

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

Рабочая программа по дисциплине

**ГИДРОМЕХАНИКА**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»**

Направленность (профиль):  
**Прикладная гидрология**

Квалификация:  
**Бакалавр**


Форма обучения  
**Очная/заочная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Прикладная гидрология»

  
Сакович В.М.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
11 июня 2019 г., протокол № 7

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры  
23 мая 2019 г., протокол № 9  
Зав. кафедрой  Хаустов В.А.

Автор-разработчик:  
 Постников А.Н.

## 1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)» – формирование у бакалавров прикладной гидрометеорологии комплекса знаний по основам гидростатики, кинематике и динамике жидкости.

Основные задачи дисциплины «Механики жидкости и газа» связаны с освоением студентами:

- законов равновесия и движения жидкости, а также сил, их обуславливающих;
- методов исследования, присущих механике жидкости и газа;
- навыков в решении различных прикладных задач.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)» для направления 05.03.05 – «Прикладная гидрометеорология», профиль – Прикладная гидрология, относится к дисциплинам базовой части.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Физика», «Теоретическая механика».

Параллельно с дисциплиной «Механика жидкости и газа» изучаются: «История», «Иностранный язык», «Математика», «Физика», «Электротехника и электроника», «Методы и средства гидрометеорологических измерений», «Безопасность жизнедеятельности», «Физика вод суши», «Физическая культура».

Дисциплина «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)» является базовой для освоения дисциплин: «Гидротехника и мелиорация», «Гидрологические прогнозы».

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОПК-1	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики

Ключевыми компетенциями, формируемыми в процессе изучения дисциплины, является **ОПК-1**.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)» обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия механики жидкости и газа;
- основные уравнения гидростатики, кинематики и динамики жидкости;
- простейшие модели жидких сред, их системы уравнений, начальные и граничные условия;
- уравнения турбулентного движения;
- уравнения теории поверхностных волн.

Уметь:

- выводить основные уравнения механики жидкости и газа;
- решать простые прикладные задачи по основным разделам дисциплины;
- объяснять смысл переменных, входящих в рассматриваемые уравнения.

Владеть:

- терминологией;

- методологией решения задач по всем разделам дисциплины.

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)» сведены в таблице.

### Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки проявленности компетенции (дескрипторное описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии гидромеханики	способен решать большинство аудиторных задач по разделам дисциплины	при освоении материала использует не только конспект лекций, но и различные учебные пособия	ряд задач способен решить несколькими методами
	не умеет	испытывает затруднения при решении простых учебных задач	испытывает затруднения при объяснении смысла многих понятий механики жидкости и газа	способен объяснять смысл тех или иных понятий механики жидкости и газа в объеме прослушанных лекций	ориентируется в предметной области дисциплины, усвоил взаимосвязь между ее разделами
	не знает	допускает грубые ошибки в интерпретации смысла переменных, входящих в уравнения механики жидкости и газа	допускает ошибки при формулировке того или иного закона механики жидкости и газа	на поставленные вопросы отвечает, как правило, заглядывая в конспект	на поставленные вопросы отвечает не всегда уверенно
базовый	не владеет	не полностью освоена терминология механики жидкости и газа	владеет основными методами решения простых задач по всем разделам дисциплины	способен найти ошибку в решении и указать путь ее исправления	самостоятельно способен провести кинематический анализ движения жидкости
	не умеет	испытывает затруднения при решении отдельных простых задач	достаточно точно формулирует законы механики жидкости и газа, с которыми был ознакомлен в процессе обучения	знает основные законы и способен повторить их вывод самостоятельно	знает схему выводов уравнений движения идеальной и вязкой жидкости
	не знает	слабо знает основные понятия, законы и уравнения механики жидкости и газа	при записи многих уравнений допускает ошибки	испытывает затруднения при выводе уравнения движения для различных моделей жидкости	на вопросы отвечает уверенно, способен отстаивать свою точку зрения
продвинутый	не владеет	владеет терминологией механики жидкости и газа	способен применять законы (например закон архимеда) при решении довольно сложных задач	знает используемые модели жидкости, может дать их определения	знает основные понятия, законы и уравнения механики жидкости и газа
	не умеет	освоены методы и приемы решения простых учебных задач	свободно ориентируется в конспекте лекций при ответах на поставленные вопросы	способен отвечать на большую часть вопросов без конспекта	имеет представление о механике жидкости и газа как о некоем целом, а не как о наборе разрозненных понятий
	не знает	допускает ошибки в определении той или иной гидродинамической величины	не достаточно точно понимает смысл уравнения гидродинамики	смысл уравнений гидродинамики усвоен	готов к участию в олимпиадах различного уровня

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

*Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий  
в академических часах*

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>28</b>	<b>8</b>
в том числе:		
лекции	<b>14</b>	<b>4</b>
практические занятия	<b>14</b>	<b>4</b>
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>44</b>	<b>64</b>
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>зачет</b>	<b>зачет</b>

#### 4.1. Структура дисциплины

##### Очное обучение

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинар, практич.	Лаборат.	Самост. работа			
1	Гидростатика	3	4	8	4	10	Тест, доклады на семинарах, расчетно-графические задания	6	ОПК-1
2	Кинематики жидкости	3	6	12	6	15	Тест, доклады на семинарах, расчетно-графические задания	8	ОПК-1
3	Динамика жидкости	3	8	16	8	20	Тест, доклад на семинаре, расчетно-графическая работа	8	ОПК-1
	<b>ИТОГО</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>14</b>		<b>44</b>		<b>22</b>	

## Заочное обучение

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинар, практич.	Лаборат.	Самост. работа			
1	Гидростатика	3	2	2		22	Тест, доклады на семинарах, расчетно-графические задания	2	ОПК-1
2	Кинематики жидкости	3	2	0		22	Тест, доклады на семинарах, расчетно-графические задания	2	ОПК-1
3	Динамика жидкости	3	0	2		20	Тест, доклад на семинаре, расчетно-графическая работа		ОПК-1
<b>ИТОГО</b>		3	4	4		64		4	

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

#### 4.2.1. Гидростатика

Введение в дисциплину. Предмет механики жидкости и газа. Плотность и сжимаемость жидкости. Силы, действующие в жидкости. Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики. Условие существования равновесия. Закон распределения гидростатического давления по глубине. Давление жидкости на плоскую поверхность любой формы. Центр давления. Давление на криволинейную поверхность. Закон Архимеда. Равновесие плавающих тел.

#### 4.2.2. Кинематика жидкости

Методы исследования движения жидкости. Скорость и ускорение. Стационарное и нестационарное движение. Линии тока и траектории движения, их уравнения. Трубка тока. Струя. Плоское движение. План течений и его построение для открытых потоков. Совместное решение задачи о продольном и поперечном равновесии струи. Расширение транзитной струи, протекающей между воротами. Практические приемы построения плана течений.

Дифференциальный оператор Гамильтона. Градиент скалярной функции. Дивергенция и вихрь вектора скорости. Разложение вектора скорости на три составляющих. Теорема Гельмгольца. Тензор скоростей деформаций, смысл его составляющих. Закон сохранения

масс. Уравнение неразрывности общего вида и для различных частных случаев. Циркуляция вектора скорости. Теорема Стокса.

Потенциальное движение жидкости. Потенциал скорости. Функция тока. Уравнение Лапласа. Отдельные плоские потенциальные потоки: течения вдоль продольной координаты, источник (сток), циркуляционный поток. Сложение плоских потенциальных потоков. Некоторые системы плоских потенциальных потоков. Решение задач, связанных с полями скоростей потенциальных потоков, методами: сеток, релаксаций, сложения скоростей, электрических аналогий. Современные практические приложения теории потенциальных потоков в решении гидролого-гидротехнических задач.

#### 4.2.3. Динамика жидкости

Силы, действующие в жидкости. Напряжения в сплошной среде. Тензор напряжений. Основные законы механики сплошной среды. Уравнения движения жидкости в напряжениях. Обобщенный закон Ньютона. Выражения для касательных и нормальных напряжений. Уравнения движения жидкости Навье-Стокса, Эйлера, бингамовской, в форме Громеко-Ламба. Начальные и граничные условия интегрирования дифференциальных уравнений движения жидкости. Интегралы Лагранжа и Бернулли. Интеграл Бернулли для вязкой жидкости. Некоторые решения дифференциальных уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости: течения Пуазейля, Куэтта, в трубе круглого сечения, равномерный открытый поток.

Два режима движения жидкости – ламинарное и турбулентное. Системы уравнений движения жидкости Рейнольдса и Макковеева для турбулентных потоков. Проблема турбулентности и методы определения коэффициента турбулентного обмена. Пограничные слои потока и уравнения движения для них. Некоторые решения для пограничных слоев.

#### 4.3. Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Решение задач о равновесии жидкости и определению силы давления на плоские поверхности	лабораторные работы	ОПК-1
2	1	Решение задач по теории плавающих тел	лабораторные работы	ОПК-1
3	2	Решение задач с проведением кинематического анализа движения	лабораторные работы	ОПК-1
4	2	Решение задач по определению потенциала скорости и функции тока	лабораторные работы	ОПК-1
5	2	Решение задач по определению циркуляции вектора скорости по контурам различной формы	лабораторные работы	ОПК-1
6	2	Построение плана течений по данным натурных наблюдений и теоретическим методом	лабораторные работы	ОПК-1
7	3	Решение задач с использованием уравнения Бернулли	лабораторные работы	ОПК-1
8	3	Решение частных задач о движении воды в потоках с использованием уравнений Навье-Стокса	лабораторные работы	ОПК-1

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
9	3	Решение задач по расчету ветровых волн	лабораторные работы	ОПК-1
10	1	Равновесие жидкости в движущихся сосудах	семинар	ОПК-1
11	1	Сила давления на криволинейные поверхности, погруженные в жидкость	семинар	ОПК-1
12	2	Понятия из векторного анализа, необходимые для изучения механики жидкости и газа	семинар	ОПК-1
13	2	Смысл компонент тензора скоростей деформаций	семинар	ОПК-1
14	2	Потенциалы и функции тока некоторых плоских потоков	семинар	ОПК-1
15	3	Тензор напряжений. Связь его составляющих с составляющими тензора скоростей деформаций для ньютоновских жидкостей	семинар	ОПК-1
16	3	Простейшие модели жидких сред	семинар	ОПК-1
17	3	Замкнутые системы уравнений идеальной и вязкой несжимаемо жидкостей	семинар	ОПК-1
18	3	Ламинарные и турбулентные течения. Уравнения Рейнольдса и Макковеева	семинар	ОПК-1

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **5.1. Текущий контроль**

#### **а). Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля**

**Задание 1. ПО КАКОМУ ЗАКОНУ ИЗМЕНЯЕТСЯ ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ С ГЛУБИНОЙ?**

- A. Параболическому
- B. Гиперболическому
- C. Линейному
- D. Ступенному



**Задание 2.** ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ НАЗЫВАЕТСЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ, ЕСЛИ ОНО:

- A. турбулентное установившееся
- B. вихревое
- C. турбулентное неустановившееся
- D. безвихревое

**Задание 3.** КАК НАПРАВЛЕН ВЕКТОР СКОРОСТИ В КАЖДОЙ ТОЧКЕ ЛИНИИ ТОКА?

- A. Под острым углом к линии тока
- B. Под тупым углом к линии тока
- C. По нормали к линии тока
- D. По касательной к линии тока

#### **б). Примерная тематика докладов на семинарах**

- Равновесие жидкости в движущихся сосудах
- Сила давления на криволинейные поверхности, погруженные в жидкость
- Понятия из векторного анализа, необходимые для изучения механики жидкости и газа
- Смысл компонент тензора скоростей деформаций
- Потенциалы и функции тока некоторых плоских потоков
- Тензор напряжений. Связь его составляющих с составляющими тензора скоростей деформаций для ньютоновских жидкостей
- Простейшие модели жидких сред
- Замкнутые системы уравнений идеальной и вязкой несжимаемо жидкостей
- Ламинарные и турбулентные течения. Уравнения Рейнольдса и Макковеева

#### **5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы**

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу, презентации лекций и практических работ. Освоение материалом и выполнение практических работ проходит при регулярных, по возможности, консультациях с преподавателем.

Студенты выполняют курсовую работу, пользуясь списком примерных тем курсовых работ и методическими указаниями. Курсовая работа может быть выполнена на другую тему по согласованию с преподавателем. Выполнение работы проходит при регулярных, по возможности, консультациях с преподавателем.

Приступая к выполнению проекта, студент, прежде всего, должен ознакомиться с имеющейся по исследуемому вопросу научной литературой, а затем собрать все необходимые сведения об объекте исследования. Содержание курсового проекта должно отвечать следующей приближенной схеме: оглавление, введение, физико-географическое описание объекта, существующие методы расчета, исходные данные, расчет характеристики, заключение, список использованной литературы, приложение (если оно имеется).

#### **5.3. Промежуточный контроль: экзамен**

##### **Перечень вопросов к экзамену**

1. Гидростатическое давление, его свойства
2. Переменные Лагранжа и Эйлера
3. Закон Архимеда, его вывод

4. Индивидуальная производная, вывод ее выражения для произвольной гидродинамической переменной
5. Уравнение равновесия жидкости
6. Установившееся и неустановившееся движения. Уравнения ускорения для них
7. Закон Паскаля (с выводом)
8. Ускорение. Уравнения его выражающие (в векторном виде и в проекциях на оси координат)
9. Линия тока, ее уравнение и свойства. Траектория движения, ее уравнение
10. Вакуум
11. Предмет гидростатики. Силы, действующие в жидкости
12. Уравнение неразрывности (с выводом)
13. Уравнение равновесия тяжелой жидкости
14. Циркуляция вектора скорости. Теорема Стока без доказательства
15. Силы давления, действующие на поверхности, погруженные в жидкость
16. Поток вектора через поверхность. Расход жидкости. Теорема Стокса без доказательства
17. Пьезометрическая высота, отвечающая абсолютному давлению в точке
18. Скалярное и векторное произведение векторов
19. Условие плавания тел. Подводное и надводное плавание
20. Функция тока, ее свойства
21. Массовые и поверхностные силы, действующие в жидкости
22. Дифференциальный оператор Гамильтона. Его применение к скалярным и векторным функциям
23. Вихрь вектора скорости. Его физический смысл
24. Закон Архимеда (с выводом)
25. Основная теорема кинематики (без вывода)
26. Определение понятий: полный дифференциал функции, градиент скалярной функции, потенциальная функция (потенциал)
27. Тензор скорости деформаций. Смысл его составляющих
28. Пьезометрическая высота, отвечающая избыточному давлению в точке
29. Скорость деформации, ее уравнение в проекциях на оси координат
30. Силы давления, действующие на поверхности, погруженные в жидкость
31. Основное уравнение гидростатики
32. Потенциальное движение жидкости. Потенциал скорости и его свойства. Правила сложения плоских потенциальных потоков. Метод Максвелла

### Образцы билетов к экзамену

**Российский государственный гидрометеорологический университет**

Кафедра гидрофизики гидропрогнозов

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

по дисциплине «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)»

1 Уравнение равновесия жидкости

2. Установившееся и неустановившееся движения. Уравнения ускорения для них

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Хаустов В.А.

**Российский государственный гидрометеорологический университет**

Кафедра гидрофизики гидропрогнозов

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2**

по дисциплине «Механика жидкости и газа (Гидромеханика)»

1. Предмет гидростатики. Силы, действующие в жидкости
2. Уравнение неразрывности (с выводом)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Хаустов В.А.

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

**а) основная литература:**

1. *Винников С.Д.* Гидромеханика для гидрологов суши. – СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. – 190 с.
2. *Белевич М.Ю.* Гидромеханика. Основы классической теории. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 213 с. – Электронный ресурс: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-504175223.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-504175223.pdf)
3. *Судольский А.С.* Динамические явления в водоемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 262 с.
4. *Валландер С.В.* Лекции по гидроаэромеханике. – Л.: Изд. ЛГУ, 1988. – 295 с.

**б) дополнительная литература:**

1. *Гришанин К.В.* Гидравлические сопротивления естественных русел. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – 182 с.
2. *Монин А.С., Яглом А.М.* Статическая гидромеханика. – СПб.: Гидрометеиздат, Т. 1, 1992. – 793 с., Т. 2, 1996. – 741 с.

**в) Программное обеспечение:**

windows 7 48130165 21.02.2011  
office 2010 49671955 01.02.2012

**г) Интернет-ресурсы:**

[http://femto.com.ua/articles/part\\_1/0775.html](http://femto.com.ua/articles/part_1/0775.html)

**д) Профессиональные базы данных:**

- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Режим доступа: <http://meteo.ru/>
- База данных Web of Science
- База данных Scopus

**е) Информационные справочные системы**

- ЭБС «ГидроМетеоОнлайн». Режим доступа: <http://elib.rshu.ru/>
- Национальная электронная библиотека (НЭБ). Режим доступа: <https://нэб.рф>
- ЭБС «Znanium». Режим доступа: <http://znanium.com/>
- ЭБС «Перспектив Науки». Режим доступа: <http://www.prospektnauki.ru/>
- Электронно-библиотечная система elibrary. Режим доступа: <https://elibrary.ru/>

- Электронная библиотека РГО. Режим доступа: <http://lib.rgo.ru/dsweb/HomePage>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН. Режим доступа: <http://www.spsl.nsc.ru>
- Российская государственная библиотека. Режим доступа: <http://www.rsl.ru/>

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
<b>Лекции</b>	<p>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.</p> <p>Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.</p> <p>Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом (семинарском) занятии.</p>
<b>Практические (семинарские) занятия</b>	<p>Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме.</p> <p>Подготовка доклада с выделением основных положений и терминов освещаемой темы, изложением основных аспектов проблемы, анализом мнений авторов и формирование собственного суждения по исследуемой теме. Подготовка вопросов для обсуждения с аудиторией. Подготовка презентации к докладу.</p>
<b>Лабораторные занятия</b>	<p>Внимательно слушать объяснения и рекомендации преподавателя о методах решения поставленной задачи, порядке выполнения работы.</p> <p>В рабочей тетради указывать расчетные формулы, применяемые при решении задачи, отражать промежуточные результаты вычислений.</p> <p>По мере необходимости визуализировать результаты расчетов в виде графиков.</p> <p>Провести анализ полученных результатов и записать в выводах по проведенной работе.</p>
<b>Подготовка к экзамену</b>	<p>При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.</p>

**8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
Гидростатика Кинематики жидкости	Образовательные технологии:	Программное обеспечение:
Динамика жидкости	<ul style="list-style-type: none"> <li>• интерактивное взаимодействие педагога и аспиранта;</li> <li>• сочетание индивидуального и коллективного обучения;</li> <li>• занятия, проводимые в форме диалога, дискуссии;</li> <li>• технология развития критического мышления</li> </ul> Информационные технологии: <ul style="list-style-type: none"> <li>• проведение занятий с использованием слайд-презентаций;</li> <li>• организация взаимодействия педагога с аспирантом посредством электронной информационно-образовательной среды</li> <li>• использование профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> </ul>	Информационно-справочные системы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ЭБС «ГидроМетеоОнлайн»</li> <li>• Национальная электронная библиотека (НЭБ)</li> <li>• ЭБС «Znanium»</li> <li>• ЭБС «Проспект Науки»</li> <li>• Электронно-библиотечная система eLibrary</li> <li>• ЭБС «Юрайт»</li> </ul> Профессиональные базы данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных</li> <li>• База данных Web of Science</li> <li>• База данных Scopus</li> </ul>

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

**Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации: портативным компьютером (ноутбуком), переносным экраном, мультимедиа-проектором.

**Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации: портативным компьютером (ноутбуком), переносным экраном, мультимедиа-проектором.

**Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации: портативным компьютером (ноутбуком), переносным экраном, мультимедиа-проектором.

**Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

**Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** – уком-

плектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

**Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации. Самостоятельная работа проводится в читальном зале библиотеки, а также в Бюро гидрологических прогнозов, укомплектованного: компьютерами, копировально-множительной техникой, мультимедиа оборудованием (переносные проектор, экран).

#### **10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

## 1. Цели освоения дисциплины

**Целью** дисциплины «Численные методы математического моделирования» является ознакомление студентов-гидрологов с возможностями применения стохастических моделей для решения современных гидрологических задач численными методами.

**Основные задачи дисциплины** связаны с освоением студентами:

- стохастического обобщения динамической модели формирования речного стока;
- практического использования модели марковских случайных процессов (уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова – ФПК) для решения актуальных гидрологических задач, связанных с изменениями климата, антропогенной деятельностью на водосборе и оценкой надежности гидротехнических сооружений.

Наиболее тесно дисциплина связана с вычислительной математикой, теорией вероятности и статистикой, общей гидрологией, физикой вод суши, гидрологическими расчетами и прогнозами, моделирование гидрологических процессов и программированием.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Численные методы математического моделирования» для направления 05.03.05 – «Прикладная гидрометеорология», профиль – Прикладная гидрология, относится к обязательным дисциплинам вариативной части Блока 1.

Параллельно с дисциплиной «Численные методы математического моделирования» изучаются: «Экономика и управление производством», «Методы и средства гидрометеорологических измерений», «Гидравлика (Речная)», «Гидрологические расчеты», «Случайные процессы в гидрологии», «Современные методы статистической обработки гидрологической информации», «Лабораторное гидрологическое моделирование», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Дисциплина «Численные методы математического моделирования» является базовой для освоения дисциплин «Гидрологические прогнозы», «Численные методы в гидрологии».

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

<b>Код компетенции</b>	<b>Компетенция</b>
ОПК-1	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики
ОПК-3	Способность анализировать и интерпретировать данные натурных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования

Ключевой компетенцией, формируемой в процессе изучения дисциплины, является **ОПК-1**.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Численные методы математического моделирования» обучающийся должен:

Знать:

- основные математические модели гидрологических процессов;
- методы стыковки моделей отдельных звеньев гидрологического цикла друг с другом и пути их объединения с моделями климатических и экологических процессов;
- пути корректной постановки задач математического моделирования гидрологических процессов;

- способы упрощения математических моделей путем перехода от дифференциальных уравнений к алгебраическим воднобалансовым соотношениям;
- конечно-разностные методы реализации основных моделей;
- пути использования математических моделей для решения практических гидрологических задач.

Уметь:

- обосновывать математические модели основных гидрологических процессов;
- задавать граничные и начальные условия, обеспечивающие корректную постановку задач моделирования на основе использования результатов наблюдений на сети Росгидромета;
- объединять модели отдельных звеньев в общую модель гидрологического цикла;
- выполнять численное интегрирование динамических моделей;
- решать практические задачи, связанные с прогнозами гидрологического режима с использованием математического моделирования.

Владеть:

- терминологией;
- основами численного решения математических моделей;
- методами прогнозирования с использованием математических моделей.

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Численные методы математического моделирования» сведены в таблице.



### Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки проявленности компетенции (дескрипторное описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии	способен решать практические задачи	владеет основными навыками работы с литературой по профессиональным вопросам	способен дать критическую оценку методов решения
	не умеет	испытывает затруднения при выборе методов решения	испытывает затруднения при реализации инженерных расчетов	способен выявить проблему	ориентируется в предметной области
	не знает	допускает грубые ошибки в интерпретации данных моделирования	знает основные закономерности физических процессов, но не ориентируется в их специфике	способен анализировать данные, но испытывает затруднения при выявлении закономерностей	способен дать анализ результатов
базовый	не владеет	плохо ориентируется в терминологии	владеет основными методами решения практических задач	способен к поиску решения, но не демонстрирует навыков сравнительного анализа методов решения задач	способен предложить пути решения задач
	не умеет	владеет стандартными методами решения	способен выполнить инженерные расчеты с привлечением вычислительных средств	способен выявить проблему в ее связи с другими процессами	свободно ориентируется в предметной области
	не знает	допускает много ошибок в интерпретации данных моделирования	может изложить основные закономерности физических процессов, но не ориентируется в их специфике	способен анализировать данные, выявлять отклонения	способен дать анализ результатов, с указанием путей решения проблемы
продвинутый	не владеет	владеет терминологией	владеет различными методами решения практических задач	способен к поиску новых решений практических задач решения	способен предложить свои способы решения практических задач
	не умеет	владеет широким спектром стандартных методов решения	способен выполнить инженерные расчеты с привлечением новых технологий	способен выявить проблему в ее связи с другими процессами, определить ее источник	свободно ориентируется в предметной области, умеет выделить ее практическое значение
	не знает	допускает ошибки в интерпретации данных моделирования	знает основные закономерности физических процессов, способен интерпретировать данные моделирования	способен анализировать данные, выявлять закономерности и отклонения	способен дать критический анализ результатов, с указанием путей и методов решения проблемы

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетные единицы, 144 часов.

##### 4.1. Структура дисциплины

*Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий в академических часах)*

Объем дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>56</b>	<b>36</b>
в том числе:		
лекции	28	8
практические занятия	–	
лабораторные занятия	28	8
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>88</b>	<b>128</b>
в том числе:		
курсовая работа	–	–
контрольная работа (расчетно-графическая)	+	+
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>экзамен</b>	<b>экзамен</b>

#### Очное обучение

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинар, практич.	Лаборат.	Самост. работа			
1	Стохастические модели гидрологических процессов	6	2	–	2	22	Тест	1	ОПК-1, ОПК-3
2	Идентификация моделей	6	10	–	10	22	Тест, расчетно-графические задания	2	ОПК-1, ОПК-3
3	Пути практического применения стохастического моделирования гидрологических процессов	6	8	–	8	22	Тест, расчетно-графические задания	2	ОПК-1, ОПК-3

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинар, практич.	Лаборат.	Самост. работа			
4	Алгоритмы развития гидрологических процессов	6	8	–	8	22	Тест, расчетно-графические задания	2	ОПК-1, ОПК-3
<b>ИТОГО</b>			28	–	28	88		7	
			144						

### Заочное обучение

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Курс	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинар, практич.	Лаборат.	Самост. работа			
1	Стохастические модели гидрологических процессов	5	2	–	–	32	Тест	1	ОПК-1, ОПК-3
2	Идентификация моделей	5	2	–	–	32	Тест, расчетно-графические задания	2	ОПК-1, ОПК-3
3	Пути практического применения стохастического моделирования гидрологических процессов	5	2	4	–	32	Тест, расчетно-графические задания	2	ОПК-1, ОПК-3
4	Алгоритмы развития гидрологических процессов	5	2	4	–	32	Тест, расчетно-графические задания	2	ОПК-1, ОПК-3
<b>ИТОГО</b>			8	8	–	128		7	
			144						

## **4.2. Содержание разделов дисциплины**

### **4.2.1. Стохастические модели гидрологических процессов**

Мотивация перехода от динамических моделей к стохастическим. Категории необходимости и случайности и соответствующие им динамические и статистические закономерности. Пути введения стохастичности в динамические модели. Типы случайных процессов, модели которых допускают численную реализацию (марковские случайные процессы, понятие белого шума). Типы динамических моделей, конечно-разностная аппроксимация которых позволяет оставаться в рамках простых марковских процессов, имеющих инженерное приложение в гидрометеорологии. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК): физический (гидрометеорологический) смысл; начальные и граничные условия; условие нормировки; коэффициенты сноса и диффузии; формулы для их вычисления. Численное решение уравнения ФПК (конечно-разностная аппроксимация, начальная гистограмма, условие устойчивости решения, алгоритмы вычислений). Аппроксимация уравнения ФПК системой обыкновенных дифференциальных уравнений для начальных статистических моментов.

### **4.2.2. Идентификация моделей**

Общее представление об идентификации (параметризация моделей методами идентификации; потенциальная некорректность обратных задач). Идентификация параметров стохастической модели формирования стока ФПК путем ее сведения к системе алгебраических уравнений для начальных моментов и ее численное решение. Истоки некорректности решения: существование (совместность системы), устойчивость (хорошая обусловленность). Методы борьбы с некорректностью задач идентификации (отказ от попыток найти «точное» решение, уменьшение числа искомых параметров, использование метода наименьших квадратов).

### **4.2.3. Пути практического применения стохастического моделирования гидрологических процессов**

Нестационарная модель энергетического баланса Земли в виде дифференциального уравнения для средней годовой приземной температуры воздуха (глобальная модель климата), учитывающая термическую инерцию, альбедо и влияние парниковых газов на длинноволновое уходящее излучение. Сравнение численного решения модели с данными инструментальных наблюдений и возможные сценарии климатических изменений. Численная реализация модели формирования многолетних видов речного стока для оценки долгосрочных изменений гидрологического режима при заданных сценариях изменения климата и характере антропогенной деятельности в речных бассейнах с использованием эмпирических региональных зависимостей для коэффициента стока. Задача о надежности гидротехнических сооружений при неустановившемся климате.

### **4.2.4. Алгоритмы развития гидрологических процессов**

Адаптационные и бифуркационные механизмы развития. Адаптационный механизм развития гидрологических процессов (изменение формы кривых плотности вероятности в зависимости от учитываемых элементов дарвинской триады). Неустойчивость гидрологических процессов, пример бифуркационного развития. Понятие фазового пространства гидрологической системы и его расширение.

#### 4.3. Лабораторные и практические занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Категории диалектического материализма: необходимость и случайность. Чем вызван переход от динамического описания гидрологических процессов к стохастическому. Смысл уравнения ФПК как закона сохранения вероятности	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
2	1	Численное интегрирование стохастического уравнения описывающего эволюцию плотности вероятности стока с речного бассейна при различных вариантах граничных и начальных условий, метеорологических факторов и хозяйственной деятельности	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
3	1	Численное решение уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) для эволюции плотности вероятности стоковых характеристик	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
4	2	Идентификация, отличие ее от параметризации моделей гидрологических процессов	Практическое задание	ОПК-1, ОПК-3
5	2	Моделирование гидрологических процессов с целью оценки влияния антропогенных изменений климата и хозяйственной деятельности на статистические характеристики гидрологических величин	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
6	2	Долгосрочная оценка характеристик речного стока при изменении климата	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
7	3	Область применения уравнения ФПК: задача о надежности гидротехнических сооружений, оценка гидрологических последствий изменения климата и т.п.	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
8	3	Использование моделей гидрологических процессов для решения задачи о надежности гидротехнических сооружений в условиях неустановившегося климата или изменений интенсивности и характера хозяйственной деятельности	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
9	4	Алгоритмы развития гидрологических процессов и синергетика	Практическое занятие	ОПК-1, ОПК-3
10	2	Структура программ на C++. Среды разработки программ и создание исполняемого файла	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
11	2	Типизация данных	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
12	2	Операторы	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
13	2	Глобальные функции	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
14	2	Классы	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
15	2	Операторы цикла	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
16	2	Реализация модели склонового стока с сосредоточенными параметрами	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
17	2	Реализация модели водоема с сосредоточенными параметрами	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3
18	2	Реализация модели руслового стока с распределенными параметрами	Лабораторная работа	ОПК-1, ОПК-3

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

**5.1. Текущий контроль**

**а). Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля**

**Задание 1. КАКАЯ КАТЕГОРИЯ СООТВЕТСТВУЕТ ПРИМЕНЕНИЮ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ?**

- A. Возможность
- B. Случайность
- C. Действительность
- D. Необходимость

**Задание 2. КАКИМ ОБРАЗОМ ВВОДИТСЯ СТОХАСТИЧНОСТЬ В НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ?**

- A. Искусственно
- B. За счет погрешности измерений
- C. За счет набора повторных измерений
- D. Так требуют нормативные документы

**Задание 3. ЗА ЧТО «ОТВЕЧАЕТ» КОЭФФИЦИЕНТ СНОСА, ВХОДЯЩИЙ В УРАВНЕНИЕ ФОККЕРА-ПЛАНКА-КОЛМОГорова?**

- A. За задание граничных условий
- B. За распластывание кривой плотности вероятности
- C. За граничные условия
- D. За смещение кривой плотности вероятности

## 5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу, презентации лекций и практических работ. Освоение материалом и выполнение практических работ проходит при регулярных, по возможности, консультациях с преподавателем.

## 5.3. Промежуточный контроль: экзамен

### Перечень вопросов к экзамену

1. Мотивация перехода от динамических к стохастическим моделям (категории необходимость и случайность и соответствующие им динамические и стохастические закономерности; пути введения стохастичности в динамические модели; почему вероятность – новые возможности)
2. Основные типы случайных процессов (понятие случайного процесса, марковского процесса и белого шума; типы динамических моделей, конечно-разностная аппроксимация которых позволяет оставаться в рамках простых марковских процессов)
3. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) (его запись, задание граничных и начальных условий, условия нормировки, физический смысл уравнения ФПК, физический смысл коэффициентов сноса и диффузии и формулы для их вычисления)
4. Численное решение уравнения ФПК (конечно-разностная аппроксимация, начальная гистограмма, условие устойчивости решения, алгоритм вычисления)
5. Аппроксимация уравнения ФПК системой обыкновенных дифференциальных уравнений для начальных статистических моментов и их численная реализация методом Рунге-Кутты или упрощенным методом Эйлера
6. Общее представление об идентификации (параметризация моделей методами идентификации; потенциальная некорректность обратных задач)
7. Идентификация параметров стохастической модели формирования стока ФПК путем ее сведения к системе алгебраических уравнений для начальных моментов и ее численное решение
8. Истоки некорректности решения задачи идентификации стохастической модели стока в виде системы алгебраических уравнения (нарушение условий существования решений, его единственности и устойчивости)
9. Методы борьбы с некорректностью задач идентификации путем отказа от поисков «точного» решения, уменьшения числа искомых параметров и использования выпуклых минимизирующих функций
10. Глобальная модель климата, сравнение ее численного решения (многолетнего хода температуры воздуха) с данными инструментальных наблюдений и возможные сценарии климатических изменений
11. Численная реализация модели формирования многолетних видов речного стока для оценки долгосрочных изменений гидрологического режима
12. Задача о надежности гидротехнических сооружений при неустановившемся климате
13. Адаптационные и бифуркационные механизмы развития. Адаптационное изменение формы вероятностных распределений в зависимости от учитываемых элементов дарвинской триады
14. Неустойчивость гидрологических процессов, пример бифуркационного развития. Понятие фазового пространства гидрологической системы и ее расширение.
15. Объектно-ориентированное программирование системной математической модели для краткосрочного прогноза перемещения паводочной волны по речной системе\*

\* Вопрос заключается в решении практической задачи (контрольного задания) для тех студентов, которые по уважительной причине не выполнили практические задания или контрольную работу

## Образцы билетов к экзамену

Российский государственный гидрометеорологический университет

Кафедра гидрофизики гидропрогнозов

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине «Численные методы математического моделирования»

1. Мотивация перехода от динамических к стохастическим моделям (категории необходимость и случайность и соответствующие им динамические и стохастические закономерности; пути введения стохастичности в динамические модели; почему вероятность – новые возможности)
2. Истоки некорректности решения задачи идентификации стохастической модели стока в виде системы алгебраических уравнения (нарушение условий существования решений, его единственности и устойчивости)
- 3\* Объектно-ориентированное программирование системной математической модели для краткосрочного прогноза перемещения паводочной волны по речной системе

\* Третий вопрос заключается в решении практической задачи для тех студентов, которые по уважительной причине не выполнили практические задания или контрольную работу

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Хаустов В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Кафедра гидрофизики гидропрогнозов

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

по дисциплине «Численные методы математического моделирования»

1. Основные типы случайных процессов (понятие случайного процесса, марковского процесса и белого шума; типы динамических моделей, конечно-разностная аппроксимация которых позволяет оставаться в рамках простых марковских процессов)
2. Методы борьбы с некорректностью задач идентификации путем отказа от поисков «точного» решения, уменьшения числа искомых параметров и использования выпуклых минимизирующих функций
- 3\* Объектно-ориентированное программирование системной математической модели для краткосрочного прогноза перемещения паводочной волны по речной системе

\* Третий вопрос заключается в решении практической задачи для тех студентов, которые по уважительной причине не выполнили практические задания или контрольную работу

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Хаустов В.А.



## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В. Моделирование гидрологических процессов. – СПб, изд. РГГМУ, 2006. – 559 с.
2. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть I. Динамические модели» (на базе языка C++). – СПб, изд. РГГМУ, 2010. – 150 с. – Электронный ресурс: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-417153014.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-417153014.pdf)
3. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Викторова Н.В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть II. Стохастические модели» (на базе языка C++). – СПб, изд. РГГМУ, 2012. – 247 с.
4. Антонцев С.И., Епихов Г.П., Кашиеваров А.А. Системное математическое моделирование процессов водообмена. – Новосибирск: Наука, 1986, – 216 с.
5. Коваленко В.В. Моделирование эволюционных процессов (на примере истории России). – СПб: изд. РГГМУ, 2003. – 304 с.

### б) дополнительная литература:

1. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока (опыт критического анализа). – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
2. Коваленко В.В., Пивоварова И.И. Оптимизация гидрологической сети на основе стохастической модели формирования речного стока. – СПб.: изд. РГГМУ, 2000. – 43 с.
3. Кучмент Л.С. Модели процессов формирования речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 182 с.

### в) Программное обеспечение:

windows 7 48130165 21.02.2011

office 2010 49671955 01.02.2012

### г) Интернет-ресурсы:

Математическое моделирование процессов

<http://mathmod.aspu.ru/?id=4>

[http://www.pedsovet.info/info/pages/referats/info\\_00002.htm](http://www.pedsovet.info/info/pages/referats/info_00002.htm)

[http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-210110501.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-210110501.pdf)

### д) Профессиональные базы данных:

- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Режим доступа: <http://meteo.ru/>
- База данных Web of Science
- База данных Scopus

### е) Информационные справочные системы

- ЭБС «ГидроМетеоОнлайн». Режим доступа: <http://elib.rshu.ru/>
- Национальная электронная библиотека (НЭБ). Режим доступа: <https://нэб.рф>
- ЭБС «Znaniium». Режим доступа: <http://znaniium.com/>
- ЭБС «Перспект Науки». Режим доступа: <http://www.prospektnauki.ru/>
- Электронно-библиотечная система elibrary. Режим доступа: <https://elibrary.ru/>
- Электронная библиотека РГО. Режим доступа: <http://lib.rgo.ru/dsweb/HomePage>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН. Режим доступа: <http://www.spsl.nsc.ru>
- Российская государственная библиотека. Режим доступа: <http://www.rsl.ru/>

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
<b>Лекции</b>	<p>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.</p> <p>Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на лабораторном занятии.</p>
<b>Практические и семинарские занятия</b>	<p>Внимательно слушать объяснения и рекомендации преподавателя о методах решения поставленной задачи, порядке выполнения работы.</p> <p>В рабочей тетради указывать расчетные формулы, применяемые при решении задачи, отражать промежуточные результаты вычислений.</p> <p>По мере необходимости визуализировать результаты расчетов в виде графиков.</p> <p>Провести анализ полученных результатов и записать в выводах по проведенной работе.</p>
<b>Подготовка к экзамену</b>	<p>При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.</p>

## 8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
<p>Введение</p> <p>Общие вопросы моделирования</p> <p>Динамические модели основных звеньев гидрологического цикла</p> <p>Численная реализация моделей с распределенными и сосредоточенными параметрами</p>	<p>Образовательные технологии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• интерактивное взаимодействие педагога и аспиранта;</li> <li>• сочетание индивидуального и коллективного обучения;</li> <li>• занятия, проводимые в форме диалога, дискуссии;</li> <li>• технология развития критического мышления</li> </ul> <p>Информационные технологии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проведение занятий с использованием слайд-презентаций;</li> <li>• организация взаимодействия педагога с аспирантом посредством электронной информационно-образовательной среды</li> </ul>	<p>Программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows</li> <li>• Microsoft Office</li> </ul> <p>Информационно-справочные системы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ЭБС «ГидроМетеоОнлайн»</li> <li>• Национальная электронная библиотека (НЭБ)</li> <li>• ЭБС «Znanium»</li> <li>• ЭБС «Перспектив Науки»</li> <li>• Электронно-библиотечная система eLibrary</li> <li>• ЭБС «Юрайт»</li> </ul> <p>Профессиональные базы данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической ин-</li> </ul>

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• использование профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> </ul>	формации – Мировой центр данных <ul style="list-style-type: none"> <li>• База данных Web of Science</li> <li>• База данных Scopus</li> </ul>

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

**Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).

**Учебная аудитория для проведения занятий семинарского и практического типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

**Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

**Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

**Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации. Самостоятельная работа проводится в читальном зале библиотеки, а также в Бюро гидрологических прогнозов, укомплектованном вычислительной техникой.

## 10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

Основные задачи дисциплины состоят в изучении важнейших физических процессов в океане в их взаимодействии с атмосферными процессами на основе современных теоретических исследований, натурных данных и результатов лабораторных экспериментов. Изложение материала осуществляется на физико-математической основе в тесной связи с изученными общеобразовательными и специальными дисциплинами: математикой, физикой, гидромеханикой и общей метеорологией. В свою очередь на материале данного предмета базируется большинство специальных дисциплин, изучаемых на старших курсах.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

Дисциплина «Физика океана» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология по профилю подготовки «Прикладная гидрология» относится к базовой части.

Параллельно с дисциплиной «Физика океана» изучаются «Методы и средства гидрометеорологических измерений», «Физика вод суши» и др.

Дисциплина «Физика океана» является базовой для большинства специальных дисциплин, таких как: «Климатология», «Синоптическая метеорология», «Дополнительные главы климатологии».

ОПК-2 - обладать способностью к проведению измерений и наблюдений, составлению описания проводимых исследований, подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, составлению отчета по выполненному заданию, участию по внедрению результатов исследований и разработок.

В результате изучения дисциплины **студент должен знать** физическую сущность процессов, протекающих в океане, о методы их математического описания и экспериментальной проверки. На основе приобретенных знаний он **должен уметь** провести наблюдение физического процесса, рассчитать его характеристики и параметры, проанализировать и критически оценить полученные результаты, использовать их в оперативной и в научной работе, применительно к задачам как теоретического, так и прикладного характера. **Должен иметь** представление о направлениях развития океанологии, о практических требованиях к океанологическим исследованиям.

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Физика океана» сведены в таблице.

## Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки проявленности компетенции (дескрипторное описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии и содержании	Способен выделить основные идеи текста, работает с критической литературой	Владеет основными навыками работы с источниками и критической литературой	Способен дать собственную критическую оценку изучаемого материала
	не умеет	не выделяет основные идеи	Способен показать основную идею в развитии	Способен представить ключевую проблему в ее связи с другими процессами	Может соотнести основные идеи с современными проблемами
	не знает	допускает грубые ошибки	Знает основные рабочие категории, однако не ориентируется в их специфике	Понимает специфику основных рабочих категорий	Способен выделить характерный авторский подход
базовый	не владеет	плохо ориентируется в терминологии и содержании	Владеет приемами поиска и систематизации, но не способен свободно изложить материал	Свободно излагает материал, однако не демонстрирует навыков сравнения основных идей и концепций	Способен сравнивать концепции, аргументированно излагает материал
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит проблем	Выделяет конкретную проблему, однако излишне упрощает ее	Способен выделить и сравнить концепции, но испытывает сложности с их практической привязкой	Аргументированно проводит сравнение концепций по заданной проблематике
	не знает	допускает много ошибок	Может изложить основные рабочие категории	Знает основные отличия концепций в заданной проблемной области	Способен выделить специфику концепций в заданной проблемной области
продвинутый	не владеет	ориентируется в терминологии и содержании	В общих чертах понимает основную идею, однако плохо связывает ее с существующей проблематикой	Видит источники современных проблем в заданной области анализа, владеет подходами к их решению	Способен грамотно обосновать собственную позицию относительно решения современных проблем в заданной области
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит их в развитии	Может понять практическое назначение основной идеи, но затрудняется выявить ее основания	Выявляет основания заданной области анализа, понимает ее практическую ценность, однако испытывает затруднения в описании сложных объектов анализа	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и умеет выделить практическое значение заданной области
	не знает	допускает ошибки при выделении рабочей области анализа	Способен изложить основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа	Знает основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа, способен их сопоставить	Может дать критический анализ современным проблемам в заданной области анализа

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетные единицы, 72 часа.

*Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий  
в академических часах*

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>28</b>	<b>8</b>
в том числе:		
лекции	<b>14</b>	<b>4</b>
практические занятия	<b>14</b>	<b>4</b>
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>44</b>	<b>64</b>
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>зачет</b>	<b>зачет</b>

## Очное обучение

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	Лаб. раб.	Практ. сем.	Сам. раб.	Компетенции
1	Строение и состав морской воды	2		2	8	ОПК-1,2
2	Статика и термодинамика океана	4	-	2	8	ОПК-1,2
3	Турбулентность и турбулентный обмен в океане	2	-	4	10	ОПК-1,2
4	Тепловые и соленостные процессы в океане. Влияние солнечной энергии.	2	-	4	10	ОПК-1,2
5	Морской лед	4	-	2	8	ОПК-1,2
	ИТОГО	14		14	44	



#### 4.1. Содержание разделов дисциплины

##### 1. Строение и состав воды.

Современные представления о строении молекулы воды и структуре воды, льда и водяного пара. Энергетические характеристики молекулы воды и ее различных фазовых преобразований. Водородные связи между молекулами  $H_2O$ . Ближняя и дальняя упорядоченность в расположении молекул воды в твердой, жидкой и газообразной фазах.

##### 2. Статика и термодинамика океана.

Морская вода как термодинамическая система. Основные параметры ее состояния. Уравнение состояния морской воды и его различные выражения. Сравнение значений плотности воды, вычисленных по различным приближенным уравнениям состояния. Основные термодинамические процессы. Первое и второе начала термодинамики применительно к процессам в океане и их математическое выражение. Основное уравнение термодинамики применительно к морской воде.

Теплофизические характеристики морской воды. Уравнения равновесия фаз воды. Изменение энтальпии при фазовых переходах воды. Влияние солености на термодинамические процессы. Изэнтропический и адиабатический процессы. Потенциальная температура и плотность морской воды. Условия различной вертикальной плотностной стратификации океана и критерии устойчивости.

Общее уравнение движения морской воды. Напряжения. Их связь со скоростями течения. Уравнение сохранения массы морской воды. Уравнение, характеризующее изменение солености воды. Механическая и внутренняя энергии объема морской воды как термодинамической системы. Уравнение изменения энтропии морской воды и уравнение теплопроводности. Основные допущения и приближения, используемые при описании океанических процессов.

##### 3. Турбулентность и турбулентный обмен в океане.

Определение турбулентности. Критерий Рейнольдса. Механизмы генерации турбулентного перемешивания в океане. Масштабы турбулентности. Влияние сдвига скорости и стратификации океана на условия существования турбулентности. Критерий Ричардсона. Анизотропность турбулентности в океане.

Осреднение уравнений термогидродинамики для турбулизированного океана. Принципы осреднения. Требования к масштабам осреднения. Уравнения турбулентного движения вод океана. Тензор турбулентных напряжений. Уравнения турбулентной теплопроводности и изменения солености воды. Турбулентные потоки тепла и соли.

Параметрическое описание турбулентных потоков субстанций в океане. Тензоры коэффициентов турбулентной вязкости, температуропроводности и диффузии соли. Упрощение структуры тензоров. Коэффициенты горизонтального и вертикального турбулентного обмена. Соотношение между ними. Турбулентные числа Прандтля и Шмидта. Прямые и косвенные методы определения коэффициентов турбулентности.

Принципы спектральной теории турбулентности. Пространственные корреляционный и структурный тензоры поля пульсаций скорости течения. Пространственные корреляционная и структурная функции пульсаций температуры и солености воды. Спектральные характеристики случайных полей в океане. Понятие об однородных и изотропных случайных полях. Локально-изотропные случайные поля океанологических характеристик. Гипотезы подобия Колмогорова о турбулентном режиме мелкомасштабной турбулентности. Результаты экспериментальных исследований характеристик турбулентности в океане. Спектры энергии турбулентности в различных пространственно-временных масштабах. Модель замороженной турбулентности.

Уравнение баланса энергии турбулентности для стратифицированного океана. Использование его для определения коэффициента турбулентности. Явление «отрицательной» вязкости в океане.

##### 4. Тепловые и соленостные процессы в океане

Балансы тепла и соли на поверхности океана, в слое, всего моря, океана. Балансовые уравнения. Методы расчета потоков тепла и влаги между океаном и атмосферой.

Закономерности вертикального распространения тепла и соли в океане. Их описание посредством уравнений теплопроводности и диффузии соли. Влияние метеорологических факторов и турбулентного перемешивания на температуру и соленость верхнего слоя океана.

Условия возникновения свободной конвекции в верхнем слое океана. Число Рэлея. Интегральная модель конвекции. Понятие о вынужденной конвекции. Верхний квазиоднородный слой океана и теории его формирования в горизонтально однородном и неоднородном океане.

Вертикальная термохалинная структура океана. Поверхностный холодный слой («скин» слой). Суточный термоклин, сезонные термоклин и галоклин, главный термоклин. Понятие о мелко-масштабной структуре океана и причинах ее образования.

Теория изменения температуры и солености морских течений. Стационарная и нестационарная их трансформация. Методы расчета.

Постановка общей задачи о расчете трехмерного термохалинного поля океана. Численные модели и принципы их реализации.

## 5. Морской лед.

Замерзание морской воды, возможность ее переохлаждения. Образование и рост кристаллов льда, их структура.

Фазовый состав морского льда. Соленость рассола и избирательность кристаллизации его солей. Миграция рассола. Соленость льда и ее изменение во времени.

Тепловые характеристики морского льда: теплоемкость, теплопроводность, теплота плавления. Их зависимость от температуры и солености льда. Радиационные свойства ледяного покрова: альbedo, поглощение льдом лучистых потоков тепла, радиационный баланс.

Общие закономерности термического роста толщины льда, влияние на него снега и притока тепла от воды. Температура морского льда. Поверхностное и боковое таяние льда. Методы расчета роста и таяния льда.

Механические свойства морского льда. Напряжения и деформации. Модули упругости и коэффициент Пуассона, практические методы их определения. Упругая и пластическая деформация льда. Явление релаксации. Пределы прочности льда и напряжения разрушения. Напряжения, действующие на лед в море. Поведение ледяного покрова под нагрузкой. Торошение льда. Расчет грузоподъемности ледяного покрова.

## 4.2. СЕМИНАРСКИЕ, ПРАКТИЧЕСКИЕ, ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических работ
1	2	Вычисление на ПЭВМ и сравнение уравнений состояния морской воды.
2	2	Вычисление на ПЭВМ и построение графиков плотностной стратификации океана.
3	3	Расчет профиля коэффициента турбулентности.
4	4	Определение характеристик верхнего квазиоднородного слоя.
5	5	Изучение структуры и текстуры образцов льда.

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Самостоятельная работа заключается:

- в выполнении домашних заданий, включая обработку материалов измерений в лаборатории, расчетов по практическим работам и подготовку к семинарам;

**5.1 Текущий контроль**

- отчеты по результатам выполнения домашних заданий
- выполнение тестовых контрольных опросов после изучения каждого раздела дисциплины

**а) Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля**

не планируется

**б) Примерная тематика рефератов, эссе, докладов**

не планируется

---

**в) Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания**

нет в учебном плане.

---

**5.2 Методические указания по организации самостоятельной работы**

*(Указываются темы эссе, рефератов, курсовых работ и др. Приводятся контрольные вопросы и задания для проверки текущего контроля, а также для контроля самостоятельной работы обучающегося по отдельным разделам дисциплины)*

Самостоятельная работа заключается:

- в подготовке отчетов по результатам выполнения домашних заданий

В отчете по результатам выполнения домашнего задания учащиеся указывают

- современное состояние моделирования рассматриваемого процесса;
  - основные уравнения используемой модели;
  - используемый алгоритм решения;
  - программу;
  - результаты расчетов в виде рисунков, графиков, таблиц;
  - результаты проведенного анализа результатов.
-

### 5.3. Промежуточный контроль: \_\_\_\_\_ аттестация

Не планируется

### 5.4. Образцы билетов к зачету

#### БИЛЕТ № 1

1. Строение воды как физического тела
2. Определить величину диссипации механической энергии, если температура и соленость воды равны соответственно  $10\text{ }^\circ\text{C}$  и  $35\text{‰}$ , а градиент скорости течения  $dV/dz = 7,3 \cdot 10^{-3}\text{ c}^{-1}$

#### БИЛЕТ №2

1. Уравнения состояния морской воды
2. Определите поверхностные силы, действующие на воду на глубине  $500\text{ м}$ . при температуре  $5^\circ\text{C}$  и солености  $30\text{‰}$ , если градиент скорости течения равен  $dV/dz = 3 \cdot 10^{-2}\text{ c}^{-1}$

#### БИЛЕТ №3.

1. Изменение энтальпии морской воды при ее фазовых переходах
2. Определить молекулярные и рейнольдсовы напряжения, если средние скорости  $\bar{u} = 32\text{ см/с}$ ,  $v = 24\text{ см/с}$ ,  $w = 24 \cdot 10^{-4}\text{ см/с}$ ,  $uw = 6,9 \cdot 10^{-2}\text{ см}^2/\text{с}^2$ ,  $vw = 5,9 \cdot 10^{-2}\text{ см}^2/\text{с}^2$

#### БИЛЕТ №4

1. Определение вертикальной плотностной стратификации вод океана.
2. Определить предельную толщину морского льда под слоем снега  $10\text{ см}$ . Температура поверхности снега  $-20^\circ\text{C}$ , а подледной воды  $-1,5^\circ\text{C}$ . Теплопроводности льда и снега равны:  $2,1$  и  $0,32\text{ Вт/м К}$ . Поток тепла из воды  $5\text{ Вт/м}^2$ .

#### БИЛЕТ №5

1. Верхние квазиоднородные слои. Термоклин и галоклин.
2. Определить коэффициент горизонтальной урбулентной теплопроводности, если  $UT = 1.2\text{ мК/с}$ ,  $dT/dx = 2 \cdot 10^{-3}\text{ К/м}$ ,  $u = 14\text{ см/с}$ ,  $T = 8^\circ\text{C}$ .

#### БИЛЕТ №6

1. Структура морской воды и льда
2. Определите соленость границы раздела двух водных масс, если их солености равны  $15$  и  $30\text{‰}$ , а коэффициенты турбулентной диффузии соответственно равны  $100$  и  $9\text{ см}^2/\text{с}$

#### БИЛЕТ №7

1. Фазовый состав морского льда
2. Определить спектральную плотность крупномасштабной турбулентности для волнового числа  $0,01\text{ м}^{-1}$  при  $\varepsilon = 0,01\text{ м}^2/\text{с}^3$

#### БИЛЕТ №8

1. Закономерности термического роста толщины морского льда
2. Вычислите значения критериев  $Re$ ,  $Ri$ ,  $Rf$ , если известны  $\rho = 1028\text{ кг/м}^3$ ,  $d\rho/dz = 5,14 \cdot 10^{-8}\text{ г/см}^3$ ,  $K_v = 10^{-2}\text{ м}^2/\text{с}$ ,  $Pr = 8$ . Скорость течения на поверхности  $25\text{ см/с}$  уменьшается до  $0$  на глубине  $25\text{ м}$ .

#### БИЛЕТ №9

1. Принцип осреднения уравнений термогидродинамики для турбулентного океана
2. Определите потенциальную плотность морской воды на глубине  $1\text{ км}$ . ( $T = 10^\circ\text{C}$ ,  $S = 30\text{‰}$ ).

## БИЛЕТ № 10

1. Коэффициенты турбулентного обмена субстанциями.
2. Определите различие между изобарической и изохорной теплоемкостями морской воды ( $T = 10^\circ \text{C}$ ,  $S = 30\text{‰}$ ,  $P = 0$ )

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 6.1 Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

Доронин Ю.П. Физика океана. Изд. РГГМУ, СПб, 2000 г., 305с.

Доронин Ю.П., Лукьянов С.В. Лабораторные работы по Физике океана. Изд. РГГМИ, СПб. 1993г., 86с.

б) дополнительная литература

Морской лед (Справочное пособие), ред. Фролов И.Е., Гаврило В.П. СПб., Гидрометеоздат, 1997 - гл.1,2.

#### 6.2 Средства обеспечения освоения дисциплины.

- Компьютерный вариант учебника Доронина Ю.П « Физика океана» для дистанционного обучения,
- Фотографии и файлы сканированных монографий и статей по разделам дисциплины.

### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

- Лабораторные бассейны с циркулирующей водой и измерительно-регистрирующей аппаратурой
- Холодильная камера с измерительно-регистрирующим оборудованием для изготовления образцов льда и работы с ними.

### 8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.

#### 8.1. Общие методические принципы изучения дисциплины.

1. Компьютерный вариант учебника « Физика океана» в интернете.
2. Контроль посещаемости студентами занятий.
3. Тестирование успеваемости студентов.
4. Аттестация студентов по результатам выполнения ими лабораторных и практических работ.
5. Прием коллоквиумов по лабораторным работам.
6. Прием отчетов по результатам каждой выполненной лабораторной или практической работы.
7. Промежуточные письменные тесты, опросы с решением задач по курсу.
8. Прием экзаменов в соответствии с Учебным планом.