

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА
ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
(на примере водотоков и водоемов Подмосковья)**

Беликов В.В.¹, Борисова Н.М.¹, Кочетков В.В.²

¹Институт водных проблем РАН, г. Москва

²НИИ энергетических сооружений, г. Москва

belvv@bk.ru

В течение 15 лет разрабатывалась гидродинамическая модель р. Москвы от Верхнемоскворецких водохранилищ до устья с учетом основных притоков (Руза, Истра, Пахра, Нерская, Северка) и 8 плотин, обеспечивающих условия водозабора и судоходства. В основу модели и реализующего ее программного комплекса «Река Москва» положены одномерные уравнения Сен-Венана и переноса примеси; для расчета стока с незарегулированной части водосбора применяется оригинальная модель диффузионной волны. При построении модели использовались данные о поперечных сечениях русел, лоцманские карты, чертежи и параметры водопропускных сооружений, гидрологические данные, измерения уровней и расходов воды на плотинах. Модель откалибрована на пропуске 11 половодий, в том числе при осуществлении гидравлических промывок русла р. Москвы в 1998, 1999 годах.

Программный комплекс «Река Москва» применяется для прогноза весенних половодий и летне-осенних паводков, прогноза притока к Рублевским водозаборам (обеспечивающим г. Москву питьевой водой) в период ледостава, для оптимизации работы гидроузлов в период половодий, для расчета переноса загрязнителей по русловой сети. Примеры решения некоторых задач представлены ниже.

Моделирование аварийного выброса с очистных сооружений г. Истры в феврале 2006 г. В период с 1 по 15 февраля 2006 г. наблюдались стабильные условия по сбросам с гидроузлов и боковой приточности: уровень верхнего бьефа Рублевской плотины - 128,57 м (колебания в пределах 2 см); сбросы Истринского гидроузла (ИГУ) – 11 м³/с; Можайского гидроузла (МГУ) – 8 м³/с; Рузского гидроузла (РГУ) – 7 м³/с; Озернинского гидроузла (ОГУ) – 7 м³/с; боковой приток колебался от 5 м³/с до 8 м³/с, на водозаборах Запад-

ной и Рублевской водопроводных станций забиралось около $32 \text{ м}^3/\text{с}$ (колебания в пределах $1 \text{ м}^3/\text{с}$).

Входные концентрации ОКБ и ОМЧ37 в месте аварии принимались по ближайшему пункту наблюдений Красновидово, и далее производился расчет переноса загрязнений по русловой сети. Выполнено сравнение концентрации ЗВ в контрольных створах, полученных натурными измерениями и расчетным путем (рис. 1).

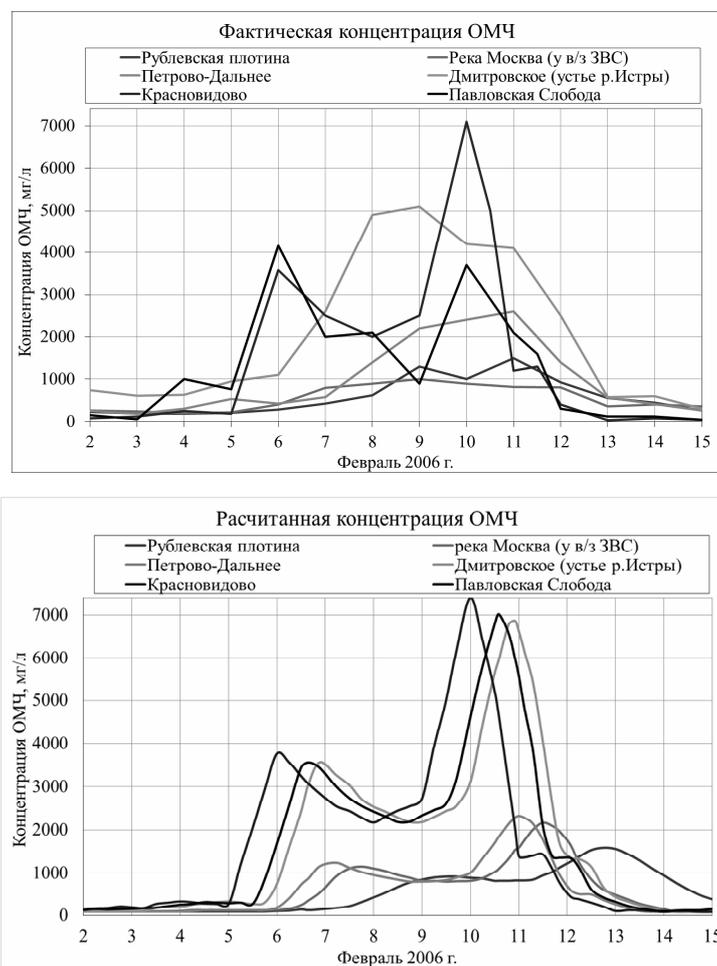


Рис. 1 – Фактические и рассчитанные концентрации ОМЧ в контрольных створах в зависимости от времени

В некоторых створах наблюдалось удовлетворительное совпадение как по времени добегаания, так и по максимуму концентраций, однако следует отметить неоднозначность данных измерений. Так, например, трудно объяснить существенно разные времена добегаания для ОКБ и ОМЧ по фактическим данным. В расчетах получено завышенное время добегаания для ОМЧ до Рублевского водозабора, а для ОКБ такого несоответствия нет. Также из анализа результатов видно, что измерения 1 раз в сутки ведут к потере максимумов концентраций (например, ОМЧ в створе Павловской Слободы, где по расчету максимум на 10,5 сут., а в измерениях эта точка отсутствует (см. рис.1).

По результатам моделирования были сделаны следующие выводы:

- в период аварийных сбросов загрязнений необходимо проводить измерения два или более раз в сутки, в том числе в максимальной близости от источника загрязнений;
- в зимний период необходимо знать ледовую обстановку на расчетном участке;
- для калибровки и верификации компьютерной модели необходимо иметь достаточно многочисленные и достоверные данные измерений.

Моделирование залпового выброса загрязняющего вещества и его разбавления. В один из периодов работы над программой «Река Москва» руководством Мосводоканала была поставлена задача моделирования разбавляющих попусков из верхнемоскворецких водохранилищ с целью определения их эффективности по снижению концентрации загрязнителя на Рублевских водозаборах. В качестве одного из вариантов расчета был выбран следующий: место выброса загрязняющего вещества – 16 км ниже Можайского гидроузла (МГУ) у д. Макарово; продолжительность выброса – 12 часов; расход загрязняющего вещества – 10 л/с; гидрологические условия – летняя межень.

Рассматривались следующие сценарии разбавляющих попусков:

- попуск МГУ: расход 50 м³/с; продолжительность 1 сутки; начало попуска через 3 часа после начала выброса;
- попуск Рузского гидроузла (РГУ): расход 50 м³/с; продолжительность 1 сутки; начало попуска через 3 часа после начала выброса;

- пуск Истринского гидроузла (ИГУ): расход 50 м³/с; продолжительность 1 сутки; начало пуска через 72 часа после начала выброса.

Рассчитаны динамика распространения загрязнения с отображением на электронной топографической карте (рис.2), а также продольные профили концентрации загрязнителя при различных сценариях разбавления.

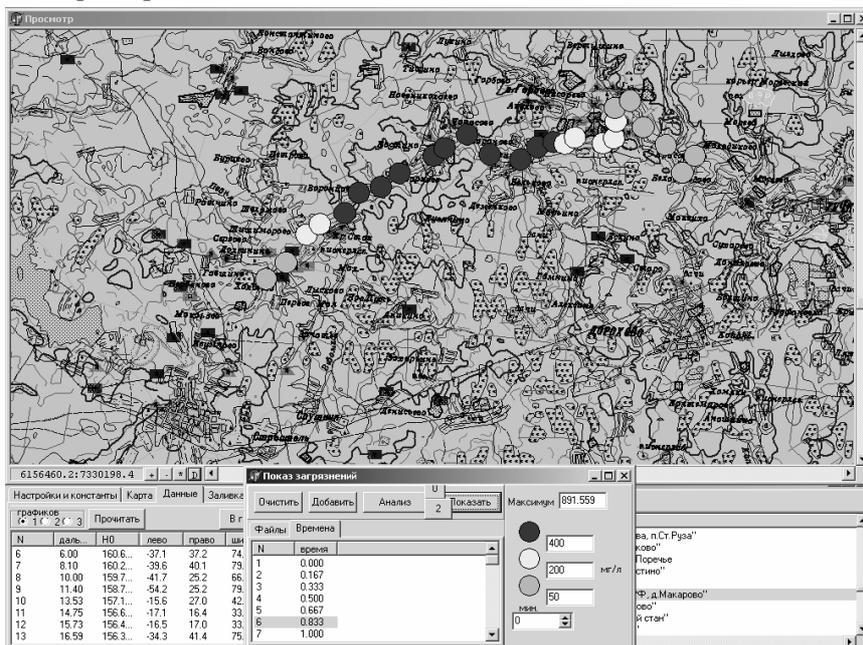


Рис. 2 – Концентрации загрязнителя (мг/л) в русле р. Москвы, отображаемые на электронной топографической карте

Сравнение вариантов разбавления:

пуск ИГУ уменьшает максимальную концентрацию в створе П.-Дальнее на 20 %;

пуск РГУ уменьшает максимальную концентрацию в створе П.-Дальнее на 40 %;

пуск ИГУ уменьшает максимальную концентрацию в створе П.-Дальнее в два раза.

Моделирование водообмена на акватории Яхт-клуба в Пестовском водохранилище. Рассматриваются мероприятия по улучшению процессов водообмена на акватории Яхт-клуба у д. Драчево.

Существенное расширение и углубление залива водохранилища при строительстве Яхт-клуба, а так же ограждение акватории от волновых воздействий (в том числе от проходящих судов) защитными молами уменьшает интенсивность водообмена и ухудшает качество воды, что недопустимо для зоны рекреации.

Целью исследования являлось моделирование процессов водообмена с учетом конструктивных особенностей сооружения (ограждающие молы), реальной батиметрии залива, факта прохождения крупнотоннажных судов, основных гидрометеорологических факторов (расходов впадающего в залив ручья и ветровых течений). Исследования проводились методами численного моделирования на основе двумерных уравнений мелкой воды (уравнений Сен-Венана) и уравнения переноса пассивной примеси. В результате расчетов построены скоростные поля стоковых и ветровых течений, поля концентрации примеси для различных сценариев развития событий, оценена интенсивность водообмена в акватории Яхт-клуба.

Расчеты показали, что стоковое течение (по впадающему в западный залив ручью) оказывает заметное влияние на водообмен в бухте только в периоды весенних половодий и дождевых паводков, а в период засушливой межени расходы в ручье настолько малы, что стоковое течение в бухте практически отсутствует. Для полного однократного замещения воды в бухте меженим расходом требуется около 170 суток, т.е. весь сезон рекреации.

Ветровые течения, особенно при ветрах западного направления, приводят к более интенсивному перемешиванию на акватории клуба, чем межение стоковые течения, однако непроницаемые молы многократно ослабляют ветровую циркуляцию в водоеме. Применение конструкции молов с коэффициентом проницаемости 10% приводит почти к такой же интенсивности водообмена, что и для неогражденной молами акватории. Однако в западном и северном заливах акватории интенсивность водообмена остается недостаточной (рис. 3).

При условии защиты акватории Яхт-клуба от волновых воздействий слабопроницаемыми молами для обеспечения эффективного водообмена дополнительно требуются специальные инженерные мероприятия: установка аэраторов либо обеспечение проточности акватории путем закачки чистой воды из канала им. Москвы. С учетом выполненных исследований и при условии строительства молов проницаемостью не менее 10% можно оценить необходимый рас-

ход водоподачи величиной $0,3-0,4 \text{ м}^3/\text{с}$, причем только в отдельные периоды жарких летних месяцев. При такой водоподаче полное замещение объема воды в акватории будет происходить (с учетом ветровых течений) приблизительно за одну декаду (10 суток), что гораздо интенсивнее водообмена в существующих естественных условиях.

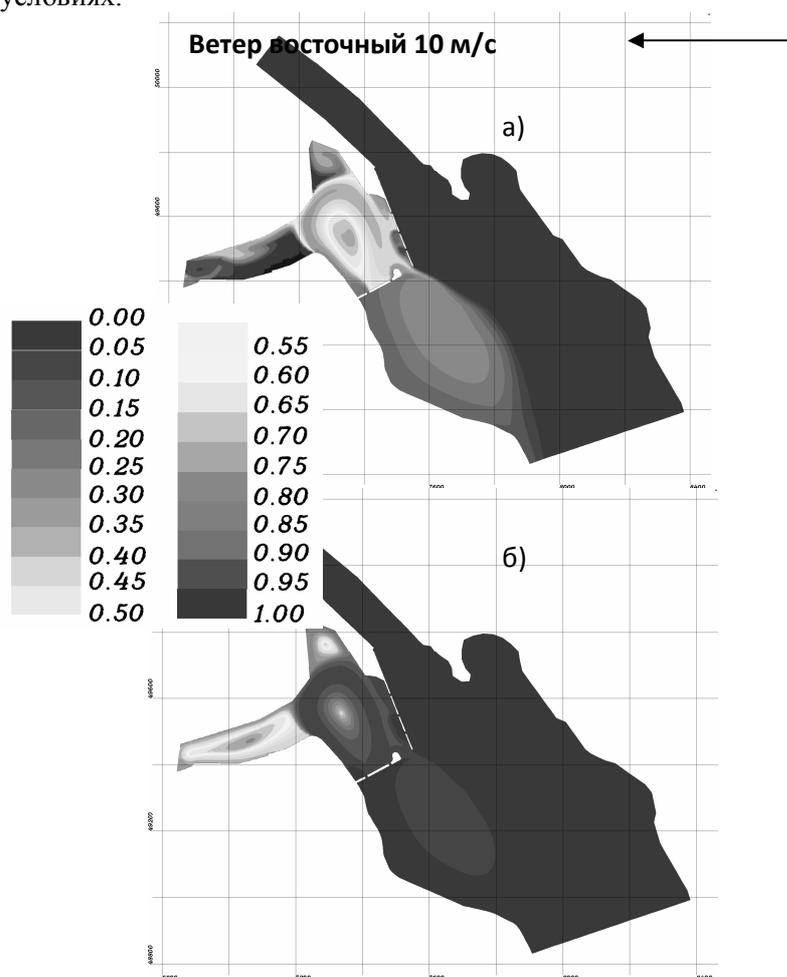


Рис. 3 – Концентрация загрязнителя (в условных единицах).
 Восточный ветер 10 м/с. Расход по ручью $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$.
 Вариант с проницаемыми стенками. а) 1 сутки, б) 5 суток