

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**ВСЕРОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ
«СЕЙСМОАКУСТИКА ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН»**
(посвящается 275-летию Российской Академии наук)

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Владивосток, 20 - 26 сентября 1999 г.

УДК 550.34

Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон»: Тез. докл. Владивосток: Дальнаука, 1999. 83 с.

Редакторы: А.В. Алексеев, Г.И. Долгих, Е.Д. Холодкевич

Симпозиум проводится при финансовой поддержке РФФИ, проект № 99-05-74066

ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОСФЕР

А.В.Алексеев, Г.И.Долгих

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская, 43

Геосферы Земли находятся в процессе непрерывного взаимодействия. Взаимодействие в низкочастотном и сверхнизкочастотном диапазонах является основным в формировании и протекании глобальных явлений Земли ввиду их большой энергоёмкости, что связано с характерными размерами отдельностей, которые определяют спектральные характеристики геосфер. Необходимо отметить, что в спектрах колебаний геосфер существуют максимумы на одних и тех же частотах. Это свидетельствует о том, что в литосфере, гидросфере, атмосфере существуют соответствующие источники колебаний и волн на данных частотах, что связано, по-видимому, с временем формирования геосфер. Возникновение вынужденных колебаний в одной из геосфер приводит к возможности почти "резонансной" передачи энергии от одной геосферы к другой. Такая передача энергии способствует более быстрому процессу подготовки и протеканию глобальных геофизических явлений.

Для экспериментального изучения взаимодействия геосфер в низкочастотном и сверхнизкочастотном диапазонах были сравнительно недавно разработаны лазерно-интерференционные методы, на основе которых в были созданы лазерные деформографы, которые позволяют изучать колебания объектов в частотном диапазоне 0-1000 Гц на межмолекулярном уровне. Оптические схемы данных установок построены с использованием

интерферометров Майкельсона, Фабри-Перо и их модификаций. В ТОО ДВО РАН лазерные деформографы применяются для изучения микроколебаний земной коры в широком частотном диапазоне в зоне перехода гидросфера-литосфера с целью изучения степени воздействия гидросферных процессов на литосферные, определения источников колебаний и волн в гидросфере и литосфере и исследования протекания процессов линейной и нелинейной природы на границе раздела сред. Основы характеристики данных приборов: а) рабочий диапазон частот 0 - 300 Гц; б) точность измерения микроперемещений - 0,3 нм; в) динамический диапазон практически неограничен; г) длина базы - 52,5, 17,5, 10,5 м.

Основные результаты, полученные с помощью данных установок за эти годы, сводятся к следующему:

1. Создание береговых лазерно-интерференционных комплексов, методических основ их применения и способов установки с учётом дифференциальных свойств среды позволяет изучать степень воздействия гидросферных процессов на литосферные на новом прецизионном уровне.

2. Результаты натурных исследований пространственно-временных характеристик гидроакустических полей, генерируемые низкочастотными гидроакустическими излучателями и регистрируемые береговыми лазерными деформографами, даёт возможность изучать не только законы трансформации гидроакустических колебаний в сейсмоакустические, но и природу модуляционного воздействия низкочастотных процессов гидросферы на высокочастотные.

3. Установленные законы генерации, динамики и трансформации поверхностных и внутренних морских волн при их движении по шельфу в упругие колебания дна позволяет ввести новое представление о физике взаимодействия волновых полей океана с литосферой, оценить вклад этого взаимодействия в сейсмичность Земли и предложить новый, бесконтактный способ изучения волновых полей океана.

4. Существование фона собственных колебаний Земли, отдельные тона которых модулируются приливами и более низкочастотными процессами, указывает на возможность изучения природы амплитудно-фазовых вариаций тонов и обертонов

собственных колебаний Земли с помощью системы разнесённых лазерных деформографов.

5. Установленный вклад приливов и сейшевых колебаний Японского моря в уровень микродеформаций земной коры позволяет оценить его воздействие на упругие процессы литосферы.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ВИБРАТОР - ГЕНЕРАТОР СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Г.Н. Батюшин, Г.И. Долгих

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская 43

Лазерные деформографы - приборы для измерения микросмещений земной коры, требуют для своей эксплуатации проведения калиброванных измерений. Для этой цели необходим источник (генератор) сейсмических колебаний фиксированной (и изменяемой) амплитуды и определенной частоты. В низкочастотной области в качестве такого генератора может быть использовано вращение твердого тела со смещенным центром тяжести. Возникающие при таком вращении центробежные силы порождают периодические нагрузки, частота которых обуславливается задаваемой извне частотой вращения вала (ротора) электрической машины постоянного тока, используемой как внешний источник крутящего момента.

Практически, в качестве вибратора был использован проточенный на фрезерном станке ротор асинхронного двигателя. Проточка обеспечивает смещение центра тяжести. До обработки ротор представлял собой стальной цилиндр с размерами $R=65$ мм; $L=180$ мм. При обработке с ротора удаляется цилиндрический сегмент и сечение получающегося тела плоскостью, нормальной к оси вращения становится асимметричным. Расстояние от оси вращения до плоскости среза $v=27$ мм.

Вращение несимметричного тела можно описать как вращение симметричной части и сектора, равного по массе удаленному цилиндрическому сегменту. В свою очередь задачу о

вращении цилиндрического сегмента можно свести к задаче о вращении точечного тела с массой равной массе цилиндрического сегмента и вращающегося вокруг оси на расстоянии $R_{\text{экр.}}$

Эквивалентный радиус находится из равенства момента инерции точечной массы m_2 моменту инерции цилиндрического сегмента J_2 массы m_2 .

Момент инерции цилиндрического сегмента J_2 равен:

$$J_2 = \frac{1}{2} \rho L R^4 \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 \right) - \frac{1}{6} \rho L b^3 R \left(1 - \frac{b^2}{R^2} \right)^{1/2} \left(2 + \frac{R^2}{b^2} \right)$$

$$\sin \varphi_0 = \frac{b}{R}.$$

Эффективный радиус подсчитывается по формуле

$$m_2 R_s^2 = J_2$$

Для реальных размеров ротора вычисленное значение R_s равно 52 мм. Проектируя на оси координат силы, приложенные к вращающемуся телу, получаем систему уравнений:

$$F_y = F_{\text{цб}} \cdot \sin \varphi - P_2 \sin^2 \varphi - P_1 - P_3$$

$$F_x = F_{\text{цб}} \cdot \cos \varphi - P_2 \sin \varphi \cos \varphi$$

где F_y - нормальная компонента нагрузки;

$F_{\text{цб}}$ - центробежная сила;

P_1, P_2, P_3 - вес симметричной части ротора, вес точечной массы, вес статора.

Дальнейшие вычисления показывают, что существует критическая частота вращения ротора (и соответствующее этой частоте число оборотов). До этой частоты нормальная компонента нагрузки на вал ротора имеет характер близкий к гармоническому. При числе оборотов $n > n_{\text{кр}}$ нормальная компонента теряет гармонический вид и становится импульсной. Для выбранных нами геометрических размеров ротора $n_{\text{кр}} = 504$ об./мин.

ФИЛЬТРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА КВАЗИСФЕРИЧЕСКИМИ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

А.С.Бурундуков

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, ул. Балтийская 43

Использование лазерной интерферометрии и современной вычислительной техники для обработки больших массивов информации о сейсмических сигналах в масштабах реального времени позволит существенно повысить точность сейсмических измерений, и неизбежно повлияет на качество решения основных задач сейсмологии:

- 1) томографии структуры земных недр,
- 2) изучении процессов в очагах землетрясений,
- 3) контроле (мониторинге) за испытаниями ядерного оружия, разведке полезных ископаемых и т.д..

Повышение точности измерений может расширить круг классических задач сейсмологии и включить в этот круг астрофизическую проблему прямой регистрации гравитационных волн, излучаемых тесными двойными релятивистскими объектами типа пульсара PSR 1916+13. Многолетние наблюдения за изменением частоты которого косвенно подтвердили существование этого излучения и были отмечены Нобелевской премией. Так в США коллаборацией МТИ-КАЛТЕХ не первый год активно разрабатывается программа LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), в России же предложенный раньше, чем в Америке, аналогичный проект ДУЛКЫН (*там.* ВОЛНА), разработанный группой технических институтов под руководством кафедры теории относительности и гравитации КГУ, до сих пор существует лишь на бумаге.

При проектировании современных сейсмических приборов с большой базой весьма важно иметь крупномасштабные системы регистрации, подобно системам в проекте регистрации космических мюонов и нейтрино сверхвысоких энергий - DUMAND (Deep Underwater Muon And Neutrino Experiment). В этой установке процесс

регистрации и обработки оптического сигнала черенковского излучения разделен на два этапа.

Вначале сигнал регистрируется отдельным квазисферическим модулем, представляющим собой набор фотоумножителей, каждый из которых следит за определенным сектором пространства. В каждом модуле проводится первичная обработка сигнала, сводящаяся к фильтрации шума и определения направления и амплитуды оптического сигнала. При первичной обработке сигнала могут быть использованы простые алгоритмы геометрической фильтрации, описанные в работе [1].

На втором этапе отфильтрованный сигнал подается на центральный процессор, который решает задачу восстановления геометрических параметров трека, определения заряда, массы, энергии частицы, контрольных параметров среды - коэффициентов преломления и поглощения а также выполняет вторичную фильтрацию сигнала, используя при этом простые физические модели регистрируемого процесса [2].

Представляется, что основные принципы регистрации и обработки сигнала, использованные в установках типа DUMAND могут оказаться плодотворными и при проектировании лазерных сейсмических детекторов нового поколения.

Перспективна разработка систем из нескольких многоплечевых лазерно-интерферометрических модулей, обладающих квазисферической симметрией типа октаэдра или додекаэдра, регистрирующих, обрабатывающих и фильтрующих сейсмическую информацию в масштабах реального времени и выдающих на межмодульный уровень модельно-независимую информацию, уже прошедшую первичную обработку. Затем эта информация может обрабатываться с учетом конкретных моделей, базовых расстояний между модулями, временных задержек между сигналами, дисперсии и так далее.

Реализация квазисферической геометрии сейсмического детектора позволит:

- 1) с большей точностью регистрировать направление распространения и амплитуду упругих волн, используя эффективные принципы геометрической фильтрации сигнала;

- 2) уверенно различать объемные - продольные (P) и поперечные (S) волны, контролируя изменения рабочего объема модуля;
- 3) по скорости и поляризации сейсмических волн различать поверхностные волны - волны Рэлея (SV - поляризация) и Лява (SH - поляризация);
- 4) начать систематические исследования с целью регистрации гравитационного излучения по характерным лишь для него деформациям.

Лишь лазерные интерферометрические квазисферические модули, реализуя нерезонансный (широкополосный) принцип регистрации гравитационных волн, способны зарегистрировать и амплитуду, и частоту и, самое главное, - направление на источник этих волн, то есть отождествить этот источник с конкретным астрофизическим объектом.

Литература:

1. Burundukov A.S. Problem on reconstruction of the parameters of a charged particle track, Atmospheric and Oceanic Optics, v. 6, № 7, 1993, с. 481-487.
2. Бурундуков А.С. Взаимодействие гравитонов высоких энергий с фермионами, Владивосток: Дальнаука, 1993, 106 с.

АПЕРИОДИЧЕСКИЕ И КВАЗИРЕГУЛЯРНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПОЛЯ НА ГРАНИЦЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ГИДРОСФЕРА - ЛИТОСФЕРА

Н.А.Видмонт

Объединенный институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН,
123810, Москва Д-242, ул. Б.Грузинская 10

Согласно имеющимся данным в верхних частях земной коры наблюдаются квазипериодические и статические составляющие сейсмического волнового поля естественного и искусственного происхождения. Так, в квазипериодическом поле сейсмического вибратора при определенных параметрах среды и возбуждающего

сигнала возникает постоянная составляющая напряжения или натяжения среды (радиационная сила). Условия существования указанного эффекта следующие.

По аналогии с эффектами нелинейной акустики радиационная сила (напряжение) $\sigma_{\text{рад}} = \eta \rho_0 V_0^2 = \eta \rho_0 C_0^2 M^2$, где V_0 – амплитуда колебательной скорости, C_0 – скорость распространения волны, M – число Маха, η – параметр нелинейности среды. Для отношения радиационных напряжений в сейсмическом и акустическом полях получаем величины $1-10^3$, а абсолютное значение сейсморадиационного напряжения $\sigma_{\text{рад}}$ до 10^5 Па, что позволяет исследовать сейсморадиационное напряжения в неволновой и ближней волновой зонах вибросейсмического поля. $\sigma_{\text{рад}}$ может возникать при появлении интенсивной второй гармоники на частоте 2ω как постоянная составляющая с $\omega = 0$.

Запись напряжения в вибрационном поле проводилась тензометрической системой Ю.И.Васильева и М.Н.Щербо в режиме гармонического излучения и при плавном изменении его частоты (свип от 20 до 100 Гц) при равной мощности вибратора [1]. Были получены данные о величине сейсморадиационного напряжения, определяемого как смещение средней линии вибросигнала относительно ее положения при предварительной статической нагрузке, при различных условиях эксперимента. Радиационное напряжение под плитой вибратора при больших нагрузках было отрицательно, т.е. возникало напряжение, разгружающее предварительное статическое напряжение сжатия, существовавшее до начала вибрации.

Изменение сейсморадиационного напряжения с глубиной. Сейсморадиационное напряжение, превышающее предел чувствительности прибора (10^3 Па), отмечено на глубине 5 и 50 см. Величина этого напряжения непосредственно под плитой достигает 100–120 кПа, а на глубине около 50 см падает до 10–15 кПа.

Изменение сейсморадиационного напряжения с расстоянием от источника. Заметные радиационные напряжения растяжения до 5 кПа вне плиты наблюдаются на расстоянии до 2.5 м включительно; на 7–10 м напряжение – менее 1.0 кПа.

Зависимость сейсморадиационного напряжения от числа Маха. Будем характеризовать интенсивность вибрационного сигнала числом Маха, принимая под C_0 скорость распространения продольной волны. Находим M через измеренную амплитуду σ_B вибрационного колебания в напряжениях $M = \frac{\sigma_B}{\rho_0 C_0^2}$. Полученная

экспериментальная зависимость радиационного напряжения от числа Маха в соответствии с нелинейной акустикой квадратична.

Сейсморадиационное напряжение возникает при нелинейности грунта и наблюдается при амплитудах сейсмических колебаний 100–300 кПа, достигая величины ~100 кПа и убывая по мере удаления от источника колебаний, при слабых вибрациях не регистрируется.

По величине сейсморадиационного напряжения получена приблизительная оценка параметра нелинейности: в песчаном грунте $\eta \sim 10^2$ при скорости продольных волн 200 м/с и плотности 1.8 г/см³.

С другой стороны, в переходной зоне гидросфера – литосфера существуют волновые процессы, обусловленные волнением моря, прибойными эффектами и т.д. Это является возможным источником существования явлений, аналогичных описанным. Поскольку параметр квадратичной нелинейности прибрежной зоны может быть достаточно высок, а чувствительность лазерных деформографов велика [2], то целеустремленный поиск этого эффекта представляется небесполезным. Его прикладные и фундаментальные аспекты достаточно очевидны: оценка нелинейных свойств прибрежной зоны, прогноз её возможных изменений вследствие необратимых деформаций, мониторинг деформационного поля в районе техногенных источников, например портов.

Литература.

1. Васильев Ю.И., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А. и др. Экспериментальное исследование сейсморадиационного напряжения в мягком грунте // Изв.АН СССР. Физика Земли. 1986. №1. С.52-56
2. Долгих Г.И. Исследование сейсмоакустических процессов в переходной зоне океан-материк лазерным деформографом

ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС В ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМЫ АТМОСФЕРА-ГИДРОСФЕРА-ЛИТОСФЕРА

Г.И.Долгих

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская, 43

Создание лазерных деформографов на основе современных лазерно-интерференционных методов позволило с большой точностью (до 0,3 нм) измерять микроперемещение земной коры, что привело к обнаружению новых эффектов линейной и нелинейной природы. С помощью лазерных деформографов равноплечего и неравноплечего типа, однокоординатного, двухкоординатного и трёхкоординатного удалось оценить нагружающий эффект гидросферных процессов на литосферные в диапазоне приливов и их гармоник, сейш, поверхностных и внутренних морских волн гидроакустических сигналов естественного и искусственного характера.

На основе лазерно-интерференционных методов нами разработаны и создаются лазерный микробарограф и высокоточный лазерный измеритель вариаций гидроакустического давления. Оптические схемы данных устройств примерно одинаковые и похожи на схему лазерного деформографа неравноплечего типа применяемого в наших исследованиях. Принципиальное отличие состоит в том, что вместо уголкового отражателя выполненного в виде трипель-призмы используется отражатель, выполненный в виде "кошкиного глаза", который состоит из собирающей линзы с подходящим фокусным расстоянием и мембраны с центральным отражающим покрытием. Диафрагма является чувствительным элементом в данных установках. Точность измерения давления определяется известной формулой для мембраны, закреплённой на краях:

$$P = \frac{\Delta l * 16 * h^3 * E}{3 * (1 - \sigma^2) * (R^2 - \rho^2)^2}$$

где: Δl - смещение диафрагмы, h - толщина мембраны, E - модуль Юнга, σ - коэффициент Пуассона, R - радиус, ρ - расстояние от центра.

При точности измерения смещения диафрагмы, равной 0,3 нм и мембране из нержавеющей стали точность измерения давления определяется следующей величиной:

1. $P = 4$ мПа при $h = 1$ мм, $R = 0,1$ м;
2. $P = 4$ мкПа при $h = 0,1$ мм, $R = 4$ мкПа.

Лазерный микробарограф и лазерный измеритель давления гидросферы обладает следующими характеристиками: 1) рабочий диапазон частот 0-1000 Гц, 2) динамический диапазон практически неограничен.

Дальнейшая эксплуатация установок предусмотрена при проведении комплексного исследования явлений и процессов низкочастотного и сверхнизкочастотного диапазонов в системе гидросфера-литосфера-атмосфера совместно с лазерными деформографами однокоординатного, двухкоординатного и трёхкоординатного типа неравноплечего варианта длиной 52,5, 17,5 и 3,5 м. Данные исследования направлены на изучение энергообмена между геосферами и его влияние на глобальные процессы Земли.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭНЕРГООБМЕНА В СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

Г.И.Долгих, В.И. Юсупов, Д.В.Яшков
Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская, 43

Существование устойчивых максимумов в спектрах записей лазерных деформографов поставило новые задачи по их интерпретации. Ведь согласно теоретическим расчетам, если отнести их к ядерным колебаниям Земли, то измеренная амплитуда должна быть в 1000 раз меньше. Проведенные исследования показали, что сейшевые колебания Японского моря могут вызывать устойчивые колебания в земной коре переходной зоны гидросфера-литосфера на частотах, совпадающих с некоторыми периодами выделенных максимумов сверхнизкочастотного диапазона до сих пор неизвестна. Кроме того, неизвестна природа энергообмена между гармониками низкочастотного диапазонов, а также энергообмен между гармониками низкочастотного, сверхнизкочастотного диапазонов и более низкочастотных и высокочастотных колебаний и волн, наблюдаемого из динамических спектров записи лазерного деформографа. Ранее было обнаружено модулирующее действие полусуточного прилива и более низкочастотных колебаний на основной сфероидальный тон oS_2 . Практически все процессы в геосферах нестационарны и для временного анализа необходимо брать короткие ряды. Применение Фурье-анализа затрудняет исследование данных процессов. Для обработки экспериментальных в последнее время все более широкое применение находит математический аппарат непрерывного одновременного вейвлет-преобразования (НОВП), хорошо приспособленного для исследований частотно-временных структур нестационарных процессов коротких рядов. В отличие от преобразования Фурье, НОВП разлагает исходный сигнал не в одномерный ряд частот, а в двумерную матрицу чисел, которая фактически, отражает временную эволюцию спектральных компонент сигнала. Математически НОВП заключается в свертке исходного сигнала $f(t)$ с так называемыми вейвлетами - хорошо локализованными как в частотной, так и во временной областях волноподобными функциями. Для исследования возможности НОВП был проанализирован ряд данных деформографа за 1998 г.. Полученное изображение вейвлет-анализа характеризуется так называемой "древовидной" структурой. Такая структура характерна для так называемого "каскадного процесса", в котором имеется определенная связь между различными масштабами. Основная

энергия сконцентрирована на полусуточном приливе и колебании с периодом около 2 часов, характерном для ядерных колебаний Земли.

При этом колебания с периодом около 2 мин. связаны с полусуточным приливом и собственными колебаниями Земли, между которыми наблюдается энергообмен, что указывает на общую природу данных процессов.

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

М.Н.Дубров

Институт радиотехники и электроники РАН
141120, Фрязино, Московской обл.

Интерес к изучению сейсмоакустических полей земной коры связан с высокой информативностью этого типа сигналов. Сравнительно высокочастотные колебания земной поверхности и горных пород позволяют исследовать не только такие традиционно акустические задачи, как сейсмоакустическая эмиссия, нелинейные взаимодействия волн в земной коре, но также сугубо длиннопериодные геофизические процессы: низкочастотные и сверхнизкочастотные колебания Земли, медленные движения блоков земной коры, и даже позволяют выделять краткосрочные предвестники землетрясений.

Среди широкого спектра сейсмоакустических процессов особое место занимают узкополосные сейсмические сигналы - так называемые квазигармонические колебания земной коры (Долгих Г.И. и др., 1983). Детальный анализ таких сигналов в диапазоне частот 2-4 Гц (Плескач Н.К., 1977), показал повсеместность их распространения и возможность выделения даже на предельных фоновых уровнях микросейсмических помех. Природа же этих колебаний во многом оставалась невыясненной. И только применение нового геофизического инструмента - широкополосного лазерного деформографа (Дубров М.Н. и др., 1987) позволило

определенно установить техногенное происхождение этих сигналов и впервые выделить их полный линейчатый спектр в диапазоне частот 2-50 Гц: $F_n = 50 / n$ Гц, $n = 1, 2, 3, \dots$, где F_n - частота сейсмического сигнала, n - число пар полюсов возбуждающей этот сигнал электрической машины.

В настоящем сообщении приводится описание оригинальных методов выделения этих сигналов, результаты изучения их тонкой и сверхтонкой структуры. Даны критерии, позволяющие оценить степень когерентности сигналов и наблюдать интерференционные эффекты при их взаимодействии. Разработанные методические приемы и инструментальные средства обеспечивают разделение соседних компонент мультиплетных спектральных пиков, отстоящих друг от друга менее, чем на 0,001 Гц. Полученные данные позволили нам разработать новый подход к интерпретации механизмов взаимодействия таких сейсмических сигналов с геофизической средой. Проведенные длительные наблюдения убедительно демонстрируют связь их пространственно-временной микроструктуры с глобальным сейсмическим процессом. Сделан вывод о возможности применения созданных методов в работах по предупреждению сейсмической опасности и других природных и техногенных катастроф.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, проект №99-05-65429.

ЛИТЕРАТУРА

- Долгих Г.И., Копвиллем У.Х., Мезиков С.Н. Известия вузов. Физика, 1983, т.26, №4, с.14-17.
Плескач Н.К. ДАН, 1977, т.232, №3, с.558-561.
Дубров М.Н., Яковлев А.П., Алешин В.А. ДАН, 1987, т.293, №5, с.1085-1089.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ КОНТРОЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В МИНИМАКСНОЙ ПОСТАНОВКЕ

И. И. Кислова
ИАПУ ДВО РАН

690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5

Рассмотрим модель изменения параметров состояния земной оболочки в следующем виде [1, 2]

$$\bar{y}(t) = A^T \bar{\varphi}(t) + \bar{\xi}(t), \quad t \in T, \quad (1)$$

где T - интервал эксплуатации; $\bar{\varphi}(t) = \{\varphi_j(t)\}_{j=1}^m$ - набор детерминированных функций времени, $A(m \times n)$ - матрица неопределенных коэффициентов, $\bar{y}(t) = \{y_i(t)\}_{i=1}^n$ - искомый вектор параметров с независимыми компонентами, $\bar{\xi}(t) = \{\xi_i(t)\}_{i=1}^n$ - вектор ошибок модели, о которых известно, что $|\xi_i(t)| \leq \delta_i(t)$, где $\{\delta_i(t)\}_{i=1}^n$ - известные при $t \in T$ функции. Все потенциально возможные измерения $\bar{y}(t)$ на $T_N \subset T$ образуют последовательность $\{\bar{z}(t_k)\}_{k=1}^N$, где

$$\bar{z}(t_k) = \bar{y}(t_k) + \bar{\varepsilon}(t_k), \quad t_k \in T_N \subset T, \quad k = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Ошибка контроля есть величина неопределенная, о которой известно лишь ограничение $|\varepsilon(t_k)| \leq \bar{\Delta}(t_k)$, $\bar{\Delta}(t)$ - известная для $t \in T_N$ вектор-функция.

Для формирования рекуррентного алгоритма (с целью дальнейшего использования его в режиме реального времени) преобразуем уравнения (1), (2) к виду, когда динамика изменений параметров модели представлена линейным разностным уравнением, а измерения - линейные. Вначале рассмотрим подобное

преобразование для отдельной компоненты вектора $\bar{y}(t)$. В силу их независимости такое представление может быть n -кратно повторено. Теперь коэффициенты матрицы $A(m \times n)$ становятся новым вектором параметров $\{x_i(t)\}_{i=1}^{mn} = \bar{x}(t)$. (В теле вектора коэффициенты матрицы следуют друг за другом по столбцам). Прогнозирование состояния земной оболочки сводится к определению $\bar{x}(t)$ по данным наблюдений $\{\bar{z}(t_k)\}_{k=1}^N$ по модели

$$\bar{x}(t+1) = \Phi_1 \bar{x}(t) + \Phi_2 \bar{\eta}(t), t \in T \quad (3)$$

$$\bar{z}(t_k) = \gamma_k H_k \bar{x}(t_k) + \bar{\varepsilon}(t_k), t_k \in T_N \subset T, \quad (4)$$

где $\Phi_1 = \Phi_2 = E_{mn}$ - единичные матрицы размером $(mn \times mn)$, $H_k(n \times mn) = \bar{\varphi}^T(t_k) \otimes E_n$ (\otimes - кронекеровское произведение матриц). Модель (4) определяет все потенциально возможные измерения, соответствующие плану измерений $\{\gamma_k, H_k\}_{k=1}^N$, где $\{\gamma_k\}, \gamma_k \in \Gamma_k = \{0; 1\}$ - программа измерений; $\{H_k\}, H_k \in \Xi_k$ - последовательность матриц, указывающая на состав измеряемых параметров из потенциального множества Ξ_k . Ограничения на $\{\bar{\eta}(t_k)\}$ и $\{\bar{\varepsilon}(t_k)\}$ из (3) и (4) должны быть заданы в виде несвязанных эллипсоидов соответствующей размерности

$$\Omega_{\varepsilon_k} = \left\{ \bar{\varepsilon}_k : \bar{\varepsilon}_k^T B_{\varepsilon_k}^{-1} \bar{\varepsilon}_k \leq r_{\varepsilon_k}^2 \right\} \quad (5)$$

$$\Omega_{\eta_k} = \left\{ \bar{\eta}_k : \bar{\eta}_k^T B_{\eta_k}^{-1} \bar{\eta}_k \leq r_{\eta_k}^2 \right\} \quad (6)$$

$$\Omega_{\varepsilon} = \Omega_{\varepsilon_1} \times \Omega_{\varepsilon_2} \times \dots \times \Omega_{\varepsilon_N}, \quad \Omega_{\eta} = \Omega_{\eta_1} \times \dots \times \Omega_{\eta_N},$$

$\Omega = \Omega_{\varepsilon} \times \Omega_{\eta}$, w - расширенный вектор погрешностей

эксперимента размерности $N(n+nm)$ вида

$$\bar{w}^T = \left(\bar{\varepsilon}_1^T : \bar{\varepsilon}_2^T : \dots : \bar{\varepsilon}_N^T : \bar{\eta}_1^T : \dots : \bar{\eta}_N^T \right).$$

Параметры эллипсоидов (5) получить несложно, описав около заданных параллелепипедов эллипсоиды [3, 4]. Для эллипсоидов (6) необходимо предварительно решить $2mn$ задачи линейного программирования вида

$$\{\eta_i(t_k)\}_{i=1}^{mn} \rightarrow \min \quad \{\eta_i(t_k)\}_{i=1}^{mn} \rightarrow \max$$

для $k \geq mn$ при ограничениях

$$\left| H_j \bar{\eta}(t_j) \right| \leq \bar{\delta}(t_j) \quad j = \overline{1, k}.$$

Использование описанных областей около заданных не противоречит минимаксному принципу. Затраты на процесс наблюдения определяются суммарным количеством измерений:

$$N_{\Sigma} = \sum_{k=1}^N \gamma_k.$$

Итак, в процессе наблюдения за системой (3) по измерениям (4) необходимо получить оптимальную оценку \bar{l} скалярного параметра $l = \bar{a}^T \bar{x}_N$, где $\bar{a}(mn \times 1)$ - заданный вектор, \bar{x}_N - терминальное состояние. Допустимая оценка \bar{l} имеет вид [5]:

$$\bar{l} = -\sum \gamma_k \bar{V}_k^T \bar{z}_k + \bar{v}^T \hat{x}_0,$$

где $\{\bar{V}_k\}$ - последовательность «весов», определяющая фильтр, вектор размером $(n \times 1)$, \bar{v} - вектор размером $(mn \times 1)$, выбираемый из условия несмещенности.

Критерием оптимальности выберем

$$K = \max_{w \in \Omega} \|\Delta \bar{l}\| = \max_{w \in \Omega} \|l - \bar{l}\| \rightarrow \min_{\{\gamma_k, H_k\}} \min_{\{\varphi_k\}},$$

что соответствует оптимизации априори наилучшей точности оценивания. На практике априорный подход используется редко, но

представляет интерес в следующих случаях. Оптимизация априори гарантированной точности позволяет установить тот предел, ниже которого точность уже быть не может при данной модели эксперимента. Вполне возможно, что даже он может устроить наблюдателя. Далее, полученный оптимальный план указывает на наблюдения, которые необходимо учитывать при апостериорном наблюдении, так как они нивелируют большие ошибки оценивания в случае неблагоприятных погрешностей эксперимента.

В условиях реальных экспериментов информативными могут оказаться и другие наблюдения, выявление которых возможно лишь с использованием уже реализовавшихся сигналов. Представляется возможность придать выбору «априори неинформативных» измерений целенаправленный характер (помощью так называемого последовательного планирования). Смысл его заключается в следующем. При проведении измерений решаются задачи планирования оставшихся измерений. Задача (3),(4) решается N раз на интервале (k, N) , $(k=0, \dots, N-1)$. Априорная информация о состоянии $\bar{x}(t_k)$ в «первоначальный» момент времени формируется в виде информационной области $I_{\bar{x}(t_k)}$ (эллипсоид) построенной с помощью какого-либо известного апостериорного фильтра, например [6], на интервале $(0, k)$. Такой подход позволяет учитывать реальный, а не наихудший, характер поведения неопределенных факторов в модели эксперимента.

Алгоритм, построенный как комбинация априорного и апостериорного подходов, дает возможность организовать процесс наблюдения без потери точности получаемых гарантированных оценок. На практике результаты работы данного алгоритма дают возможность, полностью используя всю имеющуюся в наличии исходную информацию, получить долгосрочный прогноз, за счет учета не наихудшего, а реального поведения неопределенных факторов.

1. Розенбаум А.Н., Дорофеев А. И., Кислова И. И. Прогнозирование состояния при управлении эксплуатацией. Владивосток: ДГТУ 1995. 134 с.

2. Кислова И.И. Прогнозирование дрейфа параметров РЭА при ограниченности исходных данных / Моделирование, управление и прогнозирование в технических системах: Материалы региональной конференции. Владивосток, 1991. с.75-77.
3. Киселев О.Н., Поляк Б.Н. Эллипсоидальное оценивание по обобщенному критерию // А и Т, 1991, №9. с.133-145.
4. Куржанский А.Б. Задача идентификации - теория гарантированных оценок // А и Т, 1991, №4. с.3-26.
5. Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Карлов В.И. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. -М.: Машиностроение, 1989. 312с.
6. Черноусько Ф.Л. Оценивание фазового состояния динамических систем -М.: Наука, 1988. 320с.

ПРИЛИВНЫЕ И ПРОГНОЗНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА АВАЧИНСКОМ ПОЛИГОНЕ

Ф.Г.Корчагин, Ю.М.Криницын
ИГиГ ДВО РАН, ДВГУПС

Использование высокоточных оптических деформографов открывает перед геофизикой новые перспективы как в исследовании строения Земли и её оболочек, так и в разработке способов краткосрочного прогноза землетрясений.

В течении 1983-1985гг. на Авачинском полигоне с помощью оптического деформографа получены записи, имеющие непрерывные участки длительностью до десяти суток. Прибор устанавливался в районе, где меловой фундамент имеет блоковое строение и перекрыт мощной толщей вулканогенно-осадочных отложений, что существенно снижало уровень микросейсмических и температурных помех. Излучающая и регистрирующая часть прибора монтировались в закрытом помещении на мощном фундаменте. Отражатель располагался на фундаменте меньшего объема под теплоизолирующем кожухом. Температура

помещений, где располагались излучающаяся часть и отражатель, поддерживалась постоянной.

Из анализа полученных материалов значимой корреляцией между изменением атмосферных условий и деформацией не установлено. Используя гармонический анализ, выявлены основные периоды составляющих колебаний. Прежде всего, уверенно выделяются колебания, периоды которых хорошо совпадают с периодами колебаний Земли. Обращает на себя внимание факт, что во время наблюдений на земном шаре не происходило землетрясений с магнитудой более пяти, что подтверждает вывод Долгих Г.И., Копвиллем У.Х. и др. о существовании постоянного фона СКЗ. Однако, необходимо заметить, что материалы, полученные нами в 1976г. с помощью этого прибора на Русской платформе (Эстония), не позволяют выделить подобные колебания. Скорее всего это связано с усилением амплитуды колебаний в зоне перехода от континента к океану.

Выделенные нами колебания с периодами менее одного часа с достаточно хорошей точностью совпадают со значениями соответствующих периодов собственных колебаний Земли. По типу колебаний выделяются семь основных сфероидальных тонов, три сфероидальных обертона и три основных крутильных тона. Особый интерес представляют колебания с периодом более одного часа. Впервые такие колебания выделялись на записях Камчатского землетрясения 1952 г. и Чилийского землетрясения 1960 г. Попытка объяснения этих колебаний привела З. Альтермана и др. к выделению нового типа сфероидальных колебаний - "ядерные колебания", амплитуда которых существенна только в ядре Земли. При этом авторы сделали вывод о невозможности регистрации этих колебаний в связи с малой амплитудой. Анализ данных показывает, что выделенные нами и другими авторами периоды низкочастотных колебаний хорошо соответствуют друг другу. Наблюдаемые совпадения позволяют говорить об общей природе, выделяемых различными авторами колебаний. Не исключено что они относятся к "ядерным колебаниям".

Полученные материалы позволяют выделить и приливные волны, но из-за сравнительно короткой длительности непрерывных

наблюдений не представляется возможным их полностью охарактеризовать.

При исследовании 1985г. выделены аномальные изменения земной поверхности перед землетрясениями. Они имеют бухтообразный вид и характеризуются следующим. В начале происходит длительное растяжение земной поверхности, которое затем сменяется интенсивным сжатием. В момент сжатия или спустя некоторое время после него произошли землетрясения, эпицентры которых располагались в створе прибора на удалении 350км. Толчки имели 9-11 энергетический класс. Существенной особенностью описываемой картины является то, что она наблюдается только в случае толчков, эпицентры которых находятся в створе прибора. Подобное поведение деформационной кривой, связанное с землетрясениями, ранее отмечалось другими авторами и получило название "скачка деформации". Кроме того, в работе Т. Рикитаке приводятся примеры "скачков сопротивления", предворяющих землетрясение. По форме и продолжительности описываемых кривых просматривается совпадение с нашими результатами. Всё это позволяет предположить связь между зафиксированными нами аномальными изменениями деформационной кривой и землетрясениями. Фиксация этого предвестника на расстоянии свыше трехсот километров говорит о том, что деформация земной поверхности в районе полигона вызывается упругой длиннопериодной волной, генерируемой будущим очагом землетрясения на последней стадии подготовки. Ранее авторами предполагалась возможность образования таких волн с периодами от 18 до 36 часов.

Наши материалы подтверждают, что очагом землетрясения генерируется достаточно широкий спектр длиннопериодных волн на разной стадии подготовки.

НОВЫЙ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕР ДЛЯ ДЕФОРМОМЕТРА

П.С.Крылов, В.Е.Привалов

Балтийский государственный технический университет
Петербург, 198005

Рост требований к точности измерения деформаций земной коры привел к появлению в арсенале геофизиков и океанологов длиннобазовых лазерных интерферометров [1-3]. В Японии раньше других начали использовать в указанных интерферометрах He-Ne лазеры, стабилизированные по насыщенному поглощению в йоде, так как они обе обеспечивают максимальную воспроизводимость частоты излучения в видимом диапазоне [4-6]. Высокая воспроизводимость частоты позволяет не только обеспечивать высокую чувствительность измерений деформаций Земли, но и сопоставлять абсолютные результаты измерений, производимых в разное время.

Коллектив нашей лаборатории в свое время создал первый отечественный He-Ne/J₂- лазер, участвовал в международных сличениях и продолжает работать в этом направлении [7-11]. В частности, несколько наших стабилизированных лазеров было установлено в штольне Баксанской нейтринной лабораторией. Там велись работы длиннобазовым (около 1000 м) лазерным интерферометром, измерявшим деформации земной коры. Несколько позднее (в 1986-1987гг.) мы участвовали в аналогичных работах Тихоокеанского океанологического института АН СССР. Наш лазер был применен в 105 метровом лазерном интерферометре.

Точный прибор, в том числе наш лазер, чувствителен к вибрациям, которые влияют на его параметры. Для нормальной работы прибор обычно размещают на развязанном фундаменте, что увеличивает стоимость, габариты и массу системы. Существовавшие виброизолирующие платформы уступали обычно по своим изолирующим свойствам указанным фундаментам. Нам предложена вакуумная виброизолирующая опора [12], подавляющая амплитуду вибраций примерно на два порядка в диапазоне частот 5Гц-5кГц. Наиболее рациональным является размещение

измерительной системы на платформе, опирающейся на 4 опоры. При этом масса системы может составлять от 50 кг до 2 тонн.

Первая модель нашего лазера состояла из излучателя (масса 13 кг) и трех блоков электроники (масса каждого примерно 15 кг). Было выпущено несколько моделей с полным комплектом конструкторской документации. Последняя модель, выпущенная в 1998 году (демонстрировалась вместе с виброизолирующей опорой на Ганноверской ярмарке-98) состоит из того же излучателя и одного блока электроники массой примерно 3 кг. Метрологические характеристики лазера при этом улучшены.

Литература

1. В.А.Алешин, М.Н.Дубров ОМП 1979, №2, с.16
2. И.М.Белоусова и др. ОМП 1981, №4, с.24
3. Г.И.Долгих, У.Х.Копвиллем, А.Н.Павлов Известия АН СССР, Физика Земли 1983, №2 с.15
4. K.Tanaka et al Bul NRLM 1979, v.28 №4, p.32
5. В.Е.Привалов "Квантовая электроника и новое определение метра" 1987, Л.
6. В.Е.Привалов "Газоразрядные лазеры в измерительных комплексах" 1989, Л., 260 с.
7. В.Е.Привалов "Газоразрядные лазеры..." 1977, Л., 152с.
8. В.П.Капралов и др. Оптика и спектр. 1980, т.48, №1, с.173
9. В.А.Иванов, В.Е.Привалов "Применение лазеров в приборах точной механики" 1993, СПб, 216с.
10. В.Е.Привалов Оптика и спектр. 1994, т.76, №1, с.125
11. В.П.Капралов, В.Е.Привалов Оптика и спектр. 1998, т.84, №3, с.518
12. Патент России №2066799

**КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН В
МЕЛКОЙ ВОДЕ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ ШЕЛЬФА ВОЗЛЕ
М. ШУЛЬЦА В ЗАДАЧЕ ДЕФОРМОГРАФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ШЕЛЬФОВЫХ ВОЛН**

А.В.Мишаков

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская, 43

В работе [1] была предложена обобщенная формула Мериана, в которой безразмерная функция B_{nl} должна зависеть (кроме всего прочего) от некоторых кинематических характеристик волн. Найдем их с учетом геометрии шельфа возле м. Шульца представленной в [1, см. Формулы (2) - (4)].

В нашем случае приливного движения на шельфе реализуется приближение мелкой воды для гравитационных поверхностных волн (ГПВ), что дает следующее дисперсионное соотношение [2, см. 196]:

$$\omega^2 = gHk^2, \quad (1)$$

т.е. дисперсия волн отсутствует. Здесь ω - круговая (циклическая) частота волн, k - волновое число, H - глубина шельфа, g - ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$). Отсюда сразу же получается, что фазовая и групповая скорости равны друг другу и вычисляются по формуле:

$$v = v_\phi = v_{gp} = \sqrt{gH}. \quad (2)$$

На основе (2) и функции глубин $H(x)$ легко можно найти t_p - интегральное время распространения (от начала шельфа до берега) стоячей шельфовой волны (ГПВ по своей природе) и S - площадь вертикального сечения шельфа в направлении, перпендикулярном изобатам, т.е. в направлении движения приливной волны (на северо-запад под углом примерно 35° к линии юг-север):

$$t_p = \int_0^L dt(x) = \int_0^L dx / v(x) = \int_0^L dx / \sqrt{gH(x)} = (1 / \sqrt{g}) \int_0^L dx / \sqrt{H(x)}$$

$$t_p = \int_0^L dt(x) = \int_0^L \frac{dx}{v(x)} = \int_0^L \frac{dx}{\sqrt{gH(x)}} = \frac{1}{\sqrt{g}} \int_0^L \frac{dx}{\sqrt{H(x)}}, \quad (2)$$

$$S = \int_0^L H(x) dx, \quad (3)$$

где L - ширина шельфа, ось x направлена к берегу по ходу движения приливной волны, ось H - вниз от уровня моря.

Разбивая в (3) и (4) интервал интегрирования $[0, L]$ в соответствии с [1, формулы (2) - (4)] на 5 частей (в случае 1-ой модели), 4 части (для 2-ой модели) и 3 части (для 3-ей модели), можно получить (легко взяв соответствующие интегралы) аналитические выражения для t_p и S . Подставляя в эти выражения значения констант из [1, формулы (2) - (4)], находим:

$$\left. \begin{aligned} t_p &\approx 16,9 \text{ мин}, & S &= 1,773 \cdot 10^6 \text{ м}^2 & (\text{для 1-ой модели}) \\ t_p &\approx 14,5 \text{ мин}, & S &= 1,189 \cdot 10^6 \text{ м}^2 & (\text{для 2-ой модели}) \\ t_p &\approx 8,2 \text{ мин}, & S &= 0,442 \cdot 10^6 \text{ м}^2 & (\text{для 3-ей модели}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Теперь по (5) можно найти значения «приведенной» (H_p) и «равновесной» (H_0) глубин для всех 3-х моделей. В самом деле, взяв по (2) $H = H_p = const$ и воспользовавшись очевидным $t_p = L / v_p = L / \sqrt{gH_p}$, получаем:

$$H_p = \frac{1}{g} \left(\frac{L}{t_p} \right)^2. \quad (6)$$

«Равновесная» глубина H_0 определяется в общем случае по формуле $H_0 = V/(LD)$, где V - объем шельфа, D - длина шельфа (т.е. LD - площадь акватории шельфа). Но для упрощенного («стандартизированного») случая можно взять $V = SD$, где S - найденная по (4) площадь сечения данного шельфа. Тогда $H_0 = S/L$.

По формулам (6) и (7) сразу имеем соответствующие скорости волн («приведенные» и «равновесные» фазовые и групповые скорости):

$$v_p = \sqrt{gH_p}, \quad v_0 = \sqrt{gH_0}. \quad (8)$$

Кроме того, взяв в (2) $H = H_0 = const$ и воспользовавшись очевидным $t_0 = L/v_0$, получаем «равновесное» время распространения (от начала шельфа до берега) стоячей шельфовой волны:

$$t_0 = L / \sqrt{gH_0}. \quad (9)$$

Подставляя (5) в (6) и (7), а полученный результат в (8) и (9) находим дополнительные к [1, формулы (2) - (4)] геометрические величины шельфа возле м. Шульца, а также остальные кинематические характеристики ГПВ в мелкой воде для этого шельфа:

$$H_p \approx 62 \text{ м}, \quad H_0 \approx 71 \text{ м}, \quad v_p \approx 25 \text{ м/с}, \quad v_0 \approx 26 \text{ м/с}, \quad t_0 \approx 15,8 \text{ мин (для 1-ой модели)}$$

$$H_p \approx 54 \text{ м}, \quad H_0 \approx 59 \text{ м}, \quad v_p \approx 23 \text{ м/с}, \quad v_0 \approx 24 \text{ м/с}, \quad t_0 \approx 13,9 \text{ мин (для 2-ой модели)}$$

$$H_p \approx 42 \text{ м}, \quad H_0 \approx 44 \text{ м}, \quad v_p \approx 20 \text{ м/с}, \quad v_0 \approx 21 \text{ м/с}, \quad t_0 \approx 8,0 \text{ мин (для 3-ей модели)}$$

Из (5) и (10) хорошо видно, что для всех трех моделей выполняется очевидное $t_p > t_0$ в силу $H_p < H_0$.

Данные характеристики (5) и (10) необходимы для вычисления безразмерной функции B_{nl} в обобщенной формуле Мериана [1, формула (1)], которая по-нашему мнению должна осветить и специфику шельфовых внутренних волн (ВВ) в силу одного и того же приливного механизма «накачки» энергии как для ГПВ, так и для ВВ на шельфе.

Автор выражает благодарность д.ф.-м.н. Г.И. Долгих за плодотворные дискуссии и неизменный интерес к данной работе.

Литература

1. Мишаков А.В. Обобщенная формула Мериана и геометрия шельфа на гидрофизическом полигоне МЭС «Шульц» (ТОИ ДВО РАН) в задаче деформографических исследований шельфовых волн. - (См. Наст. Сборник).

Бреховских Л.М., Гончаров В.В., Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн), - М.: Наука, 1982, - 336 с.

ОБОБЩЕННАЯ ФОРМУЛА МЕРИАНА И ГЕОМЕТРИЯ ШЕЛЬФА НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ МЭС «ШУЛЬЦ» (ТОИ ДВО РАН) В ЗАДАЧЕ ДЕФОРМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШЕЛЬФОВЫХ ВОЛН

А.В. Мишаков

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская, 43

Обычно считают, что энергия внутренних гравитационных волн или просто внутренних волн (ВВ) при волнении на море переходит в энергию мелкомасштабной турбулентности и не доходит до дна шельфа. НО в работах [1-3] было показано, что энергия ВВ переходит в энергию упругих колебаний дна. Это тем более происходит при энергетической «накачке» в данную шельфовую зону, например, в случае тайфунов, циклонов, приливов и т.д. Так, например, энергия приливной волны столь огромна, что «хватает» и на моды «омывания» или «накачки» (колебательные, сальмогельцевые) [4,5] шельфовых «волн» для гравитационных поверхностных волн (ГПВ) в приближении мелкой воды и на «подпитку» низких мод ВВ до такой степени, что они взаимодействуют с соответствующим рельефом дна, порождая упругие (сейсмоакустические) колебания дна, устойчиво регистрируемые береговыми лазерными деформографами [1-3].

Также известно [6, с.196], что колебательное приливное движение на шельфе генерирует ВВ совершенно аналогично тому, как это имеет место в лаборатории в сосуде (бассейне, ванне) с колеблющимся поршнем. Можно ожидать распространение волн как по направлению к берегу, так и в обратном направлении - в открытое море. Таким образом, степени свободы бегущей приливной волны трансформируются на шельфе в «стоячие» степени свободы как для ГПВ, так и для ВВ), что приводит к концептуальной

возможности использования в самом первом (грубом) приближении формулы Мириана, но не для закрытого с обеих концов бассейна (см. [5, с.170.], а также [4, с.216]), а для прямоугольного бассейна (ванны) постоянной глубины, закрытого с одного и открытого другого конца, т.е. для залива (см. [5, с.170, 171 и с.188]).

Ввиду того, что шельф обладает рельефом с переменной глубиной и представляет собой область материковой отмели (свала глубин), формулу Мерриана следует модифицировать на полуфеноменологическом уровне обобщить:

$$T_{nl} = [B_{nl} / (2n - 1)] 4L / \sqrt{gH_0}$$

где $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ - индекс, связанный с номерами нечетных мод ($n = 1, 3, 5, 7, \dots$, при $m = 2n - 1$), L - ширина шельфа, H_0 - некоторая постоянная, «равновесная» (в одном варианте), или «приведенная» (H_p - в другом варианте) глубина, рассчитанная по переменному профилю глубин шельфа, g - ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$), B_{nl} - не константа, а уже безразмерная функция, зависящая от некоторым сложным образом от переменных глубин, длительности процесса трансформации [3] (или времени реализации процесса [2]) кинематических характеристик шельфовых волн, а также от некоторых вычислительных характеристик при расчете спектральной мощности посредством БПФ при усреднении результирующего спектра по перекрывающимся сегментам точек реализации процесса с 50% перекрытием [2], так что, например, $l = 1, 2, 3, 4, 5$ для пяти сегментов из [2]. (Здесь l - индекс «сдвига»). Периоды T_{nl} в формуле (1) (по крайней мере для $n = 1$ и $l = 1, 2, 3, 4, 5$) должны отобразить «дрейф» периодов в высокочастотную область, обсужденный в работе [2].

Функция B_{nl} находится в процессе еще в процессе поиска, но уже представляется очевидным, что она должна зависеть (кроме всего прочего) от некоторых кинематических характеристик волн шельфа $H(x)$. Здесь система координат выбрана следующей: ось x направлена к берегу по ходу движения приливной волны (обратный отсчет расстояний), ось H - вниз от уровня моря. Понятно, что для определения B_{nl} необходимо знать весь профиль глубин для

рассматриваемого шельфа, желательным представляется в аналитической форме.

Известен профиль глубин шельфа возле м. Шульца в направлении, перпендикулярном изобатам, т.е. в направлении движения приливной волны (на северо-запад под углом примерно 35° к линии юг-север), экспериментально промерянный с точностью до $\Delta H = \pm 5$ м. Поэтому значения глубин этого профиля с данной точностью можно модифицировать так, чтобы его можно было описать аналитически. Было выбрано априори три модели шельфа: 1-я модель (до 25 км от берега, до свала глубин) - «шельф I + шельф II + склон», 2-я модель (до 20 км от берега) - «шельф I + шельф II» и 3-я модель (до 10 км от берега) - «шельф I». Модели были выбраны так, потому что частота Вайсяля (её профиль) ведет себя по-разному на шельфе I, шельфе II и склоне.

При поиске на компьютере аналитического выражения для профиля глубин выдерживался принцип минимума количества кусков профиля и принцип гладкой «сшивки» этих кусков. В результате такой оптимизации (постройки регрессий, нахождения аппроксимаций с заданной точностью) получился следующий профиль глубин (для всех трех моделей):

I. 1-я модель ($0 \leq x \leq L$):

$$H(x) = \begin{cases} H_1 - \beta_1 \sqrt{x}, & 0 \leq x \leq \tilde{L}_2, & \beta_1 = 0,77 \text{ м}^{1/2}, \\ H_2 - \beta_2 (x - \tilde{L}_2), & \tilde{L}_2 \leq x \leq \tilde{L}_3, & \beta_2 = 4,755 \cdot 10^{-3}, \\ H_3 - \beta_3 (x - \tilde{L}_3), & \tilde{L}_3 \leq x \leq \tilde{L}_4, & \beta_3 = 1,204 \cdot 10^{-3}, \\ \beta_4 \sqrt{L - x}, & \tilde{L}_4 \leq x \leq \tilde{L}_5, & \beta_4 = 1,62 \text{ м}^{1/2}, \\ H_5 - \beta_5 (x - \tilde{L}_5), & \tilde{L}_5 \leq x \leq L, & \beta_5 = 0,13227, \end{cases}$$

(2)

где $\tilde{L}_2 = 5 \cdot 10^3$ м, $\tilde{L}_3 = 15 \cdot 10^3$ м, $\tilde{L}_4 = 24,4 \cdot 10^3$ м, $\tilde{L}_5 = 24,85 \cdot 10^3$ м, $L = 25 \cdot 10^3$ м, $H_1 = 153,00$ м, $H_2 = 98,55$ м, $H_3 = 51,00$ м, $H_5 = 19,841$ м.

II. 2-я модель ($0 \leq x \leq L$):

$$H(x) = \begin{cases} H_1 - \beta_1 x, & 0 \leq x \leq \tilde{L}_2, & \beta_1 = 4,755 \cdot 10^{-3}, \\ H_2 - \beta_2(x - \tilde{L}_2), & \tilde{L}_2 \leq x \leq \tilde{L}_3, & \beta_2 = 1,204 \cdot 10^{-3}, \\ \beta_3 \sqrt{L - x}, & \tilde{L}_3 \leq x \leq \tilde{L}_4, & \beta_3 = 1,62 \text{ м}^{1/2}, \\ H_4 - \beta_4(x - \tilde{L}_4), & \tilde{L}_4 \leq x \leq \tilde{L}_5, & \beta_4 = 0,13227 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

где $\tilde{L}_2 = 10 \cdot 10^3$ м, $\tilde{L}_3 = 19,4 \cdot 10^3$ м, $\tilde{L}_4 = 19,85 \cdot 10^3$ м, $L = 25 \cdot 10^3$ м, $H_1 = 98,55$ м, $H_2 = 51,00$ м, $H_4 = 19,841$ м.

III. 3-я модель ($0 \leq x \leq L$):

$$H(x) = \begin{cases} H_1 - \beta_1 x, & 0 \leq x \leq \tilde{L}_2, & \beta_1 = 1,204 \cdot 10^{-3}, \\ \beta_2 \sqrt{L - x}, & \tilde{L}_2 \leq x \leq \tilde{L}_3, & \beta_2 = 1,62 \text{ м}^{1/2}, \\ H_3 - \beta_3(x - \tilde{L}_3), & \tilde{L}_3 \leq x \leq \tilde{L}_4, & \beta_3 = 0,13227, \end{cases}$$

где $\tilde{L}_2 = 9,4 \cdot 10^3$ м, $\tilde{L}_3 = 9,85 \cdot 10^3$ м, $L = 10 \cdot 10^3$ м, $H_1 = 51,00$ м, $H_3 = 19,841$ м.

Таким образом, теоретическая «сшивка» кусков произведенной представляет собой вертикальный разлом с подвижкой по с точностью до 1 мм. В случае необходимости некоторой простиранию. Предполагается, что разлом лежит в плоскости $x_3=0$ «прибрежный» кусок профиля (где предполагается разрушение рис.1), L и W - линейные размеры очага, D_m - смещение блока на термоклина и ВВ практически нет [3]) можно легко изъять одной стороне разлома относительно блока на другой стороне.

Вертикальные остаточные смещения дна океана, рассчитанные на основе модели Хаскелла [Хаскелл, 1969], определяются выражением:

$$U(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi} \left(1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2}\right) D_m x_3 \left[\left(\frac{1}{\sqrt{(x_1 - L)^2 + (x_2 - W)^2 + x_3^2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{x_1^2 + (x_2 - W)^2 + x_3^2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}} \right) \right], \quad (1)$$

Литература

1. Давыдов А.В., Долгих Г.И. Регистрация сейсмоакустических колебаний, вызванных внутренними волнами в океане // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, - 1990, - Т. 26, № 3, - с. 327-329.
2. Давыдов А.В., Долгих Г.И., Ильичев В.И. Динамика и трансформация внутренних волн на шельфе // ДАН, - 1994, - Т. 336, № 4, - с. 538 - 541.

3. Долгих Г.И., Валентин Д.И., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В. Дистанционные лазерно-интерференционные методы исследования шельфовых волн // Метеорология и гидрология, - 1999, - № 7, - с. 100 -106.
4. Бреховских Л.М., Гончаров В.В., Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн), - М.: Наука, 1982, - 336 с.
5. Мурти Т.С. Сейсмические морские цунами - Л.: Гидрометеоздат, 1981, - 448 с.
6. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана, - М.: Мир, 1969, - 268 с.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ВОЛН ЦУНАМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ

Л. Г. Московченко, В. И. Белоконь

Дальневосточный государственный университет

В работе в рамках поршневого механизма решается задача о возбуждении волны цунами землетрясением. Очаг землетрясения предполагается вертикальным разломом с подвижкой по шельфу. Предполагается, что разлом лежит в плоскости $x_3=0$ «прибрежный» кусок профиля (где предполагается разрушение рис.1), L и W - линейные размеры очага, D_m - смещение блока на термоклина и ВВ практически нет [3]) можно легко изъять одной стороне разлома относительно блока на другой стороне.

Вертикальные остаточные смещения дна океана, рассчитанные на основе модели Хаскелла [Хаскелл, 1969], определяются выражением:

$$U(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi} \left(1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2}\right) D_m x_3 \left[\left(\frac{1}{\sqrt{(x_1 - L)^2 + (x_2 - W)^2 + x_3^2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{x_1^2 + (x_2 - W)^2 + x_3^2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}} \right) \right], \quad (1)$$

где α и β - скорости распространения продольных и поперечных волн соответственно, и представляют из себя "квадрупольный источник" (см. рис. 2).

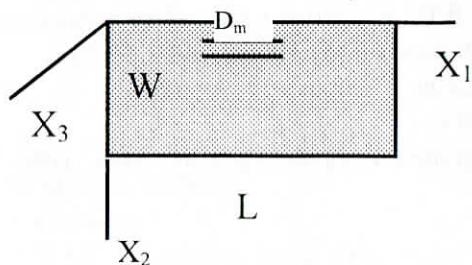


Рис. 1.

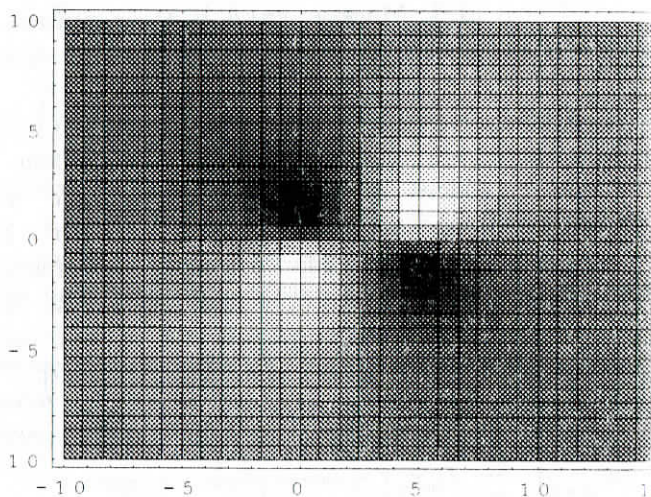


Рис. 2.

В приближении теории мелкой воды возбуждение цунами вертикальной подвижкой дна описывается уравнением:

$$\xi_{tt} - c_0^2 \Delta \xi = h_{tt}, \quad (2)$$

где $\xi(x_1, x_3)$ - превышение уровня океана, $c_0 = \sqrt{gH}$ - скорость распространения волны, H - глубина океана. Предполагается, что смещение дна происходит мгновенно,

следовательно, при заданной глубине залегания очага $x_2 = d$, $h = \gamma(t)U(x_1, x_3)$, где $\gamma(t)$ - ступенчатая функция Хевисайда. В результате решения уравнения (2) получены аналитические выражения для формы волны цунами, возбуждаемой подвижкой дна вида (1):

$$\xi(r, \phi, t) = \frac{\sin \phi}{c_0} \gamma(t) \left\{ \left[(p(r, d) + q(r, d)) - (p(r, d + W) + q(r, d + W)) \right] - \frac{r}{s} \left[(p(s, d) + q(s, d)) - (p(s, d + W) + q(s, d + W)) \right] \right\}, \quad (3)$$

где

$$p(x, y) = \frac{x}{2} \arcsin \left(\frac{2c_0 t}{\sqrt{y^2 + (c_0 t + x)^2} + \sqrt{y^2 + (c_0 t - x)^2}} \right),$$

$$q(x, y) = \frac{yR(x, y)}{2x} \left(\frac{c_0 t}{y} \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x^2 + y^2 - c_0^2 t^2}{R(x, y)^2} \right)} - \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x^2 + y^2 - c_0^2 t^2}{R(x, y)^2} \right)} \right),$$

$$R(x, y) = \sqrt{(x^2 + y^2 - c_0^2 t^2)^2 + 4y^2 c_0^2 t^2},$$

$$s = \sqrt{r^2 + L^2 - 2rL \cos \phi}. \quad (4)$$

График функции $\xi(r, \phi, t)$ при $\phi = \pi/2$, когда амплитуда возбуждаемой волны максимальна, для различных моментов времени t представлен на рис. 3. Параметры очага землетрясения следующие: $L=5$ км, $W=5$ км, $D_m = 10$ м, $d=2$ км.

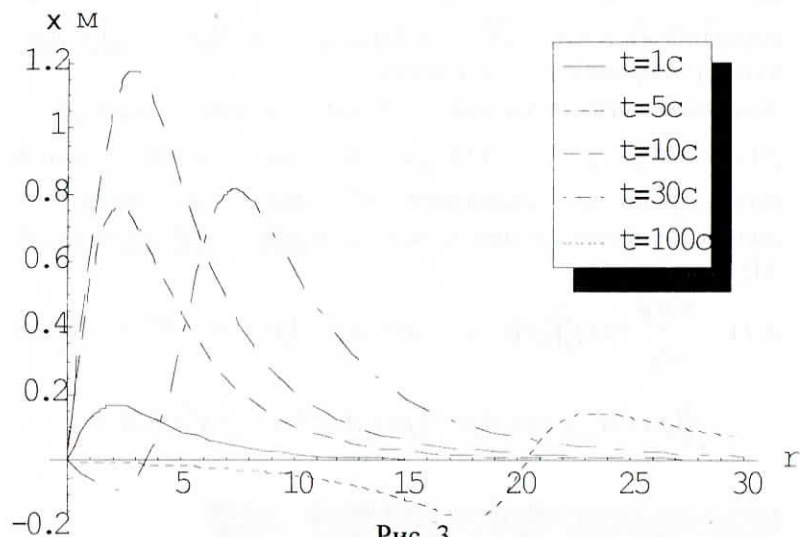


Рис. 3

ВОЗБУЖДЕНИЕ МИКРОСЕЙСМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ ВНУТРЕННИМИ ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВОЛНАМИ

В.В.Новотрясов

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН

Морские внутренние гравитационные волны (ВГВ) имеют периоды от 1 минуты и более. Исследование механизмов генерации микросейсм прибрежной зоны с периодами ВГВ оправдано, поскольку этот тип волнового движения относится к числу наиболее энергоемких, постоянно присутствующих движений в шельфовой зоне моря. В работе рассмотрено распространение плоской гармонической ВГВ в море с постоянным градиентом плотности неоднородным рельефом дна, заданным в виде $z = \alpha x + h \cdot \sin(x/L)$. Показано, что в результате дифракции и интерференции падающей и отраженной ВГВ в зоне перехода от морского шельфа к свалу глубин формируется синхронное поле пульсаций давления с частотой равной частоте падающей ВГВ.

Юлагая линейность отклика земной коры на давление ВГВ, рассмотрена возможность регистрации, генерируемых таким способом микросейсм. Показано, что интенсивность микросейсм зависит от амплитуды и частоты падающей ВГВ; высоты припятствия h и соотношения между длиной ВГВ и масштабом неоднородности L ; от угла наклона дна $\alpha = dz/dx$ и плотностной стратификации шельфовых вод, определяющей угол наклона $\theta = \arctg(\omega / \sqrt{N^2 - \omega^2})$ траектории характеристического луча, вдоль которого распространяется энергия ВГВ.

СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫЕ (СВЕРХДЛИННОПЕРИОДНЫЕ) КОЛЕБАНИЯ ЗЕМЛИ. СВЯЗЬ С ВОЛНОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В АТМОСФЕРЕ И АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД

Л. Н. Петрова

Санкт-Петербургский государственный университет, НИИФ
198904 Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская 1,

Наблюдения колебаний Земли с помощью сверхдлиннопериодных маятниковых сейсмографов впервые начаты в 70-х годах в СПбГУ по инициативе Е. М. Линькова (†). Установлено, что сейсмические колебания с периодами более 10 минут обладают переменной во времени интенсивностью. При этом отсутствуют сильные землетрясения в спектрах колебаний и содержатся моды собственных колебаний Земли, включая самый низкий основной тон второй степени ${}_0S_2$ [1]. Установлено также, что в диапазоне периодов 1 – 5 часов спектр колебаний Земли статистически устойчив и проявляет планетарный характер. Крупномасштабные сейсмические процессы с периодами, расположенными на частотной оси между собственными и приливными колебаниями Земли – сейсмогравитационные колебания – остаются в настоящее время наименее изученными. Их исследование, в отсутствие общепризнанной теории, опирается на выявление и изучение устойчивых характеристик в

представительных ансамблях данных. Для описания процесса фазе местного прилива, отвечающей времени при котором используются параметрические модели и адаптивные методы. максимальная скорость изменения ускорения. Влияние оценивания их параметров. Одним из важнейших вопросов является сейсмогравитационных колебаний на высокочастотный процесс определение природы колебаний и в связи с этим актуальна акустической эмиссии проявляется в виде модуляции амплитуды исследования взаимодействий колебательных процессов в различных оболочках Земли. эмиссии и может быть выявлен, в частности, при спектральном анализе синхронных наблюдений.

При синхронных наблюдениях вариаций сейсмических колебаний и атмосферного давления в спектрах выявляются сейсмические колебания не только отражают крупномасштабные неслучайные когерентные колебания [2]. Исследование причинно-следственной связи для значимых колебаний проведено адаптивным методом анализа фаз с использованием взаимной регрессионной модели двух процессов. Алгоритм использованного в и

решетчатого фильтра представляет собой реализацию фильтра Линьков Е.М., Петрова Л.Н. Опыт регистрации предсказания. Его применение позволяет получать более точные предсказания. Его применение позволяет получать более точные спектральные оценки передаточной функции с большей разрешающей способностью по сравнению со стандартными методами. Постановленная задача исследования причинно-следственной связи двух волновых процессов рассматривается в

задача по определению характеристик некоторой передающей системы, на входе которой имеется сейсмический процесс, а выходе – вариации атмосферного давления. При этом для различных когерентных частот возможен разный характер потока энергии

поток от Земли к атмосфере в течение всех 145 часов выявлен колебаний с частотой 0.08 мГц, поток энергии в одном направлении в течение 40-60 часов с последующим изменением направления противоположное – для колебаний с частотой 0,17 мГц

Проведенные исследования позволяют предположить наличие резонансного характера взаимодействия этих геосфер.

В самой литосфере такие разномасштабные волновые процессы как акустическая эмиссия горных пород, сейсмогравитационные колебания и земные приливы оказываются связанными и проявляют некоторые общие черты даже на различных континентах (Евразия и Северная Америка) [3]. Связь с земными приливами указанных двух процессов проявляется в том, что максимальные значения интенсивности часовых колебаний (максимальные амплитуды огибающей) наблюдаются в одной и той же

Приведенные данные указывают на то, что низкочастотные сейсмические колебания не только отражают крупномасштабные процессы протекающие в Земле, то есть обладают планетарным характером, но и участвуют также в энергообмене, существующем между разномасштабными волновыми процессами.

Линьков Е.М., Петрова Л.Н. Опыт регистрации предсказания. Его применение позволяет получать более точные спектральные оценки передаточной функции с большей разрешающей способностью по сравнению со стандартными методами. Постановленная задача исследования причинно-следственной связи двух волновых процессов рассматривается в

Savel'ev D.D., Petrova L.N., Osypov K.S., Shved G.M. Forcing atmospheric oscillations by long-period seismic ones: a case study. / Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics 1996. Vol.58, N12, pp1317-1322.

Petrova L. N., Belyakov A.S., Nikolaev A.V. Acoustic Emission and Seismogravitational Oscillations of the Earth As Related Components in Studies of Internal Plate Dynamics / Journal Earthquake Prediction Research. 1996 V.5, No 2. 211-223.

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ДАННЫХ ЛАЗЕРНОЙ ДЕФОРМОГРАФИИ

В.К. Фищенко, А.В. Фищенко

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская 43

В результате исследований, проводимых на протяжении ряда лет в ТОИ ДВО РАН, накоплен обширный экспериментальный материал, включающий записи сигнала деформации земной коры переходной зоне океан-материк и ряда сопутствующих параметров в виде оцифрованных файлов данных, а также в виде аналоговых записей на магнитных лентах. Для анализа этих данных ранее применялись различные программные средства. К настоящему времени актуальной стала задача разработки единого программного комплекса, обеспечивающей ввод, просмотр, преобразования и анализ накопленных данных.

Такая программная система была разработана с использованием среды визуального объектно-ориентированного программирования C++ Builder. Программа работает на персональных компьютерах под управлением операционных систем Windows 95 и Windows NT. Ниже кратко рассмотрим основные подсистемы программы и их возможности при работе с данными лазерной деформографии.

Подсистема ввода и отображения данных.

Подсистема предоставляет пользователю удобные средства для выбора нужного файла из имеющихся на внешних носителях последующей визуализации. Файлы, как правило, многоканальные, включают помимо записей сигнала деформации записей сопутствующих физических параметров. После выбора файла в специальном информационном окне отображаются осциллограммы сразу всех каналов, из которых пользователь выбирает для более детального исследования нужный канал. Система визуального просмотра включает два окна - окно навигации и собственно окно просмотра. В первом окне представлена полная осциллограмма канала, дающая представление об общем ходе сигнала. Пользователь может указать любой представляющий интерес фрагмент, который с существенно большей степенью детальности будет представлен в окне просмотра. В этом окне с помощью маркерной системы возможно выделить любой участок сигнала, получить точную информацию о его положении и длине, а также рассчитать ряд статистических показателей: среднее, дисперсию, коэффициенты асимметрии и эксцесса, максимальное и минимальное значение сигнала, статистики потока экстремумов

статистики потока пересечений заданного уровня. Возможно также в окнах навигации и просмотра включить режим отображения спектрограммы (динамического спектра), который дает более наглядное представление о частотных свойствах сигнала и их динамике на интервале наблюдения.

Подсистема спектрального анализа.

Для обнаружения и описания в сигналах деформации откликов протекающих в океане, литосфере и атмосфере физических процессов, имеющих колебательный характер, используются процедуры одноканального и многоканального спектрального анализа. В первом случае проводится оценивание спектральной плотности мощности по представленному в окне просмотра фрагменту. Пользователю предлагается на выбор два метода спектрального оценивания: периодограммный и метод максимальной энтропии Бурга. Для обоих методов имеются параметры настройки, управляющие компромиссом между частотным разрешением и статистической устойчивостью оценок. С помощью маркерной системы возможно выделить и рассмотреть более детально представляющие интерес частотные диапазоны, найти локальные максимумы спектра и оценить их вклад в общую энергию процесса.

Ряд полезных при анализе данных лазерной деформографии задач могут решаться с использованием методов многоканального спектрального оценивания. В этом случае пользователь указывает представляющую интерес пару информационных каналов, для которой могут быть рассчитаны и представлены в графическом виде оценки: модуля взаимной спектральной плотности, квадрата модуля функции когерентности, фазового спектра когерентности, передаточной функции (если есть основания предполагать, что один из сигналов получен линейным преобразованием другого).

Подсистема преобразования данных.

В программе реализован ряд алгоритмов линейной и нелинейной цифровой фильтрации. Линейные частотно-избирательные фильтры применяются для выделения из общего сигнала частотных компонент, обнаруженных на стадии спектрального анализа, для нейтрализации квазигармонических шумов системы регистрации, как средство сокращения полосы

частот перед децимацией сигнала. Нелинейные фильтры реализуют некоторые процедуры, направленные на нейтрализацию ряда специфических артефактов, присущих оцифрованным сигналам лазерной деформографии: одиночных выбросов и скачков уровня сигнала. Эти артефакты могут существенно искажать результаты спектрального анализа и линейной фильтрации.

Архитектура программного комплекса достаточно проста и допускает подключение новых модулей преобразования количественного анализа данных лазерной деформографии. В дальнейшем предполагается по мере необходимости проводить такое пополнение функциональных возможностей базового программного комплекса.

ВЛИЯНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В.В. Шаповалов-Чупрынин

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская 43

Экспериментальная запись колебаний поверхностного слоя Земли представляет собой суммарный результат воздействия различных источников деформаций. Для расшифровки записей обычно используются методы гармонического анализа последовательная фильтрация данных, а также идентификация элементарных колебаний. Источники деформации можно разделить на внутренние, т. е., связанные с собственной активностью Земли, и внешние, обусловленные взаимодействием Земли и солнечной системы. Наибольшее влияние на гидросферу и литосферу оказывает гравитационное взаимодействие Земли с Луной и Солнцем. Оно проявляется в виде приливных деформаций.

Рассмотрим кратко статическую теорию приливов (Юзефович, Огородова, 1980). В ней предполагается, что Земля является твердым недеформируемым шаром радиуса R , а небесное тело - материальной точкой массы m . Обозначим через ρ расстояние между центром Земли и небесным телом, а через g - расстояние от точки земной поверхности до тела. Из указанного треугольника с помощью косинуса геоцентрического зенитного угла выразим g через ρ и R . Воспользовавшись законом всемирного тяготения, разложением $1/g$ по формуле Ньютона до членов второго порядка малости получим радиальную составляющую разности сил притяжения небесным телом между центром и данной точкой поверхности Земли, которая называется приливообразующей или приливной силой δg :

$$\delta g = \frac{fmR}{\rho^3} (1 - 3\cos^2 z), \quad (1)$$

где f - постоянная тяготения.

Как видно из этой формулы, приливная сила имеет два минимума при $z=0^\circ$ или 180° , т.е., когда небесное тело находится в зените или надири, достигает максимума при $z=90^\circ$, когда тело находится на горизонте, и равна 0 при $z=54.7^\circ$ или 125.3° . Таким образом, приливная сила стремится растянуть Землю вдоль линии, соединяющей её центр и небесное тело. Расчёты показывают, что максимальное изменение силы тяжести из-за влияния Луны достигает 165 мкГал, а Солнца - 76 мкГал. Так как Земля не является абсолютным телом, то под действием Луны и Солнца испытывает упругие деформации. На суше вертикальные смещения могут достигать 40-50 см, а на море - больше 10 м.

Вследствие деформируемости Земли реальные изменения силы тяжести превышают расчетные. Так её "растянутость" по направлению к небесному телу вызывает дополнительное уменьшение силы тяжести, а сжатие в перпендикулярной плоскости - увеличение. Соотношение между вариациями приливной силы для упругой (dg) и "твердой" Земли определяется следующей формулой:

$$dg = \delta g (1 + h_2 - 3/2k_2), \quad (2)$$

где h_2 и k_2 - так называемые числа Лява. При этом h_2 является отношением высоты прилива в твердой Земле к высоте статического

океанического прилива, а k_2 - отношением дополнительного потенциала, обусловленного деформацией, к приливному потенциалу. Точные измерения на приливных станциях показывают, что амплитуды реальных колебаний силы тяжести примерно в 1.2 раза больше чем для твердой Земли и совместно влияние Луны и Солнца может достигать 0.3 мГал. Числа Лява можно использовать для проверки плотностных моделей и упругих свойств Земли.

Если воспользоваться формулами сферической геометрии, то выражение для приливного потенциала (Π) можно представить более удобным для анализа виде:

$$\Pi = \frac{3fmR^2}{4\rho^3} [3(\sin^2 \delta - 1/3)(\sin^2 \varphi - 1/3) + \cos s \sin 2\delta \sin 2\varphi + \cos 2s \cos^2 \delta \cos^2 \varphi] \quad (3)$$

Здесь δ и s - склонение и часовой угол небесного тела, φ - широта точки земной поверхности. Приливные волны, описываемые первым слагаемым, называются зональными. Они меняют знак колебаний на широтах $\pm 35^\circ$ и имеют периоды около 14 суток для Луны и 6 месяцев для Солнца, т. е., являются долгопериодическими. Второе слагаемое равно нулю в точке большого круга, перпендикулярного направлению на небесное тело и на экваторе. Такие волны, называемые тессеральными, делят Землю на 4 зоны (по меридиану и экватору). Они имеют максимальные амплитуды на широтах $\pm 45^\circ$ и периоды от 21.6 до 29.3 часа. Волны третьего типа называются секториальными. Их период определяется $\cos 2s$, т. е., равен половине лунных суток (12 час. 25 мин.) и половине солнечных (12 часов). Предполагая, что плоскости орбит Луны и Солнца совпадают с плоскостью земного экватора ($\delta=0$), можно упростить формулу (3). Описываемые при этом волны называются фундаментальными.

Приливные волны являются источником непрерывных деформаций земной коры. Так воздействием зональных волн

объясняются годовые изменения уровня моря и особая роль широты $\pm 35^\circ$ в тектонике Земли (Стовас, 1963).

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ ПО ФЛУКТУАЦИЯМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ АТМОСФЕРЫ

Р.З. Шарипов

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская, 43

На основе анализа данных, полученных в течение почти пятилетних измерений диэлектрической проницаемости (ДП) атмосферы в непрерывном режиме на частоте 10^{10} Гц, показано, что по характеру флуктуаций ДП возможен краткосрочный прогноз геотропосферных катастроф. Предлагается механизм формирования очага землетрясения, а также ядра глубокого циклона и урагана, связанный с приливыми явлениями в литосфере. Обсуждается еще один источник атмосферного инфразвука, формируемый локальным скачком силы тяжести, обусловленного нарушением нормального распределения плотности вещества по поверхности Земли.

Основой измерительного комплекса является высокоточный рефрактометр с рабочей частотой 10^{10} Гц. В приборе используется метод сравнения частот двух генераторов, частота одного из которых привязана к частоте вакуумированного резонатора, другого к частоте открытого, связанного с атмосферой резонатора.

Соотношение, связывающим собственную частоту резонатора с ДП атмосферы является:

$$f_p = \frac{c}{4\pi\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{x}{r}\right)^2 + \left(\frac{\pi n}{L}\right)^2}$$

Если заменить все постоянные члены

$$A = \frac{c}{4\pi} \sqrt{\left(\frac{x}{r}\right)^2 + \left(\frac{\pi n}{L}\right)^2}, \text{ то } f_p = \frac{A}{\sqrt{\varepsilon\mu}}.$$

С достаточной степенью точности $\mu=1$, тогда $f_p = \frac{A}{\sqrt{\varepsilon}}$, но $\sqrt{\varepsilon} = n$

показатель преломления электромагнитных волн в атмосфере. В дальнейшем будем характеризовать атмосферу показателем преломления (ПП).

Современная геофизическая концепция построена на представлении, что внешний слой Земли - литосфера состоит из полутора десятков жестких, несущих верхнюю кору плит, которые движутся по подстилающей мантии. Образование геологических структур происходит в результате тектонических движений. При этом в верхнем слое Земли в течение длительного времени формируются разрывы поверхности, ограничивающие соответствующие геологические структуры. Интенсивное тектонических движений определяет высокую сейсмическую активность областей, где эти движения наиболее заметно, - срединно-океанические хребты, островные дуги и другие подобные образования являются результатом интенсивных тектонических движений. Медленные движения иногда сопровождаются смещениями по разрывам, вызывая землетрясения.

Но Земля является частью системы небесных тел, поэтому необходимо рассматривать во взаимодействии с окружением. Самым сильным влиянием она испытывает со стороны Луны. Гравитационные силы взаимного притяжения вызывают приливы и отливы. Внешний слой Земли по этой причине находится в периодически переменном силовом поле. Дважды в сутки за счет приливных сил в земной коре по линиям разрывов происходят значительные вертикальные смещения. При этом могут провоцироваться локальные перемещения масс, нарушая нормальное распределение плотности вещества по поверхности. Другими словами, локальная плотность переходит в некое "возбужденное" состояние, сопровождаемое скачком силы тяжести. Результатом такого скачка

окажется такой же локальный скачок плотности атмосферы. Это вызывает генерацию цуга инфразвуковых колебаний, который, распространяясь без заметных потерь, будет на своем пути модулировать поля влажности, температуры и давления в атмосфере. В совокупном виде это выразится во флуктуациях ПП или ДП атмосферы. В свою очередь время жизни "возбужденного" состояния литосферного вещества определяется его механоупругими свойствами. Это состояние вещества возникает когда под влиянием гравитационных сил лунноземного притяжения происходит вертикальное смещение литосферы вдоль линии разлома. В этой области может возникнуть некоторый "избыток" массы за счет обрушения или перетока вещества. После окончания прилива под действием гигантских сил давления в этом месте возникает "пятно" с напряженным состоянием подстилающих пород. Напряжения накапливаются здесь до тех пор, пока на глубине нескольких километров не образуется разрыв и проскальзывания пород по нему не снимет напряженного состояния.

В литературе имеются теоретические оценки влияния кратковременных перемещений атмосферных масс регионального характера, вызывающие возмущения гравитационного поля до 15-20 мкГал. Обратное, если такое изменение "избыточной" массой, то возмущения генерируются соответственно в атмосфере. Иногда за счет тех же сил вместо избытка массы может возникнуть и ее недостаток. Тогда появляется вероятность мезомасштабной аномалии по причине локальной депрессии атмосферного давления. Нормально стратифицированное состояние атмосферы из устойчивого перейдет в возбужденное.

Таким образом можно сделать заключение, что "избыток" массы локального характера и ее "недостаток" могут быть соответственно очагом будущего землетрясения и ядром грядущего тайфуна или урагана. Такое представление подтверждается тем, что большинство землетрясений происходит вдоль линий тектонических разломов, в пограничных зонах с континентами, в районах островных дуг и подобных структур. Именно здесь сосредоточена сейсмичность Тихого океана. В этих зонах происходит основное число поверхностных землетрясений и освобождается более 80% всей сейсмической энергии земли. Кроме того в этих же районах

зарождаются всевозможные атмосферные аномалии. Анализ статистического материала с большой достоверностью показывает, что короткопериодные вариации ПП связаны с движением атмосферных циклонических фронтов. Длиннопериодные (более 10^3 с) колебания ПП с такой же степенью достоверности могут быть отнесены к предвестникам землетрясений. Обнаруженные закономерности позволяют заключить, что атмосфера может сигнализировать о локальных изменениях в атмосфере. Сигнал такому детектору поступает в виде инфразвуковых колебаний, которые возникают в результате локального скачка Δg . Поэтому контролируя тонкие изменения в состоянии атмосферы, можно обеспечить мониторинг быстрых геофизических процессов.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

ТЕКТОНИКА КОТЛОВИНЫ ДЕРЮГИНА (ОХОТСКОЕ МОРЕ) ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Б.Я. Карп, В.Н. Карнаух

Тихоокеанский океанологический институт, Владивосток

Котловина Дерюгина — одна из трех основных котловин, выделяемых в пределах Охотского моря. Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН выполнил площадные исследования методом непрерывного сейсмического профилирования в пределах котловины. Изученная область охватывает восточную часть котловины, ее северный, восточный и южный склоны. Основной особенностью строения акустического фундамента здесь является широкое развитие несимметричных блоков. Морфология большинства блоков подобна морфологии наклонных блоков, характерных для рифтовых зон пассивных континентальных окраин. На севере области исследований вершинные поверхности наклонных блоков возвышаются над дном моря на 300–600 метров. В пределах глубоководной части котловины вершинные поверхности перекрыты слоем осадков мощностью до 1.0 с (двойное время распространения отражений). Депрессии акустического фундамента между блоками в зависимости от взаимного расположения их крутых бортов образуют полуграбены, несимметричные и симметричные впадины. Наибольшие мощности осадков наблюдаются в полуграбенах у крутых склонов наклонных блоков (до 2.0 с) и в глубоководной части котловины (до 2.4 с). Главные особенности стратификации осадочного слоя едины для всей площади. Это свидетельствует о том, что вся изученная область заполнялась осадками одновременно из одних и тех же источников.

Двумя региональными поверхностями несогласий осадки разделяются на три толщи: дорифтовые отложения, синрифтовые отложения и пострифтовые отложения. Наибольшую мощность из

них имеют синрифтовые отложения. Малая мощность пострифтовых отложений свидетельствует о том, что вертикальные тектонические движения здесь прекратились относительно недавно, по нашим оценкам не позднее 1 млн. лет тому назад.

Крутые склоны наклонных блоков являются поверхностями нормальных разломов. В глубоководной котловине, на ее восточном и южном склонах превалирует северо-южное простирание нормальных разломов. На северном и северо-восточных склонах простирание изменяется от северо-восточного к восток-западному и далее к северо-западному. Вторая система разломов выделяется в основании северного склона и имеет северо-западное простирание. Эта система разломов имеет признаки strike-slip разломов.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЫ ВПАДИНЫ ДЕРЮГИНА (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

Р. Г. Кулинич, С. М. Николаев, М. Г. Валитов
Тихоокеанский океанологический институт, Владивосток

Обсуждаются результаты геофизического картирования и выполненного на борту НИС «Профессор Гагаринский» в рамках российско-германских охотоморских экспедиций. Иллюстрируются карты аномального гравитационного и геомагнитного полей. Также обсуждаются проблемы глубинного строения, тектоники и геодинамики площади, включающей шельф и склон северо-восточного Сахалина, а также смежной впадины Дерюгина. Обнаружена связь аномальных геофизических характеристик особенностей глубинного строения коры с активными природных газов (в первую очередь метана) и проявлениями баритовой минерализации на дне Охотского моря.

О ПРИРОДЕ ЛИТОСФЕРНОЙ АНОМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

В. М. Никифоров

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН,
690041, Владивосток, Балтийская 43

В литосфере юга Дальнего Востока (Приморье, Приамурье, Сахалин) по данным глубинных электромагнитных зондирований выделены аномально-электропроводящие зоны простирающиеся на тысячи км. при ширине 50-150 км.: Хоккайдо-Сахалинская, Сихоте-Алинская, Хинган-Нижне-Амурская (Танлу). Электропроводящие образования, характеризующиеся удельным сопротивлением $\rho=20-50$ Ом·м и суммарной проводимостью $S=2000-4000$ см. занимают интервал глубин $H=100-120$ км. Их высокая проводимость связана, очевидно, с процессом частичного плавления верхнемантийного вещества при температуре выше 1200 С. Проводники перекрыты мощными (100 км) высокоомными литосферными образованиями $\rho > 1000$ Ом·м. Геоэлектрический разрез, имеющий место на смежных территориях, соответствующих Средне-Амурской впадине и впадине Татарского пролива, отличается отсутствием верхнемантийного проводника, но относительно низким сопротивлением литосферы $\rho=500-800$ Ом·м. Это обстоятельство также связывается с высокой проницаемостью литосферных образований впадин для флюидов и летучих. Преобразованная под воздействием флюидного потока земная кора впадин отличается обилием линейных электропроводящих зон, протяженностью - сотни км., шириной 10-30 км., удельным сопротивлением $\rho=5-10$ Ом·м., суммарной проводимостью $S=1000-5000$ см., развитых вдоль известных глубинных разломов: Хоккайдо-Сахалинского, Центрально-Сахалинского, Хинганского, Сурского, Нижне-Амурского и т. д. Характер проводимости и пространственное положение рассмотренных аномалий позволяет выдвинуть предположение о графитизации плоскостей глубинных разломов в интервале глубин 10-30 км. Межразломное

пространство характеризуется особыми электрическими свойствами- анизотропной проводимостью. В северо-восточном направлении сопротивление образований составляет 2-10 Ом-м, ортогональном- сотни Ом-м. Наличие анизотропии является наш взгляд отражением процесса трещинообразования нижнекорового вещества вследствие дегитротации. Освобождающаяся при этом вода, переходящая из связанного состояния в свободное в текстурированном пространстве в условиях стресса, образует трещины. Процесс образования трещин, как и реакции гидротации-дегидротации, в целом протекают с изменением объёмов, что может являться причиной накопления напряжения в низах земной коры. Такой вывод подтверждается и тем, что очаги коровых землетрясений исследованной территории преимущественно располагаются в объёмах земной коры характеризующихся анизотропной проводимостью.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ С ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО КАБЕЛЯ НАХОДКА- НАОЕЦУ И ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «ВЛАДИВОСТОК».

**В.М.Никифоров, С.С.Старжинский, Г.Р.Шкабарня,
А.С.Цыганцов**

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
690041, Владивосток, Балтийская 43

С 1996 года проводится синхронная регистрация вариаций разности потенциалов на концах кабеля Находка-Наоецу геомагнитной обсерватории «Владивосток»(VLA).

Для обработки данных создаётся комплекс программ. Отлаженными являются программы редакции данных (удаление выбросов, заполнение пропусков, сшивка часовых файлов в более длинные), предобработки (ФНЧ, ФВЧ, ПФ, РФ, децимация) отредактированных рядов на заданном временном интервале) анализа.

Программы анализа осуществляют спектральное оценивание с использованием БПФ и метода максимальной энтропии, спектральное оценивание и сглаживание спектров, поляризационную фильтрацию в частотной области для выделения когерентных сигналов из многоканальной записи, удаление интенсивных гармонических составляющих.

Для тестирования были отредактированы записи вариаций электрического потенциала и геомагнитного поля с 7.02 по 20.06 1997 г. Как выяснилось, в их спектрах преобладают гармоники Sq с по 4 в компонентах Hx и Hy и с 1 по 6 в компонентах Hz и Eгор. Спектральный состав тех же данных, но отфильтрованных ФНЧ с частотой среза 0.2 цикла/день позволил обнаружить в электрическом поле максимумы на периодах 58,8,28.6,21.6,17.2,14.7,12.5,11.1,8.8,8.3,7.1 дней, природа которых связывается, в основном, с массопереносом в Японском море.

Для детального изучения спектрального состава геомагнитных вариаций и проверки эффективности алгоритма подавления приливных составляющих использована трёхлетняя (с 1995 по 1997г.) запись на обсерватории «Владивосток».

В компоненте Hx выделяются солнечно-суточные $\pi 1$, P1, S1, K1, $\varphi 1$, $\phi 1$ гармоники, суточные лунные O1, полусуточные солнечные T2, S2, R2, K2, полусуточные лунные M2 гармоники. В спектре компоненты Hy уверенно выделяются только суточные и полусуточные солнечные гармоники. Алгоритм подавления гармонических составляющих функционирует эффективно. Так, при подавлении 40 гравитационных приливных гармоник в геомагнитных данных удалось практически освободиться от солнечно-суточных вариаций и их годовых модуляций.

Приведённый комплекс предобработки электромагнитных наблюдений позволил перейти к следующему этапу исследований - получению уточнённой кривой кажущегося сопротивления Япономорского региона. По первым предварительным расчётам, экспериментальная кривая r_t соответствует теоретической кривой, полученной путём интегрирования поперечного тока в модели Япономорского региона. Уровень кажущегося сопротивления позволяет оценить высокоомную часть литосферы как 800 - 1000

Ом·м, что существенно ниже сопротивления образования слагающих верхнюю часть континентальной литосферы (2000-10000 Ом·м). Полученный результат можно интерпретировать как высокую проницаемость литосферы Японского моря в условиях растяжения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 98-05-64935).

ПРОЕКТ ПОЛИГОНА МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ

С.В. Палей, Ф.Г. Корчагин, Ю.М. Криницын
ИТиГ ДВО РАН, ДВГУПС

На формирование очага землетрясения влияют различные процессы, протекающие в земной коре и верхней мантии. Необходимо учитывать активность геофизических процессов в переходной зоне континент-океан, влияющих не только на очаг, но и на предвестниковые явления. Поэтому, ведущее значение в решении проблемы кратко и среднесрочного прогноза землетрясений приобретает геофизический мониторинг среды.

В соответствии с проектом создания Федеральной системы сейсмологических наблюдений (ФССН) № 444 от 11.05.93 постановлением правительства № 1207 от 3.11.94 г. предлагается проект создания на территориях Хабаровского и Приморского краёв а также Амурской и Еврейской областей региональной системы сейсмологических наблюдений (РССН), входящей в ФССН, состоящей из достаточного числа центров комплексных наблюдений и обработки (ЦКНО). Для снижения сейсмического риска прогнозирования землетрясений РССН должна обеспечивать непрерывный сбор прогностических данных с необходимой частотой опроса в пространстве и времени при ведущей роли сейсмологических наблюдений.

На основе многолетних сейсмологических наблюдений и анализа прошедших землетрясений предлагается создание ряда ЦКНО в районах г. Хабаровска, Нижнего Амура, Зейской ГЭС

южной области Приморского края. ЦКНО предназначен для сбора и обработки данных с пунктов комплексных наблюдений (ПКН) и анализа результатов для оценки степени сейсмической опасности.

ПКН является локальной сетью, содержащей две регистрирующие системы. Одна предназначена для сбора данных по измерительным каналам о медленных процессах (с дискретностью отсчета до минуты). Другая о быстрых (с частотой опроса канала до единиц килогерц). ПКН должен обеспечивать оперативное развертывание и эксплуатацию в автономном режиме в жестких климатических условиях со связью с ЦКНО. Типы и количество применяемых геофизических датчиков для конкретного пункта наблюдения должны обеспечивать необходимо достаточный набор данных, позволяющих контролировать геофизические процессы в районе ПКН. Программа функционирования ПКН включает диагностику сети, регистрацию данных о событии по заданным критериям и дуплексную связь с ЦКНО.

ЦКНО должны обеспечивать:

- прием первичной информации по каналам связи с ПКН, экспресс анализ полученных данных, их накопление и обработку в интерактивном режиме,
- работу контура реального времени, осуществляющего сбор и накопление информации с ПКН,
- работу в диалоговом режиме с пунктами наблюдений ПКН, ведение и поддержание геодинамической базы данных, обмен данными с региональными подсистемами ФССН,
- экспресс анализ информации с оперативным определением возможных деформационных аномалий,
- углублённую обработку в интерактивном режиме данных о зарегистрированных деформационных процессах с целью получения реальных оценок геодинамической обстановки на контролируемой территории,
- программы тестирования и диагностики аппаратных средств ПКН и датчиков.

Предлагаемая система позволит исследовать изменение пространственно-временной структуры и физических свойств переходной зоны. Что делает возможным создание на этой базе теоретических обоснований прогноза землетрясений.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ТИХООКЕАНСКОГО СЕГМЕНТА ЗЕМЛИ

Н.П. Романовский
ИТИГ ДВО РАН

Вопросы происхождения, строения, динамики и минерагении Тихоокеанского сегмента Земли (ТСЗ) и Тихоокеанского рудного пояса (ТП) являются одной из главных проблем современной геологии. Исследования, прежде всего ориентированные на районирование главных структурных элементов ТСЗ (П. Кропоткин, Л.И. Красный, Ю.М. Пушаровский, Г.Б. Удинцева, Г. Шахварстова и др.), наиболее активно развиваются с 1970-х годов.

При построении тектонических карт особое значение имеет проблема "стыковки" частных моделей различной специализации геологических, геоморфологических, геофизических и т.д. К сожалению многие предыдущие разработки не приводили к созданию единой тектонической модели ТСЗ, т.к. для котловины Тихого океана (ТО) и окружающего его ТП в силу разной степени изученности использовались разнопризнаковые характеристики (Косыгин, Кулындышев, 1981 г.).

Такой разрыв может быть ликвидирован или, по крайней мере, минимизирован за счет использования предлагаемой нами серии современных карт и схем, в каждом конкретном случае отображающих особенности строения и эволюции ТСЗ (ТО+ТП) как единой геологической структуры планетарного класса. При этом результаты систематизации геолого-геофизических моделей (карты, схем), как правило, приведены к одному масштабу и к единой картографической проекции, что может обеспечить создание комплексной модели ТСЗ.

Приводятся данные, которые характеризуют: во-первых "поверхностные" индикаторные признаки ТСЗ и ТП: – особенности развития и размещения гранитоидного магматизма, вулканических поясов, эндогенного оруденения и формируемых при этом рудно-магматических систем разных таксономических классов

– позиция разрывных нарушений, неоднородностей рельефа твердой земли и аномалий геоида.

- Во-вторых, глубинные индикаторные признаки ТСЗ и ТП:
- основные характеристики земной коры;
 - аномалии силы тяжести в свободном воздухе и в редукции Буге;
 - сейсмотомографические характеристики геосферных оболочек Земли;
 - сейсмоактивные зоны ТП и поля тектонических напряжений ТСЗ.

Материалы подготовлены, как правило, на количественной основе, что позволяет использовать их в качестве реперных данных при решении проблем тихоокеанской геологии с любых концептуальных позиций.

Предложены варианты решения геодинамических аспектов строения и эволюции ТСЗ и ТП, где главная роль отводится процессам на границе ядро-нижняя мантия, которые транслируются в мантии и астеносфере, приводит к широко масштабным проявлениям рудоносного магматизма и формированию рудно-магматических систем в земной коре.

ОСОБЕННОСТИ ДЛИННОВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ШЕЛЬФЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Г.В. Шевченко, П.Д. Ковалев, Д.П. Ковалев
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск

Шельфовая зона играет совершенно особую роль в системе атмосфера - гидросфера - литосфера. Резкое изменение глубины океана и наличие береговой границы приводит к возникновению особых типов волновых движений - краевых и шельфовых волн, которые определяют специфику динамических процессов в пограничных областях океана. Связанные с этими типами волновых движений прибойные течения и разрывные течения играют большую роль в формировании прибрежного рельефа - с ними связаны перемещения донных отложений, миграция кос, образование ритмических форм рельефа (фестоны, бары) и т.д. Особенности

приливного режима на шельфе Курил, Сахалина и в ряде других районов связаны с влиянием шельфовых волн, характерностью которых являются высокие скорости потока вблизи берега. Близкую структуру имеют собственные колебания бассейнов - сейши в заливах и бухтах, тягуны в гаванях.

В ИМГиГ (ранее СахКНИИ) экспериментальные исследования длинноволновых процессов в области шельфа и континентального склона начались по инициативе академика С.Л.Соловьева, который рассматривал их как важную часть создания системы предупреждения о цунами. При этом выделялись две основные задачи:

1. Регистрация цунами вдали от береговой линии, в которой происходят наиболее сильные трансформации волнового поля вследствие отражений, преломлений, влияния донного рельефа и иных искажающих факторов, для более надежного выделения свойств, связанных с сейсмическими процессами в области подводного землетрясения (параллельно развивались системы регистрации акустических сигналов в воде и воздухе).

2. Уточнение оценок усиления волн при их распространении из открытого океана к берегу для конкретных участков побережья подверженных воздействию цунами, исследование возможности применения удаленных гидрофизических станций в системе предупреждения о цунами.

Для регистрации длинных волн вдали от берега были разработаны кабельные и автономные измерители уровня основанные на измерении придонного гидростатического давления. Комплексное изучение состояния атмосферы и гидросферы проводилось при сильных землетрясениях с целью обнаружения предвестников цунами, для чего на специально созданной Южных Курилах гидрофизической обсерватории "Шикотан" использовались высокочувствительные микробарографы устанавливались гидрофоны и другая специальная аппаратура.

Несмотря на то, что далеко не все поставленные С.Л.Соловьевым цели удалось достигнуть, проведение уникальных нашей стране масштабных экспериментов по исследованию длинноволновых процессов дало мощный толчок развитию представлений о динамике шельфовой зоны, прежде всего, хотя и не

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

К ТЕОРИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕРХДЛИННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ОБЛАСТИ “АТМОСФЕРА-ЗЕМНАЯ КОРА-ЛИТОСФЕРА”

А.В. Алексеев, В.И. Короченцев

ТОИ ДВО РАН, Дальневосточный технический университет
690600, г. Владивосток, ул. Пушкинская, 10

Изучению процессов распространения упругих волн в земной коре посвящено много работ, обобщенных в фундаментальной монографии [1]. Однако, в ряде важных случаев, например взрывы под землей, землетрясениях одновременно с генерацией упругих волн возможно излучение электромагнитной волны довольно широкого спектра частот от 1 до 10^4 Гц. Генерируемые электромагнитные волны имеют большую длину волны и, в ряде случаев, могут распространяться как внутри Земли, так и просачиваться в околоземное пространство. В патенте [2] описана качественная картина процессов распространения электромагнитных волн внутри Земли.

Целью настоящей работы является разработка математической модели распространения электромагнитных волн в Земле при излучении монополюсом или диполем Герца, расположенными в земной коре.

Рассмотрим упрощенный вариант цилиндрической симметрии задачи, которая учитывает кривизну границы раздела “атмосфера-земная кора-литосфера”, а также затухание электромагнитных волн в среде в линейном приближении. В этом случае в качестве математической модели можно выбрать волновое уравнение, которое для одной из спектральных составляющих преобразуется в уравнение Гельмгольца. Граничные условия должны учитывать равенство нормальных и тангенциальных составляющих на границах раздела разнородных сред. На рис. 1 изображена

геометрия плоской задачи, где источник излучения электромагнитной волны (очаг землетрясения) расположен в точке M_0 в слое 2.

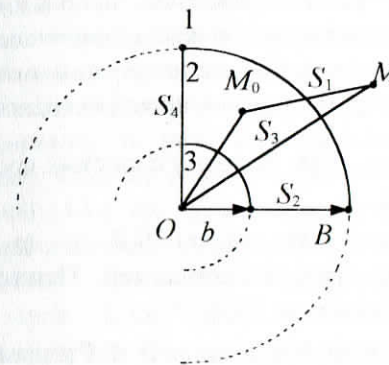


Рис. 1. Геометрия задачи излучения электромагнитной волны из верхнего слоя земной коры.

Точка наблюдения M может находиться в околоземном пространстве 1, а также в слое 2 или области 3. Граница замкнутой плоской области ограничена цилиндрическими поверхностями S_1, S_2, S_3, S_4 . На этих границах выполняются граничные условия, подобные рассмотренным в работе [3]. В областях 1, 3 выполняются условия излучения на бесконечности. Известны комплексные значения магнитной проницаемости $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ и диэлектрические проницаемости $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$. Для решения задачи удобно воспользоваться законами отражения и преломления цилиндрических волн на границах произвольной геометрии [3]. При построении решения принимаем модель “направленных функций Грина”. Сектор углов, из которых “видны” в приближении геометрической оптики участки поверхностей S_1, S_2, S_3, S_4 являются исходными для построения “направленных функций Грина” по теории, предложенной в работе [4]. Полученное решение граничной задачи является математически корректным и позволяет проводить численные исследования процессов распространения сверхдлинных электромагнитных волн в средах 1, 2, 3 (рис. 1). Исследование поля

проводится как для векторов напряженности, так и потока мощностей электромагнитной волны на произвольных расстояниях от границ раздела.

Результаты работы можно использовать для оценки качественных характеристик электромагнитного поля, излучаемого точечными излучателями в средах с затуханиями и криволинейными границами раздела слоя и других полупространств.

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 502 с.

2. Короченцев В.И., Охота Б.В. и др. Способ снижения запасов энергии в очаге землетрясений. Патент России 9810582. Положительное решение от 29.07.99 г.

3. Алексеев А.В., Короченцев В.И. Распространение электромагнитных волн в средах с заданными коэффициентами преломления на границах произвольной геометрии // Исследования и освоение мирового океана / Тр. 6^{ой} Всерос. акустич. конф. Владивосток: Дальнаука, 1997. С.131-136.

4. Короченцев В.И. Волновые задачи теории направленных фокусирующих антенн. Владивосток: Дальнаука, 1998. - 192 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ

Е. К. Борисов

Дальневосточный государственный технический университет

Для экспериментальной проверки результатов теоретических исследований в сейсмостойком строительстве и экспериментальной динамике сооружений широко используется генерирование сейсмических полей экспериментальными короткозамедленными взрывами (КЗВ). Практика наших работ подобного рода показывает возможность создания сейсмического импульса интенсивностью девяти баллов по шкале MSK-64 (о. Шикотан, 1991г.). В отличие от естественных сейсмических воздействий, имеющих природный

объективный характер, при использовании КЗВ можно в определенном диапазоне регулировать основные параметры создаваемого сейсмического поля.

Несмотря на значительное количество детерминированных и вероятностных моделей предсказания результатов промышленных КЗВ, экспериментальные измерения динамики грунта, как правило, отличаются от них на порядки. Основными причинами этого являются дифракционные и интерференционные процессы при выполнении реальных взрывов и амплитудно-частотная деформация сейсмозрывного импульса на трассе его распространения из-за геологической и рельефной неоднородности.

Для пояснения некоторых вопросов формирования сейсмозрывного поля были выполнены экспериментальные измерения динамики грунта на специальном полигоне (г.Находка, Приморский край) с достаточно однородными грунтовыми условиями (слабые водонасыщенные грунты) и ровным рельефом.

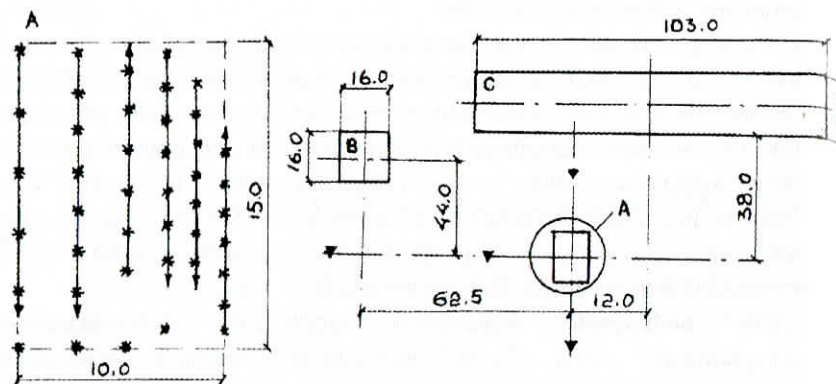
Программа работ состояла из мгновенного взрывания взрывчатого вещества (ВВ) в одиночных скважинах (*, см. рис.) (калибровка полигона) и КЗВ от двух до семи скважин глубиной 3,5 – 4,0м. Масса ВВ в скважинах изменялась от 0,8 до 2,6кгс, а замедление при КЗВ от 50 до 225мс (40,0 – 4,4Гц). Частоты основных тонов собственных колебаний грунта по составляющим лежали в диапазоне от 4,1 – 5,5Гц, что создавало предпосылки для введения грунта в режим резонансных колебаний.

“Блуждающие” точки измерения перемещений грунта (Û, см. рис) располагались при каждом взрыве на равных расстояниях от условных центров взрывания по линии скважин в направлении инициирования взрыва и в противоположном, а также на перпендикулярных по отношению к линии скважин направлениях.

Кроме этого были проведены измерения динамики двух гибких промышленных зданий. Одно из них, высотой 34м, (“В”, см. рис.) в обоих горизонтальных направлениях имело основной тон свободных колебаний порядка 2,8Гц. Второе (“С”, см. рис.), высотой 7м, - 3,9Гц в поперечном и 4,5Гц в продольном направлениях.

Сопоставление результатов измерения динамики грунта и зданий позволило установить взаимосвязь между основными параметрами сейсмозрывного импульса (интенсивность,

продолжительность, несущая частота) и характером развития колебательных процессов в исследованных сооружениях.



Результаты обработки и анализа экспериментальных измерений позволяют сделать следующие выводы.

1. Несущая частота интенсивной фазы сейсмозрывного импульса в направлении инициирования КЗВ выше частоты взрыва отдельных скважин, в противоположном – ниже. Продолжительность интенсивной фазы в направлении инициирования больше, чем в противоположном.

2. Интенсивность колебаний грунта при КЗВ меньше, чем при скважинном с равными скважинными массами ВВ. В направлении инициирования взрыва интенсивность выше, чем в противоположном, в поперечном – не зависит от направления инициирования и по величине занимает промежуточное положение между двумя первыми.

3. При приближении частоты взрыва при КЗВ к периоду собственных колебаний грунта интенсивность колебаний резко возрастает по всем направлениям.

4. Динамика верхней части обследованных сооружений значительной степени определяется сочетанием интенсивности частоты и продолжительности колебаний грунта в их основании. Короткие интенсивные сейсмозрывные воздействия вызывают меньшую реакцию сооружений, чем значительно меньшие по интенсивности, но продолжительные воздействия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА “ЗЕМНАЯ КОРА АТМОСФЕРА”

Е.К.Борисов, Л.В.Губко, В.И.Короченцева

Дальневосточный технический университет
690600, Владивосток, ул.Пушкинская, 10

Вопросы динамической теории распространения упругих волн в земле достаточно полно изучены. В ряде работ по распространению сейсмических волн изучены как прямые, так и обратные задачи в средах с криволинейными границами раздела слоистых сред [1]. Однако, расчетные данные, полученные как для кинематических, так и динамических характеристик волн получены в лучевом приближении. Поэтому обратные задачи, как правило, сводятся к некорректным задачам математической физики, а прямые задачи часто не удовлетворяют современным требованиям по точности решения.

В настоящем докладе рассмотрены вопросы строгого решения волнового уравнения вблизи границы мягкой земли и атмосферы и уравнения полученных решений с экспериментальными данными.

Эксперименты проведены на болотистой поверхности при взрыве пробных зарядов на небольших глубинах. Измерение и запись пришедших волн проводились на стандартные сейсмографы. Погрешность измерений не превышала принятых в сейсмоакустике.

Для сравнения полученных в эксперименте измерений получены расчетные формулы и проведены численные исследования упругих волн, распространяющихся вблизи поверхности как в земле, так и в воздухе. В качестве теоретической модели выбрано волновое уравнение, которое достаточно строго описывает поле упругих волн вдали от источника взрыва. Граничные условия учитывают равенство давлений и нормальных составляющих колебательной скорости на поверхности раздела (рис. 1).

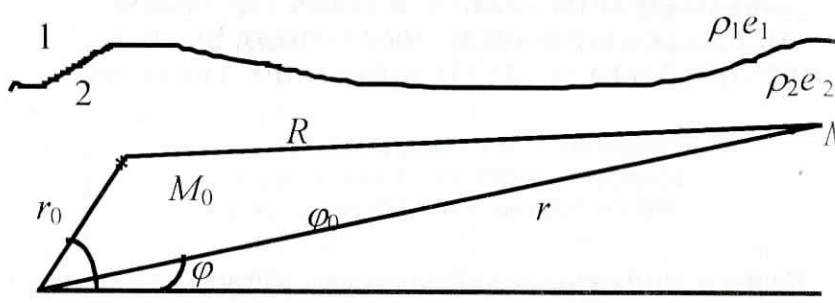


Рис. 1. Геометрия задачи

Предполагается, что тангенциальные составляющие колебательной скорости на поверхности раздела сред 1 и 2 равны. Известны акустические характеристики сред: плотность ρ_1, ρ_2 , фазовые скорости продольных волн e_1, e_2 , коэффициенты затухания в средах β_1, β_2 . Предполагается, что из области, обозначенной точкой M_0 происходит линейное излучение волн, а в точке M происходит прием волн. Точка M может находиться либо в полупространстве 1 (воздух), либо в полупространстве 2 (болото, земля).

Строгое решение сводится к двум этапам. Первый этап решается неоднородное уравнение Гельмгольца на некоторой гармонической частоте f [2]. Решение сводится к нахождению функции Грина. Второй этап заключается в преобразовании Фурье частотно-временной области и определении формы сигнала во времени.

Поскольку решение волнового уравнения строгое, несовпадение экспериментальных и теоретических данных объясняется неточностью выбора однородных свойств сред 1 и 2 с ошибками в измерении плотности земли и упругих констант.

Результаты работы можно использовать для построения более реальных математических моделей, учитывающих неоднородности упругих констант сред 1 и 2.

1. Марцинковская Н.Г., Красавин В.Г. Алгоритм расчета полей отраженных волн в средах с криволинейными границами

раздела // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, сб. 9. Ленинград: Наука, 1968. С.135-144.

2. Короченцев В.И. Волновые задачи теории направленных и фокусирующих антенн. Владивосток: Дальнаука, 1998. - 192 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КОРРЕКЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

А.И.Дешнер

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН

В современных автономных подводных аппаратах (АПА) для выполнения навигационных определений используются инерциальные навигационные системы (ИНС). Как известно, данные системы вырабатывают всю необходимую информацию о вращательном и поступательном движении объекта без привлечения дополнительных сведений от внешних источников. Точность местоопределения АПА при помощи ИНС зависит от ряда факторов. Главным образом, от качества гироскопов. Кроме того, ИНС дают неустранимую накапливающуюся ошибку измерений, значения которой зависят от скорости движения объекта и могут достигать значительных величин [1,2]. Помимо этого, специфические проблемы возникают при кораблевождении вблизи Северного географического полюса, где гироскопические и магнитные компасы теряют направляющую силу и не могут быть использованы для курсоуказания. Вместе с тем многие задачи, в том числе, связанные с применением ракетного оружия морского базирования, требуют с высокой точностью знать начальные условия старта – динамические, включающие не только меняющиеся географические координаты, но и скорости, ускорения углового и линейного движения.

Для решения проблемы коррекции дрейфа ИНС перспективным является использование геофизических полей дна Мирового океана – магнитного, поля глубин и гравитационного.

Необходимо отметить, что системы навигации по геофизическим полям уже давно и успешно применяются на практике авиационно-ракетной технике [3]. В частности, получено распространение рельефометрические системы, использующие измерения профиля рельефа местности, радиометрические системы а также скатерометрические системы с использованием измеренных коэффициентов обратного отражения. Принцип действия данных систем основан на сравнении (корреляционной обработке) цифровой карты местности с данными, получаемыми в реальном времени движущегося объекта. Эти системы получили название корреляционно-экстремальных систем навигации (КЭСН). КЭСН получили достаточного практического воплощения при решении задач навигации АПА, что связано, главным образом, с отсутствием необходимых аппаратных и алгоритмических средств, а также с отсутствием исходного информационного обеспечения – цифровых карт геофизических полей.

Решение первой из проблем возможно с использованием теории оптимальной фильтрации. Исходя из принципа минимума максимально возможной ошибки оценивания параметров строится минимаксный фильтр калмановского типа, реализующий рекуррентную процедуру обработки наблюдений в темпе поступления. При этом получаемые оценки являются однозначными, несмещенными и удовлетворяют условию сходимости.

Процесс же создания эталонных карт местности является наименее разработанным при создании автономных систем навигации. Эталоны могут быть получены расчетным или экспериментальным путем, либо в результате их сочетания. Однако системы высокоточной навигации нуждаются принципиально новом виде картографической информации, которая не может быть получена с традиционных географических карт. В связи с этим с целью информационного обеспечения требуется создание геоинформационных банков данных, позволяющих осуществлять накопление, анализ, обновление картографической информации а также обеспечить оперативный доступ к требуемым выборкам данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пешехонов В.Г. – Вестник РАН, 1997, т. 67, № 1, с. 43–48.
2. Андреев Г.А., Потапов А.А. – Зарубежная радиоэлектроника, 1988, № 9, с. 62-85.
3. Ржевкин В.А. – Зарубежная радиоэлектроника, 1981, № 10, с. 3-28.

РАСЧЕТ ПОЛЯ ОТ ОДИНОЧНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА “АТМОСФЕРА-ГИДРОСФЕРА-ЛИТОСФЕРА”

И. Н. Каневский, Л. В. Губко, Д. В. Кислицын, С. А. Минапов
ДВГТУ, 690600, Владивосток, ул. Пушкинская, 10

For antennas located near to reflecting surfaces of a ground or a surface of the small-sized sea, the algorithms of account with factors of a reflection and absorption of waves by these boundaries are developed.

The registration of inhomogeneous boundary conditions is offered for conducting “of directed Green functions”.

“Water - ground” as the artificial factor of shaping of the given diagrams of a directedness in the small-sized sea is offered to use geometry of the unit.

Расчет антенн в мелком море принципиально отличается от соответствующих исследований антенн, расположенных в глубоком море. Одним из основных отличий является учет отражения и поглощения упругих волн дном и поверхностью моря. Если антенна расположена вблизи от отражающих поверхностей грунта или поверхности, то в алгоритмы расчета необходимо вводить коэффициенты отражения и поглощения волн этими границами [1].

Одним из способов учета неоднородных граничных условий в мелком море может быть, введение алгоритмов “направленных” функций Грина.

В докладе приводятся алгоритмы расчета поля прозрачной линейной антенной решетки. В отличие от классических некорректных задач синтеза антенн, полученные алгоритмы позволяют решать как прямые, так и обратные задачи корректными методами.

Проведенные численные исследования показывают, что в зависимости от глубины погружения антенной решетки в грунт, поле в воде существенно изменяется. Поэтому предлагается использовать геометрию раздела "вода-грунт" как искусственный фактор формирования заданных диаграмм направленности в мелком море.

1. Короченцев В. И. Волновые задачи теории направленных и фокусирующих антенн, Владивосток, Дальнаука, 1998 г., 193с.

К ТЕОРИИ СЕЙШ В МОРЯХ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ ДНА

В. И. Короченцев

ДВГТУ, 690600, Владивосток, ул. Пушкинская, 10

For exposition of oscillation of a surface of the sea limited to a closed smooth curve is offered to use the equation of the Helmholtz with variable wave number. The correctness of such mathematical model for a research a seiche is considered.

The numerical examples of an exact solution of the equation of the Helmholtz for want of associations of wave number from a radial coordinate are reduced. The outcomes of account of distribution a seiche in the closed pools are reduced.

Распределение свободных колебаний поверхности замкнутых акваторий моря описывается довольно сложными функциями даже для простой геометрии объема.

Во всех случаях произвольной поверхности решения о распределении колебаний сводятся к нахождению сложных

периодических функций, которые называются "сейшевыми" функциями [1].

В настоящем докладе для описания колебания поверхности моря, ограниченного замкнутой гладкой кривой предложено использовать уравнение Гельмгольца с переменным волновым числом. Обсуждается корректность такой математической модели для исследования сейш.

Для решения граничной задачи предложено применить основанный на законах отражения и преломления сферических волн на поверхностях произвольной формы. Устанавливаются математические аналогии между потенциалом звукового поля и функцией, описывающей распределение сейш. На основе этих аналогий предложено применить ряд законов отражения и преломления звуковых волн, распространяющихся в акустически неоднородных средах, к вычислению стоячих волн, образующих сейши. При этом существенное значение имеет введение специальных Лагранжевых координат. Основная идея специальных ограничений на форму Лагранжевых координат состоит в том, что в каждый момент времени криволинейные координаты представляют собой некоторые лучи, по которым время распространения сигнала стационарно. То есть для каждой из координат выполняется принцип Ферма. Такой подход в принципе уже использовался для частных задач в геометрической акустике. Принципиальное отличие предложенного метода заключается в предположении о том, что основные законы Ньютоновской механики и принципы относительности Галилея справедливы для каждой локальной области в криволинейных геодезических координатах. Очевидно, при таком подходе граничные условия удобнее удовлетворять на некоторых криволинейных поверхностях, ограниченных в геодезической системе координат. Строгое решение волнового уравнения в геодезических координатах имеет простой вид. Для перехода в прямоугольную систему (или связанную с ней ортогональную систему координат), вместо геодезических координат, входящих в аргументы функций, подставляют соответствующие выражения одних независимых переменных от других.

В докладе приводятся численные примеры точного решения уравнения Гельмгольца при зависимости волнового числа от радиальной координаты. Приводятся результаты расчета распределения сейш в замкнутых бассейнах.

1. В. В. Шулейкин Физика моря, М.: Наука, 1968, 1083с.
2. Korochentsev V.I. Solution of direct and inverse problems of acoustic in the sea wedge. //Proceeding of the 1998 International Symposium on UT-98 April, 1998, //Tokyo, Japan, 1998, pp. 346-349

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ УСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ МАСС ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ ПОВЕРХНОСТИ “ЗЕМЛЯ-АТМОСФЕРА”

В. И. Короченцев, В. В. Короченцев, Б. В. Охота, Л. В. Губко
ДВГТУ, 690600, Владивосток, ул. Пушкинская, 10

Near to a surface of the Earth, and also under the Earth all processes accompanying accelerated driving of masses, are characterized by slow transmission of a signal on a gravitational field.

In the report the new approach to experimental researches of “slow” gravitational waves near to a surface of the Earth is justified.

Согласно теории гравитации А. Эйнштейна, ускорено движущиеся тела, излучают гравитационные волны. В теоретических исследованиях гравитационных волн большинства работ в качестве фазовой скорости распространения берется скорость близкая к скорости света в вакууме.

На базе таких теоретических моделей построены известные схемы основных экспериментов по изучению гравитационных волн.

Однако, вблизи границы поверхности Земли включая ближний космос, а также под Землей все процессы, сопровождающие ускоренное движение масс (цунами, землетрясения, уединенные волны и другие), характеризуются медленной передачей сигнала по гравитационному полю. Эти

процессы также связаны с гравитационным полем Земли. Именно на это явление было обращено внимание в теоретических работах [1,2].

Целью настоящего доклада является обоснование новых подходов к экспериментальным исследованиям “медленных” гравитационных волн вблизи поверхности Земли, а также обсуждение некоторых полученных экспериментальных результатов.

Принципиально важным прибором для измерения скорости распространения гравитационных волн является приемник. В условиях больших электромагнитных шумов, а также упругих волн вблизи поверхности Земли, необходимо выбрать приемник, не принимающий такие помехи или значительно ослабляющий их. В наших экспериментах в качестве такого приемника выбран обычный маятниковый механический гравиметр. Серийно выпускаемый гравиметр не реагирует на электромагнитные поля любой интенсивности и позволяет селектировать упругие волны от гравитационных возмущений поля.

Физическим аналогом реальных очагов землетрясений мы выбрали различные типы ускоренно движущихся масс. В качестве излучателя гравитационных волн использовались причаливающие или отходящие надводные и подводные корабли, поезда. Время начала возмущения в показаниях гравиметров и расстояние между ускоренно движущимися массами измерялись стандартными механическими секундомерами и измерителями дистанции. Более ста экспериментальных измерений проведенных авторами показывают, что скорость передачи возмущений по гравитационному полю вблизи Земли очень мала, обладает дисперсией от расстояния и определяется величиной (2-8) м/сек в зависимости от дистанции между ускоренно движущейся массой и гравиметром. Среднеквадратическая ошибка измерения скорости составляет 30%. Результаты работ можно использовать для объяснения природы возникновения и распространения уединенных волн и цунами.

1. Korochentsev V.I. Solution of direct and inverse problems of acoustic in the sea wedge. //Proceeding of the 1998 International Symposium on UT-98 April, 1998, //Tokyo, Japan, 1998, pp. 346-349

2. Короченцев В. И. Использование сверх длинных электромагнитных волн и волн правитационной природы для оповещения о зарождении цунами и землетрясений // Труды Всероссийской академии наук (с международным участием) декабрь 1997г. // Владивосток, Дальнаука, 1998г. с. 214-233

РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКИХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ АНТЕНН, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА

В. И. Короченцев, В. А. Лялин, В. В. Пономарев
ДВЛТУ, 690600, Владивосток, ул. Пушкинская, 10

In work the task of synthesis and analysis transparent antenna of a lattices located near to the boundaries of the unit of arbitrary geometry for two mediums is posed.

Solution of the task to be reduced to toting Green functions for the given geometry, and also to deriving algorithms, convenient for practical evaluations, of account.

As a numerical example the analysis of a field of a radiation by an antenna of a lattice in the close elliptic boundaries of the unit and surfaces composed from final planes is reduced.

В работе [1] получены общие алгоритмы для вычисления функций Грина уравнения Гельмгольца при отражающих границах произвольной формы. Однако полученное решение уравнения Гельмгольца в виде функции Грина не позволяет проводить анализ антенных решеток с учетом отражения от границ раздела двух сред произвольной геометрии.

Целью настоящей работы является постановка задачи анализа прозрачных антенных решеток, расположенных вблизи границ раздела произвольной геометрии для двух сред.

Постановка задачи.
Задана геометрия границы раздела двух сред гидроакустического раздела, форма акустически прозрачной антенной решетки.

1. Короченцев В. И. Волновые задачи теории направляющих и фокусирующих антенн, Владивосток, Дальнаука, 1998, 193с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И СЕЙСМО-АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СИСТЕМЕ ГИДРОСФЕРА-ЛИТОСФЕРА

А. М. Запольский, В. П. Дзюба
Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН

Исследование взаимодействия физических процессов в пораничных природных средах из-за высокой информативности приобретает все большую актуальность. С этих позиций дано описание представляется важным для изучения объекта, т.к. здесь происходит энергообмен между волновыми процессами различной природы. Проводя натурные и модельные эксперименты, мы получаем либо задаем распределение на дне таких физических величин как смешение, скорость частиц и давление. Они являются по сути, динамическими граничными условиями на поверхности упругого полупространства и обуславливают гидрофизическими возмущениями в воде, например, поверхностными и внутренними волнами, акустическими излучателями, шумами судов и т. д.

Изложенный метод и полученные результаты открывают возможность создания более адекватных моделей генерации и распространения волновых полей в системе гидросфера-литосфера.

О РЕГИСТРАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА

А.М. Запольский, В.П. Дзюба, Г.И. Долгих, Ф.А. Запольский

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН

В течение ряда лет на морской экспедиционной станции ТОИ "Мисс Шульца" проводились эксперименты по генерации гидроакустических сигналов в шельфовой зоне и приему возбуждаемых ими колебаний грунта на берегу посредством аппаратуры, использующейся лазерные измерители деформации (ЛИД) или, просто, деформографы различной конструкции. Вначале это были 105-метровый равноплечий ЛИД, затем были созданы и применены 50,5- и 17,5-метровые деформографы неравноплечего типа.

Для интерпретации результатов этих экспериментов предлагается разработанный нами метод моделирования сейсмоакустических полей посредством упругодеформационной функции Грина. На его основе получен набор интергральных представлений поля смещений в результате действия гидрофизических возмущений на дно. Цель работы состоит в оценке эффективности данного метода для моделирования сейсмоакустического поля, возбуждаемого реальными

гидроакустическими источниками с известными параметрами. Для иллюстрации метода мы выбрали из многих экспериментов только два, на наш взгляд, наиболее характерных. В первом эксперименте судно с излучателем располагалось в бухте "Витязь" примерно в 1600 м от ЛИД. Глубина моря в этом месте ≈ 30 м. Излучатель с частотой 20,5 Гц был поружен на 18 м. Давление, создаваемое источником, приведенное к 1 м от его геометрического центра, было ≈ 1 кПа. Уровень затененности

Развивается метод моделирования сейсмоакустических полей в упругом полупространстве ниже поверхности дна, вызванных указанными возмущениями. Для решения этих задач нами использован известный метод функции Грина, но в таком контексте, по-видимому, ранее не применявшийся. Данный подход обладает достаточной математической строгостью. В то же время он позволяет создать весьма простую и наглядную модель векторного сейсмоакустического поля, удобную для интерпретации экспериментальных результатов.

Сложность задачи состояла в построении упругодеформационной функции Грина (которая в случае векторного поля приобретает тензорный характер), удовлетворяющей на поверхности полупространства двум видам однородных граничных условий. Первое соответствует абсолютно жесткой, второе — свободной поверхности. Используемый для скалярного поля метод зеркальной симметрии между точкой приема и мнимой точкой относительно границы раздела, которая к тому же должна быть плоской, в данном случае неприменим. Для векторного сейсмоакустического поля нами предложена симметрия относительно точки относительно поверхности прямой, соединяющей реальной и мнимой источники с поверхностью раздела. Оказалось, что данный подход применим и в случае криволинейной поверхности полупространства.

На основе предложенного метода функции Грина получен полный набор интергральных представлений сейсмоакустического поля в упругом полупространстве, состоящий из двух групп. Первая группа использует в качестве динамических граничных условий распределение на дне смещения и колебательной скорости. Тензор Грина при этом удовлетворяет однородным граничным условиям, соответствующим абсолютно жесткой поверхности. Вторая группа использует распределение давления на дне. При этом на тензор Грина налагаются граничные условия, соответствующие свободной от напряжений поверхности. В каждой из этих групп интергральных представлений поле смещений можно разделить на три слагаемых. Первые два относятся к дальней зоне и соответствуют смещениям в продольной (Р) и в поперечной (S) волнам. Третья представляет комбинационное смещение в ближней зоне.

деформафом сигнала имел порядок 10^{-8} м. Во втором

эксперименте судно с излучателем располагалось на расстоянии ≈ 16 км со стороны открытого моря, где глубина достигала примерно 70 м. Излучатель с частотой 32 Гц был погружен на 31 м. Развивалось давление 2,3 кПа. Уровень зарегистрированного сигнала составил $\approx 2 \cdot 10^{-9}$ м.

В качестве динамических граничных условий на дне мы задали распределение давления, исходя из молевой теории применительно к нашему случаю. Для мелкого моря и низких частот мы положили:

$$(1) \quad p(H, t) = A \left[\frac{R}{R_0} \phi_1(\theta) + \frac{R}{R_0} \phi_2(\theta) \right] e^{-\lambda H},$$

где A является фактически амплитудой развиваемого излучателем давления; λ и ε — основные модельные параметры; $\phi_1(\theta)$ and $\phi_2(\theta)$ — функции углов падения на дно и поверхность моря. Они быстро убывают в соответствующих диапазонах углов: $\phi_1(\theta)$ при $\theta \geq \theta_c$ а $\phi_2(\theta)$ при $\theta \leq \theta_c$, где θ_c есть угол полного внутреннего отражения.

Численное моделирование распространения сейсмоакустических волн вдоль дна проведено, исходя из полученных нами интегральных представлялений соответствующих компонент смещений:

$$(2) \quad u_p^m(x, t) = -\frac{1}{r} \int_0^s 2\pi \rho \alpha^2 \int_0^s \{x_m^m [x_k n^k(\xi)] p(\xi, t - \frac{\alpha}{r})\} ds(\xi),$$

$$(3) \quad u_s^m(x, t) = \frac{1}{r} \int_0^s 2\pi \rho \beta^2 \int_0^s \{x_s^m [x_k n^k(\xi)] p(\xi, t - \frac{\beta}{r})\} ds(\xi),$$

$$(4) \quad u_N^m(x, t) = \frac{1}{r} \int_0^s 2\pi \rho \int_0^s \{x_N^m [x_k n^k(\xi)] p(\xi, t - \frac{\alpha}{r})\} ds(\xi),$$

где u_p^m , u_s^m , u_N^m — смещения соответственно в P-, S- волнах в дальней зоне и комбинационное смещение в ближней зоне; $x_m^k = x_m^k - \xi_m^k$ — текущая точка на дне; r — расстояние от нее

до точки приема; t' — переменная интегрирования; ρ — плотность грунта; α и β — соответственно скорости продольных и поперечных волн. Давление p в соответствующие задержанные моменты времени определяется по формуле (1). Результирующее смещение равно, естественно, сумме (2), (3) и (4). Прием, учитывая тот факт, что оси деформаторов расположены горизонтально и в данных экспериментах ориентированы на источник, мы рассчитывали суммарную компоненту u . Параметры грунта выбраны на основе гидрогеологических исследований в районе проведения экспериментов, а модельные параметры подобраны с целью соответствия эксперименту.

Результаты сравнения экспериментов и численного моделирования показывают хорошее согласие. Это свидетельствует об эффективности предложенного метода моделирования сейсмоакустического поля в упругой среде, обусловленного гидрофизическими возмущениями в воде.

ВНУТРЕННИЙ ПРИЛИВ НА ШЕЛФЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ И ЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.Н.Рутенко
ТОИ ДВО РАН

В докладе приводятся результаты натурных и численных исследований влияния волны внутреннего прилива на распространение низкочастотного звука в мелком приливном море. Измерения проводились на стационарных трассах протяженностью от 260 м до 23 км, ориентированных вдоль и поперек шельфа Японского моря в районе по-ва Тамова, с помощью вертикальных акустико-гидрофизических измерительных систем и стационарного излучателя, связанных с береговым постом кабельными линиями. Сравнение результатов акустических измерений, проведенных на одних и тех же трассах в разных гидрологических условиях, позволило количественно оценить эффект от поверхностного

- Крылов П.С. 24
 Кулинич Р.Г. 50
 Лялин В.А. 74
 Минатов С.А. 69
 Мишаков А.В. 26, 29
 Московченко Л.Г. 33
 Никифоров В.М. 51, 52
 Николаев С.М. 50
 Новотрясов В.В. 36
 Охта Б.В. 72
 Палеи С.В. 54
 Петрова Л.Н. 37
 Пономарев В.В. 74
 Привалов В.Е. 24
 Романовский Н.П. 56
 Рутенко А.Н. 79
 Старжинский С.С. 52
 Фищенко А.В. 39
 Фищенко В.К. 39
 Цыганцов А.С. 52
 Шаповалов-Чувпрынин В.В. 42
 Шарипов Р.З. 45
- Алексеев А.В. 3, 60
 Батюшин Г.Н. 5
 Белоконь В.И. 33
 Борисов Е.К. 62, 65
 Бурдундуков А.С. 7
 Вагитов М.Г. 50
 Видмонт Н.А. 9
 Губко Л.В. 65, 69, 72
 Дешнер А.И. 67
 Дзюба В.П. 75, 77
 Долгих Г.И. 3, 5, 12, 13, 77
 Дубов М.Н. 15
 Запольский А.М. 75, 77
 Запольский Ф.А. 77
 Каневский И.Н. 69
 Карнаух В.Н. 49
 Карп Б.Я. 49
 Кислицын Д.В. 69
 Кислова И.И. 17
 Ковалев Д.П. 57
 Ковалев П.Д. 57
 Короченцев В.В. 72

прилива и смещения температурного фронта, распространяющиеся по акватории пикноклины волнами внутреннего прилива. Для сезонному пикноклины волнами внутреннего прилива. Для геоморфических и гидрологических условий близких к натурным, проведенные численные эксперименты в приближении нормальных волн и метода широкоугольного параболического уравнения.

Короченцев В.И.	60, 70, 72, 74	Шкабарня Г.Р.	52
Короченцева В.И.	65, 74	Шевченко Г.В.	57
Корчагин Ф.Г.	21, 54	Юсупов В.И.	13
Креницын Ю.М.	21, 54	Яшков Д.В.	13

**ВСЕРОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ
«СЕЙСМОАКУСТИКА ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН»
(Владивосток, 20-26 сентября 1999)**

Тезисы докладов

Утверждено к печати Ученым советом
Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН
г. Владивосток

Отпечатано с оригинал-макета, изготовленного
Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН

Материалы публикуются в авторской редакции

Изд.лиц. ЛР 040118 от 15.10.96 г. Подписано к печати 15.09.99 г.
Формат 60x84/16. Печать офсетная. Усл.п.л. 5,19. Уч.-изд.л. 4,01.
Тираж 100 экз. Заказ 142

Отпечатано в типографии издательства "Дальнаука" ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7