

## **ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОКЕАНЕ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЫ**

**Булатов В.В.<sup>1</sup>, Владимиров Ю.В.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Институт проблем механики им. А.Ю.Иилинского РАН,  
пр.Вернадского, 101-1, 119526, г. Москва, 8(903)722-0761,  
internalwave@mail.ru*

The paper is devoted to research of internal wave dynamics in vertically stratified ocean with non-uniform depth and to development of asymptotic methods of wave field investigations.

В настоящее время наблюдается рост интереса к математическому моделированию динамики внутренних гравитационных волн (ВГВ) в неоднородных природных стратифицированных сред, обусловленный проблемами геофизики, океанологии, физики атмосферы, охраны и изучения окружающей среды, эксплуатации сложных гидротехнических сооружений, в том числе морских нефтедобывающих комплексов и рядом других актуальных задач науки и техники. Доклад посвящен изложению фундаментальных проблем математического моделирования динамики ВГВ в океане переменной глубины и сравнению получаемых аналитических результатов с результатами численного моделирования и данными натурных измерений [1-4]. ВГВ в океане изучаются уже достаточно давно, и по данной тематике опубликовано значительное число работ. Тем не менее, в последнее время интерес к ним в какой-то степени угасает, что можно судить по общему количеству публикаций, посвященных данной проблематике. Вместе с тем, сейчас возникают новые направления в исследовании ВГВ, о которых ранее не говорилось. Во-первых, стало понятным, что в поле внутренних волн могут появляться аномально большие короткоживущие волны-убийцы, природа которых напоминает природу волн-убийц на поверхности моря. Во-вторых, сдвиговые течения во внутренних волнах приводят к большим изгибающим моментам на опоры нефтяных платформ, что уже приводило к деформации подводных технологических конструкций в ряде районов Мирового океана. Сейчас разрабатывается система мониторинга интенсивных ВГВ, аналогичная системе обнаружения волн цунами. В-третьих, внутренние волны способны

вызвать транспорт донных наносов в глубоководных районах, где эффект поверхностных волн на дно минимален. Наконец, классические задачи воздействия внутренних волн на морскую поверхность по-прежнему остаются актуальными. На распространение ВГВ в океане существенное влияние оказывают неоднородность, нестационарность гидрофизических полей и изменение рельефа дна. При этом точные аналитические решения волновых задач можно получить только в случае, если распределение плотности воды и форма дна описываются достаточно простыми модельными функциями. Когда характеристики среды и границы произвольны, можно построить только численные решения таких задач. Однако численное моделирование не позволяет качественно анализировать характеристики волновых полей, особенно на больших расстояниях, что необходимо для решения, например, проблемы обнаружения ВГВ дистанционными методами, в том числе с помощью средств аэрокосмической радиолокации. В этом случае описание и анализ волновой динамики необходимо проводить на основе асимптотических моделей и аналитических методов их решения. Особый интерес к моделированию динамики ВГВ связан с интенсивным освоением Арктики и ее природных богатств, так как они пока недостаточно изучены в этом районе Мирового океана. Универсальный характер изложенных в докладе асимптотических методов моделирования ВГВ позволяет эффективно рассчитывать волновые поля, и, кроме того, качественно анализировать полученные решения. Тем самым открываются широкие возможности анализа волновых картин в целом, что важно и для правильной постановки математических моделей волновой динамики и проведения экспресс оценок натурных измерений волновых полей в морской среде. Особая роль разработанных асимптотических методов обусловлена тем обстоятельством, что параметры природных стратифицированных сред, как правило, известны приближенно, и попытки их точного численного решения по исходным уравнениям гидродинамики с использованием таких параметров могут привести к заметной потере точности получаемых результатов. На рисунках изображены результаты асимптотического (рис.1) и численного (рис.2) моделирования динамики ВГВ над неровным дном, а также результаты натурных наблюдений ВГВ в океане (рис.3). Полученные результаты показывают, что волновые картины с ярко выраженной лучевой структурой могут наблюдаться в условиях реального океана при исследовании динамики ВГВ над неровным дном. В частности аналитические, численные и натурные данные показывают, что ширина волновых пучков уменьшается при приближении к берегу.

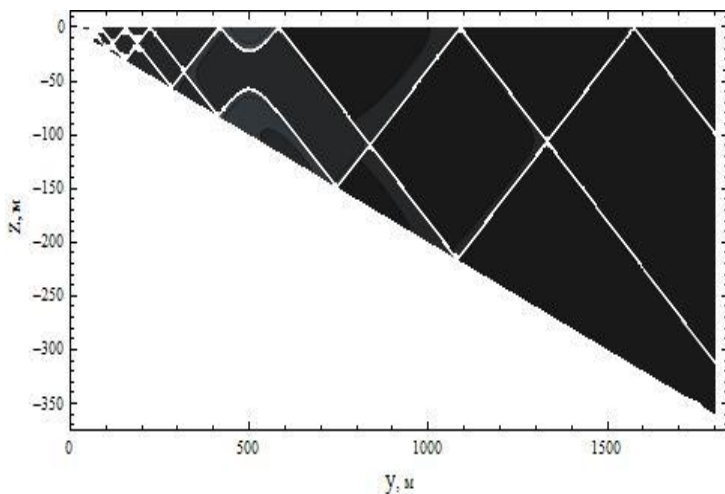


Рис. 1. Лучевая структура поля внутренних волн в океане переменной глубины: асимптотические результаты

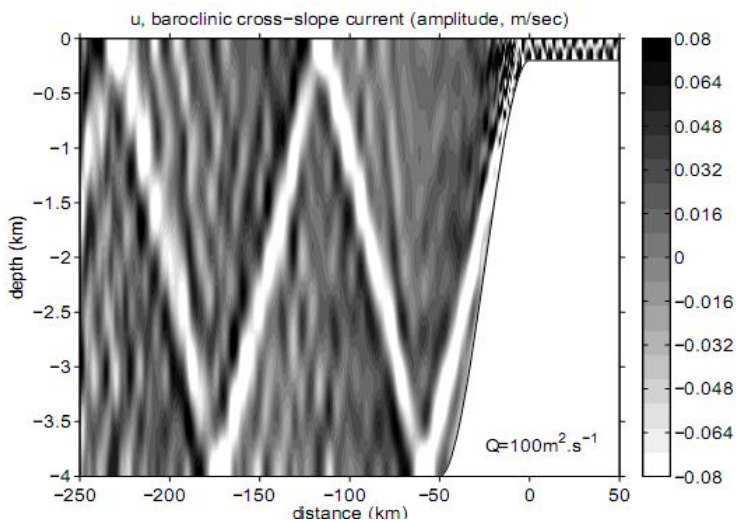


Рис. 2. Численное моделирование и лучевая структура внутренних волн в океане переменной глубины

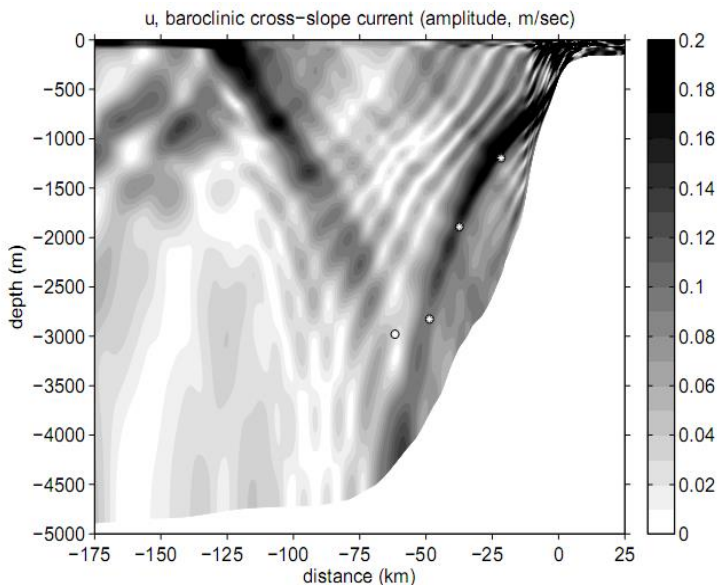


Рис. 3. Внутренние приливные волны на шельфе Бискайского залива: лучевая структура амплитуды вектора скорости

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 14-01-00466, № 15-05-00030).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Динамика негармонических волновых пакетов в стратифицированных средах. - М.: Наука, 2010. - 470 с.
2. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Волновая динамика стратифицированных сред: теория и приложения. - Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. - 577 с.
3. Bulatov, V.V., Vladimirov, Yu.V. Wave dynamics of stratified mediums. - М.: Наука, 2012- 584 с.
4. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Дальние поля внутренних гравитационных волн в неоднородных и нестационарных стратифицированных средах // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. - 2013. - Т.6. - №2. - С.55-70.