

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра океанологии

Рабочая программа по дисциплине

**ФИЗИКА ОКЕАНА**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»**

Направленность (профиль):

**Полярная метеорология и климатология**

Квалификация:

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная/заочная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Полярная метеорология и климатология»


  
Лобанов В.А.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

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

Рассмотрена и утверждена  
на заседании кафедры  
 26 июля 2019 г., протокол № 7

Зав. кафедрой  Лукьянов С.В.

Авторы-разработчики:  
 Лукьянов С.В.

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Главной целью дисциплины «Физика океана» является формирование у студентов комплекса научных знаний об основных физических процессах в океане и их взаимодействием с процессами в атмосфере на базе результатов современных теоретических и экспериментальных исследований.

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 «Полярная метеорология и климатология» 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: «Метеорологическое обеспечение народного хозяйства», «Синоптическая метеорология, «Дополнительные главы климатологии».

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины формируются следующие компетенции:

ОПК-1 - обладать способностью представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики.

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.
минимальны й	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
продвинуты й	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	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и

				затруднения в описании сложных объектов анализа	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

Общая трудоёмкость дисциплины 2 з.е. (72 часа), из них лекций - 14 часов, практик - 14 часов, самостоятельная работа - 44 часов, занятий в активной или интерактивной форме – 6 часов.

Вид итогового контроля – Зачет в 4-ом семестре.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

###### Очное обучение

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	Лаб. раб.	Практ. сем.	Сам. раб.	Компетенции
1	Строение и состав морской воды	2		0	1	ОПК-1,2
2	Статика и термодинамика океана	2	0	2	3	ОПК-1,2
3	Турбулентность и турбулентный обмен в океане	2	0	4	4	ОПК-1,2
4	Тепловые и соленостные процессы в океане. Влияние солнечной энергии.	4	0	6	4	ОПК-1,2
5	Морской лед	4	0	2	4	ОПК-1,2
	ИТОГО	14	0	14	44	

Вид учебной дисциплины магистры	Всего Часов	Семестр
		4
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72
Аудиторные занятия	28	28
Лекции	14	14
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Практические занятия	14	14
Самостоятельная работа (СР)	44	44
Вид итогового контроля	зачет	зачет

## 4.2. 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 солёности 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 солёности 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 солёности 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 солёности 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 солёностные 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 мелкомасштабной 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.

## 4.3. 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  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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  $\rho = 1028\text{ кг/м}^3$ ,  $dp/dz = 5,14 \cdot 10^{-8}\text{ г/см}^3$ ,  $K_v = 10^{-2}\text{ м}^2/\text{с}$ ,  $Pr = 8$ . 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., Гидрометеиздат, 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-регистрающей аппаратурой
- Холодильная камера с измерительно-регистрающим 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.

**Лист изменений**

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2020-2021 учебный год без изменений. Протокол заседания кафедры инженерной гидрологии от 29.05.2020 № 10