



Федеральное
государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ
им. П.П. ШИРШОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИО РАН)

Нахимовский проспект, д. 36, Москва, 117997,
Телефон (499) 124-61-49 (канцелярия). Телекс 441968 Океан SU.
Факс (499) 124-59-83. ОКПО 02699369, ОГРН 1037739013388
ИНН 7727083115, КПП 772701001

20.05.16 № 13204/ 01/2115-504

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального

государственного бюджетного
учреждения науки Института океанологии
им. П.П. Ширшова РАН
академик РАН Р.И. Нигматулин



20 мая 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе Чебановой Марианны Кирилловны «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.

Устьевую область рек и эстуарии обычно рассматривают как некую природную систему, на внешних входах которой действуют речные и морские гидрологические факторы. Главными в системе речного входа являются сток воды и наносов, а морского входа – уровень воды, солёность и волнение. Через эти факторы устье реки связано с речным бассейном и морским приемным водоемом. Первые целенаправленные исследования процессов в эстуариях стали проводиться с 1950-1960-х годов в работах Ketchum (1951); Pritchard (1955), Ippen, Harleman (1961), Hansen, Rattray (1966) и др., где были описаны основные особенности формирования гидрологического режима эстуариев, такие как градиенты солёности и плотности в направлении от речного края к морскому и в вертикальном направлении от поверхности ко дну, наличие эстуарной циркуляции, отмечалась роль речного стока и приливного воздействия в его формировании, были предложены различные классификации эстуариев. В нашей стране большой вклад в исследование эстуариев внесли Васильев (1976), Байдин (1983), Кутало (1984), Лупачев (1984), Полонский и Горелиц (1985), Музылев (1985), Никифоровская (1985), Зырянов (1987) и др. Современные работы по исследованию процессов в эстуариях в силу их сложности, в основном, проводятся с помощью численного моделирования Ganju et al. (2015).

Целью диссертационной работы Чебановой М.К. являлось изучение гидродинамических особенностей зоны смешения речных и морских вод в эстуариях и трансформации входящих в них со стороны моря приливных волн. Исследования проводились на примере устья реки Кеми Белого моря. Использование полученных автором экспериментальных данных по этому устью позволило усовершенствовать гидродинамическую теорию интрузии морских вод

в устья приливных рек. В работе также выявлена роль морфометрии заливов в динамике входящих приливных волн, сделаны оценки влияния схождения берегов и уменьшения глубин. Для оценки эффектов влияния вращения Земли на эволюцию длинных волн в бухтах различной конфигурации были проведены лабораторные моделирования. Чебанова М.К. обратилась к решению этих сложных задач и сумела решить их.

Работа Чебановой М.К. является весьма актуальной, так как полученные результаты могут быть использованы для прогноза колебаний уровня в эстуариях и образования паводков, оценок интенсивности процессов перемешивания речных и морских вод, а также масштабов вторжения морских вод в устья рек.

Работа (153 страницы основного текста, включая 65 рисунков и 7 таблиц) состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 215 наименований, из которых 113 иностранных языках.

Во введении полностью изложена информация, необходимая для представления диссертации к защите: освещены вопросы актуальности и новизны работы, сформулированы цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, приведены публикации (всего 11, из них 2 в реферируемых изданиях из списка ВАК) и показана апробация работы.

При ознакомлении с диссертационной работой возникли замечания. В качестве замечания общего характера отметим необъяснимое желание соискателя измельчать рисунки. Рис. 1, 34, 43, 61, 64 имеют недостаточную четкость как самих рисунков и подписей в них. Последние, часто, трудно читаемы, а в рис. 1 номера станций просто не читаются. Рис. 2 вводит в заблуждение, о чем будет сказано в замечаниях к главе 2. На рис. 3 для придонной области не все изохалины отмечены, а южный берег эстуария не помечен серым оттенком аналогично северному, из-за чего его контур можно ошибочно отнести к изохалине. Рис. 27 в силу его малости трудно понимаем, хотя здесь видны значительные отличия мутности в период прилива от тех, что наблюдались в периоды отлива. На стр. 69 было достаточно места, чтобы «вытянуть» профили в этом рисунке по вертикали и разнести их отдельно для прилива и отлива, чтобы детально описать эти отличия.

В диссертации, в основном, используется система SI, однако в ряде случаев используется также CGS (коэффициент вертикальной вязкости) или внесистемная единица $г/(м*с^3)$ для продукции турбулентной энергии. Использование такого набора единиц не принято в настоящее время и затрудняет сравнение результатов соискателя с результатами других авторов.

Отдельные частные замечания представлены ниже по главам работы.

Первая глава имеет обзорный характер, в котором дается классификация эстуариев по типам перемешивания речных и морских вод. В разделе 1.1. представлены общие сведения об особенностях гидрологического режима эстуариев, обобщены сведения о процессах смешения речных и морских вод и турбулентного обмена. В разделе 1.2. изложены основные существующие подходы к расчету дальности проникновения соленых вод, дана характеристика и оценка применимости моделей расчета интрузии морских вод. Раздел 1.3. посвящен динамике приливных волн в эстуариях: описаны основные закономерности трансформации длинных волн в прибрежных зонах и дан краткий обзор основных подходов, использующихся при их изучении.

Замечания следующие:

Общее замечание – очень мало ссылок на работы последних лет по исследованию процессов в эстуариях, которые в настоящее время являются приоритетными во многих странах мира.

Стр. 39. На рис. 1 не различаются номера станций, которые затем используются в рис. 2 и 26.

Стр. 40. Соискатель пишет «*На режим устьевого участка*»...Вопрос: режим ЧЕГО? КАКОЙ режим? Подобные неаккуратности в изложения иногда встречаются в диссертации.

Стр. 42. Рис. 2 лучше было бы дать относительно с рис. 1, т.е. река - слева. Но главное, что сам рисунок вводит в некоторое заблуждение. Впечатление такое, что в период приливного цикла меняется положение дна и даже его конфигурация, причем река во время прилива становится мельче, чем во время отлива. По-видимому, необходимо скорректировать глубины: выделить средний уровень моря и показать уровни при приливе и отливе. Возможно также, что сеть станций выбрана неудачно, поэтому уровни приливно-отливного цикла отражаются неверно. Такое же замечание относится и к рис. 26.

Стр. 44. В подписи к рис. 5 и на врезке даются разные термины для одной и той же кривой: мощность и толщина клина. Применение жаргона «клин» в случае, когда есть наклонный раздел пресной и соленой воды необходимо уточнять: клин чего. В диссертации это часто делается («*клин соленых вод* и т.п.»), но он иногда опускается. Не лучше ли использовать везде термин «халоклин»?

Стр. 47, 48. рис. 6, 7 лучше было бы представить в виде серии разнесенных по времени профилей с указанием кривой уровня.

Стр.53-58, раздел 2.2. Соискатель пытается объяснить процесс формирования ступенчатых структур на профилях за счет сдвиговой неустойчивости течений, приводя рис. 12 в качестве доказательства величины числа Ричардсона, и последующего процесса вовлечения. Однако слои, где это число меньше критического значительно тоньше тех, которые получаются на профилях, приведенных на рис 6, 7. Следует заметить, что турбулентность в приливном течении в мелком море (эстуарии), особенно над нерегулярным дном не является локальной: генерация турбулентности может проходить где-то вдали от точки наблюдения/измерения и переноситься в эту точку за счет горизонтальной адвекции. Поэтому связывание перемешанных слоев с числом Ричардсона в таких случаях бывает бесполезным занятием. Об этом, в частности, пишет и соискатель на стр. 55 (2-й абзац).

Стр.56. Формула (2) дается без ссылки. Если это ϕ -ла типа Манка-Андерсона, то необходима «подгонка» числа Ричардсона в виде коэффициента перед ним и использоваться другая степенная зависимость.

Стр.57. Автор пишет: «*Локальные минимумы около 22:00 и 03:00 связаны с внутренними волнами на клине*» Как эта связь определялась?

Рис. 14. График коэффициента турбулентного обмена, в целом, повторяет скорость продукции турбулентной энергии везде кроме периода с 08 до 10 часов 15.07.2009. Там имеется пик коэффициента вязкости, но скорость продукции не меняется. Почему?

С какой целью использована внесистемная единица $г/(мс^3)$ для продукции, которая, кстати, дает выброс в 23:00 14.07.2009. Обычно эта величина как и коэффициент вязкости представляются в логарифмическом масштабе, тогда не надо разрывать ось значений.

Стр.68. «*Максимум мутности формируется в вершине клина соленых вод, наиболее выражен у дна во время малой воды и мигрирует вместе с приливом*». Максимум мутности у дна не связан с маргинальным фильтром. Который в этом разделе рассматривается. Мутность и подъем у дна взвешенных частиц создается турбулентностью, генерируемой приливным течением в придонном погранслое, что видно из рис. 27 и 28. Из рис. 28, в частности, по профилю солёности можно определить, что толщина придонного перемешанного слоя порядка 4 метров.

Далее по главе 3, посвященной формированию интрузий морских вод в устьях рек. Замечания следующие.

На стр. 74 соискатель пишет «В стационарном случае система (5), (6) допускает упрощения и тогда можно при некоторых предположениях найти аналитическое решение для формы соленостного клина и вычислить дальность проникновения морских вод в устье реки, в том числе и в приливное», но не поясняет, когда наступает стационарный случай и пригоден ли он для приливного эстуария? Хорошо бы уточнить «некоторые предположения».

Стр. 83. Табл. 4. Здесь и далее используется постоянный коэффициент вязкости A , равный $25 \text{ см}^2/\text{с}$. Из каких соображений выбрана его величина? Вообще говоря, на мелкой воде в приливном течении форма профиля A близка к бимодальной: верхний пик находится вблизи поверхности моря (воздействие ветра и волн), нижний, отражающий генерацию турбулентности в придонном приливном слое, находится у дна, т.е. он может существенно меняться по вертикали.

В табл. 4, в последней колонке дан параметр \bar{Q} ($\text{м}^2/\text{с}$), описание которого нет в тексте.

Стр. 89 и 92. Аналогичная величина (см. Табл. 4) коэффициента турбулентной вязкости задана также в табл. 5 и 7 для расчета формы и длины клина рек Кереть и Онега, хотя гидродинамические режимы последних должны отличаться, как друг от друга, так и от р. Кеми.

Глава 4, в которой рассмотрены приливные волны в эстуариях и влияние конфигурации эстуария и турбулентного трения. Замечания следующие:

Стр. 97. Замечания по постановке задачи. Постановка задачи для приливного течения, входящего в залив, в том виде, как она записана (см. ур. 30-33) будет оправдана лишь в случае очень узких заливов/эстуариев, для которых ускорением Кориолиса в уравнениях можно пренебречь. Иначе говоря, когда горизонтальные (а не вертикальные как написано на стр. 97) масштабы явления малы, т.е. когда число Россби $\ll 1$. Кроме того, в системе (30)-(33) использование постоянного коэффициента турбулентной вязкости для мелких заливов/эстуариев, вообще говоря, не оправдано, о чем говорилось выше. Ясно, что для полной задачи с учетом силы Кориолиса и переменной вязкости невозможно получить аналитическое решение, поэтому, исключив их, соискатель при интерпретации, полученных результатов, должен акцентировать внимание на ограничения, связанные с указанными упрощениями.

По решению самой системы замечаний нет. Соискателем получены аналитические решения, которые описывают ряд интересных эффектов, связанных с конфузурностью эстуариев и поведением уровня поверхности в т.н. «странных» бухтах. Однако здесь следует еще раз напомнить, о необходимости учета влияния вращения Земли, т.к., например, на рис. 59, 60 приводятся результаты расчетов для эстуариев, горизонтальные размеры которых явно свидетельствуют о том, что эффект вращения Земли необходимо учитывать.

Стр. 120. Для $\det(\dots)$ использован символ такой же, как ранее был использован для коэффициента вязкости, т.е. « A ».

Замечания/вопросы к разделу 4.5, где описаны лабораторные эксперименты:

Стр. 124. При столь большой скорости вращения банки (58 об/мин) соблюдаются ли условия подобия, например, для циркуляции в ней и в приливном течении в реальном эстуарии, скажем, для реки Кемио? Можно ли это оценить?

Стр. 127, 128. Фотографии на рис. 64 весьма нечеткие. Такое впечатление, что это снимки двухслойной жидкости. Хорошо было бы дать предварительный эскиз опытов.

Стр. 130. Об анализе опыта. С использованием закона сохранения потенциальной завихренности соискателем проанализированы полученные в лабораторном эксперименте результаты. Качественно подтвердились отличительные черты «правых» и «левых» бухт на вращающейся плоскости при вхождении в них приливных течений. В то же время, однако, хотелось бы

получить количественные оценки (хотя бы приближенные) для тех значений «дополнительного трения и диссипации приливной волны», которые упоминаются в тексте. Интересно, также то, что для используемой экспериментальной установки и заданных параметров вращения банки число Россби будет порядка 0.3. Это означает, что в экспериментах должны наблюдаться не только подъем уровня поверхности из-за бокового сжатия продвигающихся к сужающему концу бухт объемов воды, но и процесс формирования вихрей в объемах «В». Было ли это замечено в опытах?

В заключение следует отметить, что большая часть замечаний и вопросов носят скорее, рекомендательный характер для дальнейших исследований и не снижают уровень основных результатов диссертации.

В целом диссертационная работа Чебановой М.К. является законченным научным исследованием, посвященным раскрытию основных закономерностей смещения морских и речных и распространения приливных колебаний в эстуариях на базе современной методологии анализа натуральных данных, постановки и решения задач гидродинамики и использования лабораторного моделирования. Полученные аналитические решения позволяют легко проиллюстрировать закономерности процессов смещения вод в эстуариях.

В диссертации получены новые важные результаты о природе процессов, происходящих в приливных эстуариях различной конфигурации:

- показано, что крупномасштабные ступеньки на профилях солёности обусловлено адвективным перемещением слоя смещения речных и морских вод на границе солёностного клина;

- впервые получена аналитическая зависимость для толщины солёностного клина в устьевом створе - характеристики, необходимой для расчета дальности проникновения морских вод в устья рек.

- впервые выявлено, что при вхождении приливной волны в эстуарий на нее действуют два разнонаправленных фактора: схождение берегов и турбулентное трение. В зависимости от их баланса происходит либо рост, либо диссипация приливных волн;

- впервые обнаружено, что при глубинах эстуария, сравнимых с толщиной слоя Стокса, возникает эффект т.н. «странной бухты», когда при входе в эстуарий амплитуда приливной волны уменьшается из-за трения, но затем, по мере продвижения волны вглубь эстуария, начинает превалировать эффект конфузора и амплитуда приливной волны начинает вновь увеличиваться вновь;

- впервые с помощью лабораторного моделирования выявлена асимметрия в механизме трансформации приливных волн в бухтах с левым и правым загибом по отношению к вращению Земли.

Степень достоверности основных научных положений и результатов работы обеспечивается полученными и обработанными соискателем натурными данными и сравнения полученных результатов с этими данными.

На отзыв был также представлен автореферат диссертации. Содержание автореферата в полной мере отражает основные положения и результаты исследования.

Диссертационная работа обобщает исследования автора, опубликованные в 11 научных работах, включая 2 работы из Перечня ВАК и 5 тезисов докладов на российских и международных форумах.

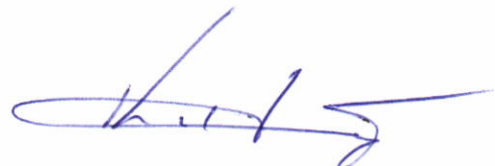
Результаты работы обсуждались в ведущей организации на семинаре Физического направления ИО РАН в 2016 г.

Диссертация Марианны Кирилловны Чебановой «Процессы смещения речных и морских вод и трансформации приливных волн в эстуариях» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее

автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Отзыв составлен д.ф.-м.н. Константином Александровичем Коротенко и утвержден на заседании Ученого совета Физического направления ИО РАН 20 мая 2016 года, протокол № 16.

Главный научный сотрудник,
Лаборатории морской турбулентности
Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН
доктор физико-математических наук



Константин Александрович Коротенко