

ОТЗЫВ
официального оппонента
Архипова Бориса Витальевича

на диссертацию ЛЕБЕДЕВОЙ Серафимы Витальевны
«ДИНАМИКА ПОТОКА В МНОГОРУКАВНОМ ПРИЛИВНОМ УСТЬЕ КРУПНОЙ РЕКИ (НА
ПРИМЕРЕ р.СЕВЕРНАЯ ДВИНА)»,
представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по
специальности 25.00.27 – «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия»

Диссертация С.В.Лебедевой посвящена изучению динамического взаимодействия речных и морских вод в многорукавных приливных устьях крупных рек на примере устьевой области Северной Двины. В качестве метода исследования выбран метод математического моделирования.

Задача изучения гидродинамических процессов в устьях рек и/или эстуариях имеет довольно длинную историю в зарубежных странах, в связи с тем, что многие крупные города на западе расположены на берегах океанов. Начались такие исследования еще в 17-18 столетиях с наблюдений за колебаниями уровня моря и разработкой методов его предвычисления в прибрежных областях, особенно в портах, которые часто располагались на берегах эстуариев. Позже уже в 20-м столетии, когда возникли экологические проблемы, эти исследования существенно расширились. В нашей стране эта задача приобрела особую актуальность, после начала активизации добычи углеводородов на морском шельфе, особенно в районах Северного Ледовитого Океана и/или Охотского моря. Естественным, что основные усилия были сосредоточены на наблюдениях различных величин, характеризующих гидродинамические, термохалинные, гидрохимические и другие процессы. Постепенно эстуарная гидродинамика выделилась в самостоятельный раздел геофизической гидродинамики и, помимо наблюдений, активизировалась работа по созданию математических моделей протекающих процессов для более полного их понимания.

Последнюю мысль необходимо рассмотреть более подробно. Для этого необходимо сравнить три подхода изучения устьевых (эстуарных) процессов:

метод наблюдений, метод подобия и метод моделирования. Метод наблюдений, естественно, дает наиболее объективную информацию о состоянии эстуария, но обладает и тем недостатком, что наблюдения сосредоточены в узкой пространственно временной области, обычно на относительно небольшом количестве станций в экспедиционный период и/или редком наборе точек при измерениях на стационарных гидропостах. Этот метод не дает возможности фиксировать состояние эстуария и изменчивость его параметров на различных пространственно-временных масштабах.

Метод подобия, одним из вариантов которого являются гидравлические лабораторные модели, обладает недостатком, что в нем не удастся сохранить подобными весь набор определяющих параметров задачи и потому выводы нельзя переносить на исследуемый объект.

Наиболее полный набор характеристик объекта (устьевой области и/или эстуария) дает математическое моделирование. Не смотря на то, что этот метод также обладает недостатками, связанными с вопросами адекватности математической модели природному аналогу, именно он дает возможность получать характеристики объекта в любых масштабах пространственно-временной изменчивости и в неограниченной полноте, а также устанавливать причинные связи между различными элементами. Необходимо также отметить, что метод математического моделирования существенно базируется на наблюдениях, как для задания граничных условий, так и для верификации модели, т.е. для выяснения ее адекватности.

Автором отмечено, что в условиях многорукавного приливного устья крупной реки проведение одновременных измерений гидродинамических характеристик во всех рукавах дельты и на придельтовом участке реки в течение всего приливного цикла представляется практически невозможным. Наиболее эффективный способ изучения динамики водных потоков в этом случае – сочетание методов экспедиционных исследований, анализа данных дистанционного зондирования и математического моделирования.

При применении метода математического моделирования необходимо, с одной стороны, описать математическую постановку, а с другой стороны осветить различные детали его применения, как-то, граничные условия и другие входные параметры.

В разделе 3.2.1. автор приводит общую математическую постановку задачи и анализирует ее генезис, начиная с одномерных уравнений Сен-Венана и общих уравнений Рейнольдса. В конечном итоге автором выписываются уравнения мелкой воды для двумерного потока (или уравнения Сен-Венана). В разделе 3.4.2.-3., а также в разделе 4.1. автор рассматривает обзор существующих гидродинамических моделей и обоснование выбранной модели для устьевой области Северной Двины. Для реализации двумерной численной гидродинамической модели на устьевом участка реки Северной Двины был использован программный комплекс (ПК) STREAM_2D. Этот ПК разработан В.В. Беликовым и В.В. Кочетковым и зарегистрирован в Росреестре [2014].

Цель моделирования - воспроизведение характеристик динамики потока на устьевом участке реки (распределение расходов воды по рукавам, уровни и уклоны воды, направления и скорости течения) в приливном и синоптическом масштабах времени. В задачи моделирования входит настройка модели, как можно более детальная калибровка и верификация, оценка ее чувствительности к входным данным и параметрам, определение возможностей и ограничений. По итогам выполнения этих процедур составлена программа численных экспериментов и проведены сценарные расчеты, описание и анализ результатов которых приведен в главе 5.

Из комплекса ведущих устьевых процессов разработанная двумерная модель позволяет учесть и воспроизвести:

- динамическое взаимодействие вод реки и приемного водоема;
- растекание вод по поверхности дельты (распределение стока воды по рукавам, заливание дельты речными и морскими водами).

Результаты моделирования: скоростное поле потока (осредненные по вертикали значения скорости потока и их направления), поле отметок уровня

водной поверхности, расходы воды через заданные сечения на любой момент времени (например, распределение расходов воды по рукавам разветвления).

Любопытна трактовка понятий «верификация», «валидация», а также «идентификация» и «интерпретация» результатов моделирования рассмотренная в работе.

В работе сказано, что обычно, главные трудности при моделировании естественных потоков связаны не с точностью получаемых численных решений (выбором вычислительной техники и т.п.), а с некоторыми дополнительными факторами. Именно на идентификацию, анализ и снижение влияния этих дополнительных факторов направлены главные усилия. Это может быть:

1) неправильная концепция модели для поставленной задачи (начальный набор уравнений – математическая модель);

2) ошибки, неточности или неопределенности в задании граничных условий;

3) неправильно подобранные параметры модели (фиксируются по результатам калибровки, но и в сценарных расчетах может возникнуть ситуация, где они окажутся неподходящими);

4) некорректные входные данные (детальность и точность рельефа, его соответствие временному периоду, к которому относятся входные гидрологические данные, конфигурация расчетной сетки).

Соглашаясь с такой постановкой вопроса, рецензент хотел бы подчеркнуть, что из перечисленных факторов, наиболее важный источник ошибок – неопределенность входной информации, связанная с ее большим объемом. Фактически объем входной информации в задачах рассматриваемого типа сравним с объемом получаемой в результате моделирования информации!

Исходными данными для моделирования на основе программного комплекса STREAM_2D являются данные о высотных отметках рельефа русел и пойм (цифровая модель рельефа), представленные в виде поля точек в декартовой системе координат (x, y, z).

В качестве начальных условий для расчета задаются отметки водной поверхности в виде горизонтальной или наклонной плоскости. Начальное приближение скоростного поля потока обычно принимается нулевым.

В качестве граничных условий задаются расходы воды (гидрографы) на верхней открытой границе, уровни воды на нижней открытой границе и условие не протекания на твердых боковых границах.

В диссертации проведена большая работа по оцифровке данных о рельефе. Построена нерегулярная гибридная расчетная сетка при помощи программных средств, входящих в комплекс STREAM_2D. Сетка состоит из 190 тысяч ячеек: четырехугольников, приуроченных к руслам значимых водотоков, и треугольников на остальной площади. Линейные размеры ячеек изменяются от 10 м в руслах до 100–200 м на пойме и взморье. Уменьшенная версия сетки для расчетов меженных условий состоит примерно из 155 тысяч ячеек.

Калибровка модели в приливных условиях была выполнена по фактическим данным за июль 1983 г.

Калибровочным параметром модели является коэффициент шероховатости подстилающей поверхности, который может задаваться с различной степенью детальности для отдельных зон моделируемой области.

В процессе калибровочных расчетов выявлено, что коэффициент шероховатости в наибольшей степени влияет на уклон водной поверхности на придельтовом участке реки, что видно по значительной изменчивости уровня воды в Усть-Пинеге. В меньшей степени изменение коэффициента шероховатости отражается на уровнях воды в дельте, включая ее вершину (Смольный Буян). Согласно наибольшему совпадению расчетного и наблюдаемого уровней воды в Усть-Пинеге подобран единый коэффициент шероховатости для придельтового участка реки в меженных условиях $n = 0,006$.

Специальные численные эксперименты были проведены для выявления параметров и входных данных, к которым модель наиболее чувствительна, а значит, тех элементов, на которые следует обратить особое внимание при

использовании модели. Уточнение этих параметров и входных данных может привести к существенному росту качества модельных расчетов.

Для характеристики гидродинамического режима устьевой области Северной Двины в условиях наиболее выраженного воздействия приливов был выбран близкий к сизигии приливный цикл с 17:30 час. 16 июля по 6:00 час. 17 июля 2013 г. Расход воды в вершине устьевой области в эти дни составлял 1500 м³/с, что характерно для низкой летней межени (средний минимальный расход воды в летне-осеннюю межень составляет 1680 м³/с).

Период рассматриваемого приливного цикла составляет 12,5 часов, величина прилива на морском крае дельты (МКД) – 1,1 м. За начало цикла был принят момент наступления малой воды на морском крае дельты по посту Северодвинск. Полная вода на МКД наступила на шестом часе (астрономическом) рассматриваемого приливного цикла. Малая и полная вода в Соломбале была зафиксирована на три часа позже, чем на МКД, а у Смольного Буяна – еще на полчаса позже (рисунок 5.1). Приливные колебания уровня воды в Усть-Пинеге не превышали по величине 5 см, находясь в противофазе колебаниям уровня в вершине дельты, где их величина составляла около 85 см.

Результаты моделирования позволили провести комплексный анализ течений, уровней и уклонов водной поверхности в течение приливного цикла на устьевом участке реки. Схемы пространственного распределения удельных расходов воды и направлений течения (рисунок 5.2) на каждый час приливного цикла представлены в Приложении А. По результатам моделирования предложена схема расположения гидрометрических постов.

15–16 ноября 2011 г. в устье Северной Двины произошел катастрофический штормовой нагон, какого не случалось и в XX в. Этот нагон был смоделирован в работе. По фактическим данным об уровнях полных и малых вод в Северодвинске и на Мудьюге было сформировано нижнее граничное условие для моделирования нагона. На верхней границе были заданы фактические среднесуточные расходы воды по посту в Усть-Пинеге, которые в течение 14–16 ноября изменялись от 2280 до 2480 м³/с.

Смоделированные уровни воды в нагон были сопоставлены с данными самописца на посту в Соломбале (Росгидромет) и самописца на месте поста Экономия (ГП «Росморпорт»), с данными об уровнях полных и малых вод и времени их наступления в Смольном буяне, а также о максимуме нагонного повышения уровня воды на посту Усть-Пинега.

Расхождения в величинах максимальных нагонных уровней воды по модели и по наблюдениям на всех контрольных постах не превышает 12 см (рисунок 5.4). Время наступления максимального уровня у постов Экономия, Смольный Буй и Соломбала воспроизведено точно. Смоделированные поля течений и уровней воды позволяют визуализировать и проанализировать последовательность заполнения устьевой области водой со стороны моря во время нагона, плановую картину течений во время нагона и после него.

На основе рассмотрения диссертационной работы С.В.Лебедевой можно сделать следующие выводы. Достоверность перечисленных выше и неупомянутых здесь результатов диссертационной работы не вызывает сомнения, так как они получены с использованием математической модели, прошедшей разностороннюю апробацию путем сопоставления результатов расчетов с данными наблюдений и с расчетами по другим моделям с аналогичными характеристиками. Основные выводы обоснованы корректно проведенными теоретическими построениями при формулировке модели и анализом результатов проведенных численных экспериментов.

Стиль изложения результатов работы и оформление диссертации соответствуют нормам, принятым в научной литературе. Вместе с тем с точки зрения рецензента по тексту диссертации можно сделать следующее замечание: недостаточно использованы дополнительные данные для задания граничных условий на нижней открытой границе области, где можно было бы привлечь котидальные карты приливов в Белом море.

Сделанное замечание не влияет на общую положительную оценку диссертационной работы, представляющей собой законченное исследование. Совокупность изложенных в ней результатов можно рассматривать как

инструмент для решения научных проблем, имеющих важное социальное и хозяйственное значение. Результаты работы могут быть применены в институтах РАН и других организациях (Институт океанологии РАН, Институт физики атмосферы РАН, ВЦ РАН, Гидрометцентр и т.п.).

Полученные в ходе выполнения работы результаты могут быть также использованы для дальнейших исследований в области моделирования циркуляции устьевых областей. Автореферат и публикации отражают основное содержание диссертации. Все это дает возможность заключить, что выносимая на защиту работа Лебедевой Серафимы Витальевны удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Заведующий сектором математического моделирования водных систем
Федерального исследовательского центра "Информатика и управление"

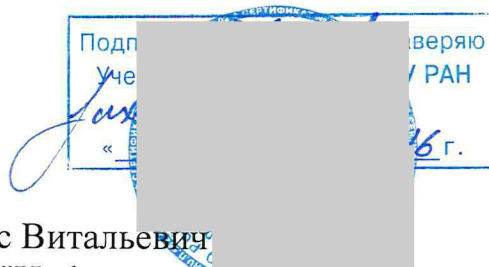
РАН г. Москва, кандидат физико-математических наук



Архипов Борис Витальевич

Дата 11.05.2016

Заверение подписи



Официальный оппонент: Архипов Борис Витальевич
Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН
Адрес: РФ, 119333, Москва, Вавилова, д.40
Сайт: <http://www.ccas.ru>
Телефон: (499) 1355139
Электронная почта: arhip@ccas.ru