

**ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

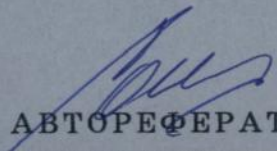
На правах рукописи

СЕСАР ОКТАВИО МОНСОН

УДК 551.466.8

**ВНУТРЕННИЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ
У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ МЕКСИКИ**

11.00.08 - океанология



АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

ОДЕССА - 1997



Дисертація в виде рукописи.

Робота виконана в Одеському гідрометеорологічному інституті.

Научний керівитель: доктор географічних наук,
професор
Філонов Анатолій Єрофеевич

Офіційні опоненти: доктор географічних наук,
професор кафедри геофізическої
гідродинаміки і теорії клімату ОГМІ
Тарнопольський Анатолій Григорьевич,

кандидат географічних наук, старший
науковий співробітник, зав. відділом нау-
чних основ морського природопользова-
ння УкрНЦЕМ
Гудзь Петро Калістратович.

Ведущая організація: Морської гідрофізический інститут
НАН України, Одеське відділення

Захита состоится " 19 " июня 1997 г. в 10⁰⁰ час
на засіданні Спеціалізованого ради Д 05.02.01 при Одес-
ському гідрометеорологічному інституті по адресу: 270016, г.
Одеса-16, ул. Львівська, 15, ОГМІ.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського
гідрометеорологічного інституту.

Автореферат розослан " 17 " мая 1997 г.

Учений секретар
спеціалізованого ради

Н.С.Лобода

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и степень исследованности тематики.

На океанском шельфе интенсивно проявляют себя такие гидродинамические явления как приливы, течения, волны, а также процессы вертикального и горизонтального перемешивания. В разной степени все они оказывают влияние на жизнедеятельность и миграцию морских организмов, а вместе с метеорологическими факторами формируют климат побережья и определяют гидрографические особенности мореплавания в прибрежных акваториях. Наиболее яркими из всех процессов, протекающих на шельфе, исследование которых имеет не только прикладное, но общенаучное значение, являются процессы генерации и трансформации внутренних приливных волн. Внутренние приливы - это собственные колебания стратифицированных слоев воды с периодами баротропного (поверхностного) прилива. Они хорошо проявляются в периодических колебаниях скоростей течений, температуры, солености, скорости звука и других гидрофизических и гидрохимических характеристик, имеют амплитуды значительно большие амплитуд поверхностных волн и влияют на динамику всей шельфовой водной массы. Актуальность работы определяется необходимостью исследования динамических процессов в шельфовой области для одного из наименее изученных районов прибрежной зоны Тихого океана, прилегающего к побережью мексиканских штатов Халиско и Колима.

Диссертация выполнена на основе целенаправленных экспериментов по изучению внутренних волн в шельфовой зоне тихоокеанского побережья Мексики, проведенных автором, или при участии автора, в 1991-96 годах. Настоящая работа субсидировалась Гвадалахарским университетом, а также имела финансовую поддержку CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia) - Советом по Научным Исследованиям и Новым Технологий при Правительстве Мексики, проект №1449 РТ.

Цель и основные задачи научного исследования.

Целью исследования является изучение связанной с внутренними приливными волнами структуры временной и пространственной изменчивости гидрофизических полей на конкретном участке шельфовой зоны тихоокеанского побережья Мексики на основе анализа данных натурных измерений. Для достижения этой цели были сформулированы следующие основные задачи научного исследования:

- разработка новых методов и технических средств для измерения внутренних волн на шельфе;
- проведение длительных измерений внутренних волн на автономных буйковых станциях (АБС) и с заякоренного судна. Регистрация их пространственной структуры на открытых участках шельфа с помощью ныряющего STD-зонда на полном ходу судна;
- статистический анализ полученных экспериментальных данных и их интерпретация с привлечением результатов теории внутренних волн;
- разработка способа отфильтровывания внутренних волн из натурных материалов, измеренных в учащенной сетке точек, с целью использования их для расчета геострофических течений на шельфе.

Теоретическая и практическая ценность работы.

Полученные в результате исследования оценки пространственно-временных параметров внутренних приливных волн и волн цунами для одного из самых малоизученных участков мексиканского шельфа Тихого океана имеют значительную теоретическую ценность для верификации существующих гидродинамических моделей и дальнейшего развития нелинейных моделей динамики волновых процессов на мелководье. Практическая ценность работы заключается в создании банка данных как исходных, так и сглаженных полей температуры, солености и плотности на Полигоне экологического мониторинга вод (штаты Халиско и Колима, Мексика), который используется биологами Экологического центра Гвадалахарского университета в своих исследованиях.

Научная новизна работы состоит том, что автором впервые для шельфовой зоны Тихого океана, прилегающей к побережью Мексики, получены следующие результаты:

- обобщены экспериментальные данные и выявлены физико-географические закономерности пространственно-временной структуры внутренних приливов и их трансформации при своем движении от места генерации на свале глубин к берегу;
- дана количественная оценка параметров волн цунами, вызванных самым сильным в этом столетии подводным землетрясением 9 октября 1995 г, с помощью автономных измерителей, установленных на АБС на открытом участке шельфа;
- установлены закономерности вертикального и горизонтально-го распределения температуры, солености и плотности на Полигоне экологического мониторинга прибрежной зоны;
- развита методика отфильтровывания внутренних волн из материалов наблюдений, с целью расчета геострофических течений на шельфе.

Уровень реализации, внедрение научных разработок. Разработанные методы быстрого измерения океанографических величин внедрены в Центре экологии побережья (Мексика) и в Центре научных исследований и высшего образования (Мексика).

Полученные результаты пространственно-временного распределения внутренних гравитационных волн используются в научных исследованиях и учебном процессе университета г. Гвадалахара. (Акты внедрений прилагаются).

Апробация и публикация научных исследований. Основные результаты работы докладывались в 1994-96 годах на ежегодном Геофизическом Конгрессе Мексики; на XXI Генеральной Ассамблее IAPSO в августе 1995 г. (Гонолулу, США); на Конгрессе Американского Геофизического общества в феврале 1996 г. (Сан-Диего, Калифорния, США).

Основные результаты исследований опубликованы в 3-х статьях.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы 143 наименований, из которых 78 иностранных, и приложения. Объем работы составляет 166 страниц, из которых 107 текста, 8 таблиц, 35 рисунков.

Конкретный вклад диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту. Автор диссертационной работы лично принимал участие в разработке, изготовлении и испытаниях ныряющего аппарата с STD-зондом, разработке и изготовлении притопленных буйковых станций. Автор принимал участие во всех экспедиционных измерениях на океанском шельфе, материалы которых проанализированы в диссертации. Автором выполнен статистический и спектральный анализы исходных временных рядов, площадных съемок на микрополигонах и выявлена пространственно-временная структура внутренних приливов на шельфе. Проведены измерения и анализ волн цунами на открытом участке шельфа. Исследована структура пространственных корреляционных функций температуры, солености и плотности в шельфовой области океана. Развита методика отфильтровывания внутренних волн из материалов измерений с целью расчета геострофических течений на шельфе.

На защиту выносятся:

- разработанный способ выполнения быстрой океанографической съемки с помощью ныряющего STD-зонда на полном ходу судна, позволяющий в 4-5 раз сокращать время работ в море, по сравнению с традиционным способом измерений;
- количественные оценки отражающих свойств дна и потока энергии от баротропного к внутреннему приливу на участке Тихого океана, прилегающего к побережью штатов Халиско и Колима (Мексика);
- обобщение результатов измерения и физический анализ пространственно-временной структуры внутренних приливов и волн цунами в шельфовой области океана у западного побережья Мексики;
- методика отфильтровывания внутренних волн из данных измерений, выполненных в учащенной сетке океанологических стан-

ций, с целью расчета геострофических течений на шельфе.

Методология исследования состоит в использовании новых методов натуральных экспериментов для изучения пространственно-временной структуры внутренних приливных волн и современного математического аппарата для статистического анализа и моделирования волновых процессов в шельфовой области океана.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан краткий обзор литературных источников по исследованию внутренних приливов, в частности, в шельфовых областях Мирового океана. Обсуждается актуальность темы диссертации, сформулированы ее цели и задачи, научная новизна и практическое значение. Перечислены полученные результаты, которые выносятся на защиту.

В первой главе “Методические вопросы проведения натуральных измерений внутренних волн. Методы обработки исходных данных”, излагаются вопросы проведения инструментальных измерений внутренних приливных волн на шельфе и способы статистической обработки полученных данных. Детально описывается примененный в диссертационной работе способ проведения быстрой океанологической съемки некоторой акватории шельфа на полном ходу судна, с помощью ныряющего CTD-зонда. Суть способа в том, что высокочастотный CTD-зонд (использовался SBE-19 SEACAT PROFILER, фирмы SEA-BIRD ELECTRONICS) помещается в специальный корпус обтекаемой формы (аппарат), снабженный гидродинамическим выключателем, срабатывающим от набегающего потока воды. Аппарат с измерителем буксируется на полной скорости за исследователем судном на тросе, длина которого соответствует требуемой глубине зондирования. При буксировке аппарат за счет подъемной гидродинамической силы находится у поверхности моря. Придя в точку измерения, судно не снижая оборотов винта, делает 1-2 плавные циркуляции вокруг этой точки и аппарат, потеряв горизонталь-

ную составляющую скорости, под действием собственного веса, начинает погружаться на глубину. Одновременно срабатывает выключатель измерителя, и он начинает записывать температуру, соленость и давление в среде два раза в секунду. Скорость погружения аппарата определялась экспериментально и регулировалась весом дополнительного груза. Она обычно составляла 1-2 м/с, а время затрачиваемое на выполнение одного вертикального зондирования до глубины 150 м, занимало не более 2 минут.

Особое внимание в главе уделено вопросам статистической обработки данных натуральных измерений в море. Обсуждаются различные аспекты обработки материалов с помощью одномерного и многомерного спектрального анализа случайных процессов и полей, в том числе и с помощью нелинейных методов максимальной энтропии и максимального правдоподобия.

Во второй главе "Условия генерации и распространения внутренних приливов на шельфе штатов Халиско и Колима" рассмотрено три вопроса. Исследована термохалинная структура вод на участке прибрежной зоны Тихого океана от п.Мансанильо до м. Кабо Корриентес, оценены отражающие свойства дна в этой зоне и рассчитаны потоки энергии от баротропного прилива к бароклинному на участке дна вблизи м.Барра де Навидад.

Термохалинная структура вод исследовалась на основе материалов собственных измерений, полученных автором в 1991-92 годах в экспедициях на НИС "Алтаир". Рассчитаны средние T,S-характеристики и вертикальное распределение частоты Вэйсяля по данным весенней и осенней съемок. Показано, что они подвержены сезонной изменчивости в верхнем 200-метровом слое и захватывают всю шельфовую водную массу. На основе ряда теоретических работ (Vaines, 1982; Graig, 1987; Власенко, 1989, 1991) выполнена оценка отражающих свойств материкового склона и шельфа в зависимости от наклона дна $\alpha = \partial z / \partial x$ и угла наклона характеристического луча $\gamma = \arctg\left\{\left(\omega^2 - f^2\right) / \left(N^2(z) - \omega^2\right)\right\}^{1/2}$ внутреннего прилива. Наиболее

эффективно энергия баротропного прилива передается бароклинному при $\alpha/\gamma \approx 1$, которое считается критическим. На сверхкритических участках дна, где $\alpha/\gamma > 1$, генерируемые бароклинные колебания почти полностью отражаются в океан, а на докритических - в сторону шельфа. В работе выполнены расчеты величины отношения α/γ для всей исследуемой области Тихого океана и построена карта его пространственного распределения. На основе модели Бейнса (Baines, 1982), вычислены оценки потока энергии от баротропной волны M_2 к внутренним волнам и их амплитуды. Поток оценивался по выражению:

$$E_{flux} = \beta_1 \beta_2 \rho_0 Q^2 N_0 \left(\frac{\omega^2 - f^2}{\omega^2} \right)^{1/2} \quad (1)$$

где β_1, β_2 - коэффициенты, учитывающие характеристику стратификации и форму рельефа дна; ρ_0 - средняя плотность; Q - расход воды в приливном баротропном потоке; N_0 - средняя в стратифицированном слое частота Вайсяля; ω - частота внутренней волны; f - локальная инерционная частота. Амплитуда внутренней волны находилась по формуле:

$$a = \left\{ E_{flux} / g \Delta \rho \left| C_{\Gamma} \right| \right\} \quad (2)$$

где $\Delta \rho$ - перепад плотности в слое скачка; $\left| C_{\Gamma} \right| = \left[g' d (1 - d/H) \right]^{1/2}$ - групповая скорость внутренних волн. Здесь $g' = g \Delta \rho / \rho_0$ - редуцированное ускорение силы тяжести; d - толщина верхнего однородного слоя; H - глубина океана.

Если считать, что баротропная волна подходит к берегу под прямым углом, то $E_{flux} = 763$ Дж/(м с) на один метр длины кромки шельфа; $\left| C_{\Gamma} \right| = 0.92$ м/с и $a = 4.9$ м. Эти величины являются близкими к оценкам Бейнса (Baines, 1982), полученным для материкового склона других районов Мирового океана.

В третьей главе "Пространственно-временная изменчивость внутренних приливов на шельфе штата Халиско" приведены и анализируются результаты серии натуральных экспериментов по измерению внутренних приливов в шельфовой зоне океана. Длительные измерения автономными приборами флуктуаций температуры и солености с притопленных буйковых станций собственной конструкции, с заякоренного судна и с помощью быстрых съемок вариаций температурного поля на нескольких микрополигонах у м.Барра де Навидад, позволили оценить основные параметры внутренних приливов на шельфе: временную структуру, направление их распространения, длины волн, фазовую скорость, форму профилей и местоположения областей их генерации на материковом склоне Тихого океана. Перечислим их главные особенности:

- Внутренние приливы на шельфе очень хорошо выражены. Они распространяются от места своей генерации на материковом склоне в сторону берега в виде уединенных волн квазиполусуточной периодичности, сильно деформирующих термоклин и поля других гидрофизических и гидрохимических характеристик во всей шельфовой области океана. Характерная длина таких деформаций от 2 до 8 км, а высота - 20-30 м.

- Внутренние приливы в прибрежной зоне океана - это нелинейные колебания, имеющие резкий передний и пологий задний фронты. Передний фронт волн может быть иногда почти вертикальным. Обычные перепады температуры на нем близки к 8-10°C всего за 1 час, а солености - до 1.5‰/ч. В 2-3 км от берега, на глубинах шельфа в 50-70 м, инструментально зарегистрированы случаи нелинейного распада внутреннего прилива на группы солитоноподобных волн большой амплитуды, с временной шириной гребней порядка 1-1.5 часа (рис.1).

- Внутренние приливы на шельфе сохраняют главные особенности баротропных волн - суточные и полумесячные (очевидно, и месячные) неравенства амплитуд и фаз. Их движение по шельфу хорошо коррелируется с фазами наступления полной воды на побережье.

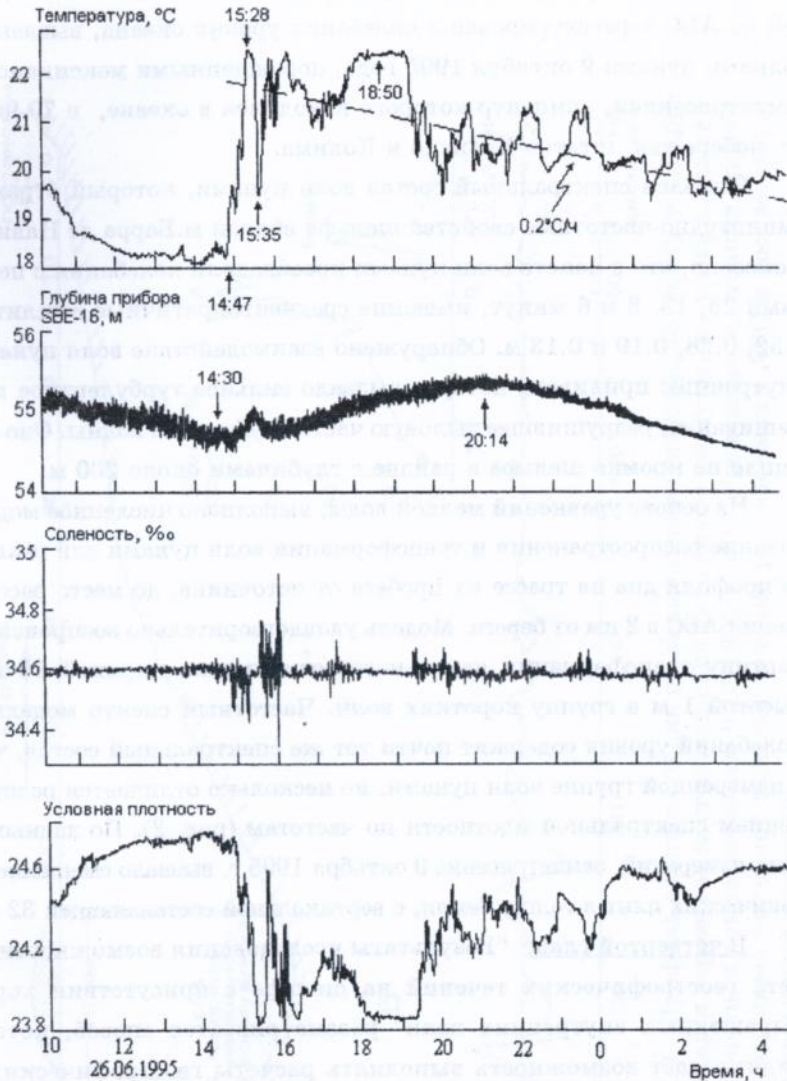


Рис.1. Временной ход температуры, глубины расположения прибора, солености и условной плотности на горизонте 55 м, по измерениям на шельфе с АБС 26-27.06.1995 г. в 3-х км от м.Барра де Навидад. Кривые демонстрируют нелинейный распад внутренней приливной волны на мелководье.

С помощью разнесенных в пространстве автономных измерителей на АВС зарегистрированы колебания уровня океана, вызванные волнами цунами 9 октября 1995 года, порожденными мексиканским землетрясением, эпицентр которого находился в океане, в 70-90 км от побережья штатов Халиско и Колима.

Выявлен спектральный состав волн цунами, который отражает амплитудно-частотные свойства шельфа вблизи м. Барра де Навидад. Показано, что в пакете волн цунами преобладали колебания с периодами 25, 13, 8 и 6 минут, имевшие среднеквадратичные амплитуды 0.52, 0.28, 0.19 и 0.13 м. Обнаружено взаимодействие волн цунами с внутренним приливом, которое вызвало сильное турбулентное перемешивание, разрушившее тыловую часть внутренней волны. Оно пришло на кромке шельфа в районе с глубинами около 200 м.

На основе уравнений мелкой воды, выполнено численное моделирование распространения и трансформации волн цунами для реального профиля дна на трассе их пробега от источника, до места расположения АВС в 2 км от берега. Модель удовлетворительно воспроизводит картину трансформации начального возмущения шириной 15 км и высотой 1 м в группу коротких волн. Частотный спектр модельных колебаний уровня содержит почти тот же спектральный состав, что и в измеренной группе волн цунами, но несколько отличается распределением спектральной плотности по частотам (рис. 2). По данным наших измерений, землетрясение 9 октября 1995 г. вызвало смещение тектонических плит в толще Земли, с вертикальной составляющей 32 см.

В четвертой главе “Результаты исследования возможности расчета геострофических течений на шельфе в присутствии хорошо выраженных внутренних волн” рассматривается способ, который видимо даст возможность выполнять расчеты геострофических течений на шельфе, где обычно этого сделать нельзя из-за “загрязнения” исходных данных внутренними волнами. Способ основан на сглаживании поля плотности, и зависит от формы пространственной корреляционной функции поля, с последующим расчетом динамических высот и течений.

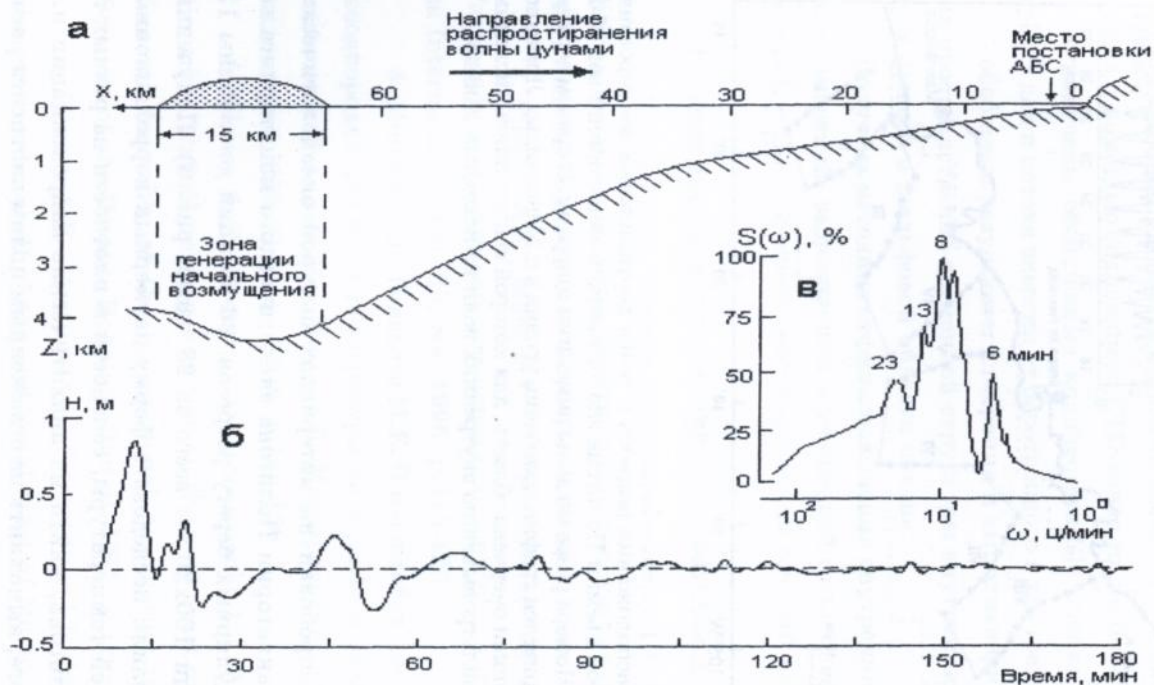


Рис. 2. (а) - Профиль океанского дна по линии перпендикулярной берегу у м. Барра де Навидад и вероятное местоположение начального возмущения уровня, вызванного подводным землетрясением 9.10.1995 г. (б) - Временные колебания уровня, воспроизводимые линейной моделью в точке расположения АБС и соответствующий им частотный спектр (в).

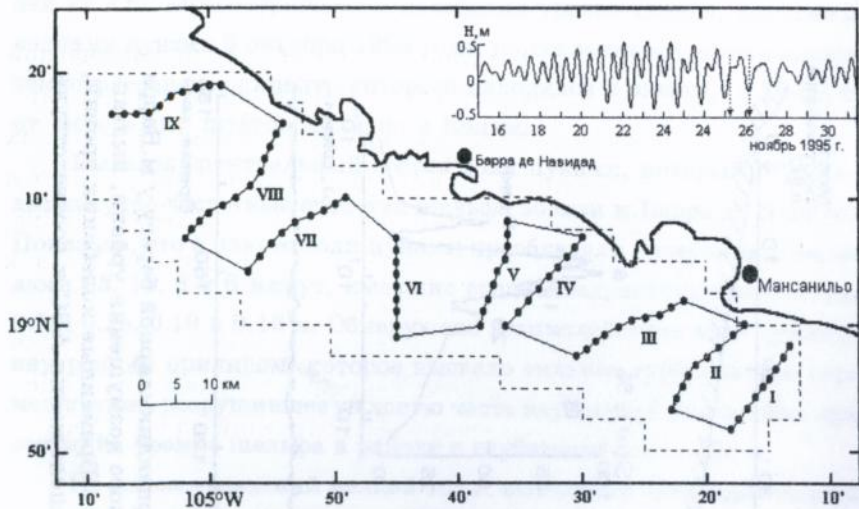


Рис.3. Схема расположения разрезов и точек вертикальных зондирований во время быстрой съемки Полигона экологического мониторинга вод 25-26 ноября 1995 г. Номера разрезов даны римскими цифрами. В правом верхнем углу рисунка приведен график колебания уровня в п.Мансанильо. Ломанной пунктирной линией очерчена область, для которой выполнялись численные расчеты по отфильтровыванию внутренних волн из исходных данных.

Он был опробован на материалах быстрой океанологической съемки всей акватории Полигона экологического мониторинга вод (9 перпендикулярных берегу разрезов, 86 станций до глубины 120 м, на площади 100x20 км всего за 28 часов, рис. 3). Полученные данные позволили исследовать форму двумерных корреляционных функций полей температуры, солености и плотности на разных горизонтах Полигона, найти их аналитические аппроксимации и, в конечном итоге, выполнить по сглаженным полям плотности расчет относительных геострофических течений на Полигоне.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации:

- разработан способ проведения быстрой океанографической съемки с помощью ныряющего CTD-зонда на полном ходу судна;
- получены обобщенные количественные оценки отражающих свойств дна и потока энергии от баротропного к внутреннему приливу;
- обобщены результаты измерения и выполнен физический анализ пространственно-временной структуры внутренних приливов и волн цунами в шельфовой области океана;
- получена методика отфильтровывания внутренних волн из данных измерений, выполненных в учащенной сетке океанологических станций, с целью расчета геострофических течений на шельфе.

По теме диссертации опубликованы научные работы:

1. Filonov A.E., Monzon C.O., Tereshchenko I.E. About the conditions for internal waves generation on the west coast of Mexico// Rev. Ciencias Marinas: vol. 22, №3, 1996, p. 1-18.
2. Filonov A.E., Monzon C.O., Tereshchenko I.E. A technique for fast conductivity-temperature-depth oceanographic surveys// Geofisica Internacional. Vol. 35, N4, 1996, p.415-420.
3. Монзон С.О., Гонзалес М.Е. О масштабах пространственных неоднородностей поля температуры на шельфе и свале глубин у западного побережья Мексики //Сб. Метеорология, климатология и гидрология №33, Одесса - 1996, с.144-150.
4. Filonov A.E., Monzon C.O., Tereshchenko I.E. About the conditions for internal waves generation on the west coast of Mexico// XXI General Assembly of the International Association for the Physical Sciences of the Oceans. Honolulu Hawaii, USA. August 1995.
5. Filonov A.E., Monzon C.O., Tereshchenko I.E. Internal waves on the continental shelf of the occidental coast of Mexico// Ocean Sciences Meeting, San Diego, USA, February 1996.

6. Filonov A.E., Monzon C.O., Godinez D.E., Gonzalez M.E. Sobre un metodo de calculo de las corrientes Geostroficas en la plataforma continental en presencia de ondas internas// X Congreso Nacional de Oceanografia. Manzanillo, Col. Mexico. Nov. 1996.

АННОТАЦИЯ.

Сесар Октавио Монзон. ВНУТРЕННИЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ МЕКСИКИ.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.08 - океанология. Одесский гидрометеорологический институт. Одесса, 1997.

Исследованы отражающие свойства дна и оценены потоки энергии от баротропного к внутреннему приливу. Выполнены натурные измерения и анализ пространственно-временной изменчивости внутренних приливов и волн цунами на шельфе. Разработан способ отфильтровывания внутренних волн из материалов океанологических измерений, с целью расчета геострофических течений на шельфе. Методы измерений и анализа использованы в научно-исследовательских центрах Мексики.

ABSTRACT**Cesar Octavio Monzon. GRAVITATIONAL INTERNAL WAVES ON THE WESTERN MEXICAN COAST.**

The dissertation is presented in form of manuscript to claim the academic degree of a candidate of geographical sciences. Speciality 11.00.08 - oceanology. Hydrometeorological Institute of Odessa, Odessa, 1997.

The sea floor reflective properties were studied and the energy fluxes from barotropic to internal tide were calculated. Field measurements were performed on the shelf and the spatial and temporal variability of internal and tsunami waves were analyzed. The method of the internal waves filtering the oceanographic data with the purpose of calculating geostrophic currents on the shelf was developed. Measurements and analysis methods were used in some scientific centers of Mexico.

Ключові слова: внутрішні та гравітаційні хвилі, цунамі, вимірювання, моделювання.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of the physical environment on the behavior of the fish. The study was conducted in a laboratory setting. The fish were kept in a tank with a constant temperature of 20°C. The light intensity was varied from 0 to 1000 lux. The results showed that the fish spent more time in the light when the temperature was higher. This suggests that the fish are more active in warmer water. The study also found that the fish spent more time in the light when the light intensity was higher. This suggests that the fish are more active in brighter light. The results of this study are consistent with previous research on the behavior of fish in response to environmental changes.

The results of this study indicate that the fish are more active in warmer water and brighter light. This is likely due to the fact that fish are ectotherms and their body temperature is dependent on the environment. Warmer water allows for faster metabolic rates and more active behavior. Similarly, brighter light provides more energy for the fish to move and feed. The study also found that the fish spent more time in the light when the temperature was higher. This suggests that the fish are more active in warmer water. The study also found that the fish spent more time in the light when the light intensity was higher. This suggests that the fish are more active in brighter light. The results of this study are consistent with previous research on the behavior of fish in response to environmental changes.

The study was conducted in a laboratory setting. The fish were kept in a tank with a constant temperature of 20°C. The light intensity was varied from 0 to 1000 lux. The results showed that the fish spent more time in the light when the temperature was higher. This suggests that the fish are more active in warmer water. The study also found that the fish spent more time in the light when the light intensity was higher. This suggests that the fish are more active in brighter light. The results of this study are consistent with previous research on the behavior of fish in response to environmental changes.

Сдано в набор 14.05.97. Подписано в печать 15.05.97.
Объем 1.0 печ.л. Формат 60x84/16. Тираж 100 экз.
Бумага офсетная. Заказ № 270.

Отпечатано в типографии НПФ "Астропринт"
Одесса, ул. Преображенская, 24, к. 13.
Тел./факс: (0482) 26-98-82.

486675

AV 37.804