

Верификация гидродинамической модели устья реки Северной Двины по полевым данным 2016-2017 гг.

Лебедева Серафима Витальевна¹, Алабян Андрей Михайлович²,

Попрядухин Артем Александрович²

¹*ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва*

²*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

Устье реки Северной Двины представляет собой приливную устьевую область с обширной многорукавной дельтой. Величина приливов на морском крае дельты от 0,6 до 1,5 м. Их влияние в форме приливных колебаний уровня воды распространяется до вершины устьевой области (до поста Усть-Пинега в 135 км от морского края дельты). Смена направлений течения с отливного (стокового, направленного в сторону моря) на приливное (направленное из моря в реку) наблюдается на расстоянии до 100 км от морского края дельты.

В вершине дельты Северной Двины расположен крупный город, промышленный центр и речной и морской порт Архангельск. Со сложным взаимодействием реки и моря в устьевой области Северной Двины связан целый ряд водохозяйственных задач города и порта: прогноз стоковых и нагонных наводнений, обеспечение судоходства информацией о режиме уровней воды и течений, проникновение осолоненных вод в дельту, (что вызывает попадание морской воды в бытовые и промышленные источники водоснабжения), распространение загрязняющих веществ от предприятий в условиях переменчивого режима течений.

Все эти проблемы связаны с необходимостью исследования динамики потока в устьевой области. Наилучший современный метод научного исследования и решения практических задач динамики потока в таких сложных гидрологических объектах как морские устья рек - это сочетание компьютерного гидродинамического моделирования и полевых режимных и экспедиционных наблюдений [Лебедева, Алабян, 2015].

Ранее авторами была разработана двумерная модель динамики потока на устьевом участке реки Северной Двины на базе ПК STREAM_2D [Беликов, Кочетков, 2014]. ПК STREAM 2D основан на численном решении двумерных уравнений Сен-Венана на нерегулярных гибридных расчетных сетках. Такая сетка для всего устьевое участка Северной Двины (135 км) и части взморья была построена и состоит из более чем 190 тыс. ячеек. Размеры ячеек обусловлены ширинами русел рукавов. Достаточное количество ячеек по ширине должны обеспечить учет в модели неравномерности изменения скоростей течения в поперечном сечении потока, а также моделирование крупных вихрей.

Верхняя граница модели установлена на 135 км от устьевого створа в месте расположения гидрологического поста Усть-Пинега, расходы по которому используются в качестве граничного условия. Нижняя граница модели установлена по линии, параллельной морскому краю дельты и соединяющей морские водомерные пункты Северодвинск и Мудьюг, данные с которых используются для задания нижнего граничного условия (рис.1).

Модель была откалибрована и верифицирована по данным режимных наблюдений на постах, контролируемых Северодвинской устьевой станцией (рис.1) и на основе измерений расходов воды в рукавах дельты, проводимых в разные годы по руководством Северодвинской устьевой станции и ГОИНа (1960-е, 1981-1983 гг., 2013 г.).



Рис. 1. Схема границ модели и гидрологических постов и створов, использовавшихся для калибровки и верификации.

По результатам калибровочных расчетов было выявлено, что модель адекватно воспроизводит уровенный режим в условиях влияния приливов в межень, при затоплении поймы и дельты в половодье в безледных условиях и во время ветрового нагона, что продемонстрировано на примере нагона 15-16 ноября 2011 года [Лебедева, Алабян и др., 2015]. Расходы воды в рукавах и ход расходов воды в течение приливного цикла воспроизводится адекватно лишь для части основных рукавов и не при всех гидрологических условиях. Была выявлена большая чувствительность расчетного распределения расходов воды по рукавам к уровням воды, задаваемым на нижней границе [Лебедева, 2016]. Уточнить наблюдения за уровнем по линии взморья вдоль морского края дельты (длина границы коло 50 км) пока не представляется возможным. Даны рекомендации для дополнительных наблюдения на островах морского края дельты.

В рамках экспедиционных работ в 2016 и 2017 году были проведены детальные наблюдения за характеристиками динамики потока на участках проток Маймаксы и Кузнечихи (рис. 2). Наблюдения на Маймаксе были проведены 30 июля 2016 г. при речном стоке, близком к среднему для летней межени. Наблюдения на Кузнечихе выполнены 4 августа 2017 г. во время дождевого паводка при общем расходе воды Северной Двины более $5000 \text{ м}^3/\text{с}$ (примерно в 2 раза больше среднемеженного расхода воды).

Наблюдения в 2016 и в 2017 гг. были проведены по единой схеме: установлены гидростатические самописцы уровня вдоль рабочего участка. Данные их наблюдений увязаны в единую системы и привязаны к абсолютным отметкам с помощью системы дистанционного спутникового позиционирования (DGPS). На нижнем и верхнем створах участка велись непрерывные наблюдения за расходами с помощью акустик-доплеровских измерителей течений (ADCP) в течение одного приливного цикла 12,5 часов).

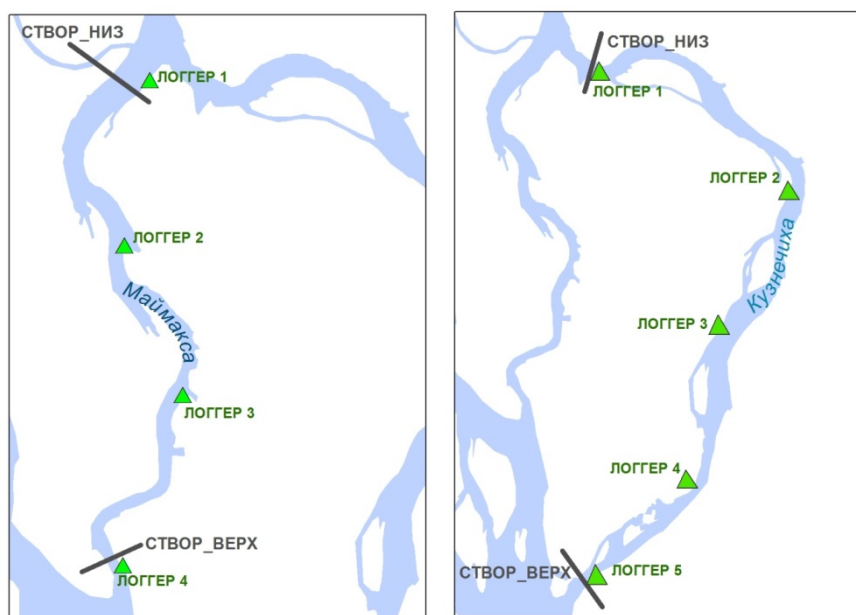


Рис. 2. Схемы расстановки логгеров и створов измерения расходов воды в Маймаксе (в 2016 г.) и Кузнечихе (в 2017 г.).

Полученные данные об уклонах водной поверхности, уровнях воды, расходах воды и скоростях течения (рис. 3) дает материал для новой серии верификационных расчетов на модели с более детальным рассмотрением скоростного поля вдоль одной протоки (Маймаксы и Кузнечихи) в разных по водности условиях, а также проверке адекватности моделирования изменчивости уклонов водной поверхности в течение приливного цикла.

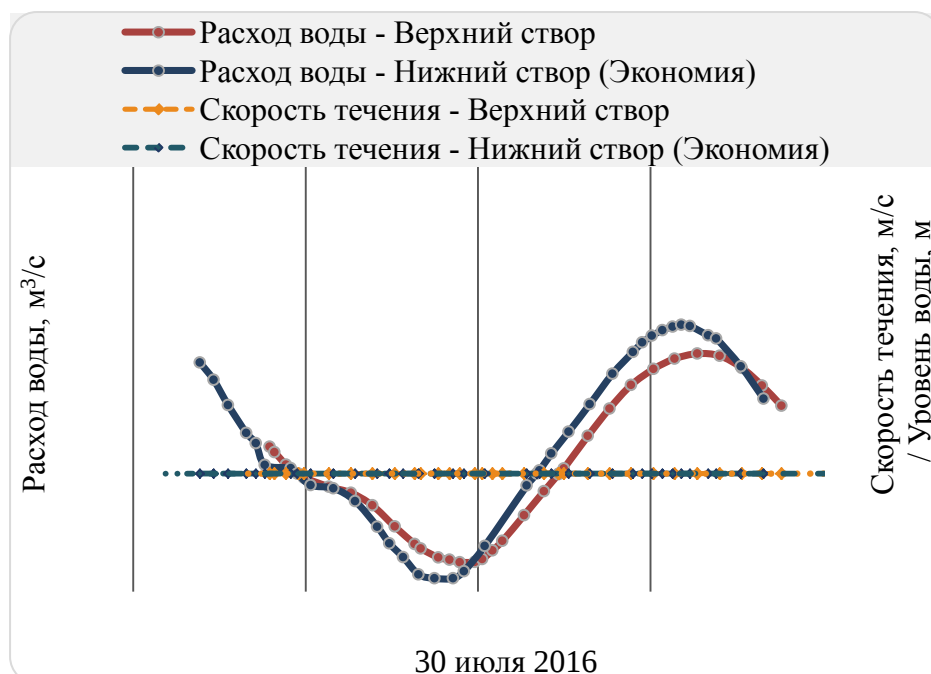


Рис. 3. Измеренные расходы воды в верхнем и нижнем створах участка проведения полевых работ в протоке Маймаксе (30 июля 2016).

Результаты сопоставления смоделированных и наблюдаемых характеристик помогут провести дополнительную настройку и улучшить качество расчетов на модели.

Список литературы

Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс STREAM_2D для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014612181. М.: Российское агентство по интеллектуальной собственности, 2014.

Лебедева С.В., Алабян А.М., Крыленко И.Н., Федорова Т.А. Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование // Геориск, (1):18–25, 2015.

Лебедева С.В., Алабян А.М. Методика исследования динамики потока в устьевых областях крупных рек и ее реализация для устья Северной Двины // Сборник тезисов международной научно-практической конференции «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти Ю.Б. Виноградова. СПб., 2015. С. 337–341.

Лебедева С.В. Динамика потока в многорукавном приливном устье крупной реки (на примере р. Северная Двина), дисс... канд. геогр. наук, МГУ, 2016. 211 с.