



УДК 556

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ДНА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Шмакова Марина Валентиновна, д.г.н., ведущий научный сотрудник
Институт озерадения РАН – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН
196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, д. 9

Рахуба Александр Владимирович, к.т.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Мониторинга водных объектов
Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН
445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме FFZF-2024-00010154-2019-0003.

Аннотация. Результаты численного моделирования Куйбышевского водохранилища для периода средней водности показали, что незначительные скорости течения недостаточны для активных русловых преобразований. В среднем скорость осадконакопления по всей акватории водохранилища составила около 2 мм. При этом, интенсивный водообмен многоводных лет приведет к более заметной циркуляции твердого стока и, как следствие, более интенсивному переформированию дна всего водохранилища.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище, переформирование дна, наносы, моделирование, заиление, половодье.

Нестационарный режим морфометрически неоднородного водохранилища предполагает определенную активность в изменении отметок дна последнего. Так, градиенты скорости двухфазного массопереноса, обусловленные чередованием плесовых разливов и русловых сужений, водным режимом и регулированием плотиной Жигулевской ГЭС определяют возникновение градиентов и в транспортирующем потенциале водных масс. Последний рассчитывается как разность между расходами наносов, которые может перенести поток соответствующими гидравлическими переменными состояниями, вычисленными в узлах расчетной сетки. Водный режим в свою очередь обусловлен как фазой водности водохранилища, так и неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями в виде ветровых течений, возникающих при воздействии ветра скоростью более 5 м/с.

Куйбышевское водохранилище является водохранилищем долинного типа с выраженным уклоном и чередой плесовых образований. В зависимости от гидродинамической обстановки в акватории для разных частей водохранилища имеет место различный режим переформирования дна. В данной работе приведена оценка режима твердого стока Куйбышевского водохранилища и процессов переформирования дна, основанная на квазитрехмерной гидродинамической модели «Волна» [3], представленной системой уравнений «мелкой воды» и дополненной аналитическими формулами общего расхода наносов и мутности воды [4]. На рис. 1 показано поле удельного расхода наносов, сформированное в результате двухфазного массопереноса, инициированного доминирующими ветрами юго-западного и северного направлений. Как следует из полученных результатов, ветра юго-западного направления являются наиболее благоприятными для активизации процессов взмучивания. Для мелководных частей акватории при этом направлении ветра значения удельного расхода наносов превышают $2 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. При этом повышенной мутностью в основном характеризуются относительно мелководные участки водохранилища.

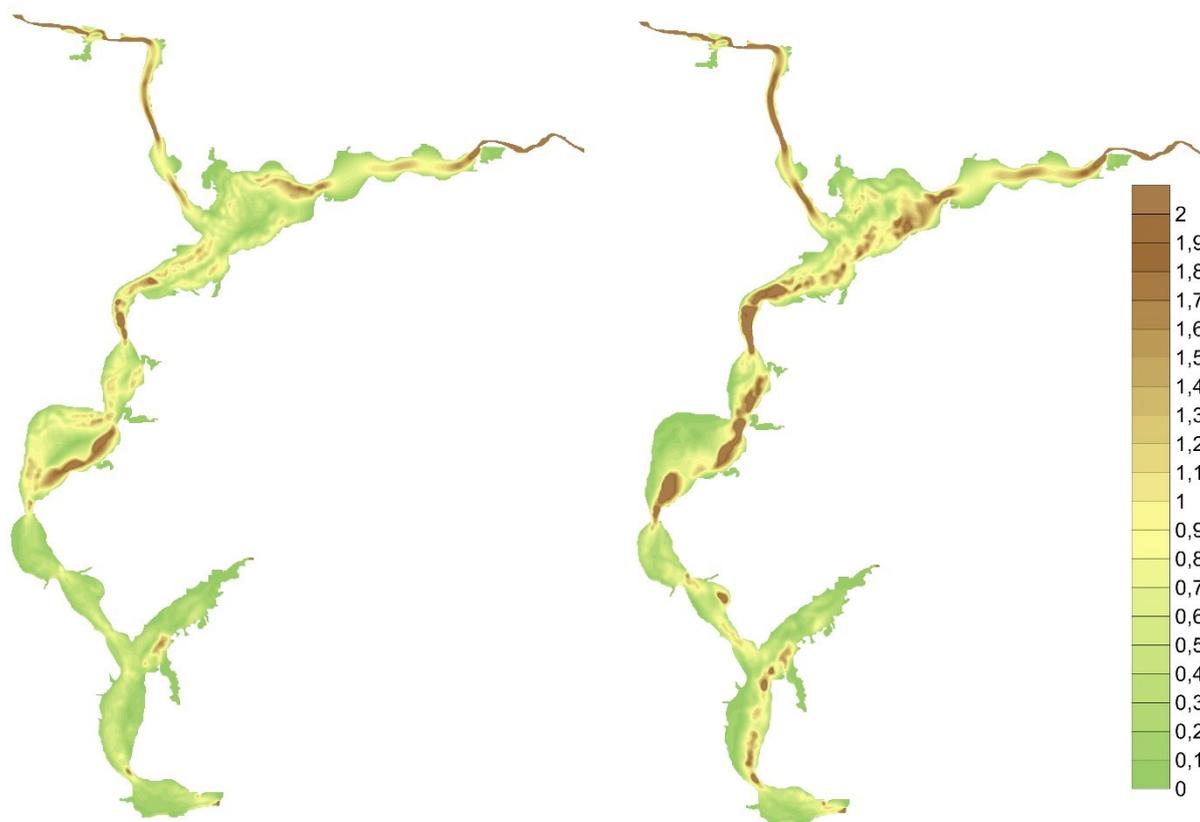


Рис. 1. Распределение удельного расхода наносов ($\text{г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$) в акватории Куйбышевского водохранилища при юго-западном ветре (а) и северном ветре (б).

В качестве расчетного материала для оценки переформирования дна в разные периоды водности были приняты данные наблюдений за водным режимом Куйбышевского водохранилища за 2015 год за безледоставный период. В расчетный период характеризуется четырьмя основными фазами гидрологического режима – подъем и спад половодья, и период межени. На рис. 2 приведены результаты численного моделирования переформирования дна Куйбышевского водохранилища для обозначенных периодов.

Перераспределение наносов в акватории водохранилища происходит весьма неравномерно за счет разнообразной морфометрии и большого количества заливов и плесов. Активный размыв на подъеме половодья приходится на Волжскую и Камскую ветки Куйбышевского водохранилища и русловое сужение в створе п. Балымеры. Спад

половодья характеризуется осаждением транспортируемого твердого вещества в русловых сужениях в целом по акватории и на Камской ветке. За весь 150-дневный период расчета наибольшее переформирование дна отмечено в гидродинамически активных створах п. Балымеры и г. Ульяновск, а также в Климовском сужении и непосредственно перед плотиной Жигулевской ГЭС.

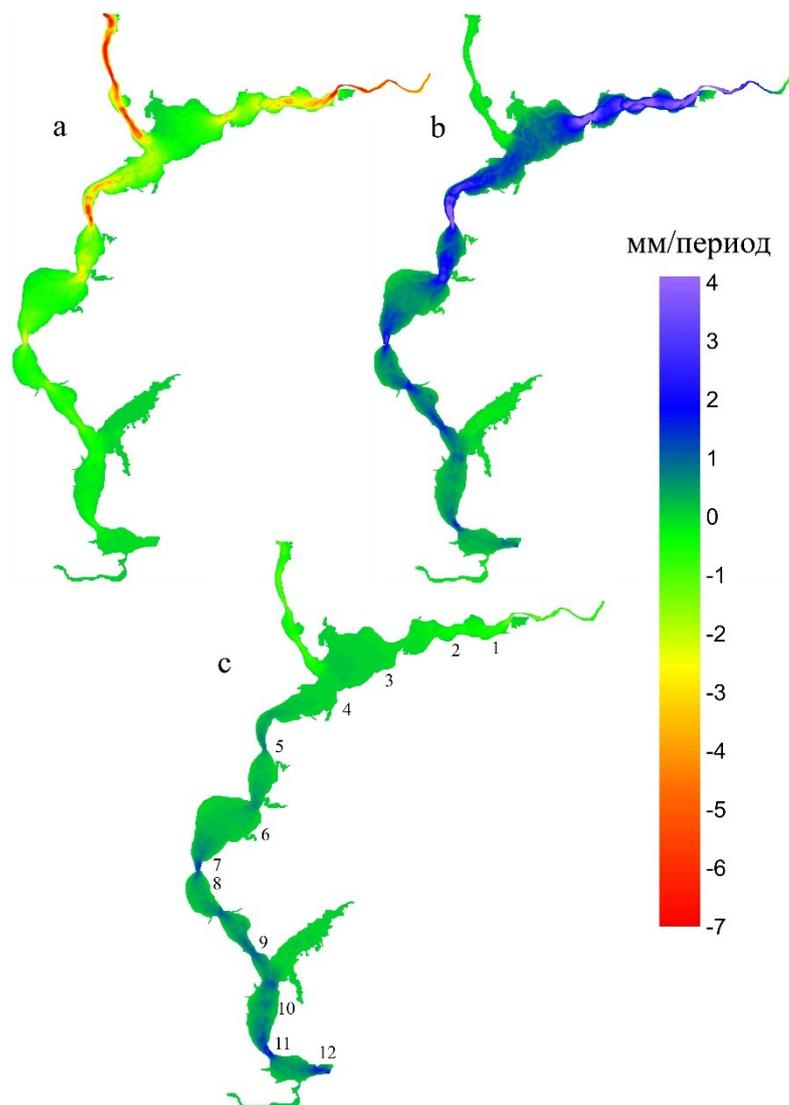


Рис. 2. Результаты моделирования переформирования дна Куйбышевского водохранилища, мм/период: а – в 30-дневный период подъема половодья; б – в 30-дневный период спада половодья; с – суммарная аккумуляция (>0)/размыв (<0) за весь 150-дневный период расчета.

При этом определенный геоэкологический интерес может представлять оценка гидродинамического потенциала максимального содержания взвешенных веществ в потоке вне зоны влияния действующего источника техногенного взмучивания, то есть оценка максимальной вместимости водным потоком взвешенных частиц или иначе транспортирующей способности потока. Особенную ценность такие построения представляют для межлетнего периода, характеризующегося наименьшей глубиной потока, а значит наибольшими значениями мутности. Полученное поле максимального насыщения водных масс взвешенными веществами при гипотетической инициации процессов взмучивания донного грунта позволяет оценить области акватории с наиболее неблагоприятными возможными значениями мутности воды, что может стать основой для последующих рекомендаций по мероприятиям, связанным с дноуглубительными работами и дампинге. Оценка гидродинамического потенциала максимального содержания

взвешенных веществ в потоке проводилась по формуле транспортирующей способности потока [4], которая дополнила моделирующую систему «Волна» [3]. На рис. 3 приведена карта поля максимально возможной мутности в акватории исследуемого водоема. Наибольшие значения мутности приходятся на области наименьших глубин в северной части водохранилища и превышают 300 г/м³. Наименьшие значения мутности приходятся на глубоководную южную часть водохранилища и его центральную часть, приплотинный плес и составляют 50 – 200 г/м³.

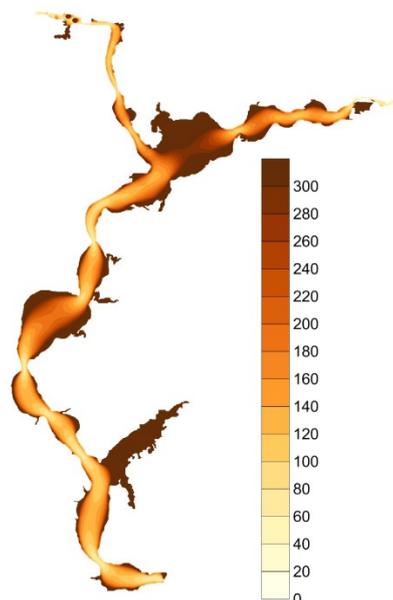


Рис. 3. Поле максимально возможной мутности, мг/л в акватории Куйбышевского водохранилища в меженный период.

В целом, результаты численного моделирования хорошо соответствуют исследованиям [1], где отмечены интенсивные переформирования дна рассмотренных участков в период весеннего половодья. При этом, согласно результатам моделирования, скорость осадконакопления в среднем по Куйбышевскому водохранилищу составила около 2 мм за расчетный период среднего по водности года. Что также не противоречит оценкам скорости минерального осадконакопления, приведенным в работе [2].

Список литературы:

1. Законнов В.В., Законнова А.В., Цветков А.И., Шерышева Н.Г. Гидродинамические процессы и их роль в формировании донных осадков водохранилищ Волжско-Камского каскада // Труды ИБВВ РАН. 2018 – Вып. 81 (84) – С. 35–46.
2. Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука. – 1983 – 214 с.
3. Рахуба А.В. Опыт использования измерительно-вычислительной системы «Хитон-Волна» в гидроэкологических исследованиях прибрежной акватории г. Тольятти. В сборнике: Экологические проблемы промышленных городов. Саратов – 2017 – С. 484–488.
4. Шмакова М.В. Расчеты твердого стока рек и заиления водохранилищ. СПб: Издательство ВВМ – 2018 – 149 с.

HYDRODYNAMIC ASPECTS OF THE RE-FORMATION OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR BOTTOM

Marina V. Shmakova, Aleksandr V. Rakhuba

Abstract. The results of numerical modeling of the Kuibyshev reservoir for the period of average water content showed that insignificant flow velocities are insufficient for active channel transformations. On average, the sedimentation rate over the entire water area of the reservoir

was about 2 mm. At the same time, intensive water exchange of high-water years will lead to a more noticeable circulation of solid runoff and, as a result, a more intensive reshaping of the bottom of the entire reservoir.

Keywords: Kuibyshev reservoir, bottom reshaping, sediments, modeling, siltation, flood.