

Моделирование двухфазного массопереноса большого водохранилища

Рахуба А.В.¹, Шмакова М.В.², Кондратьев С.А.²

¹ – ИЭВБ РАН – филиал СамНЦ РАН, г. Тольятти, Россия,
rahavum@mail.ru

² – ИНОЗ РАН, Санкт-Петербург, Россия,
m-shmakova@yandex.ru, kondratyev@limno.org.ru

Аннотация. В работе приведены результаты моделирования течений в акватории водохранилища, распространения шлейфов вод притоков и переноса взвешенных частиц при различных гидрометеорологических ситуациях в условиях средней водности.

Ключевые слова: уравнения «мелкой воды», конвективно-диффузионный перенос, аналитические формулы расхода наносов и мутности воды

Наблюдения за гидродинамикой, а также переносом растворенных веществ и взвешенных частиц в акваториях крупных водоемов в настоящее время нерегулярны и нередко затруднены в условиях экстремальных гидрометеорологических явлений (штормовых ветрах, высоких паводках и половодьях). В этих случаях математическое моделирование дает возможность оценить пространственно-временные особенности и закономерности течений и распределения мутности в акватории в режиме численного эксперимента при воспроизведении различных неблагоприятных гидрометеорологических ситуаций. Результаты такого моделирования могут быть востребованы при планировании водохозяйственной деятельности на водохранилище (оценка и прогноз качества воды в различных частях водоема, в том числе – в пунктах водозабора, размыва берегов, занесения фарватеров и др.).

Целью настоящего исследования являлась оценка особенностей и закономерностей течений, распространения шлейфов вод притоков и переноса взвешенных частиц в различных гидрометеорологических ситуациях применительно к условиям Куйбышевского водохранилища по результатам имитационного моделирования.

Расчеты пространственного распределения течений, минерализации и мутности воды в акватории Куйбышевского водохранилища выполнялись для условий средней водности. В качестве тестового был выбран 1969 год. Моделирование выполнялось для всего водохранилища, ограниченного на западе Чебоксарским и на востоке Нижнекамским входными створами гидроузлов, соответственно расположенных на Волжской и Камской ветках водохранилища, и на юге – замыкающим створом Жигулевского гидроузла. В расчетах учтено влияние таких притоков как Вятка, Свияга, Казанка, Мёша и Большой Черемшан. В качестве исходных данных на входных створах задавались среднесуточные расход воды, концентрация общей минерализации и мутность воды для периода летней межени для условий средней водности.

Расчеты полей течения и распространения шлейфов вод притоков в водохранилище проводились для стационарного режима расхода при отсутствии ветра, а также для межени периода доминирующих направлений ветра с постоянной скоростью 15 м/с. По данным многолетних наблюдений Росгидромета [1] за ветром в Куйбышевском водохранилище, в период летне-осенней межени преобладают ветра северного и юго-западных румбов. Штормовые ветры со скоростью более 15 м/с могут длиться от нескольких часов до суток и более и охватывать всю площадь водохранилища.

Моделирование пространственной структуры течений в Куйбышевском водохранилище показывает наличие устойчивых циркуляционных образований, обусловленных главным образом морфометрией ложа, направленностью и активностью ветров. Установлены скорости и масштабы таких течений в разных районах водохранилища.

Показано, что воды рек Мёши и Черемшана, распространяясь в плёсовых расширениях самостоятельным потоком, занимают обширную площадь акватории водохранилища (264 – 565 км²) и имеют значительную протяженность (51 – 94 км). Формирование пространственной

конфигурации шлейфов речных вод в плесовых районах водохранилища определяется скоростью и направленностью циркуляционных ветровых течений.

В районах русловых участков водохранилища при наличии преобладающего стокового течения смешение вод происходит более интенсивно, чем в плесовых участках. Для рек Свияги и Казанки длина участка смешения составляет 35 км, а для р. Вятки – 10 км.

Рассчитанная на модели пространственная структура вод Куйбышевского водохранилища показывает наличие локальных зон с ярко выраженной неоднородностью. В зонах полного смешения речных вод с основной водной массой общая минерализация в водохранилище возрастает на 7 – 19 %, в результате чего, суммарное увеличение минерализации по длине водохранилища достигает 14 %. Интенсивность и траектория распространения речных водных масс, несущих основную антропогенную нагрузку через границы боковых притоков зависят, как от наличия ветровой циркуляции течений, так и от режима стока на водохранилище. Все это приводит к неравномерному распределению мутности воды и удельного расхода наносов по акватории. Значения концентрации взвешенных веществ в северных и южных частях водохранилища меняются в интервале 11 – 17 мг/л. При этом значения удельного расхода наносов в акватории при сильных ветрах возрастают более чем на порядок.

В результате решения поставленной задачи разработан инструмент для оценки и прогноза распространения растворенной примеси (возможно загрязненной), а также транспорта и переотложения речных наносов в различных точках акватории при различных гидрометеорологических условиях.

Литература

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР: Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 269 с.

Modeling of two-phase mass transfer of a large reservoir

Rakhuba A.V.¹, Shmakova M.V.², Kondratyev S.A.²

¹ – *Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Tolyatti, Russia,
rahavum@mail.ru*

² – *Institute of Limnology RAS, Saint-Petersburg, Russia
m-shmakova@yandex.ru, kondratyev@limno.org.ru*

Abstract. The paper presents the results of modeling flows in the reservoir water area, the distribution of tributary waters, and the transfer of suspended particles in various hydrometeorological situations in medium-water conditions.

Key words: shallow water equations, convective-diffusion transfer, analytical formulas for sediment flow and water turbidity