

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию М.К. Чебановой
«Процессы смешения речных и морских вод и трансформации приливных волн в эстуариях»,
представленной на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук по специальности
25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Диссертация М.К. Чебановой посвящена исследованию основных закономерностей перемешивания речных и морских вод и трансформации приливных волн в эстуариях на основе анализа натуральных данных, аналитических методов решений уравнений гидродинамики и экспериментальных результатах лабораторного моделирования. Актуальность данной тематики обусловлена практической необходимостью изучения гидрофизических процессов в эстуариях как буферных зонах между континентальным стоком и морем, играющих основополагающую роль в формировании режима прибрежных морских акваторий. Эстуарии являются своеобразным фильтром на пути загрязненного материкового стока, в них осаждаются значительная часть речных наносов. Изучение и понимание процессов в эстуариях важно для планирования различных видов хозяйственной и экономической деятельности. Известно, что эстуарии используются для сброса бытовых и промышленных сточных вод, при этом оставаясь зоной с высокой биопродуктивностью и рекреационной ценностью.

Для эстуариев характерно особое гидрологическое явление – проникновение морских вод в устья рек в виде клина осолоненных вод - интрузия, которое нередко является причиной попадания соленых вод в водозаборы, приводит к осолонению поверхностных и подземных вод, воздействует негативно на пресноводную биоту. Соленостный клин нередко становится препятствием на пути перемещения наносов и вызывает заиливание судоходных каналов. Исследование этого процесса и разработка более совершенных гидродинамических теорий, позволяющих описывать динамику соленостного клина и рассчитывать глубину проникновения соленых вод в устья рек, очень актуальна и в настоящее время. Море воздействует на эстуарий посредством приливных волн, штормовых нагонов. Несомненный научный интерес представляет изучение трансформации приливных волн при их вхождении в эстуарии, в том числе и при аномальном увеличении амплитуды приливных волн в некоторых заливах и эстуариях. Исследования гидрофизических процессов в эстуариях относятся к области рационального природопользования – приоритетного направления развития науки в РФ, и составляют одно из важных направлений экологической физики.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Полный объем диссертации — 153 страницы, включая рисунки и таблицы.

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель, задачи и основные защищаемые положения диссертации, охарактеризованы практическая значимость и научная новизна, приведен список работ по теме диссертационной работы, указан личный вклад автора и апробация результатов исследования.

Первая глава имеет обзорный характер. В ней обобщены сведения о процессах смешения речных и морских вод, турбулентного обмена, изложены основные существующие подходы к расчету дальности проникновения соленых вод, дана характеристика и оценка применимости моделей расчета интрузии морских вод, описаны основные закономерности трансформации длинных волн в прибрежных зонах и дан краткий обзор основных подходов, использующихся при их изучении. В результате критического анализа существующих работ в исследуемой области выделены наиболее актуальные задачи исследования.

Во второй главе изучены основные закономерности перемешивания вод в зоне смешения эстуария реки Кемь, приведены результаты обработки натуральных данных, собранных ИВПС КарНЦ РАН по итогам четырехлетних наблюдений. Рассмотрены особенности вертикального и горизонтального распределения солености и других характеристик в зоне смешения вод. Показано, что эстуарий реки Кеми относится к сильно стратифицированным эстуариям с клином осолоненных вод, поверхность клина морских вод имеет форму кривой с разными знаками кривизны. Рассмотрены процессы формирования внутренних волн на границе соленостного клина. Установлены закономерности формирования крупномасштабных ступенек на вертикальных профилях солености, дана характеристика течений и мутности в зоне смешения речных и морских вод в устье реки Кеми.

В третьей главе рассмотрена задача интрузии морских вод в приливное устье реки в условиях сильной стратификации. Динамика двухслойной жидкости на наклонной плоскости в условиях слабого перемешивания между слоями в устье реки при глубине меньше толщины слоя Стокса (градиентно-вязкий режим течения) описывается системой нелинейных уравнений параболического типа для колебаний свободной поверхности воды и толщины слоя морских вод, полученных В.Н. Зыряновым (1987). Такую задачу в полной постановке можно решить только численно. Однако для стационарного случая автору удается получить выражение для формы и длины клина в неявном виде. В работе впервые предложена методика аналитического определения толщины клина морских вод в устьевом створе. Приведены результаты расчета клина морских вод с использованием предложенной методики для трех рек: Кемь, Онега и Кереть. Расчетное положение дальности проникновения морских вод в устье сопоставлялось с литературными источниками и данными наблюдений. Для реки Кеми также сделана оценка подвижности носика клина и приведены данные расчетов увеличения длины клина за счет пампинг-эффекта.

В четвертой главе исследуются роли противоположно действующих эффектов при вхождении приливных волн в эстуарии – гидродинамического эффекта схождения берегов – эффект конфузора, и эффекта турбулентного трения. Задача ставится для однородной по плотности воды в пренебрежении нелинейными членами и ускорением Кориолиса. Показано, что по отношению толщины слоя Стокса к глубине эстуария режимы течения делятся на вязкий ($H < h_{St}$) и слабовязкий ($H > h_{St}$), а уменьшение реальной глубины в формуле Лагранжа – Эри вызвано слоем Стокса. По отношению толщины слоя Стокса к глубине все эстуарии разделены на мелководные, глубоководные и «странные». В глубоководных эстуариях эффект конфузора превалирует, и амплитуда прилива увеличивается в вершине залива, в мелководных – наоборот, превалирует турбулентное трение, и амплитуда приливной волны уменьшается к вершине эстуария. При глубинах порядка толщины слоя Стокса возникает случай «странной бухты» - в начале при входе в эстуарий больше проявляется эффект трения, и амплитуда приливной волны уменьшается, но затем по мере продвижения волны вглубь эстуария начинает превалировать эффект конфузора, и амплитуда приливной волны начинает вновь увеличиваться. Этот тип бухт автором выделен впервые.

Показано, что для сейш тоже проявляется эффект конфузора и они становятся асимметричными, а при совпадении периода приливной волны с периодом сейш в эстуарии возникает резонансное усиление входящей приливной волны в вершине эстуария. Рассмотрены также случаи эстуариев переменной глубины. Показано, что амплитуда прилива сильнее увеличивается при выгнутом вверх профиле рельефа дна. В двухконфузорных эстуариях со скачком глубин в выпуклой наружу бухте высота приливной волны больше, чем в вогнутой внутрь. Рассчитаны периоды сейш в двухконфузорных бухтах со скачком глубин.

Для выявления влияния вращения Земли на увеличение амплитуды прилива в несимметричных бухтах с левым (по направлению вращения Земли) и правым загибом (против направления вращения Земли) был проведен лабораторный эксперимент на вращающейся лабораторной установке. Эксперименты показали, что вращение Земли вносит значимый вклад в возникновение асимметрии распространения приливных волн в левых и правых бухт волн. Амплитуда приливов в правых бухтах больше, нежели в левых. Дано объяснение этого эффекта на основе закона сохранения потенциального вихря для вращающейся жидкости.

В выводах сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Подводя итог, необходимо отметить, что диссертация М.К.Чебановой представляет собой законченное научное исследование, выполненное на современном научном уровне. Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации и дает

исчерпывающее представление, как о самой работе, так и о полученных автором результатах.

Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью и могут использоваться при решении ряда практических задач, таких как расчеты проникновения соленых вод в устья рек, а также для тестирования численных моделей. В настоящее время количество аналитических работ в исследованиях динамики эстуариев уменьшается и поэтому их ценность и значимость сильно возрастает.

Многие результаты, представленные в работе, получены автором впервые, например, форма клина соленых вод с разными знаками кривизны, формула для расчета толщины соленостного клина в устьевом створе, эффекты конфузора в трансформации приливов, странные бухты, асимметрия левых и правых бухт.

Полученные результаты существенно дополняют сложившиеся представления о процессах смешения речных и морских вод в эстуариях и трансформации приливных волн в эстуариях различной морфометрии.

Научная обоснованность и достоверность подтверждается использованием данных наблюдений, полученных с использованием современных высокоточных приборов, согласием данных натурных наблюдений и модельных расчетов.

По диссертации имеются замечания:

1. Неудачно сформулировано четвертое защищаемое положение. Очевидно, что морфометрия эстуариев играет существенную роль в трансформации приливных волн. Стоило бы дать какое-то количественное подтверждение этого положения из результатов четвертой главы для эстуариев с разной формой береговой линии и рельефа дна.

2. Во второй главе с помощью вязкой теории волновых колебаний в двухслойной жидкости дается объяснение внутренним волнам, обнаруженным в придонной области, однако оценки длин этих волн нет.

3. Не обосновывается величина коэффициента турбулентного обмена, принятого в работе постоянным, хотя известно, что он может существенно изменяться во времени и в пространстве, особенно в таких активных зонах как эстуарии.

4. В третьей главе приводится расчет увеличения длины клина за счет приливной накачки (пампинг-эффект) для устья реки Кеми. Показано, что пампинг-эффект дает прибавку к глубине интрузии вод на величину порядка 100 м. Стоило также оценить вклад в процентах пампинг-эффекта в увеличение длины клина. Для двух других рек при расчетах длины клина пампинг-эффект почему-то не учтен.

5. В четвертой главе при описании трансформации приливных волн в клиновидных эстуариях в уравнениях сохранения импульса пренебрегается нелинейными членами, ускорением Кориолиса, но нет обоснования этих упрощений.

6. В лабораторном эксперименте для исследования влияния вращения Земли на увеличение амплитуды прилива в изогнутых бухтах моделировалась суточная волна, хотя наиболее распространенными в Мировом океане являются полусуточные приливы.

Указанные выше замечания не являются принципиальными и не меняют основные выводы и защищаемые положения диссертации.

Диссертационная работа является законченным самостоятельным научным исследованием, имеющим научное и практическое значение, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Основные результаты работы опубликованы в журналах, сборниках, трудах конференций (всего 11 публикаций), из них 2 статьи – в журналах из Перечня ВАК.

Официальный оппонент

заведующий кафедрой физики моря и вод суши
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
д.ф.-м.н., профессор

Константин Васильевич Показеев

23 мая 2016 г.

Сведения о составителе отзыва:

Ф.И.О.: Показеев Константин Васильевич

Адрес: 119991, г.Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д.1, стр.2, Физический факультет.

Телефон: +7(495)939-16-77

E-mail: sea@phys.msu.ru

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, кафедра физики моря и вод суши.

Должность: Заведующий кафедрой физики моря и вод суши, профессор.

Подпись доктора физико-математических наук, профессора
заведующего кафедрой физики моря и вод суши

Показеева Константина Васильевича

Заверяю

Декан физического факультета

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

профессор Н.Н. Сысоев

