

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации *Александры Юрьевны Белоконь*
**«Математическое моделирование распространения и трансформации волн цунами
в прибрежной зоне»**,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.6.17 – океанология

Нет необходимости говорить о важности изучения цунами, когда только за последние несколько лет случился ряд катастрофических событий с умопомрачительными высотами залеска 100-200 м (оползневые и вулканические цунами) и большими человеческими жертвами (цунами сейсмического происхождения). Черноморскому бассейну пока «везет» и крупных событий здесь уже давно не было, но мировой опыт показывает, что в «тихих» районах возможны очень катастрофические события (пример цунами 2004 года в Индийском океане). Не случайно, Черное море включено в международную модель NEAM (North-eastern Atlantic, the Mediterranean, and connected seas) Tsunami Hazard Model 2018, созданную с использованием метода РТНА (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment), в которой даны вероятностные характеристики прогностических цунами на очень большой период времени. Однако эти оценки не доведены «до берега», и это должно делаться национальными командами. Отсюда вытекает актуальность и практическая значимость диссертации А.Ю. Белоконь, в которой рассчитываются характеристики цунами в конкретных районах Крымского полуострова.

Диссертация состоит из 4 разделов и хорошо структурирована. *Первый* раздел является вводным и содержит известные данные о цунами в Черном море и имеющиеся аналитические результаты по теории наката длинных волн в наклоненных каналах. Здесь я, пожалуй, выскажу удивление, что современные методы типа РТНА, как и уже созданную модель NEAM Tsunami Hazard Model 2018, никак не комментируются в диссертации. Во *втором* разделе приведены результаты специально поставленных численных экспериментов по трансформации и накату длинных волн на берега наклоненных каналов. Эта часть для меня наиболее интересная и важна для совершенствования нелинейной теории наката волн и понимания динамики подвижного уреза. В *третьем* разделе рассматривается динамика волн в бухтах более сложной геометрии, когда принципиально надо решать двумерные уравнения мелкой воды. Наконец, *четвертый* раздел содержит результаты расчетов характеристик цунами в конкретных районах Крымского полуострова, что очень важно с практической точки зрения. Обсудим достоверность и значимость основных результатов диссертации.

Канальная теория наката волн на берег. Автор провела детальные расчеты наката уединенной волны в каналах достаточно произвольного сечения, используя одномерные уравнения теории мелкой воды с усреднением по сечению канала. Здесь существует достаточно разработанная аналитическая теория с учетом нелинейности, в которой я принимал непосредственное участие. Там, где постановки задач одинаковы, численные результаты совпадают с аналитическими, как это и следовало ожидать. В этом смысле аналитика позволяет судить о точности численной схемы. Как мне представляется, численная схема не самая лучшая (рис. 2.1 демонстрирует численную дисперсию, приводящую к образованию осцилляций на фронте, а рис. 2.8 – численную вязкость),

однако для практических целей она вполне пригодна. Наиболее важным является исследование наката волн на «составной» канал (с ровным дном перед зоной наката), где не удастся получить точные решения в рамках нелинейной теории (подразделы 2.3 и 2.4). Здесь все результаты являются оригинальными и позволяют оценить, напротив, применимость аналитической теории для «составных» каналов.

Эффекты двумерности волнового поля при накате. Эта часть для меня является наиболее важной, поскольку нет аналитических решений двумерных уравнений мелкой воды, и здесь численные решения являются определяющими. Правда, автор выписывает двумерные уравнения (3.2) с нетипичной параметризацией донного трения, и неверно утверждает, что коэффициент k безразмерный (в следующем разделе приведены «правильные» выражения для донного трения). В качестве падающей волны использован синусоидальный горб конечной длительности, имеющий скачок производной на конце. В теории известно, что такие волны приводят к большим заплескам, но, думается, численная вязкость и дисперсия сглаживают особенности на краях, приводя к разумным выражениям. Жаль, что это не проверено выбором других форм падающей волны, не имеющей особенности. Мне также странно, что результаты расчетов по модели с трением сравниваются с одномерной моделью без трения (3.7) – ведь автор же использовала одномерную модель с трением в разделе 2. Самый важный и оригинальный авторский результат здесь, по моему мнению, это искривление фронта волны по мере распространения (подраздел 3.3). Этот вполне ожидаемый эффект, который свидетельствует об ограничении канальной теории для волн (ведь оригинально канальная теория формулировалась для течений). Очень важно найти условия применимости канальной теории, что я надеюсь будет сделано в дальнейшем.

Цунамирайонирование побережья. Эта часть диссертации, несомненно, является важной для практики. Прделано большое количество расчетов с использованием гидродинамического очага эллиптической формы, что позволило сделать сравнительный анализ характеристик цунами на различных участках побережья. Здесь можно спорить о методологии оценок цунами (очаг, вероятность, неопределенности), что сейчас и заложено в методе РТНА, о котором я упомянул вначале (эта работа должна делаться с сейсмологами). Но, если выбрать какое-то значение высоты волны в качестве «реперного», то по отношению к нему можно судить о сравнительной защищенности побережья, и, мне представляется, такие оценки будут достаточно устойчивы. Поэтому авторские расчеты делают важный шаг к построению карты цунамирайонирования побережья Крыма.

Не все в диссертации гладко. Режим красной строки используется в формулах некорректно, зачем-то в конце четвертого раздела использован SWASH с учетом дисперсии, но эти эффекты не обсуждаются. Зачастую кажется, что ссылки берутся с «потолка» (странно ссылаться на меня как «родоначальника» канальных уравнений мелкой воды, которые давно известны). Рисунки строятся с использованием режима default, так что масштабы на соседних рисунках разные, и их трудно сравнивать на «глаз».

Суммируя сказанное выше, считаю, что диссертация Белоконь А.Ю. содержит оригинальные результаты по распространению длинных волн в узких бухтах, важные для оценок сравнительной защищенности побережья от цунами. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Все результаты опубликованы и достаточно известны. Считаю, что диссертация А.Ю. Белоконь удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК

