

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладной океанологии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

М.Н. Кузнецова, Н.Л. Плинка

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по дисциплине
«Моделирование природных процессов»

05.04.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль): Морская деятельность и
комплексное управление прибрежными зонами

Санкт-Петербург
РГГМУ
2020

УДК [551.466:551.468.1].072 (072)
ББК 26.221я73
К89

Рецензент: Злотников Э.Г., кандидат химических наук, доцент кафедры химии
Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена

Кузнецова М.Н., Плинка Н.Л.

К89 Методические указания по дисциплине «Моделирование природных процессов». – СПб.: РГГМУ, 2020. – 20 с.

Методические указания содержат общие сведения о дисциплине «Моделирование природных процессов», относящейся к дисциплинам базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)», задание и рекомендации по выполнению контрольной работы, которую обучающийся должен выполнить в межсессионный период в рамках самостоятельного изучения дисциплины.

Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения по направлению 05.04.05 «Прикладная гидрометеорология», профиль «Морская деятельность и комплексное управление прибрежными зонами».

УДК [551.466:551.468.1].072 (072)
ББК 26.221я73

ISBN 978-86813-499-9

© Кузнецова М.Н., Плинка Н.Л., 2020
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2020

1. Общие сведения о дисциплине

1.1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Моделирование природных процессов» является формирование у студентов целостного подхода к анализу и моделированию волновых процессов в прибрежной зоне. Основные задачи дисциплины включают:

- изучение закономерностей формирования волновых полей в прибрежной зоне;
- изучение факторов трансформации длинных гравитационных при их выходе на мелководье;
- рассмотрение особенностей формирования волновых полей в пограничных областях океана, формирования шельфовых и краевых волн;
- изучение особенностей наката волн на сухой берег и приобретение практических навыков расчета зоны затопления;
- изучение процесса транспорта наносов и условий формирования берегов с учетом аккумулятивных и абразионных процессов.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Моделирование природных процессов» обучающийся должен:

знать:

- закономерности формирования волновых процессов в прибрежной зоне;
- влияние основных факторов трансформации волн при их выходе на мелководье;
- особенности формирования береговой зоны под воздействием волновых процессов;

уметь:

- использовать практические выводы волновой теории для решения конкретных задач, связанных с обеспечением хозяйственной деятельности в прибрежной и шельфовой зоне Мирового океана;
- производить расчеты параметров ветрового волнения и его воздействия на формирования морфометрических характеристик береговой зоны;
- рассчитывать характеристики трансформации волн при подходе их к берегу;
- оценивать влияние различных факторов трансформации параметров длинных волн, необходимых для решения различных

задач по океанологическому обеспечению народного хозяйства, включая задачу по обеспечению устойчивости функционирования хозяйственных объектов и безопасности населения в случае экстремальных подъемов уровня, вызванных морскими стихийными бедствиями;

владеть:

– методами расчета параметров ветровых волн в береговой зоне;

– методами расчета величины вдольбереговых и поперечных наносов;

– навыками управления рисками негативного воздействия от морских стихийных бедствий;

– целостными представлениями о картине формирования волновых процессов с учетом возможности качественных изменений волновых свойств при различных пространственно-временных масштабах.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
ПК-1	Понимание и творческое использование в научной деятельности знаний фундаментальных и прикладных разделов специальных гидрометеорологических дисциплин

1.2. Структура дисциплины «Моделирование природных процессов»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы или 108 часов. Для студентов заочной формы обучения изучение дисциплины «Моделирование природных процессов» включает:

– самостоятельное изучение в межсессионный период теоретических основ моделирования волновых процессов в прибрежной зоне в соответствии с рабочей программой дисциплины;

– выполнение в межсессионный период контрольной работы;

– участие в лекционных и практических занятиях в период сессии.

**Объем дисциплины по видам учебных занятий¹
(в академических часах)**

Объем дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения (2019 г.н.)	Заочная форма обучения (2019 г.н.)
	2 семестр	2 курс
Общий объем дисциплины (часы)	144	144
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	56	16
в том числе:		
лекции	28	8
практические занятия	28	8
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	88	128
в том числе:		
курсовой проект	–	–
контрольная работа		20
Вид промежуточной аттестации	экзамен	экзамен

2. Методические указания по организации работы

2.1. Общие сведения

Для студентов заочного обучения некоторые темы, связанные с изучением теоретических основ волновой теории вынесены в раздел самостоятельного изучения в межсессионный период. Формой контроля уровня освоения этих разделов дисциплины «Моделирование природных процессов» является выполнение студентом контрольной работы. Структура и описание контрольной работы представлено ниже, в разделе 2.2. Выполнение контрольной работы включает письменные ответы на теоретические вопросы (вопросы 1–5) и выполнение двух практических заданий № 1 и № 2.

Самостоятельное изучение теоретических основ дисциплины осуществляется с использованием рекомендованной и дополнительной литературы. Список рекомендованной литературы представлен

¹ Соответствует рабочему учебному плану 2019 года начала подготовки.

в приложении 1. При перечислении вопросов теоретической части указаны рекомендуемые литературные источники и страницы, на которых изложен материал.¹ Основное содержание дисциплины «Моделирование природных процессов» представлено в приложении 2. Результаты самостоятельного изучения дополняются, конкретизируются и контролируются в период сессии путем проведения лекционных и практических занятий.

В качестве формы текущего контроля используется выполнение обучающимся контрольной работы. Выполнение контрольной работы позволяет оценить уровень самостоятельного изучения разделов дисциплины, умение самостоятельно исследовать проблему на основе научных методик, логично аргументировать собственные умозаключения и выводы, умение критически анализировать источники, использовать справочную и энциклопедическую литературу, собирать и систематизировать эмпирический материал.

Промежуточной формой контроля освоения материала является экзамен, который проводится в период экзаменационной сессии. Примерный перечень экзаменационных вопросов приведен в приложении 3. Целью проведения экзамена является оценка возможности творческого использования в научной деятельности знаний фундаментальных и прикладных разделов теории волн, способности к абстрактному мышлению, анализу и синтезу.

2.2. Выполнение контрольной работы

Выполнение контрольной работы включает развернутые ответы на следующие вопросы теоретической части.

1. Теория захваченных баротропных волн у прямолинейного берега [1, с. 117–121].

2. Моделирование длинных волн в канале переменного сечения (математическая формулировка и численная реализация) [1, с. 125–134].

3. Линейная теория наката волн на сухой берег. Критерий обрушения при подходе волны к берегу [1, с. 121–125].

4. Общая теория поперечных перемещений наносов. Формирование равновесного профиля и его связь с наклоном дна и крупностью донных осадков. Продольное перемещение наносов [4, с. 339–347].

¹ Указанные источники и разделы являются рекомендованными и могут быть дополнены (заменены) другими источниками по усмотрению студента.

5. Общие представления о литодинамических процессах в прибрежной зоне (морфометрические формы, происхождение и характер транспорта наносов) [4, с. 330–339].

Выполнение контрольной работы по дисциплине «Моделирование природных процессов» включает также самостоятельное выполнение двух практических заданий. Перечень и порядок выполнения практических работ приводится ниже.

Практическая работа № 1 **«Разработка численной модели распространения** **длинной волны в канале переменного сечения»**

Целью выполнения практического задания является получения навыков и компетенций по использованию метода численного моделирования для решения практических задач, связанных с трансформацией длинных волн при их выходе на мелководье. Выполнение практического задания включает:

- физическую формулировку задачи и планирование численного эксперимента;
- математическую постановку задачи, включая формулировку граничных условий;
- конечно-разностную аппроксимацию уравнений и граничных условий, разработку алгоритма расчета;
- программную реализацию численной модели;
- проведение численных экспериментов;
- получение результатов и их анализ, формулирование выводов.

При выполнении практической работы обучающийся самостоятельно планирует численный эксперимент, определяет способ решения поставленной задачи на основе изучения различных альтернативных вариантов решения задачи. Такой подход должен способствовать развитию требуемых компетенций.

Практическая работа выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, направленным на решение конкретной задачи, связанной с оценкой различных факторов трансформации длинных волн в прибрежной зоне. Перечень возможных исходных данных и заданий приведен в приложении 4. Вариант для выполнения практического задания выбирается обучающимся самостоятельно.

Результаты выполнения практического задания оформляются в виде отчета о работе, который должен включать:

- физико-математическую постановку задачи и ее конечно-разностное представление (сетка, аппроксимация уравнений и граничных условий);
- программу расчета (программный код);
- результаты численных экспериментов, представленные в виде графического материала;
- анализ результатов численных экспериментов и выводы.

В качестве литературы для выполнения практического задания № 1 рекомендуется использовать «Практикум по динамике океана» (под ред. А.В. Некрасова, Е.Н. Пелиновского), включенный в общий список основной литературы. Основные рекомендации по выполнению работы, включая некоторые сведения из теории разностных схем, представлены в Практикуме на с. 125–134 (Лабораторная работа № 1).

Практическая работа № 2

«Оценка затопления сухого берега при выходе волны цунами на сухой берег»

Целью работы является оценка на основе линейной теории наката величины вертикального заплеска, вызванного выходом волны цунами на сухой берег при различных уклонах берега и параметрах подходящей волны. Основные выводы линейной теории наката представлены на рис. 1. Теоретическое обоснование выводов линейной теории наката представлено в «Практикуме по динамике океана» (под ред. А.В. Некрасова, Е.Н. Пелиновского), с. 121–124. В ходе выполнения практической работы необходимо построить зависимость величины вертикального заплеска от внешних параметров.

Исходными данными для выполнения практической работы являются приведенные в таблицах (см. стр. 9) характеристики модельной морфометрии. При задании исходной морфометрии приняты следующие обозначения: L_0 – расстояние от граничной точки до первоначального уреза воды; h_0 – глубина на границе области.

Период волны (T_0) в обоих случаях принять равным 20 мин., высоту волны (H_0) – 1 м. Номер варианта практического задания выбрать с учетом номера зачетной книжки. Нечетный номер – вариант 1, четный – вариант 2.

Результаты выполнения практического задания оформляются в виде отчета о работе, который должен включать:

Вариант 1

L_0 (км)	h_0 (м)
5	10
5	15
5	20
5	25
5	30

Вариант 2

L_0 (км)	h_0 (м)
1	30
2	30
3	30
4	30
5	30
6	30
7	30

- краткое изложение линейной теории наката длинных волн на сухой берег;
- описание исходных данных, использованных при расчетах (морфометрия и характеристики подходящей волны);
- результаты расчетов, в виде графика зависимости величины вертикального заплеска от уклона дна;
- анализ и количественная оценка ограничений (пределов использования линейной теории).

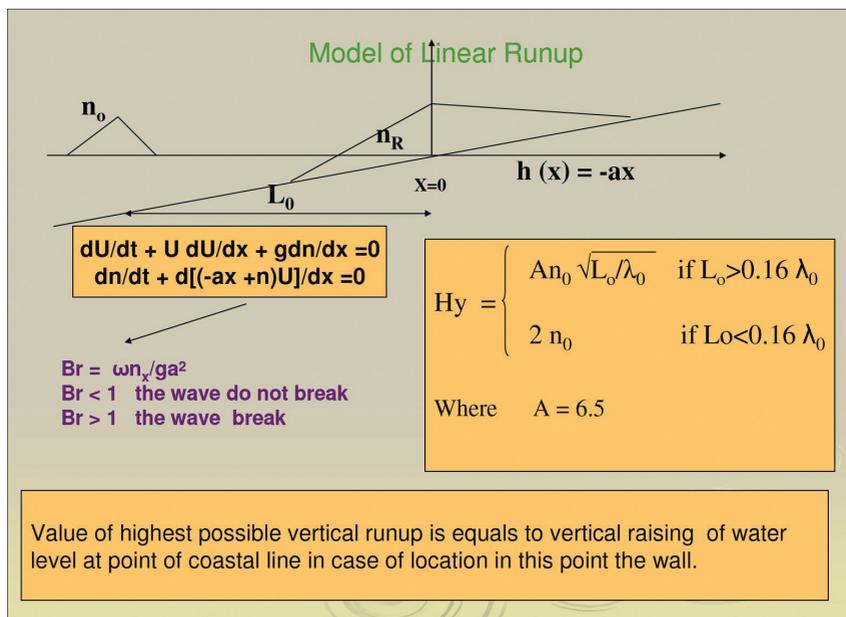


Рис. 1. Основные положения линейной теории наката волны на сухой берег

Контрольная работа предоставляется в начале сессии, может быть возвращена на доработку и должна быть завершена до экзамена.

Работа студента по выполнению контрольной работы оценивается по двухбалльной системе: зачтено / не зачтено:

Критерии оценивания	Оценка
Цель контрольной работы не достигнута, ответы на вопросы содержат отрывочные сведения, изложение материала носит несистематизированный характер, фрагментарные знания не позволяют сформировать общую картину знаний.	не зачтено
Цель контрольной работы достигнута, ответы полные, излагаемый материал носит систематизированный характер	зачтено

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Примерный перечень экзаменационных вопросов приведен в приложении 3.

Шкала оценивания экзамена: четырехбалльная

Критерии оценивания	Оценка
Тема не раскрыта, ответ на один из вопросов отсутствует.	неудовлетворительно
Тема раскрыта не полностью, ответы на наводящие вопросы позволяют раскрыть тему полностью.	удовлетворительно
Тема экзаменационных вопросов раскрыта полностью, ответы на дополнительные вопросы не полные, имеет место нечеткость формулировок.	хорошо
Тема раскрыта полностью, ответы на дополнительные вопросы отражают понимание роли и места обсуждаемой проблемы в системе КУПЗ	отлично

Приложения

Приложение 1. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Практикум по динамике океана / под ред. А.В. Некрасова, Е.Н. Пелиновского. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
2. Волны в пограничных областях океана / под ред. В.В. Ефимова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 250 с.
3. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. – Т. 1. – М.: Мир, 1986. – 396 с.

4. Смирнов Г.Н. Океанология: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 407 с.

б) дополнительная литература:

1. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. – Т. 1 / пер. с англ. – М.: Мир, 1984.

2. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. – Т. 2 / пер. с англ. – М.: Мир, 1984.

3. Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане: в 2 ч. / пер. с англ. – М.: Мир, 1981.

4. Марчук Ан. Г., Чубаров Л.Б., Шокин Ю.И. Численное моделирование волн цунами. – Новосибирск: Наука, 1983. – 175 с.

в) программное обеспечение:

1. Операционная система Windows 7–10.

2. Пакет прикладных программ Microsoft Office.

г) Интернет-ресурсы:

1. Кейс стадии “Long wave theory”, авторы Альфредо Искуиердо, Н. Плинк. – Режим доступа: http://eu-comet2.rshu.ru/outputs/coaststudy/index_rus.htm.

2. Кейс стадии “Management of Risks Related to Long Wave Impact and Oil Spills”, автор Н. Плинк. – Режим доступа: http://eucomet2.rshu.ru/outputs/coaststudy/index_rus.htm.

д) профессиональные базы данных:

1. Электронно-библиотечная система eLibrary (Договор № SU-18-12/2017-1 с ООО «РУНЭБ» от 18 декабря 2017 года).

2. Базы данных Web of Science и данных Scopus (до 31.12.2018).

Приложение 2. Содержание разделов дисциплины

1. Основные факторы трансформации длинных волн при их выходе на мелководье.

Уравнение бегущей волны. Прогрессивные и стоячие волны. Общие волновые свойства. Фазовая и групповая скорости. Глубокое и мелкое море. Рефракция и ее роль в формировании волнового режима в прибрежной зоне. Лучевая теория и построение рефракционных диаграмм. Отражение. Резонансные эффекты. Эффект Грина. Схема цунамирайонирования, как инструмент управления рисками.

2. Шельф как топографическая пограничная область океана.

Гравитационные и градиентно-вихревые волны. Роль вращения Земли в формировании волновых процессов. Баротропный и бароклинный радиус деформации Россби. Дисперсионное соотношение

волн с учетом вращения. Короткие и длинные волны Пуанкаре. Соотношение фазовых и групповых скоростей, кинетической и потенциальной энергии для коротких и длинных волн Пуанкаре. Понятие о пограничных областях Мирового океана. Топографическая, фронтальная и экваториальная пограничные области. Принципы их выделения. Механизмы топографического захвата волновой энергии. Теория баротропных волн у прямолинейного берега. Захваченные и излученные волны. Обобщенная дисперсионная диаграмма и ее анализ. Свойства краевых и шельфовых волн

3. Роль волновых процессов в формировании морфометрических характеристик прибрежной зоны.

Основные морфометрические элементы прибрежной зоны. Типы волнового воздействия. Статистическое описание ветрового волнения. Режимные характеристики ветрового волнения и их использование для расчетов потока наносов. Зона волнового обрушения. Зона прибоя. Понятие критической глубины. Поперечный поток наносов. Нейтральная линия. Профиль равновесия. Волновая составляющая вдольберегового потока наносов. Особенности формирования береговой зоны в приливных морях.

4. Основы гидродинамического моделирования волновых процессов.

Уравнения теории мелкой воды. Формулирование длинноволновой модели. Типы граничных условий. Условия непротекания и излучения. Вариационное граничное условие подвижной стенки. Вывод неоднородного граничного условия для жидкого контура. Пример задания начальных условий с учетом подвижки дна (моделирование цунами). Примеры конечно-разностных схем для численного моделирования линейных волн. Понятие об устойчивости и сходимости.

5. Проблема затопления сухого берега.

Математическая постановка волновой задачи. Накат длинных волн на сухой берег. Критерий обрушения волны и его физический смысл. Линейная теория наката волн на сухой берег. Особенности численного моделирования наката волн. Управление рисками экстремальных подъемов уровня. Зонирование береговой зоны.

Приложение 3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

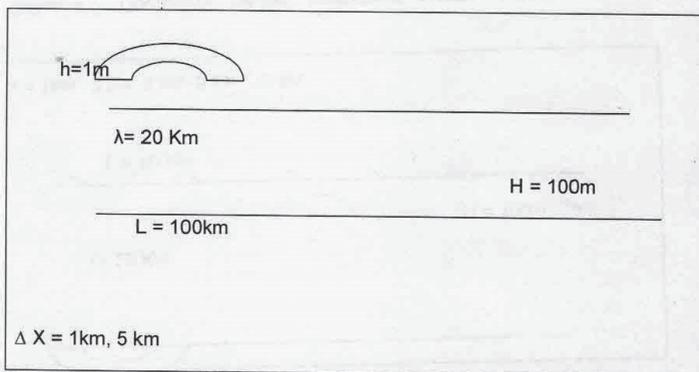
1. Общие волновые свойства (фазовая и групповая скорости, дисперсия).
2. Понятие о пограничных областях океана. Оценка ширины пограничной области геострофического захвата (на примере волны Кельвина).
3. Роль вращения Земли на формирование волновых движений в океане. Число Россби, радиус деформации Россби.
4. Волны Пуанкаре и их дисперсионное соотношение.
5. Короткие и длинные волны Пуанкаре и их свойства (отношение фазовой и групповой скорости, потенциальной и кинетической энергии).
6. Теория захваченных баротропных волн у прямолинейного берега.
7. Обобщенная дисперсионная кривая. Структурный анализ приливных колебаний с учетом дисперсионных свойств шельфа.
8. Влияние нелинейности на трансформацию волн вблизи берега. Волны Стокса.
9. Общая теория поперечных перемещений наносов. Формирование равновесного профиля и его связь с наклоном дна и крупностью донных осадков; Продольное перемещение наносов.
10. Общие представления о литодинамических процессах в прибрежной зоне (морфометрические формы, происхождение и характер транспорта наносов).
11. Моделирование длинных волн в канале переменного сечения (математическая формулировка и численная реализация).
12. Линейная теория наката волн на сухой берег. Критерий обрушения при подходе волны к берегу.

Приложение 4. Варианты задания к практической работе № 1



Задание Построить график изменения высоты волны в зависимости от величины пространственного шага (шаг по времени взять постоянным) в трех точках $L=20$, $L=50 \text{ km}$ и $L = 100\text{km}$

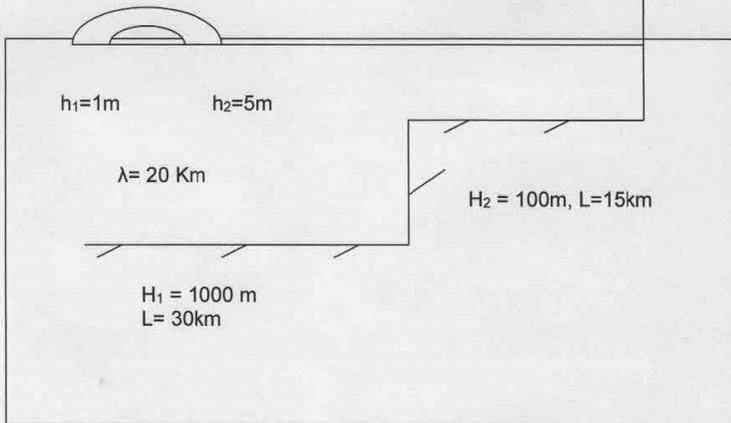
2. Исследование вычислительной дисперсии



Задание Построить график изменения высоты волны в зависимости от пройденного расстояния (в точках кратных λ) для двух величин пространственного шага (шаг по времени взять постоянным)



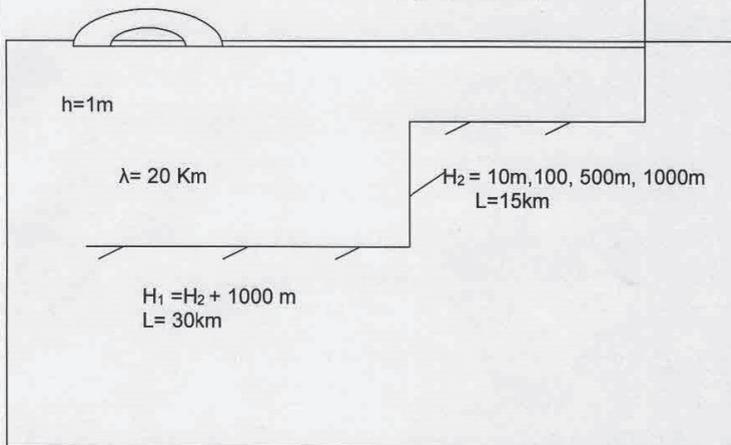
3. Оценка коэффициента отражения



Задание. Оценить коэффициент отражения исходя из рассчитанных колебаний уровня у берега

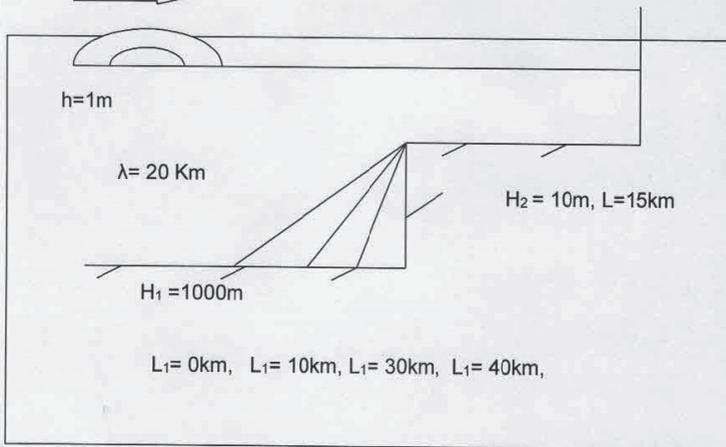


4. Оценка коэффициента отражения



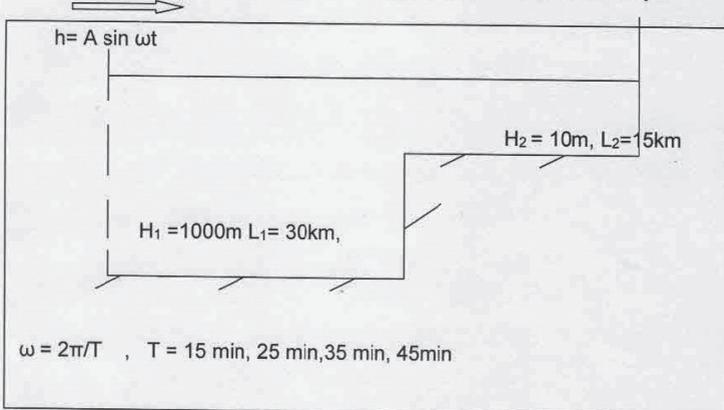
Задание. Оценить коэффициент отражения по высоте отраженной волны и его зависимость от средней глубины расположения шельфового склона.

5. Оценка коэффициента отражения



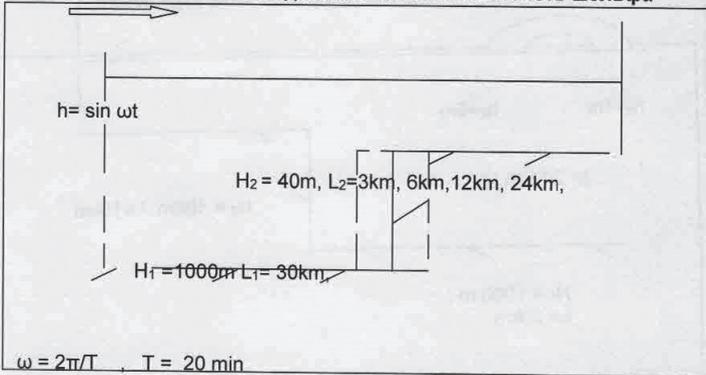
Задание. Оценить коэффициент отражения по высоте отраженной волны и исследовать интенсивность отражения в зависимости от уклона дна континентального склона.

6. Исследование частотных свойств шельфа



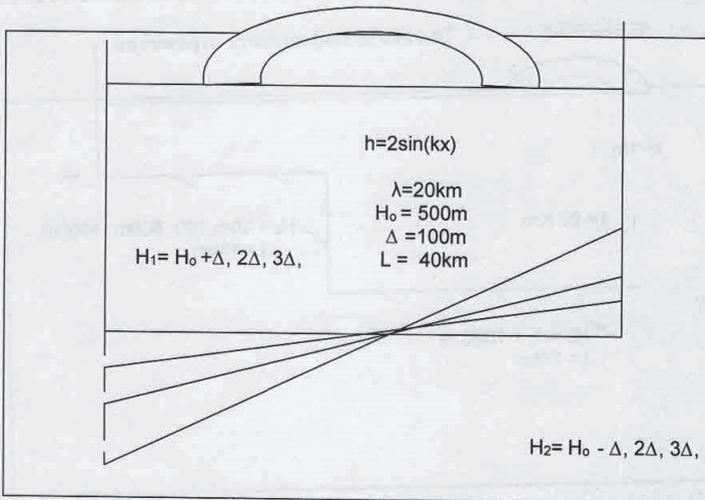
Задание. Оценить предельное усиление цуга волн при различных частотах (периодах) подходящей волны.

7. Исследование частотных свойств шельфа



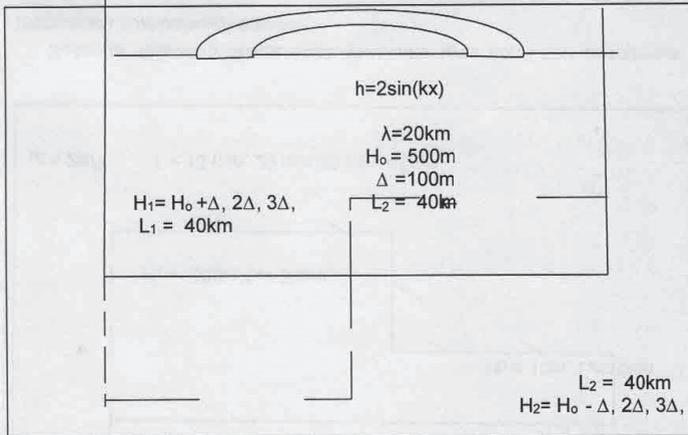
Задание. Оценить предельное усиление цуга волн при различной длине шельфа.

8. Исследование распада начального возмущения



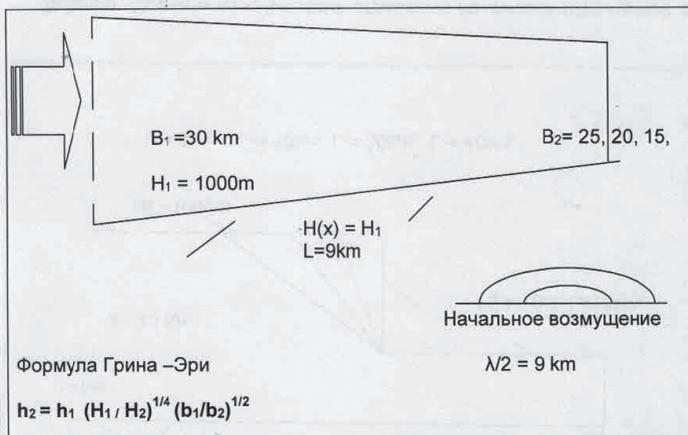
Задание. Исследовать процесс распада начального статического возмущения уровня при различных уклонах дна.

9. Исследование распада начального возмущения



Задание. Исследовать процесс распада начального статического возмущения уровня при различных перепадах глубины в зоне возмущения.

10. Исследование совместного влияния эффекта Грина и рефракции.



Задание. Оценить возможность использования формулы Грина –Эри для расчета подъемов уровня у берега

Содержание

1. Общие сведения о дисциплине	3
1.1. Цели освоения дисциплины	3
1.2. Структура дисциплины «Моделирование природных процессов»	4
2. Методические указания по организации работы	5
2.1. Общие сведения	5
2.2. Выполнение контрольной работы	6
Приложения	10
Приложение 1. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.	10
Приложение 2. Содержание разделов дисциплины	11
Приложение 3. Примерный перечень экзаменационных вопросов.	13
Приложение 4. Варианты задания к практической работе № 1.	14

Учебное издание

Кузнецова Марина Николаевна, магистр, ассистент
Кафедры прикладной океанологии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ
Плиник Николай Леонидович, канд. геогр. наук, доцент

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по дисциплине «Моделирование природных процессов»

Начальник РИО А.В. Ляхтейнен
Редактор Л.Ю. Кладова
Верстка М.В. Ивановой

Подписано в печать 12.08.2020. Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,25. Тираж 15 экз. Заказ №960.
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79.
