

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

Рассматриваемая диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы и приложения.

Во введении рассматривается актуальность работы, ее цели и решаемые задачи, сформулированы предмет и объекты исследования, научная новизна исследования. Обсуждаются, анализируются четыре основные защищаемые положения, выдвинутые в работе.

Активное освоение как северных, так дальневосточных территорий страны, как правило, начинается, в первую очередь, с устьевых участков рек. В тоже время на них наблюдается такое специфическое явление как приливы, характеризующиеся значительными внутрисуточными колебаниями основных гидравлических характеристик рассматриваемых водных объектов. К сожалению, исследованию рассматриваемых явлений в нашей стране не уделялось должное внимание. В определенной мере данная работа призвана решить эти вопросы. Существенная, играющая определяющую роль нестационарность рассматриваемых процессов накладывает определенный, значимый отпечаток как на методологию их натурных исследований, так и технологию их описания, построения математических моделей. Казалось бы, хорошо отработаны традиционные схемы описания прохождения паводковых волн при решении данной задачи, включающей описание реверсных потоков, но встречаются значительные трудности. На наш взгляд, основная заслуга диссертанта не только в том, что он исследовал новые объекты, но освоил технологии исследования и описания этих специфических явлений.

Первая глава рассматриваемой диссертации посвящена описанию рассматриваемого явления – приливным процессам их хозяйственной значимости. В основном данная глава построена на основе обзора ранее выполненных исследований. Также в этой главе рассматривается система уравнений Сен-Венана как основной инструмент описания приливных процессов в устьях рек.

Вторая глава также носит обзорный характер и посвящена объекту исследований – Белому морю, приливным явлениям в устьях впадающих в него рек. Рассматривается также история проведения данных исследований. Излагается отработанная в ходе проведения данного исследования методика проведения полевых измерений.

Есть некоторые противоречия между положениями, изложенными в первой и во второй главах диссертации. В первой главе указывается, что приливные явления являются весьма масштабными процессами и на относительно небольших морях как Черное, Балтийское, Каспийское практически не проявляются. Во второй главе отмечается, что Белое море относительно небольшое, в средней его части ширина его горла составляет ~ 55 км. В то же время оно характеризуется очень существенными приливами, уступая в этом отношении только побережью Камчатки. Данное положение весьма интересно и требует соответствующего пояснения. Так же, для читателя несвязанного непосредственно с Белым морем, требует пояснения использование в данной работе лоции более чем 100-летней давности.

Глава 3 посвящена анализу экспериментальных данных, полученных по динамике приливных волн на исследуемых в устьях реках. Данный раздел содержит наибольший объем вновь полученной исходной информации. Полученный материал в ходе проведения натурных исследований, затем активно использовался в четвертой и пятой главах. Так как приливные явления имеют отчетливый суточный цикл, было весьма оправдано хотя бы на одной вертикале, расположенной в устьевом участке, провести непрерывные суточные измерения скорости потока с использованием

современных измерительных средств. В измерении, анализе скоростей течений существует два принципиально различных подхода – схемы Эйлера и Лагранжа. В данной работе использовался Эйлеров подход – оценка параметров потоков по измерениям в конкретной точке потока.

На наш взгляд, так как рассматриваемые приливные процессы являются достаточно пространственно-распределенными, то измерение скоростей потоков по схеме Лагранжа с использованием системы активных и пассивных маркеров, с различным заглублением парусов, может дать существенные дополнительные результаты как по оценке инерционных членов, так и, соответственно, по оценке гидравлического сопротивления водотока.

В четвертой главе рассматриваются модели описания динамики волн в устьевых участках рек. В настоящее время гидродинамические модели, проводимые с использованием вычислительных экспериментов, стали эффективным инструментом в исследовании процессов динамики русловых потоков. При этом возникает достаточно сложная и ответственная задача, выбор оптимальной модели. С одной стороны, модели должны быть достаточно полными, учитывать принципиальные особенности рассматриваемых процессов, явлений, а с другой стороны, они должны успешно параметризоваться на основе доступного объема исходной информации, быть реализуемы на доступных вычислительных средствах. Для построения моделей рассматриваемых процессов прохождения приливных волн в устьевых участках рек принципиальное значение имеет оценка влияния на динамику рассматриваемых процессов плотностной неоднородности водных масс. Если такое влияние существенно, то задача значительно усложняется, модель в этом случае как минимум должна включать в себя описание полей температуры и солености. Так как рассматриваемые поля существенно неоднородны в приустьевых областях, то задача априорно становится 3-х мерной, при этом использование моделей гидростатического приближения в условиях весьма сложной геометрии этой

зоны становится некорректным. Необходимо применение значительно более сложных, требующих значительно больших вычислительных ресурсов моделей в негидростатическом приближении. Используемая в данной главе 3D модель была реализована на основе использования программного продукта Delft3D, который построен в гидростатического приближении. В условиях не учета плотностной неоднородности водных масс, использовании моделей в гидростатическом приближении, вполне ожидаема близость результатов расчетов, полученных на основе использования моделей в 2Dh и 3D. К сожалению, в данном разделе совершенно не рассмотрены 2Db модели, которые в отличии от 2Dh моделей строятся на основе осреднения не по глубине, а по ширине водотока. Вероятно, такие модели могли бы быть эффективными при их использовании на не широких, а на глубоких устьевых участках, где необходимо учитывать неоднородность распределения рассматриваемых показателей по глубине водотока.

Основной вывод по данной главе – гидродинамические модели даже в 1D без учета плотностных стратификационных эффектов способны, в определенной мере, воспроизводить основные гидравлические характеристики прохождения приливных волн. Соответственно, система уравнений Сен-Венана с квадратичным гидравлическим сопротивлением способна достаточно корректно описывать рассматриваемые процессы. В то же время возникает серьезная проблема с заданием, калибровкой коэффициентов шероховатости. Данные коэффициенты при их калибровке оказываются существенно меньше, чем могли бы быть их расчетные значения при условии стационарности потока.

Наиболее сложные специфические вопросы, связанные с описанием динамики потоков в приливных руслах, рассматриваются в пятой главе, соответственно, она вызывает наибольшее количество вопросов. Для объяснения наблюдаемого несоответствия между измеренными значениями скоростей потока и уклонов водной поверхности на отдельных вертикалях в разделе 5.7 данной главы выдвигается и прорабатывается гипотеза

отрицательной вязкости - возможности в устьевых участках приливных рек передачи энергии от вихревых структур к регулярному потоку водных масс. Хотя сама гипотеза далеко не нова, например, Ф. Форхгеймер¹ еще более 100 лет назад писал, что «осредненное течение может превращаться не только в тепло, но и в вихри; пожалуй, и наоборот, благодаря уменьшению вихрей может появиться ускорение осредненного движения; однако относительно этого опытных данных нет». В. Старр анализу этого явления посвятил специальную монографию. Тем не менее к данной гипотезе следует относиться с большой осторожностью, следуя принципу «бритвы Оккама», пытаться объяснить наблюдаемый феномен без введения новых «сущностей». Хотя само соотношение, получившее в последующем название «уравнение Маннинга», определяющее зависимость между гидравлическим сопротивлением потока, задаваемого через коэффициент Шези C и его морфометрическими параметрами, было предложено более ста лет назад, его строгое обоснование на основе теории локально-изотропной турбулентности А.Н. Колмогорова было получено G. Gioia (2002, 2006) относительно недавно. Коэффициент Шези согласно этой теории должен быть обратно пропорционален характерному размеру частиц донных отложений в степени $1/6$. При этом, если размер этих частиц меньше толщины вязкого подслоя, то поток рассматривается как гидравлически гладкий и коэффициент его гидравлического сопротивления полностью определяется числом Рейнольдса Re в степени $1/8$. Соответственно, коэффициент гидравлической шероховатости Маннинга n не может быть меньше, чем 0,012 - 0,01. Если частицы донных отложений подвижны, то они могут формировать грядовые структуры, значительно увеличивая гидравлическое сопротивление. В связи с этим было бы весьма полезным привести характерные значения размеров донных отложений и оценки их подвижности при прохождении приливной волны.

¹ Форхгеймер Ф. Гидравлика, НКТП, Москва, 1935, 615 с.

Существенная неравномерность, нестационарность потока при прохождении приливной волны накладывает очень серьезный отпечаток на соотношение между отдельными членами уравнения движения. В таблице 1 приложения рассматриваемой диссертации дается оценка отдельных членов, в том числе инерционных, уравнения движения $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ и $\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x}$. Отношение этих инерционных членов в гидродинамике неустановившихся потоков получило название число Струхала $St = \frac{L}{V * T}$, где L - линейный пространственный масштаб рассматриваемого явления, V - характерная скорость потока временного рассматриваемого явления, T - временной масштаб рассматриваемого процесса. Было бы также весьма интересным и важным, если в работе были бы оценены значения данного параметра St .

При построении рассматриваемых в работе уравнений гидравлики принималось естественное допущение, что все оценки строятся из соотношений мгновенных, точечных показателей потока. Естественно проводить изменения гидрометрических показателей мгновенно и точно невозможно. Поэтому могут и возникают проблемы соотношения расчетных и измеренных гидравлических показателей. При $St \ll 1 \sim 0$ поток рассматривается как установившийся, равномерный и никаких проблем с соотношением расчетных и измеренных характеристик гидравлического сопротивления потока не должно быть. Ситуация принципиально меняется при $St \geq 1$. На мой взгляд, рассматриваемая в данной главе проблема с параметризацией коэффициентов гидравлического сопротивления обусловлена тем, что при проведении гидрометрических измерений не выдерживалось условие $St \ll 1$. Проверить данное предположение достаточно просто, необходимо значимо уменьшить расстояние между створами, на которых проводились измерения уровней воды, если в этом случае уменьшатся различия между измеренными и расчетными параметрами гидравлического сопротивления, то все дело в деталях,

частоте измерений уклонов водной поверхности, если нет, то необходимо искать другие причины.

В разделе 5.2 некорректно записано оценочное соотношение (5.12). Суммируются дисперсии статистически независимых параметров, а не их среднеквадратичные отклонения. В тоже время в рассматриваемой задаче глубина потока, скорость и гидравлический уклон являются связанными переменными.

В заключении излагаются достаточно детально и аргументировано полученные в ходе выполнения исследования результаты.

Список использованных источников составляет 117, из них 45 на иностранных языках.

Существенный интерес представляют включенные в диссертацию четыре приложения, где представлены основные первичные материалы полевых наблюдений и по их обработке.

Достоверность полученных в ходе выполнения исследования результатов подтверждается большим объемом выполненных, достаточно трудоемких натурных наблюдений, применением современных методов измерений и методов их обработки.

В целом указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Они направлены, в первую очередь, на обсуждение, формирование направлений дальнейших исследований. 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:

Лепихин Анатолий Павлович, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией проблем гидрологии суши «ГИ УрО РАН»

Лепихин А.П.

Подпись

24.10.22

Дата подписания

Контактные данные: тел. 79 [redacted] 43, e-mail: [lep\[redacted\]il.ru](mailto:lep[redacted]il.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 11.00.11 – Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов

Адрес места работы: 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78а «ГИ УрО РАН», лаборатория проблем гидрологии суши; тел.: +7 342 [redacted] 9 (рабочий телефон); e-mail: [lep\[redacted\]nail.ru](mailto:lep[redacted]nail.ru)

Адрес официальной почты: 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78а.

Подпись сотрудника «ГИ УрО РАН» А.П. Лепихина удостоверяю:

руководитель/кадровый работник

И.О. Фамилия

24 октября 2022

дат

