



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ИНСТИТУТ МИРОВОГО ОКЕАНА**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

П.С. Петров

(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДА

Ю»

Директор Департамента наук о Земле

(подпись)

И.А.Лисина

(Ф.И.О.)



« 18 » января 2022 г.

« 18 » января 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Математическое моделирование океана**  
**Направление подготовки 05.04.05 Прикладная гидрометеорология**  
**Программа магистратуры «Цифровые технологии и средства мониторинга и освоения Мирово-**  
**го океана (совместно с ТОИ ДВО РАН)»**  
**Форма подготовки очная**

курс 2 семестр 3  
лекции 36 час.  
практические занятия 00 час.  
лабораторные работы 72 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 108 час.  
самостоятельная работа 108 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 00 час.  
контрольные работы (количество) 00 час.  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет 3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 05.04.05 Прикладная гидрометеорология, утвержденного приказом Минобрнауки России от 07 августа 2020 г. № 888.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента наук о Земле, протокол №6 от «18» января 2022 г.

Директор Департамента наук о Земле доцент, к.г.н. Лисина И.А.

Составители: к. ф.-м. н., доцент Института математики и компьютерных технологий Файман П.А.

Владивосток  
2022

## Оборотная сторона титульного листа РПД

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании** Департамента наук о Земле и утверждена на заседании наук о Земле, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента

\_\_\_\_\_ (подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании** Департамента наук о Земле и утверждена на заседании наук о Земле, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента

\_\_\_\_\_ (подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

**Цель** дисциплины – изучение методов, основных приемов и методик разработки и применение на практике методов решения на ЭВМ задач математического моделирования гидродинамических процессов, происходящих в океане с использованием современных языков программирования и систем компьютерной математики.

**Задачи дисциплины:**

1. обучить студентов основным методам и теоретическим основам разработки моделей океана и их решения с использованием методов численного анализа;
2. привить студентам устойчивые навыки математического моделирования с использованием ЭВМ;
3. дать опыт проведения вычислительных экспериментов.
4. развить умение анализа и практической интерпретации полученных математических результатов;
5. выработать умения и навыки самостоятельного изучения специальной литературы, пользования справочными материалами и пособиями, необходимыми для решения практических задач.

Результаты обучения по каждой дисциплине (модулю) и практике должны быть соотнесены с установленными в ОПОП индикаторами достижения компетенций.

Совокупность запланированных результатов обучения по дисциплинам (модулям) должна обеспечивать формирование у выпускника всех компетенций, установленных ОПОП.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

| <b>Наименование категории (группы) профессиональных компетенций</b> | <b>Код и наименование профессиональной компетенции выпускника</b> | <b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b> |
|---|---|--|
|---|---|--|

|   |  |   |
|---|--|---|
| Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, проводить их качественно-количественный анализ | ПК-2. Способен формировать математические модели природных процессов в океане, анализировать динамику процессов с использованием модели, прогнозировать развитие процессов                           | <p>ПК-2.1 Умеет использовать основные физические законы и теории для вывода уравнений, описывающих динамику различных процессов в океане и атмосфере.</p> <p>ПК-2.2 Владеет основными математическими методами решения уравнений, описывающих динамику различных процессов в океане и атмосфере</p> <p>ПК-2.3 Знает методы оценки точности и качественного анализа предсказаний динамики процессов в океане и атмосфере с использованием математических моделей</p> |
|   | ПК-4 Способен планировать, организовывать и выполнять отбор и анализ наборов данных различного характера (проб, сигналов, физических полей и др), делать комплексные выводы на основе такого анализа | <p>ПК-4.2 Выполняет анализ результатов экспериментальных исследований, делает выводы на основе этого анализа, сопоставляет результаты исследований и математического моделирования</p> <p>ПК-4.3 Дополняет данные экспериментальных исследований с помощью математических моделей исследуемых процессов, оценивает пространственно-временные распределения параметров морской среды и атмосферы</p>   |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Наименование показателя оценивания (результата обучения)   |
|---|--|
| ПК-2.1 Умеет использовать основные физические законы и теории для вывода уравнений, описывающих динамику различных процессов в океане и атмосфере | Знать: основные физические законы и теории, описывающие динамику процессов в океане и атмосфере  |
|   | Уметь: соотносить физические законы и теории с конкретным исследуемым процессом или явлением   |
|   | Владеть: навыками применения физических законов и теорий к количественному описанию конкретных явлений или процессов                     |
| ПК-2.2 Владеет основными математическими методами решения уравнений, описывающих динамику различных процессов в океане и атмосфере                | Знать: существующие математические методы для решения уравнений динамики океана и атмосферы  |
|   | Уметь: вычислять конкретные решения уравнений динамики океана и атмосферы для решения практической задачи                                |
|   | Владеть: навыками прогнозирования и анализа динамики процессов и явлений в океана и атмосфере с использованием их математических моделей |
| ПК-2.3 Знает методы оценки точности и качественного анализа предсказаний  | Знать: границы применимости математических моделей, порядок обеспечиваемой ими точности  |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Наименование показателя оценивания (результата обучения)  |
|---|---|
| динамики процессов в океане и атмосфере с использованием математических моделей   | Уметь: оценивать точность расчетных значений параметров океана и атмосферы  |
|   | Владеть: способностью дать качественную и количественную характеристику достоверности результатов математического моделирования в конкретной задаче |
| ПК-4.2 Выполняет анализ результатов экспериментальных исследований, делает выводы на основе этого анализа, сопоставляет результаты исследований и математического моделирования                       | Знать: методы анализа и сопоставления экспериментальных данных  |
|   | Уметь: выбирать адекватную эксперименту математическую модель и выполнять сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными      |
|   | Владеть: навыками расширения массива данных натуральных измерений и наблюдений с использованием математических моделей                              |
| ПК-4.3 Дополняет данные экспериментальных исследований с помощью математических моделей исследуемых процессов, оценивает пространственно-временные распределения параметров морской среды и атмосферы | Знать: принципы ассимиляции данных натуральных измерений в математические модели  |
|   | Уметь: использовать отдельные измерения в качестве опорных при выполнении математического моделирования   |
|   | Владеть: навыками экстраполяции данных прямых и косвенных измерений с использованием математического моделирования                                  |

### Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зачётных единиц (216 академических часов). (1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам). Форма обучения – очная.

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине могут являться:

| Обозначение | Виды учебных занятий и работы обучающегося  |
|-------------|---|
| Лек         | Лекции  |
| Лаб         | Лабораторные работы   |
| СР          | Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения  |
| Контроль    | Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации |

### Структура дисциплины

| № | Наименование раздела дисциплины     | Семестр | Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося |     |    |    |     |          | Формы промежуточной аттестации |
|---|-------------------------------------|---------|---|-----|----|----|-----|----------|--------------------------------|
|   |                                     |         | Лек   | Лаб | Пр | ОК | СР  | Контроль |                                |
| 1 | Математическое моделирование океана | 1       | 36  | 72  | 0  | 0  | 108 | 0        | Зачет                          |
|   | Итого:                              |         | 36  | 72  | 0  | 0  | 108 | 0        |                                |

### Структура и содержание теоретической части курса Лекционный материал (36 часа)

#### Тема 1. Вводная часть (4 часа).

Знакомство с математическим пакетом МатЛаб и Октав. Основы программирование на языке МатЛаб. Краткое введение в методы вычислений.

**Тема 2. Основы механики жидкости (4 часа).**

Понятия векторной и скалярной величин. Типы движения. Понятие силы. Основы законов сохранения. Силы тяжести и плавучести. Сила давления. Сила Кориолиса. Турбулентность. Уравнение Навье-Стокса. Масштаб.

**Тема 3. Моделирование длинноволновых процессов в канале (4 часа).**

Длинные гравитационные волны на поверхности. Многослойная модель процессов на мелководье.

**Тема 4. Моделирование двумерных процессов на мелководье (4 часа).**

Длинные волны в мелких озерах. Ветровые течения на мелководье. Лагранжевое моделирование.

**Тема 5. Эффекты вращения (4 часа).**

Система полных уравнений мелкой воды. Волны Кельвина на шельфе. Геоострофический поток. Баротропная неустойчивость. Ветровые течения в океане. Концепция пониженной гравитации. Геоострофическое приближение. Бароклинная неустойчивость. Плотностные течения

**Тема 6 Одномерные модели слоя Экмана (4 часа).**

Поверхностный слой Экмана. Придонный слой Экмана

**Тема 7. Основы негидростатического моделирования (4 часа).**

Уровневые модели. Слоистые модели. Поверхностные гравитационные волны. Негидростатическое решение. Учет неравномерной плотности. Внутренние волны.

Механическая турбулентность. Волны Ли и число Фруда. Конвекция в океане. Двойная диффузия. Криволинейная система координат. Эстуарии.

**Тема 8. 2.5D моделирование вертикального среза (4 часа).**

Основы. Прибрежный апвеллинг

**Тема 9. 3D Моделирование (4 часа).**

Основы. Численные методы. Термохалинная циркуляция. Экваториальный барьер. Экваториальные волны. Эль-Ниньо. Граничные условия.

**Структура и содержание практической части курса  
Лабораторные работы (72 часа)**

Лабораторная работа №1. Ошибки вычислений (2 часа).

Лабораторная работа №2. Интерференция волн (2 часа).

Лабораторная работа №3. Колебания (2 часа).

- Лабораторная работа №4. Сила Кориолиса (2 часа).
- Лабораторная работа №5. Длинные волны в канале (2 часа).
- Лабораторная работа №6. Моделирование наводнений (2 часа).
- Лабораторная работа №7. Длинные волны в слоистой жидкости (2 часа).
- Лабораторная работа №8. Длинные волны в мелких озерах (2 часа).
- Лабораторная работа №9. Рефракция волн (2 часа).
- Лабораторная работа №10. Ветровые течения в озерах (2 часа).
- Лабораторная работа №11. Эйлерова адвекция (2 часа).
- Лабораторная работа №12. Траектория движения (2 часа).
- Лабораторная работа №13. Учет нелинейных слагаемых (2 часа).
- Лабораторная работа №14. Влияние островов (2 часа).
- Лабораторная работа №15. Волны Кельвина на шельфе (2 часа).
- Лабораторная работа №16. Влияние топографии (2 часа).
- Лабораторная работа №17. Баротропная неустойчивость (2 часа).
- Лабораторная работа №18. Ветровые течения (2 часа).
- Лабораторная работа №19. Бароклинная компенсация (2 часа).
- Лабораторная работа №20. Геострофическое приближение (2 часа).
- Лабораторная работа №21. Бароклинная неустойчивость (2 часа).
- Лабораторная работа №22. Поверхностный слой Экмана (2 часа).
- Лабораторная работа №23. Придонный слой Экмана (2 часа).
- Лабораторная работа №24. Короткие гравитационные волны на поверхности (2 часа).
- Лабораторная работа №25. Плотностные течения (2 часа).
- Лабораторная работа №26. Внутренние волны (2 часа).
- Лабораторная работа №27. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца (2 часа).
- Лабораторная работа №28. Волны Ли (1 часа).
- Лабораторная работа №29. Свободная конвекция (1 часа).
- Лабораторная работа №30. Конвективное приспособление (1 часа).
- Лабораторная работа №31. Склоновая конвекция вблизи берега (1 часа).
- Лабораторная работа №32. Диффузионная неустойчивость (1 часа).
- Лабораторная работа №33. Стратифицированный поток на склоне (1 часа).
- Лабораторная работа №34. Положительные эстуарии (1 часа).
- Лабораторная работа №35. Обратные эстуарии (1 часа).
- Лабораторная работа №36. Геострофическое приближение (1 часа).
- Лабораторная работа №37. Фронты приливного перемешивания (1 часа).
- Лабораторная работа №38. Прибрежный апвеллинг и даунвеллинг (1 часа).
- Лабораторная работа №39. Накачка Экмана (1 часа).
- Лабораторная работа №40. Геострофическое приближение в 3D моделировании (1 часа).
- Лабораторная работа №41. Формирование вихрей в проливах (1 часа).
- Лабораторная работа №42. Водообмен через проливы (1 часа).
- Лабораторная работа №43. Прибрежный апвеллинг в 3D моделировании (1 часа).
- Лабораторная работа №44. Циркуляция на абиссали (1 часа).

Лабораторная работа №45. Моделирование Эль-Ниньо (1 час).

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п  | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы                              | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|--------|-----------------------|---|---------------------------------------|----------------|
| 1      | 1-2 неделя семестра   | Краткое введение в методы вычислений и программирование | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 2      | 3-4 неделя семестра   | Основы механики жидкости                                | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 3      | 5-6 неделя семестра   | Моделирование длинноволновых процессов в канале         | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 4      | 7-8 неделя семестра   | Моделирование двумерных процессов на мелководье         | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 5      | 9-10 неделя семестра  | Эффекты вращения  | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 6      | 11-12 неделя семестра | Одномерные модели слоя Экмана                           | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 7      | 13-14 неделя семестра | Основы негидростатического моделирования                | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 8      | 15-16 неделя семестра | 2.5D моделирование вертикального разреза                | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| 9      | 17-18 неделя семестра | 3D Моделирование  | 12 часов                              | Сдача ИДЗ      |
| Итого: |                       |   | 108 часов                             |                |

#### Рекомендации по самостоятельной работе студентов

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить

внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратите внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

#### *Работа с литературой.*

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при написании эссе рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Как правило, здесь требуется повторное чтение, для того чтобы понять написанное. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы, так как они предназначены для пояснений и помощи. Анализируйте рисунки (карты, диаграммы, графики), старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях, энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к зачету.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей Вас темой.

Тезисы – это основные положения научного труда, статьи или другого

произведения, а возможно, и устного выступления; они несут в себе больший объем информации, нежели план. Простые тезисы лаконичны по форме; сложные – помимо главной авторской мысли содержат краткое ее обоснование и доказательства, придающие тезисам более весомый и убедительный характер. Тезисы прочитанного позволяют глубже раскрыть его содержание; обучаясь излагать суть прочитанного в тезисной форме, вы сумеете выделять из множества мыслей авторов самые главные и ценные и делать обобщения.

Конспект – это способ самостоятельно изложить содержание книги или статьи в логической последовательности. Конспектируя какой-либо источник, надо стремиться к тому, чтобы немногими словами сказать о многом. В тексте конспекта желательно поместить не только выводы или положения, но и их аргументированные доказательства (факты, цифры, цитаты).

Составляя тезисы или конспект, всегда делайте ссылки на страницы, с которых вы взяли конспектируемое положение или факт, – это поможет вам сократить время на поиск нужного места в книге, если возникает потребность глубже разобраться с излагаемым вопросом или что-то уточнить при написании письменных работ.

### **Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.**

*Индивидуальное домашнее задание.* От обучающегося требуется написать программный код на языке программирования MatLab. При этом требуется:

1. Свободно ориентироваться в поставленной теме.
2. Знать основные определения, формулировки теорем, умение их доказывать. Умение решать примеры и задачи на поставленную тему. Умение рассказать, доложить поставленный вопрос.

Продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

#### Критерии оценки.

Используется зачетная система.

| <b>Оценка</b>       | <b>Требования</b>  |
|---------------------|--|
| <b>«зачтено»</b>    | Программный код написан правильно. Недочеты если есть – несущественные |
| <b>«не зачтено»</b> | Программный код написан неправильно.                                   |

## Контроль достижения целей курса дисциплины

| Код индикатора достижения компетенции   | Результаты обучения   | Оценочные средства – наименование |                          |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------|
|   |   | текущий контроль                  | промежуточная аттестация |
| ПК-2.1 Умеет использовать основные физические законы и теории для вывода уравнений, описывающих динамику различных процессов в океане и атмосфере   | Знать: основные физические законы и теории, описывающие динамику процессов в океане и атмосфере   | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     | Зачет                    |
|   | Уметь: соотносить физические законы и теории с конкретным исследуемым процессом или явлением  | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
|   | Владеть: навыками применения физических законов и теорий к количественному описанию конкретных явлений или процессов                                | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
| ПК-2.2 Владеет основными математическими методами решения уравнений, описывающих динамику различных процессов в океане и атмосфере  | Знать: существующие математические методы для решения уравнений динамики океана и атмосферы   | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     | Зачет                    |
|   | Уметь: вычислять конкретные решения уравнений динамики океана и атмосферы для решения практической задачи   | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
|   | Владеть: навыками прогнозирования и анализа динамики процессов и явлений в океане и атмосфере с использованием их математических моделей            | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
| ПК-2.3 Знает методы оценки точности и качественного анализа предсказаний динамики процессов в океане и атмосфере с использованием математических моделей  | Знать: границы применимости математических моделей, порядок обеспечиваемой ими точности   | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     | Зачет                    |
|   | Уметь: оценивать точность расчетных значений параметров океана и атмосферы  | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
|   | Владеть: способностью дать качественную и количественную характеристику достоверности результатов математического моделирования в конкретной задаче | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
| ПК-4.2 Выполняет анализ результатов экспериментальных исследований, делает выводы на основе этого анализа, сопоставляет результаты исследований и математического моделирования                       | Знать: методы анализа и сопоставления экспериментальных данных  | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     | Зачет                    |
|   | Уметь: выбирать адекватную эксперименту математическую модель и выполнять сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными      | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
|   | Владеть: навыками расширения массива данных натурных измерений и наблюдений с использованием математических моделей                                 | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
| ПК-4.3 Дополняет данные экспериментальных исследований с помощью математических моделей исследуемых процессов, оценивает пространственно-временные распределения параметров морской среды и атмосферы | Знать: принципы ассимиляции данных натурных измерений в математические модели   | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     | Зачет                    |
|   | Уметь: использовать отдельные измерения в качестве опорных при выполнении математического моделирования   | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |
|   | Владеть: навыками экстраполяции данных прямых и косвенных измерений с использованием математического моделирования                                  | УО-3; ПР-1; ПР-2; ПР-7; ПР-11     |                          |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в VIII.

### **Список учебной литературы и информационно методическое обеспечение дисциплины**

#### **Основная литература**

1. Доронин Ю. П. Физика океана: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению "Гидрометеорология" и специальности "Океанология". Санкт-Петербург: РГГМУ. 2000. 339 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-12534&theme=FEFU>
2. Гилл А. Динамика атмосферы и океана: В 2-х т. Москва: Мир. 1986.  
<https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:52683&theme=FEFU>
3. Кочергин В. П. Теория и методы расчета океанических течений. Академия наук СССР, Сибирское отделение, Вычислительный центр. Москва: Наука, 1978. 127 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:65209&theme=FEFU>
4. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика: В 2-х т. Москва: Наука. 1965-1967. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:665990&theme=FEFU>
5. Нешиба С. Океанология. Современные представления о жидкой оболочке Земли. Москва: Мир. 1991. 413 с.  
<https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:31420&theme=FEFU>
6. Педлоски Д. Геофизическая гидродинамика: В 2-х т. Москва: Мир. 1984.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:49411&theme=FEFU>
7. Роуч Д. Вычислительная гидродинамика. Москва: Мир. 1980. 616 с.  
<https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:684089&theme=FEFU>
8. Смирнов Н.П., Вайновский П.А., Титов Ю.Э. Статистический диагноз и прогноз океанологических процессов. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. 1992. 197 с. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:37810&theme=FEFU>

#### **Дополнительная литература**

1. Костомаров Д. П., Фаворский А.П. Вводные лекции по численным методам. Москва: Логос, 2004.-184 с.
2. Волков Е. А. Численные методы. – СПб: Лань, 2007.-256 с.

3. Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): Учебное пособие для вузов. М.: Высшая Школа, 2001 - 381 с.
4. Вержбицкий В.М. Численные методы (линейная алгебра и нелинейные уравнения): Учебное пособие для вузов. М.: Высшая Школа, 2000 – 153 с.
5. Исаков В. Н. Элементы численных методов. – М.: Академия, 2003.-192с.
6. Бахвалов Н.С., Лапин А.В., Чижонков Е.В. Численные методы в задачах и упражнениях М.: Высшая школа, 2000. - 190 с.
7. Н.С.Бахвалов, А.А.Корнев, Е.В.Чижонков. Численные методы. Решения задач и упражнения. М., Дрофа, 2009.
8. Численные методы: сб. задач под ред. У. Г. Пирумов. – Москва: Дрофа, 2007.-144 с.
9. Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы.- Новосибирск: Наука, 1983. - 215 с.
10. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980 г.
11. Берков Н.А., Елисеева Н.Н. Математический практикум с применением пакета Mathcad: Учебное пособие. - М: МГИУ, 2006. - 135 с.  
<http://window.edu.ru/resource/756/77756>
12. Кузнецов, Г.В. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 172 с.  
<http://window.edu.ru/resource/203/75203>
13. Фаддев М.А., Марков К.А. Численные методы: Учебное пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 158 с.  
<http://window.edu.ru/resource/041/74041>
14. Корнюшин П.Н. Численные методы: Учебное пособие. - Владивосток: ТИ-ДОТ ДВГУ, 2002. - 104 с. <http://window.edu.ru/resource/958/40958>
15. Вычислительная математика. Часть первая: Учебное пособие для студентов дневного и заочного обучения технических и химико-технологических специальностей. - Ангарск: АГТА, 2003. - 82 с.  
<http://window.edu.ru/resource/091/62091>
16. Гладких О.Б., Прокуратова О.Н. Введение в численные методы: Учебно-методическое пособие. - Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2008. - 140 с.  
<http://window.edu.ru/resource/156/71156>
17. Охорзин В.А. Прикладная математика в системе Mathcad. Спб.: Лань, 2008 – 352 с.

18. Бедарев И.А., Белоусова О.Н., Федорова Н.Н. Численные методы решения инженерных задач в пакете MathCAD: учебное пособие. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2005. - 96 с. <http://window.edu.ru/resource/299/63299>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. [http://www.srcc.msu.su/num\\_anal/lib\\_na/libnal.htm/](http://www.srcc.msu.su/num_anal/lib_na/libnal.htm/) Библиотека Численного анализа НИВЦ МГУ:
2. <http://netlib.org/> Netlib Repository:
3. [http://www.numerical-recipes.com/nronline\\_switcher.html/](http://www.numerical-recipes.com/nronline_switcher.html/) Numerical Recipes Online
4. <http://www.gnu.org/software/gsl/> GSL GNU Scientific Library
5. <http://alglib.sources.ru/> Многоязыковая коллекция алгоритмов для решения проблем в области численного анализа и обработки данных
6. <http://www.hlib.org/hlib.html/>
7. <http://matlab.exponenta.ru/> – консультационный центр MatLab;
8. <http://www.akzh.ru/> Акустический журнал [Электронный ресурс] / М.: МАИК, ISSN PRINT: 0320-7919
9. [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7923](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=7923) Журнал "Океанология" [Электронный ресурс] : М.: МАИК, ISSN: 0030-1574
10. <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=10624> ПОДВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА [Электронный ресурс]: Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток, ISSN: 2409-4609

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение:

1. Microsoft Office (PowerPoint, Word и Visio).
2. Open Office.
3. Skype.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие информационно-справочные системы:

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.
2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань».
3. Электронная библиотека "Консультант студента".
4. Электронно-библиотечная система IPRbooks.

5. Информационная система "ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам".

6. Доступ к электронному заказу книг в библиотеке ДВФУ, доступ к нормативным документам ДВФУ, расписанию, рассылке писем.

Лекции проводятся с использованием проектора и мультимедийного комплекса для проведения лекций внутренней системы портала ДВФУ. Лабораторные занятия проводятся в специализированном компьютерном классе. Для составления документации используется текстовый процессор (LibreOffice или MicrosoftWord), набор базового программного обеспечения разработчика - системы программирования на языках C/C++, Java, системы MATLAB, MAPLE.

### **Методические указания по освоению дисциплины**

Дисциплина изучается в следующих организационных формах: лекционное занятие; лабораторное занятие; самостоятельное изучение теоретического материала; самостоятельное выполнение индивидуального проекта; индивидуальные и групповые консультации.

Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, их дополнение рекомендованной литературой, выполнение проекта, а также активная работа на лабораторных занятиях.

К прослушиванию лекции следует готовиться, для этого необходимо знать программу курса и рекомендованную литературу. Тогда в процессе лекции легче отделить главное от второстепенного, легче сориентироваться: что записать, что самостоятельно проработать, что является трудным для понимания, а что легко усвоить.

Контроль за выполнением самостоятельной работы студента производится в виде контроля каждого этапа работы, отраженного в документации и защиты проекта.

Студент должен планировать график самостоятельной работы по дисциплине и придерживаться его.

### **МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

#### **Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

|   |  |  |
|---|--|--|
| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего |
|---|--|--|

|   | для самостоятельной работы  | документа  |
|---|---|--|
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017.<br>Аудитория для самостоятельной работы  | Оборудование:<br>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт.<br>Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт.<br>Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.) | Windows, MS Office   |
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 502.<br>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации | Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30)<br>Оборудование:<br>ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт.<br>Доска аудиторная.   | Windows, MS Office, MS Teams   |
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, корпус L, ауд. L573  | 15 персональных компьютеров ExtremeDOUE 8500/500 GB/ DVD+RW, проектор мультимедийный Nec M230X, настенный экран;  | Visual Studio 2019, Eclipse, Anaconda, Система автоматического тестирования программ CATS/ |

Для освоения дисциплины требуется наличие проектора, аудиторная доска, компьютер.

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

### ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Для дисциплины «Математическое моделирование океана» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Доклад, сообщение (УО-3)

Письменные работы:

1. Тест (ПР-1)
2. Контрольная работа (ПР-2)
3. Конспект (ПР-7)
4. Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)

### **Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к зачёту.

Презентация / сообщение (УО-3) – продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

### **Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Тест (ПР-1) - система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Контрольная работа (ПР-2) - средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу

Конспект (ПР-7) - Продукт самостоятельной работы обучающегося, отражающий основные идеи заслушанной лекции, сообщения и т.д.

Разноуровневые задачи и задания (ПР-11) - различают задачи и задания:

а) репродуктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины;

б) реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей;

в) творческого уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Математическое моделирование океана» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачет (3-й, осенний семестр). Зачет по дисциплине включает ответы на 2 вопроса. Один из вопросов носит общий характер. Он направлен на раскрытие студентом знаний по «сквозным» вопросам теории методов вычислений. Второй вопрос является практическим заданием.

### **Методические указания по сдаче зачета**

Зачет принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять зачет в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачете, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на зачете посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено» или «не зачтено».

## Оценочные средства для промежуточной аттестации

### Вопросы и задачи к зачету

1. Назовите три естественных течения в океане.
2. Как геофизические потоки способствовали открытию Христофором Колумбом Нового Света и последующему исследованию восточного побережья Северной Америки? (Подумайте как о крупномасштабных ветрах, так и об основных океанских течениях.)
3. Морской бриз — это легкий ветерок, дующий с моря в результате разницы температур между сушей и морем. Поскольку эта разница температур меняется от дня к ночи, дневной морской бриз превращается в ночной бриз с суши. Если бы вы построили численную модель морского бриза, следует ли учитывать влияние вращения планет?
4. Можете ли вы придумать метод измерения скорости ветра и скорости океана с помощью прибора, в котором нет вращающихся компонентов? (Подсказка: подумайте об измеримых величинах, на значения которых влияет перевод.)
5. Японский поезд Синкансэн (скоростной поезд) мчится из Токио в Одзаку (оба примерно на  $35^\circ$  северной широты) со скоростью 185 км/ч. Думаете ли вы, что при проектировании поезда и путей инженерам приходилось беспокоиться о вращении Земли? (Подсказка: эффект Кориолиса вызывает наклонную силу, боковая составляющая которой может привести к наклону поезда вбок.)
6. Определить боковое отклонение пушечного ядра, выпущенного в Лондоне ( $51^\circ 31' N$ ) и летящего в течение 25 с со средней горизонтальной скоростью 120 м/с. Каким будет боковое отклонение в Мурманске ( $68^\circ 52'$  с.ш.) и Найроби ( $1^\circ 18'$  ю.ш.)?
7. На идеально гладком и лишенном трения хоккейном поле в Дартмутском колледже ( $43^\circ 38' N$ ) с какой скоростью должна двигаться шайба, чтобы совершить инерционный круг диаметром, равным ширине поля (26 м)?
8. Камень падает с моста высотой 300 м под углом  $35^\circ$  северной широты. В какую сторону света он отклоняется под действием вращения Земли? На каком расстоянии от вертикали падает камень? (пренебрегать сопротивлением воздуха.)
9. При  $t=0$  две частицы с одинаковой массой  $m$ , но противоположными электрическими зарядами  $q$  выходят из состояния покоя на расстоянии  $L$  друг от друга на вращающейся плоскости (постоянная скорость вращения  $\Omega=f/2$ ). Предполагая, как в GFD, что центробежная сила, вызванная вращением окружающей среды, внешне уравновешена, напишите уравнения движения двух ча-

стиц и сопутствующие начальные условия. Затем покажите, что центр масс (средняя точка между частицами) не движется, и напишите дифференциальное уравнение, определяющее изменение расстояния  $r(t)$  между двумя частицами. Возможно ли, что, как и в не вращающейся плоскости, электрическое притяжение между двумя частицами заставит их столкнуться ( $r=0$ )?

10. Лабораторный резервуар состоит из цилиндрического контейнера диаметром 30 см, заполненного в состоянии покоя 20 см пресной воды, а затем вращающегося со скоростью 30 об/мин. Какова разница в уровне воды между краем и центром после достижения состояния вращения твердого тела? Как эта разница соотносится с минимальной глубиной в центре?

11. В приближении Буссинеска и для пренебрежимо малой диффузии покажите, что для покоящегося океана плотность может быть функцией только глубины:  $\rho=\rho(z)$ . (Подсказка: состояние покоя характеризуется отсутствием движения и временных вариаций.)

12. Используя карту погоды в сегодняшнем выпуске вашей газеты, определите горизонтальную протяженность основных атмосферных явлений и найдите прогнозируемую скорость ветра. По этим числам оцените число Россби погодной картины. Какой вывод вы делаете о важности силы Кориолиса? (Подсказка: при переводе разницы широты и долготы в километры используйте средний радиус Земли, 6371 км.)

13. Зачем нам нужно знать распределение поверхностного давления при использовании гидростатического приближения?

14. Теория говорит нам, что в задаче чистой адвекции для температуры  $T$  должно быть наложено одно граничное условие на входе и ни одного на выходе, но при наличии диффузии граничное условие должно быть наложено на обоих концах. Что, по вашему мнению, произойдет на границе оттока, когда диффузия очень мала? Как бы вы измерили «малость» диффузии?

15. Каким был бы энергетический спектр  $E_k(k)$  в турбулентном потоке, когда все масштабы длины вносят одинаковый вклад в диссипацию? Реален ли этот спектр?

16. В 15-метровой прибрежной зоне плотность воды  $1032 \text{ кг/м}^3$ , горизонтальная скорость  $0.80 \text{ м/с}$ . Каковы число Рейнольдса и диаметр самых коротких вихрей? Примерно сколько ватт рассеивается на квадратный метр океана?

17. Если вам нужно смоделировать прибрежный океан из предыдущей задачи с помощью численной модели, включающей 20 узлов сетки по вертикали, какое значение будет разумным для вертикальной вихревой диффузии?

18. Предполагая сильно адвективную ситуацию (большое число Пекле), постройте двумерное решение, соответствующее непрерывному выбросу веще-

ства ( $S$ , в массе за время) из точечного источника (расположенного в точке  $x = y = 0$ ) при наличии скорости  $u$  в направлении  $x$  и диффузии  $A$  в направлении  $y$ .

19. Незарегистрированная авария судна приводит к мгновенному выбросу консервативного загрязняющего вещества. Это вещество плавает по поверхности моря и какое-то время рассеивается, пока, наконец, не будет обнаружено и измерено. Максимальная концентрация, равная  $c = 0.1$  мкг/м<sup>3</sup>, находится к западу от Азорских островов в точке 38°30 с.ш. 30°00 з.д. 200 км южнее. Предполагая фиксированный коэффициент диффузии  $A = 1000$  м<sup>2</sup>/с и равномерный установившийся поток, можете ли вы сделать вывод о количестве вещества, выброшенном с корабля, а также о времени и месте аварии? Наконец, сколько времени пройдет, прежде чем концентрация перестанет превышать 0,01 мкг/м<sup>3</sup> везде?

20. Лабораторный опыт проводится в цилиндрической емкости диаметром 20 см, заполненной однородной водой (глубина в центре 15 см) и вращающейся со скоростью 30 об/мин. Стационарное поле течения с максимальной скоростью 1 см/с создается устройством «источник-сток». Вязкость воды  $10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Убедитесь, что это поле течения соответствует условиям геострофии.

### Дополнительные вопросы к зачету

1. Установившееся океанское течение с равномерной потенциальной завихренностью  $q = 5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup> и объемным потоком  $Q = 4 \cdot 10^5$  м<sup>3</sup>/с течет по изобате с равномерным наклоном дна (с уклоном дна  $S = 1$  м/км). Покажите, что профиль скорости поперек течения параболический. Каковы ширина течения и глубина места максимальной скорости? Возьмем  $f = 7 \times 10^{-5}$  с<sup>-1</sup>.
2. Замечено, что фрагменты чайных листьев на дне перемешиваемой чайной чашки собираются по направлению к центру. Объясните это явление с помощью динамики слоя Экмана. Также объясните, почему чайные листья оседают в центре независимо от направления перемешивания (по часовой или против часовой стрелки).
3. Предположим, что атмосферный слой Экмана над земной поверхностью на 45° северной широты можно смоделировать с турбулентной вязкостью  $\nu_E = 10$  м<sup>2</sup>/с. Если геострофическая скорость над слоем равна 10 м/с и постоянна, каков вертикально интегрированный поток по изобарам (контурам давления)? Есть ли вертикальная скорость?
4. Докажите, что волны Кельвина распространяются так, что в южном полушарии берег находится слева от них.
5. Желтое море между Китаем и Кореей (средняя широта: 37° северной широты) имеет среднюю глубину 50 м и прибрежный периметр 2600 км. За какое время волна Кельвина огибает берега Желтого моря?
6. Докажите, что на предельно больших длинах волн инерционно-гравитационные волны вырождаются в поле течения, в котором частицы описывают круговые инерционные колебания.

7. Воды Гольфстрима характеризуются температурой поверхности около  $22^\circ\text{C}$ . На глубине 800 м ниже Гольфстрима температура составляет всего  $10^\circ\text{C}$ . Используя значение коэффициента теплового расширения  $2.1 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ , рассчитайте частоту стратификации. При какой горизонтальной длине вращение и стратификация играют сравнимую роль? Сравните эту шкалу длины с шириной Гольфстрима.
8. Атмосферная инверсия возникает, когда температура увеличивается с высотой, в отличие от нормальной ситуации, когда температура с высотой падает. Это соответствует очень устойчивой стратификации и, следовательно, недостатку вентиляции (смог и т. д.). Какова частота стратификации при наступлении инверсии ( $dT/dz=0$ )? Возьмем  $T=290 \text{K}$  и  $C_p=1005 \text{m}^2\text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ .
9. Метеорологический шар поднимается в нижние слои атмосферы, одновременно измеряя температуру и давление. Показания, переданные на наземную станцию, где температура и давление составляют соответственно  $17^\circ\text{C}$  и 1028 мбар, показывают градиент  $\Delta T/\Delta p$ , равный  $6^\circ\text{C}$  на 100 мбар. Оцените частоту расслоения. Если бы атмосфера была нейтральной, какие были бы показания?
10. Обобщить теорию прибрежной волны Кельвина (раздел 9.2) на двухслойную систему над плоским дном и под жесткой крышкой. В частности, каковы скорость волны и масштаб захвата?
11. В случае мелководной модели пониженной гравитации выведите принцип сохранения энергии. Затем разделите вклады кинетической и потенциальной энергии.
12. Установите уравнения движения в однослойной модели над неровным дном и под толстым неподвижным слоем чуть меньшей плотности.
13. В западной части Средиземного моря атлантические воды текут вдоль алжирского побережья и немного светлее, чем средиземноморские воды. Если разность плотностей составляет  $1.0 \text{kg/m}^3$ , а толщина слоя атлантических вод равна 150 м, насколько велико смещение поверхности моря, связанное с вторжением более легких вод? (Подсказка: предположим, что нижний слой покоится.)
14. В прибрежном океане плотность воды изменяется от  $1028 \text{kg/m}^3$  у поверхности до  $1030 \text{kg/m}^3$  на глубине 100 м. Какова максимальная частота внутренних волн? Каков соответствующий период?
15. Выведите закон дисперсии внутренних гравитационных волн при наличии вращения, предполагая, что  $f \ll N$ . Покажите, что частота этих волн всегда должна быть больше, чем  $f$ , но меньше, чем  $N$ . Сравните вертикальную фазовую скорость с вертикальной групповой скоростью.
16. В океане теплое течение ( $T=18^\circ\text{C}$ ) течет со скоростью 10 см/с над неподвижным более холодным слоем ( $T=10^\circ\text{C}$ ). Оба слоя имеют одинаковую соленость, а коэффициент теплового расширения принят равным  $2.54 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$ . Какова длина самой длинной неустойчивой волны?
17. Сформулируйте число Ричардсона для стратифицированного сдвигового течения с равномерной частотой расслоения  $N$  и линейным профилем скорости, изменяющимся от нуля на дне до  $U$  на высоте  $H$ . Затем свяжите число Ричард-

сона с числом Фруда и покажите, что неустойчивости могут возникать только в том случае, если Число Фруда превышает значение 2.

18. В определенном районе в определенное время температура атмосферы вдоль земли уменьшается к северу со скоростью  $1^{\circ}\text{C}$  каждые 35 км, и есть все основания полагать, что этот градиент не сильно меняется с высотой. Если на уровне земли ветра нет, каковы скорость и направление ветра на высоте 2 км? Для ответа примем широту =  $40^{\circ}$  северной широты, среднюю температуру = 290 К и равномерное давление на землю.

19. Из-за шероховатости льда напряжение, сообщаемое воде, при наличии морского льда значительно больше, чем в открытом море. Принимая, что дрейф льда происходит под углом  $20^{\circ}$  к ветру, дрейф воды — под углом  $90^{\circ}$  к ветру (на открытой местности) и к дрейфу льда (подо льдом), а напряжение на поверхности воды в два раза больше подо льдом, чем в открытом море, определить, какие направления ветра относительно ориентации кромки льда благоприятны для апвеллинга.

20. Строго объясните допущения масштабирования, оправдывающие одновременно квазигеострофическое приближение и линеаризацию уравнений волнового анализа. Каково истинное ограничение на вертикальные смещения?

### **Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине: зачету**

К аттестации допускаются студенты, которые систематически в течение всего семестра посещали и работали на занятиях и показали уверенные знания в ходе выполнения лабораторных работ.

Непосредственная подготовка к аттестации осуществляется по вопросам, представленным в рабочей учебной программе. Тщательно изучите формулировку каждого вопроса, вникните в его суть, составьте план ответа. Обычно план включает в себя:

- определение сущности рассматриваемого вопроса, основных положений, утверждений, определение необходимости их доказательства;
- запись обозначений, формул, необходимых для полного раскрытия вопроса;
- графический материал (таблицы, рисунки, графики), необходимые для раскрытия сущности вопроса;
- роль и значение рассматриваемого материала для практической деятельности, примеры использования в практической деятельности.

### **Критерии выставления оценки студенту**

| <b>Баллы</b><br>(рейтинговой оцен- | <b>Оценка зачета/ экзамена</b><br>(стандартная) | <b>Требования к сформированным компетенциям</b> |
|------------------------------------|---|---|
|------------------------------------|---|---|

|        |  |   |
|--------|--|---|
| ки)    |  |   |
| 86-100 | «зачтено»/<br>«отлично»                | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. |
| 76-85  | «зачтено»/<br>«хорошо»                 | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.  |
| 61-75  | «зачтено»/<br>«удовлетворительно»      | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.  |
| 0-60   | «не зачтено»/<br>«неудовлетворительно» | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.   |

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме проверки индивидуальных домашних заданий, лабораторных работ, теста для проверки теоретических знаний, и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- степень усвоения теоретических знаний - оценивается в форме контрольной работы или тестирования;
- уровень овладения практическими умениями и навыками – оценивается в форме защиты индивидуального задания (проекта).

## Текущий контроль

Состоит в проверке правильности выполнения заданий по самостоятельной работе. Задание зачтено, если нет ошибок. По текущим ошибкам даются пояснения.

### Критерии оценки результатов выполнения лабораторной работы

- 100-86 баллов выставляется, если студент/группа точно определили содержание и составляющие части задания, умеют аргументированно отвечать на вопросы, связанные с заданием. Продемонстрировано знание и владение навыками самостоятельной исследовательской работы по теме. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет.

- 85-76 - баллов - работа студента/группы характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы. Продемонстрированы исследовательские умения и навыки. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет.

- 75-61 балл – проведен достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимание базовых основ и теоретического обоснования выбранной темы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы

- 60-50 баллов - если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы. Допущено три или более трех ошибок смыслового содержания раскрываемой проблемы

### Шкала оценивания

|                     |           |                     |
|---------------------|-----------|---------------------|
| Менее 60 баллов     | незачтено | неудовлетворительно |
| От 61 до 75 баллов  | зачтено   | удовлетворительно   |
| От 76 до 85 баллов  | зачтено   | хорошо              |
| От 86 до 100 баллов | зачтено   | отлично             |