересчитанных термохалинных полей в водоеме.

В программном комплексе использовалась нестационарная система уравнений гидродинамики и массопереноса, усредненные по ширине водоема. Исходные дифференциальные уравнения записаны и решаются в косоугольной системе координат, адаптированной к морфологии водного объекта

Расчеты показали, что при слабой и средней стратификации (при макс град до $5^{\circ}\text{C}/\text{м}$, среднем вертикальном градиенте до $0,8$ град/м) наилучшие O_2 условия складываются при слабевтрофных продукционно-деструкционных процессах. При сильной стратификации при T поверхности воды $>25^{\circ}\text{C}$ наибольшее среднее содержание O_2 отмечаются при мезотрофных условиях. При слабой интенсивности продукционно-деструкционных процессов (мезотрофные условия) объем аноксидной зоны независимо от степени стратификации не превышает 6% объема водохранилища. При средней интенсивности П-Д процессов доля аноксидной зоны достигает 20% объема водохранилища лишь при сильной стратификации ($(dT/dz)_{\text{cp}} > 1^{\circ}\text{C}/\text{м}$). Высокая интенсивность П-Д процессов приводит к довольно быстрому росту аноксидной зоны. Даже при слабой стратификации водной толщи доля аноксидной зоны уже к 9-му дню счета составляет 15%. А при сильной стратификации доля аноксидной зоны за 12 дней достигает 40% объема водохранилища.

Сопоставление скоростей формирования аноксидной зоны, оцененных по натурным наблюдениям и рассчитанных по модели, в зависимости от степени стратификации свидетельствуют об адекватности модельных расчетов.

При евтрофных и слабевтрофных П-Д процессах наблюдается зависимость скорости изменения аноксидной зоны от среднего вертикального градиента температур, причем при евтрофных условиях даже при небольшом среднем градиенте T ($(dT/dz)_{\text{cp}} = 0.4^{\circ}\text{C}/\text{м}$) скорость роста аноксидной зоны более 3 куб. км/сут. При мезотрофных П-Д процессах зависимости скорости роста аноксидной зоны от степени стратификации не выявлено.

Используя полученные скорости роста аноксидной зоны можно рассчитать максимально возможные объемы аноксидной зоны за период летней температурной стратификации.