

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГИДРОХИМИИ И МОНИТОРИНГА
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**МАТЕРИАЛЫ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

8-10 сентября 2015 г.

г. Ростов-на-Дону

ЧАСТЬ 2

Ростов-на-Дону

2015

Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 2. Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015 г. – Ростов-на-Дону, 2015. – 420 с.

Редакционная коллегия:

М.М. Трофимчук, кандидат биологических наук
Т.А. Хоружая, доктор биологических наук
Е.Н. Бакаева, доктор биологических наук
Л.И. Минина, кандидат химических наук
Ю.А. Андреев, кандидат химических наук
Е.Е. Лобченко, кандидат химических наук
О.А. Клименко, кандидат химических наук
А.А. Матвеев, кандидат химических наук
Н.П. Матвеева, кандидат химических наук
Л.С. Косменко, кандидат химических наук
А.А. Назарова, кандидат химических наук
Л.М. Предеина, кандидат химических наук
В.М. Иваник, кандидат географических наук

Сборник материалов опубликован при финансовой поддержке
Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

В сборнике представлены материалы исследований по широкому кругу вопросов фундаментальной и прикладной гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Во вторую часть сборника включены материалы докладов, посвященных современным методам химического анализа воды и донных отложений поверхностных водных объектов, методам биоиндикации и биотестирования, используемым в мониторинге водных объектов, оценке и прогнозированию загрязненности и состояния водных экосистем.

Тематика опубликованных в сборнике материалов представляет интерес для широкого круга специалистов в области гидрохимии, гидробиологии, токсикологии, экологии.

Компьютерная верстка: Е.Л. Селютина

МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕАКЦИИ ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ИЗМЕНЕНИЕ ВНЕШНЕЙ ФОСФОРНОЙ НАГРУЗКИ

Пуклаков В.В., Даценко Ю.С.

*Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова,
yuri0548@mail.ru*

Примерно с середины прошлого столетия математическое моделирование прочно вошло в комплекс методов, направленных на разработку теории водных экосистем и поиски путей управления качеством воды в водных объектах. Математическое моделирование не только помогает формализовать описание процессов формирования качества воды в водных объектах, но и может дать количественную оценку процессов и предсказать его ход и эффективность. Это особенно важно для экосистем глубоких водохранилищ, характеризующихся исключительно большой нестационарностью гидрологического режима при регулировании речного стока и внешнего воздействия в виде непредсказуемо меняющихся синоптических условий. При невозможности воспроизвести это воздействие в натурных условиях используются расчеты по математической модели с использованием различных сценариев, позволяющих выявить особенности отклика экосистемы на это воздействие.

В настоящей работе с целью оценки изменений качества воды в водохранилищах систем водоснабжения г.Москвы проведены многовариантные диагностические расчеты по различным сценариям внешних воздействий с использованием математической модели водохранилища, разработанной на кафедре гидрологии суши МГУ им. М.В.Ломоносова (ГМВ-МГУ). Эта модель неоднократно верифицировалась по данным независимых полевых наблюдений и показала высокую степень достоверности описания процессов внутриводоемного тепло-массообмена. [1, 2]. В соответствии с пространственной схематизацией водохранилища представляется в модели в виде отдельных лопастей, разделенных на отсеки, границы между которыми задаются в виде вертикальной плоскости, перпендикулярной продольной оси речной долины. Отсеки состоят из совокупности горизонтальных слоев, в пределах которых тепло и растворенное в воде вещество считается равномерно распределенным. При такой схематизации водохранилища к каждому отсеку применима хорошо разработанная структура одномерных математических моделей водоемов, в которых изменения температуры и концентрации веществ рассчитываются только в вертикальном направлении. Гидрологический режим имитируется с шагом по времени 1 сутки. Внутренний водообмен между смежными отсеками происходит в результате плотностных, компенсационных и ветровых течений. Внешний водообмен включает приток воды с водосбора, поступление атмосферных осадков, испарение, подземный водообмен с береговой зоной водохранилища, отток воды в нижний бьеф, перенос стоковыми течениями. При этом в модели учитываются условия возникновения явления селективного водоотбора при наличии плотностной стратификации водной толщи в приплотинном отсеке.

Вертикальное перераспределение тепла и растворенных в воде веществ между слоями осуществляется путем процессов свободной конвекции, вынужденной конвекции (циркуляций Ленгмюра), вертикальной адвекции и динамического перемешивания.

Математическая структура модели представляет собой дифференциальное уравнение, которое отражает закон сохранения вещества и энергии в каждом горизонтальном слое. В общем виде это уравнение выглядит следующим образом:

$$\frac{d}{dt}V_j C_j = A_{j1}C_{j1} - A_{j2}C_j + A_{j3}C_{j+1} + B_{j1}C_{in} - B_{j2}C_j \pm P_j,$$

где j - номер горизонтального слоя в расчетной сетке, C - концентрация вещества, V - объем слоя, A - факторы, отражающий вертикальный перенос, B - факторы, отражающие горизонтальный перенос (приток и отток), P - фактор, отражающий внутримассовые эффекты, оказывающие влияние на концентрацию неконсервативного параметра. Это уравнение представляет собой общую форму расчета для любой переменной в каждом слое.

Для оценки реакции экосистем водохранилищ на антропогенное воздействие анализировались изменения концентраций фосфора - элемента, определяющего одно из самых сложных и крайне неблагоприятных последствий биогенного загрязнения - явления эвтрофирования и связанного с ним цветения водоемов. Эта оценка основывалась на модельных расчетах основных балансовых составляющих фосфора и концентраций фосфора в нижнем бьефе для Можайского, Истринского, Вазузского и Иваньковского водохранилищ.

Цикл сценарных расчетов имел целью определить вероятное изменение трофического статуса отдельных районов сложнодолинных водохранилищ Подмосковья в случае роста фосфорной нагрузки при средних, наиболее часто повторяющихся гидрометеорологических условиях. Для Можайского водохранилища первоначально рассмотрено 4 сценария изменения фосфорной нагрузки по сравнению с наблюдавшейся в средневодном 1984 г. С целью упрощения задачи предполагалось, что в последующее трехлетие погодные условия сохранятся такими же, как и в 1984 г. Показано, что при 100%-ном увеличении фосфорной нагрузки уже в последующий год произойдет гипертрофирование верховьев водоема. Там среднегодовая концентрация общего фосфора TP в воде возрастет в 4 раза, а спустя три года гипертрофия охватит и центральный район водохранилища. При ежегодном 50%-ном увеличении нагрузки этот район сохранит эвтрофный статус. А при 50%-ном снижении фосфорной нагрузки к концу третьего года средняя концентрация TP снизится на 20% по сравнению с исходным 1984 г. И только при полном прекращении фосфорного загрязнения водохранилища в первый же год содержание TP снизится на 30%, и водоем станет мезотрофным.

Затем подобные прогностические расчеты были выполнены и по модифицированной версии ГМВ-МГУ (также на базе гидрометеорологической информации 1984 г.) для сложнодолинных водоемов - Истринского, Вазузского и Иваньковского - при существенном повышении фосфорной нагрузки на их притоки. Обобщенные до среднегодовых характеристик результаты модельных

расчетов показали, что во всех водохранилищах с ростом фосфорной нагрузки увеличивается интенсивность седиментации фосфора, увеличивается также и концентрация фосфора в нижнем бьефе (рисунок 1А,В).

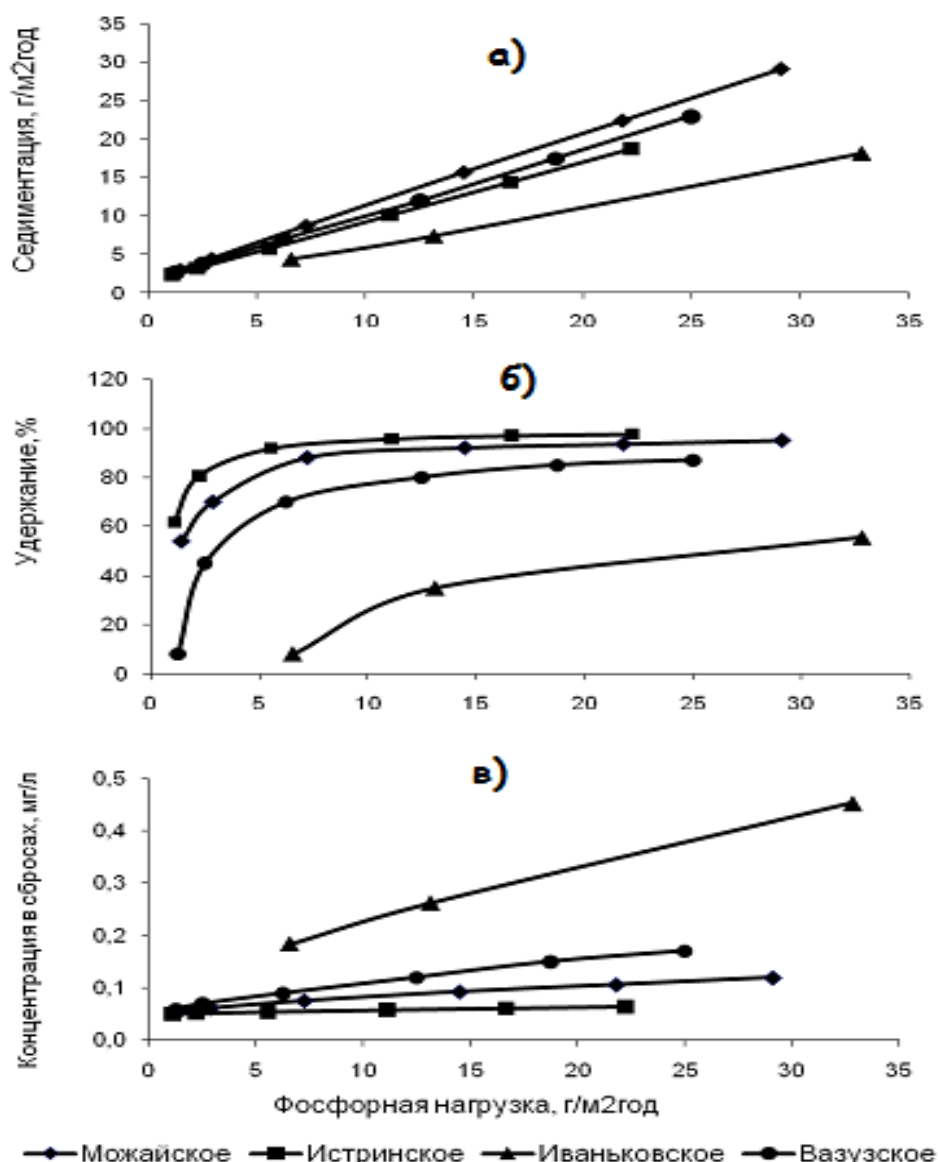


Рисунок 1 – Прогнозируемое изменение седиментации фосфора (а), его удержания (б) и концентрации (в) в Можайском, Истринском, Иваньковском и Вазузском водохранилищах при увеличении фосфорной нагрузки.

Истринское водохранилище, характеризующееся самым слабым водообменом и сложным многолопастным строением своего ложа, наиболее эффективно работает на самоочищение проходящих через него речных водных масс при увеличении фосфорной нагрузки. В Иваньковское водохранилище, водообмен которого на порядок выше, а морфологическое строение существенно проще, эффективность самоочищения воды при росте фосфорной нагрузки заметно ниже. Таким образом, чем медленнее водообмен и чем сложнее морфологическое строение ложа, тем сильнее водоем трансформирует сток фосфора в нижний бьеф гидроузла и наиболее эффективно работает на самоочищение проходящих через него речных водных масс при увеличении фосфорной нагрузки.

Расчеты показали, что в Иваньковском водохранилище – водоеме сезонного регулирования стока – более 50% поступившего в него за год фосфора было пропущено в нижний бьеф и водозабор канала имени Москвы в апреле-июне, а в московских водохранилищах многолетнего регулирования – во время летней и зимней межени. Регенерация фосфора в Иваньковском водохранилище оказалась в 2 раза выше, чем в подмосковных водохранилищах, что связано, вероятно, как с большей загрязненностью его грунтов, так и со значительно большими площадями затапливаемой весной береговой полосы.

При одинаковой фосфорной нагрузке в самом малопроточном Можайском водохранилище процессы соосаждения фосфора с взвесью и его седиментации протекают интенсивнее, чем в наиболее проточном Иваньковском. При неизменности в проведенных расчетах гидрометеорологических условий и внешнего водообмена этот факт можно объяснить только влиянием морфологических особенностей водоема и связанной с ними специфики его внутреннего водообмена. С увеличением фосфорной нагрузки процент удержания фосфора (R_p) во всех водохранилищах увеличивается (рисунок 1Б) тем быстрее, чем меньше в них водообмен. С ростом фосфорной нагрузки фосфороудерживающая способность водоема достигает предела, индивидуального для каждого водохранилища, и этот предел тем выше, чем меньше его проточность. При увеличении притока фосфора с водосборов в 2 раза рост среднегодовой концентрации фосфора в них составит в Истринском водохранилище 15 %, в Можайском – 23 %, в Вазузском – 29 %, в Иваньковском – 47 %. При увеличении нагрузки в 5 раз этот рост составит, соответственно, 48 %, 72 %, 96 % и 159 %.

Анализ многолетних наблюдений за экологическим состоянием долинных водохранилищ России показывает, что для сохранения в них высоких питьевых и технологических качеств воды необходимы, наряду с консервативными профилактическими, конструктивные меры по предотвращению загрязнения и эвтрофирования как одиночных водоемов, так и каскадов. Особое внимание в последнее время уделяется таким конструктивным преобразованием водоемов, которые обеспечивают возможность управления внутренним водообменом [3].

Численными экспериментами показано, что если превратить их в полисекционные водоемы, возведя в них межсекционные дамбы, то станет возможным управлять интенсивностью их внутреннего водообмена (не изменяя диспетчерских правил регулирования речного стока).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №13-05-00137а и №15-05-06108а

Список литературы

1. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Экспериментальная оценка погрешности модельного расчета стратификации водной толщи в водохранилище // Вестник МГУ, сер. География. 2005. № 6. С.21-24
2. Эдельштейн К.К., Гречушникова М.Г., Даценко Ю.С., Пуклаков В.В. Диагностическое моделирование внутриводоемных процессов в водохранилищах // Водные ресурсы. 2012. Т.39. № 4. С. 437–451.
3. Эдельштейн К.К., Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Пуклакова Н.Г. Научно-методические основы проектирования экологической реконструкции водохранилищ // Вода и экология. Проблемы и решения. 2013. № 2. С. 46-55.