

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию Панченко Евгении Дмитриевны
на тему: «Динамика потока в приливных устьях малых рек (на примере
Беломорского бассейна)», представленную на соискание ученой степени
географических наук по специальности 1.6.16 – «гидрология суши,
водные ресурсы, гидрохимия»

Диссертация Панченко Е.Д. посвящена исследованию динамического взаимодействия вод реки и моря в приливных устьях и базируется на данных экспедиционных измерений в устьях малых рек Беломорского бассейна, выполненных при активном участии автора. Актуальность выбранной темы не вызывает сомнения ввиду возрастающего практического интереса к Арктическому региону России, где устья большинства рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана, в той или иной степени являются приливыми. Для исследования гидродинамики приливных устьев использовался комплексный подход, включающий в себя как полевые исследования, так и гидродинамическое моделирование.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Установлено, что гидравлическое сопротивление изменяется на несколько порядков в течение приливного цикла. Перед разворотом течения происходит его резкое увеличение, а после – резкое уменьшение. Рассчитаны коррективы скорости (коэффициенты Кориолиса и Буссинеска в уравнении Сен-Венана), что существенно расширило представление о возможных диапазонах их значений. Предложена новая форма записи уравнения движения для приливных устьевых участков рек с реверсивным движением водных масс, позволяющая более корректно охарактеризовать последовательность наступления гидравлических экстремумов в ходе приливного цикла.

На защиту выносятся следующие положения:

- Скорость распространения приливной волны определяется темпами продвижения ее фронта, а время остановки течения и порядок экстремумов уровня и расхода воды – характером ее трансформации на устьевом участке.
- Определяющими факторами трансформации являются рельеф русла и наличие ледяного покрова, и в меньшей степени – величина речного стока.
- Одномерные гидродинамические модели, основанные на уравнениях Сен-Венана, наилучшим образом воспроизводят скорость продвижения приливной волны, время и порядок наступления экстремумов уровней и расходов воды, и в меньшей степени – амплитуду приливных колебаний уровня и диапазон изменения приливных и отливных расходов воды.
- Коррективы скорости (коэффициенты Кориолиса и Буссинеска) существенно изменяются в течение приливного цикла, ввиду чего необходима модификация уравнения движения системы Сен-Венана применительно к приливному устьевым участкам рек.
- Гидравлическое сопротивление в течение приливного цикла может изменяться на несколько порядков: перед разворотом течения происходит его резкое увеличение, а затем резкое уменьшение.

Все выводы базируются на надежном фактическом материале, методика работ является оригинальной, некоторые приемы полевых работ применены впервые (синхронное измерение расходов и уровней воды в поперечниках, находящихся на различном удалении от устьевого створа). Камеральная обработка и анализ полевых данных выполнены аккуратно, результаты опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых изданиях, а полевые данные загружены в репозиторий. Все научные

положения и выводы представляются вполне обоснованными. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

В качестве объектов исследования выбраны устья рек бассейна Белого моря, где величина приливов варьирует в широком диапазоне: от полуметра до девяти метров, что позволило изучить устьевую гидродинамику при различных сочетаниях речных и морских факторов. Акцент на устьях малых рек дал возможность получить и проанализировать материал высокой точности, который на современном этапе развития гидрометрических измерений пока еще недоступен для устьев более крупных рек. Полученные данные были использованы для оценки функциональных возможностей и пределов применимости одномерных гидродинамических моделей применительно к реверсивным водным потокам на устьевых участках приливных рек. Полученные результаты представляют интерес также для выявления общих закономерностей гидродинамического режима приливных устьев вне зависимости от размера реки.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, обозначены методы, научная новизна и практическая значимость, а также приведены сведения об апробации работы и личном вкладе соискателя.

В первой главе приводится обзор предыдущих исследований, посвященных наиболее важным аспектам гидродинамики приливных устьев рек, а именно, механизму распространения приливной волны вверх по руслу реки и силам, действующим в нестационарном водном потоке. Детально рассмотрена система уравнений Сен-Венана, лежащая в основе одномерного описания неустановившегося движения воды.

Вторая глава дает представление об основных объектах исследования – малых реках Кянда, Тамица, Сёмжа и Лая, на каждой из которых

проводились полевые работы при участии автора. Реки протекают в схожих физико-географических условиях, определяющих особенности водного режима, однако существенно различаются по гидродинамическому режиму в нижнем течении. Это объясняется как различием в географическом положении и величине прилива, так и разным геоморфологическим строением русел рек на устьевых участках. Подробно описано строение и гидродинамический режим устьевой области каждой из этих рек, выполнено сопоставление наиболее важных гидродинамических характеристик. Методика и результаты работ сопоставляются с данными прочих экспедиционных исследований, выполненных в устьях рек Беломорского бассейна за два последних десятилетия.

В третьей главе проанализированы особенности движения волны прилива вверх по руслам исследованных рек. Исследовано влияние величины речного стока, рельефа русла, наличия ледяного покрова и прочих факторов на характер трансформации приливной волны, определены скорости ее распространения и даны рекомендации по ее расчету. Показано, что при движении по мелководному взморью и далее вверх по руслу реки изначально синусоидальная приливная волна меняет форму, превращаясь из синусоиды в «импульсоиду» – резкие «всплески» изменения уровня воды сменяются продолжительными периодами квазиустановившегося течения. Для характеристики этого явления введен параметр, характеризующий период постоянства уровней воды в фазу отлива. Продолжительность этого «бесприливного» периода зависит от строения русла, удаленности от устьевого створа, величины речного стока и наличия ледяного покрова.

Четвертая глава посвящена одномерным гидродинамическим моделям устьевых участков Сёмжи, Кянды и Лаи, разработанных автором диссертации в программном комплексе HEC-RAS. На примере приливного эстуария Онеги выполнено сопоставление результатов гидродинамического моделирования с использованием одномерной и двумерной модели. Утверждается, что все модели точно воспроизводят скорость движения

фронта приливной волны и, соответственно, дальность распространения приливных колебаний уровня воды и реверсивных течений, а также время наступления минимальных и максимальных уровней, экстремумов расходов воды и разворота течений. При этом наиболее существенным недостатком моделей малых рек являются некоторые нефизичные колебания уровней и расходов воды на Кянде и Сёмже, фактически не наблюдающиеся и связанные с численной неустойчивостью решения при подобранных маленьких коэффициентах шероховатости.

В пятой главе приведены результаты расчетов членов уравнения неустановившегося движения (первое уравнение в система Сен-Венана) по результатам полевых измерений на устьевых участках Сёмжи и Кянды. Выполнен анализ изменения коэффициентов гидравлического сопротивления и коэффициентов Кориолиса и Буссинеска в течение приливного цикла. Показано, что при расчетах с учетом коррективов скорости и дополнительных инерционных членов увеличивается продолжительность периодов, когда силы трения в потоке не являются доминирующими (вклад фрикционного члена уменьшается на 3 – 5 % на Сёмже и до 15 % на Кянде). По данным измерений солености и температуры воды оценено влияние на динамику потока продольного градиента плотности. Утверждается, что отрицательные значения гидравлического сопротивления не противоречат современным представлениям о механизме диссипации энергии в турбулентных потоках. В соответствии с принятой в настоящее время параметризацией гидродинамических процессов передача энергии пульсаций поступательному движению жидкости или газа проявляется в отрицательных значениях коэффициента турбулентной вязкости (турбулентного обмена), когда энергия поступательного движения передается от "более медленных" слоев жидкости к "более быстрым" (с точки зрения средней скорости их поступательного движения). Резкое увеличение значения гидравлического сопротивления перед разворотом течений может отражать аккумуляцию энергии поступательного движения в вихревых образованиях, а их резкое

уменьшение – сброс энергии вихрей в поступательное движение водной массы.

В заключении перечислены основные результаты исследования и сформулированы выводы.

1. Определяющими факторами изменения приливной волны являются (в порядке значимости): рельеф русла, наличие ледяного покрова и величина речного стока; вклад каждого фактора оценен на основе данных измерений.
2. Скорость распространения приливной волны необходимо определять по темпам продвижению ее фронта (а не максимума), из-за трансформации волны скорость движения фронта и гребня может различаться в несколько раз.
3. Одномерные гидродинамические модели устьевых участков с реверсивными движениями воды наилучшим образом воспроизводят скорость продвижения приливной волны, и в меньшей степени – амплитуду приливных колебаний уровня и диапазон изменения приливных и отливных расходов воды на различном удалении от устьевого створа.
4. Полученные в результате калибровки модели значения коэффициента шероховатости, оказались значительно меньше значений, типичных для равнинных рек со сходными параметрами русла. Выявлена проблема численной неустойчивости решения уравнений Сен-Венана при малых значениях коэффициента шероховатости при использовании программного комплекса HEC-RAS.
5. В течение приливного цикла инерционные и плотностной члены, а также коэффициенты гидравлического сопротивления и коррективы скорости в уравнении движения изменяются в широком диапазоне значений и наиболее «нетипичные» значения характерны для периодов разворота течений.

6. Высокая изменчивость коррективов скорости в течение приливного цикла определяет необходимость модификации уравнения движения Сен-Венана для реверсивных потоков. Предложен вариант такой модификации.
7. На примере малой реки Лая, автором была продемонстрирована значимость весьма незначительных приливных колебаний уровня моря на динамику водных масс в устье реки.

Некоторые результаты исследования весьма интересны, но носят дискуссионный характер. В наибольшей степени это относится к предположению о проявлении отрицательной турбулентной вязкости в реверсивном потоке, с чем автор связывает аномально низкие значения коэффициентов шероховатости. Данный вопрос требует дальнейших исследований.

Замечания.

- Автор демонстрирует умение работать с гидродинамическими моделями, в то же время создается впечатление, что этот аппарат использован не в полной мере при исследовании вклада основных факторов устьевой гидродинамики в режим потока на устьевом участке реки. Ввиду этого первый и второй выводы диссертационного исследования сформулированы недостаточно конкретно. Помимо анализа полевых данных было бы уместно выполнить серию численных экспериментов для их подтверждения и детализации.
- При достаточно подробном анализе динамического взаимодействия речных и морских водных масс, процессам проникновения соленых вод вверх по руслам рек, которые имеют важное практическое значение, в работе должного внимания не уделено. Кроме того, в диссертации практически не рассматриваются вопросы транспорта наносов, хотя в списке работ автора фигурирует несколько серьезных публикаций, связанных именно с этой проблематикой.
- При сравнении 1D, 2D и 3D моделей (раздел 4.3) ничего не говорится о совпадении или несовпадении результатов расчета по указанным моделям

в точке разворота течения. Возможно ли возникновение разнонаправленных течений по глубине и каковы условия возникновения этого явления.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.16 – «гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Панченко Евгения Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16 – «гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник,
руководитель лаборатории математических
методов моделирования Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки «Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр Российской академии
наук»

КОНДРАТЬЕВ Сергей Алексеевич

подпись



17.10.2022

Контактный телефон: +7 (812) 76, e-mail: kondratyeva@phs.su.ru
Специальность, по которой официально зарегистрирована диссертация: 11.00.11 – Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов
Адрес места работы: 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д.39, литер А
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН)
Тел.: +7 (812) 76, e-mail: sfg@phs.su

Подпись сотрудника СПб ФИЦ РАН С.А. Кондратьева
удостоверяю:

Руководитель структурного подразделения



О.Я. Глибко

17.10.2022