

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и охраны природных вод

Рабочая программа по дисциплине

МОРСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования программы магистратуры по направлению подготовки

05.04.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль):
Оперативная океанография

Квалификация:
Магистр

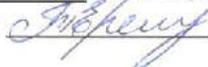
Форма обучения
Очная

Согласовано
Руководитель ОПОП «Оперативная
океанография»


В.Н. Кудрявцев

Утверждаю
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением
Учебно-методического совета
13 июня 2018 г., протокол № 4

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
22 03 2018 г., протокол № 7
Зав. кафедрой  Еремина Т.Р.

Автор-разработчик:
 Чухарев А.М.

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Морская турбулентность» является обеспечение фундаментальной подготовки студентов в области океанологии, формирование современного научного представления о процессах турбулентного перемешивания в океане; формирование навыков применения адекватных методов решения теоретических и прикладных задач.

Достижение главной цели предполагает решение следующих основных задач:

- изучение физико-математических принципов и подходов для описания турбулентности;
- изучение основных моделей турбулентности и возможностей их применения;
- изучение основных механизмов генерации турбулентности в океане и физических условий, влияющих на турбулентные процессы;
- формирование умений и навыков применения методов расчета турбулентных течений и турбулентных процессов при решении научно-исследовательских и практических задач в океанологии.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Морская турбулентность» для ОПОП направления подготовки 05.04.05 Прикладная гидрометеорология, направленность (профиль) – «Оперативная океанография», относится к дисциплинам по выбору вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин бакалавриата и следующих дисциплин магистерской программы: Дополнительные главы математики, Специальные главы «Физики атмосферы, океана и вод суши», Специальные главы статистического анализа процессов и полей.

Результаты освоения дисциплины могут быть использованы при подготовке выпускной квалификационной работы соответствующей направленности.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОПК-3	способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, проводить их качественно-количественный анализ
ОПК-5	готовность делать выводы и составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований
ПК-4	способностью использовать современные методы обработки и интерпретации океанологической информации при проведении научных исследований и в практической деятельности

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Морская турбулентность» обучающийся должен:

- Знать:
- обязательный минимум содержания основной образовательной программы по морской турбулентности;
 - роль турбулентных процессов в формировании океанологических полей;

- физические механизмы и условия, определяющие характер турбулентности в океане;
- основные физические и математические подходы к описанию турбулентности;
- основные модели для описания турбулентных течений, условия их применимости и ограничения.

Уметь:

- применять полученные знания для решения научно-исследовательских и практических задач океанологии;
- использовать соответствующий физико-математический аппарат для описания турбулентного обмена;
- проводить анализ результатов и формулировать объективные физические выводы.

Владеть:

- методами анализа явлений турбулентности в исследуемых океанических процессах;
- основными методами применения моделей турбулентности, способами оценки их адекватности;
- математическими методами решения поставленных задач;
- навыками компьютерных вычислений и программирования при решении задач турбулентного обмена в океане.

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Морская турбулентность» сведены в таблице.

Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

		минимальный	базовый	продвинутый
ОПК-3 Способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, проводить их качественно-количественный анализ	знать	имеет представление о естественнонаучной сущности проблем, возникающих в сфере гидрометеорологии, в том числе роли турбулентных процессов, физические механизмы и условия в формировании океанологических полей	знает естественнонаучную сущность проблем, возникающих в сфере гидрометеорологии, в том числе роли турбулентных процессов, физические механизмы и условия в формировании океанологических полей	знает и понимает комплексность задач выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в сфере гидрометеорологии, в том числе роли турбулентных процессов, физические механизмы и условия в формировании океанологических полей
	уметь	умеет выполнять стандартный качественно-количественный анализ с использованием физико-математического аппарата для описания турбулентного обмена при решении задач в сфере гидрометеорологии	умеет выбрать метод и самостоятельно провести качественно-количественный анализ с использованием физико-математического аппарата для описания турбулентного обмена при решении задач в сфере гидрометеорологии	умеет выбрать метод, самостоятельно провести качественно-количественный анализ с использованием физико-математического аппарата для описания турбулентного обмена и обобщить его результаты при решении задач в сфере гидрометеорологии
	владеть	имеет представление о соответствующем физико-математическом аппарате для описания турбулентного обмена при решении задач в сфере гидрометеорологии	владеет подходами и методами соответствующего физико-математического аппарата для описания турбулентного обмена при решении задач в сфере гидрометеорологии	владеет и корректно применяет методы соответствующего физико-математического аппарата для описания турбулентного обмена при решении задач в сфере гидрометеорологии
ОПК-5 готовность делать выводы и составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований	знать	имеет представление о правилах предоставления информации о полученных результатах научных исследований для практического использования на основе основных моделей для описания турбулентных течений, условия их применимости и ограничения	знает правила предоставления информации о полученных результатах научных исследований для практического использования, на основе основных моделей для описания турбулентных течений, условия их применимости и ограничения	знает правила предоставления информации о полученных результатах научных исследований для практического использования на основе моделей для описания турбулентных течений, условия их применимости и ограничения и направления ее возможного внедрения
	уметь	умеет проводить анализ результатов и формулировать объективные физические выводы, но испытывает затруднения при разработке практических рекомендации по использованию	умеет проводить анализ результатов и формулировать объективные физические выводы и разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований	умеет аргументированно проводить анализ результатов и формулировать объективные физические выводы, разрабатывать практические рекомендации по

		ванию результатов научных исследований		использованию результатов научных исследований и готов способствовать их внедрению
	владеть	владеет профессиональной терминологией анализа явлений турбулентности в исследуемых океанических процессах	владеет профессиональной терминологией анализа явлений турбулентности в исследуемых океанических процессах и навыками разработки практических рекомендации по использованию результатов научных исследований	владеет профессиональной терминологией анализа явлений турбулентности в исследуемых океанических процессах и навыками разработки и внедрения практических рекомендации по использованию результатов научных исследований
ПК-4 готовность использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах	знать	имеет представление о роли турбулентных процессов, физические механизмы и условия в формировании океанологических полей при проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах	знает о роли турбулентных процессов, физические механизмы и условия в формировании океанологических полей при научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах	знает о роли турбулентных процессов, физические механизмы и условия в формировании океанологических полей при научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах и понимает их преимущества
	уметь	ориентируется в современных направлениях развития науки и компьютерных вычислений и программирования при решении задач турбулентного обмена в океане	умеет обосновать выбор современных технологий компьютерных вычислений и программирования в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах	способен освоить и использовать современные достижения науки компьютерных вычислений и программирования и передовых технологий в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах
	владеть	владеет приемами поиска информации о современных методах применения моделей турбулентности, способами оценки их адекватности и передовых технологиях в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах и	владеет приемами поиска и систематизации информации о современных методах применения моделей турбулентности, способами оценки их адекватности и передовых технологиях в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах	владеет навыками использования отдельных передовых технологий и методами применения моделей турбулентности, способами оценки их адекватности в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

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

Объём дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения
	3 семестр
Объём дисциплины	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	36
в том числе:	
лекции	18
практические занятия	18
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	72
Вид промежуточной аттестации	экзамен

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	Практическая работа	Самост. работа			
1	Ламинарное и турбулентное движение. Критерий Рейнольдса. Определение турбулентности. Теорема об импульсах и турбулентные напряжения	3	2	2	6	опросы и выступления.		ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
2	Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентные пограничные слои и турбулентные струи	3	2	2	8	опросы и выступления.	2	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
3	Модели турбулентности. Классификация моделей турбулентности	3	2	2	10	опросы и выступления.	2	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
4	Теория спектра тур-	3	2	2	10	опросы и	2	ОПК-5, ОПК-3;

	булентности. Элементы статистической теории турбулентности					выступления.		ПК-4
5	Теория турбулентного обмена в океане. Теплопроводность и диффузия. Механизмы генерации океанской турбулентности	3	2	2	8	опросы и выступления.		ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
6	Некоторые задачи теории турбулентного обмена в океане	3	2		8	опросы и выступления.	2	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
7	Вертикальная устойчивость вод океана Вертикальное турбулентное перемешивание в океане. Критерий Ричардсона	3	2	2	6	опросы и выступления.		ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
8	Горизонтальное турбулентное перемешивание в океане	3	2	2	6	опросы и выступления.		ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
9	Термохалинная конвекция. Вертикальная зимняя циркуляция	3	2	2	6	опросы и выступления.	2	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
10	Обобщающий семинар	3		2	4	опросы и выступления.		ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
	ИТОГО		18	18	72	экзамен	10	

4.1.1 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.

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1 Ламинарное и турбулентное движение. Критерий Рейнольдса. Определение турбулентности. Теорема об импульсах и турбулентные напряжения

Вязкость и сила трения. Касательное напряжение. Формула Ньютона. Ламинарные течения. Течение Гагена-Пуазейля. Закон подобия и число Рейнольдса. Возникновение турбулентности. Критическое число Рейнольдса. Турбулентная вязкость в развитой турбулентности. Турбулентная вязкость и турбулентное касательное напряжение. Гипотеза Буссинеска.

Математическое определение турбулентности. Теорема об импульсах, тензор турбулентных напряжений. Связь между пульсациями и коэффициентами перемешивания. Турбулентные пульсации тепла и солей.

4.2.2 Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентные пограничные слои и турбулентные струи

Путь смешения. Динамическая скорость («скорость трения»). Гипотеза Прандтля. Гипотеза Кармана. Вторая гипотеза Прандтля. Турбулентные пограничные слои. Универсальный закон распределения скоростей. Параметр шероховатости. Примеры применения полуэмпирических теорий. Турбулентные струи.

4.2.3 Модели турбулентности. Классификация моделей турбулентности.

Методы замыкания систем уравнений турбулентного движения. Градиентные модели турбулентности. Дифференциальные модели турбулентности. Уравнение баланса турбулентной энергии.

4.2.4 Теория спектра турбулентности. Элементы статистической теории турбулентности

Иерархия вихрей. Локально-изотропная турбулентность. Гипотезы подобия Колмогорова. Выражение длины, времени и скорости через кинематическую вязкость и скорость диссипации. Спектральные представления о структуре турбулентности. Понятие о моментах (первые, вторые, одно- и двухточечные). Инерционный интервал турбулентности. «Закон пяти третей» Монина-Обухова. «Закон двух третей» Колмогорова-Обухова. Зоны энергоснабжения в спектре турбулентности (гипотеза Ozmidova).

4.2.5 Теория турбулентного обмена в океане. Теплопроводность и диффузия. Механизмы генерации океанской турбулентности.

Понятие о субстанции. Интенсивные и экстенсивные параметры. Теория обмена (переноса субстанций). Коэффициент обмена. Уравнение обмена. Теплопроводность и диффузия. Уравнение теплопроводности Фурье и уравнение диффузии Фикка. Уравнение диффузии плотности. Понятие об эффективных коэффициентах обмена. Механизмы генерации турбулентности в океане (по А.С. Монину).

4.2.6 Некоторые задачи теории турбулентного обмена в океане.

Задача о выравнивании температуры соприкасающихся водных масс. Языкообразное распределение изохалин или изотерм на разрезах. Тепловые волны в море.

4.2.7 Вертикальная устойчивость вод океана. Вертикальное турбулентное перемешивание в океане. Критерий Ричардсона.

Понятие о вертикальной устойчивости. Барическая и адиабатическая устойчивость. Термохалинная устойчивость. Устойчивость и скорость звука в море. Частота Вайсяля-Брента. Трансформация кинетической энергии осредненного течения в энергию турбулентности. Работа (против) архимедовых сил. Диссипация энергии. Уравнение баланса турбу-

лентной энергии в форме Ричардсона. Число Ричардсона. Коэффициенты обмена как функции числа Ричардсона. Коэффициенты турбулентного обмена в однородной и в стратифицированной жидкости. Формулы Райли, Манка и Андерсона.

4.2.8 Горизонтальное турбулентное перемешивание в океане.

Влияние стратификации на горизонтальное перемешивание. «Эллипсы» турбулентного обмена. Теория "взаимного разделения" пар частиц. "Закон четырех третей" Ричардсона — Обухова. Непрерывная горизонтальная диффузия. Сравнительная характеристика коэффициентов вертикального и горизонтального перемешивания в море.

4.2.9 Термохалинная конвекция. Вертикальная зимняя циркуляция.

Факторы, определяющие конвекцию в море. Виды гравитационной конвекции. Понижение температуры при охлаждении. Повышение солёности при льдообразовании. Повышение солёности при испарении. Теория конвекции Н.Н.Зубова. Конвекция между двумя горизонтальными плоскостями, число Рэлея. Конвекция, обусловленная «двойной диффузией», образование слоев.

4.3. Практические занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Ламинарное и турбулентное движение. Теория подобия. Вывод формул методом размерностей. Расчет числа Рейнольдса для различных течений. Оценка влияния вязкости на характер движения. Вязкость морской воды. Сравнение характеристик движения при ламинарном и турбулентном течении.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
2	2	Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентные пограничные слои и турбулентные струи Путь смешения. Динамическая скорость. Гипотеза Прандтля. Гипотеза Кармана. Вторая гипотеза Прандтля. Турбулентные пограничные слои. Универсальный закон распределения скоростей. Параметр шероховатости. Примеры применения полуэмпирических теорий. Турбулентные струи.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
3	3	Модели турбулентности. Турбулентные напряжения и их модельные выражения. Основные упрощения при моделировании турбулентных течений. Причины и характер ошибок при модельном представлении уравнений турбулентного движения. Критерии объективности моделей. Оценка адекватности моделей.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
4	4	Спектр турбулентности. Способы получения спектральных оценок. Быстрое преобразование Фурье и его свойства. Амплитудный и энергетический спектр.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4

		Расчет спектра временного ряда. Спектр волновых чисел. Гипотеза «замороженной турбулентности» Тэйлора. Расчет скорости диссипации турбулентной энергии.		
5	5	Механизмы генерации океанской турбулентности. Задачи теории турбулентного обмена в океане. Турбулентность в пограничных слоях океана. Турбулентность в приповерхностном слое и в придонном слое. Определение коэффициента турбулентной теплопроводности по тепловым волнам в море.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
6	6	Турбулентность в стратифицированных слоях океана. Расчет частоты плавучести и числа Ричардсона. Оценка коэффициента турбулентного обмена в поле внутренних волн. Расчет спектра пульсаций градиента температуры. Зависимость коэффициента от стратификации.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
7	7	Турбулентная диффузия. Задачи о диффузии от мгновенного и от стационарного точечного источника примеси. Расчет коэффициента турбулентной диффузии по концентрациям примеси. Зависимости коэффициента от масштаба явления и от времени.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
8	8	Термохалинная конвекция. Вертикальная зимняя циркуляция Факторы, определяющие конвекцию в море. Виды гравитационной конвекции. Теория конвекции Н.Н.Зубова. Конвекция между двумя горизонтальными плоскостями, число Рэлея. Конвекция, обусловленная «двойной диффузией», образование слоев.	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4
9	1-8	Обобщающее практическое занятие	опросы и выступления	ОПК-5, ОПК-3; ПК-4

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

5.1.1 Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе всех видов занятий в форме проведения устного опроса:

Вопросы для текущего контроля:

1. Определение турбулентности.
2. Критическое число Рейнольдса. Турбулентная вязкость.
3. Ламинарные и турбулентные течения. Закон подобия.

4. Турбулентное касательное напряжение. Гипотеза Буссинеска.
5. Теорема об импульсах, тензор турбулентных напряжений.
6. Кинетическая энергия турбулентности. Скорость диссипации турбулентной энергии.
7. Гипотезы Прандтля и Кармана.
8. Локально-изотропная турбулентность.
9. Теория подобия и гипотезы Колмогорова.
10. Спектральные представления о структуре турбулентности.
11. Генерация и диссипация турбулентной энергии.
12. Уравнение баланса турбулентной энергии.
13. Понятие о статистических моментах гидродинамических полей.
14. Градиентные модели турбулентности.
15. Дифференциальные модели турбулентности.
16. Уравнение переноса турбулентных напряжений.
17. Уравнение переноса скорости диссипации турбулентной энергии.
18. Тепловые волны в море.
19. Понятие о субстанции. Интенсивные и экстенсивные параметры.
20. Турбулентная теплопроводность и турбулентная диффузия.
21. Понятие о вертикальной устойчивости.
22. Термохалинная устойчивость.
23. Полуэмпирические теории турбулентности.
24. Коэффициенты диффузии, температуропроводности.
25. Горизонтальная турбулентность.
26. «Закон четырех третей» Ричардсона — Обухова.
27. Частота Вейселя-Брента.
28. Число Ричардсона.
29. Коэффициенты турбулентного обмена в стратифицированной жидкости.
30. Механизмы генерации турбулентности в океане.
31. Турбулентная вязкость в приповерхностном слое.
32. Турбулентность в придонном слое океана.
33. Механизмы генерации турбулентности в стратифицированной жидкости.
34. Уравнение баланса турбулентной энергии в форме Ричардсона.
35. Непрерывная горизонтальная диффузия.
36. «Эллипсы» турбулентного обмена.
37. Инерционный интервал турбулентности.
38. «Закон пяти третей» Мони́на-Обухова.
39. Виды гравитационной конвекции.
40. Факторы, определяющие конвекцию в море.
41. Конвекция, обусловленная «двойной диффузией».

Шкала оценивания двухбалльная – «зачтено/не зачтено»

Критерии выставления оценки:

- **оценка «зачтено»:** обучающийся сформулировал краткий верный ответ;
- **оценка «не зачтено»:** обучающийся не дал ответ на вопрос или дал неверный ответ .

5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

При реализации дисциплины «Морская турбулентность» активно используется работа с конспектами лекций, изучение основной и дополнительной литературы, справочников, пособий, интернет-ресурсов.

В рамках самостоятельной работы студенты осуществляют подготовку к докладам (в соответствии с темами практических занятий), а также выполняют практические работы, в том числе с использованием программных пакетов на персональных компьютерах (Matlab, MathCad) для расчета характеристик турбулентности по модельным или натурным данным.

Предполагается самостоятельное изучение необходимого минимума программных средств для уверенного использования основных математических процедур при обработке данных, расчета и построения графиков, спектров.

Практическое занятие включают самостоятельную проработку теоретического материала и изучение методики решения типичных задач. Некоторые задачи содержат элементы научных исследований, которые могут потребовать углубленной самостоятельной проработки теоретического материала.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине преподавателю рекомендуется использовать следующие ее формы:

- самостоятельное решение студентом задач обычной сложности, направленных на закрепление знаний и умений;
- выполнение индивидуальных заданий повышенной сложности, направленных на развитие у студентов научного мышления и инициативы.

Основным критерием оценки знаний студентов в течение семестра и на экзамене является умение студента оперировать знаниями, полученными в процессе изучения курса «Морская турбулентность» для решения конкретных задач в оперативной океанографии, при оценке влияния турбулентного обмена на формирование основных океанологических полей, для прогноза состояния морской среды.

Программой дисциплины в целях проверки качества усвоения материала студентами предусматривается проведение текущего контроля.

Текущий контроль успеваемости проводится в ходе учебных занятий в форме устного опроса, а также по результатам докладов и участия в дискуссиях в ходе проведения практических занятий.

5.3 Промежуточная аттестация (3 семестр)

Перечень вопросов к экзамену

1. Молекулярное и турбулентное перемешивание. Определение турбулентности. Свободная турбулентность и турбулентность в пограничных слоях. Феноменологический и статистический подходы к изучению турбулентности.
2. Возникновение турбулентности. Критическое число Рейнольдса. Турбулентная вязкость в развитой турбулентности.
3. Касательное напряжение. Формула Ньютона. Ламинарные и турбулентные течения. Течение Гагена-Пуазейля. Закон подобия и число Рейнольдса.
4. Турбулентная вязкость и турбулентное касательное напряжение. Гипотеза Буссинеска.
5. Характеристики турбулентности: среднеквадратичное значение, интенсивность пульсаций, степень турбулентности, кинетическая энергия, коэффициенты корреляции и автокорреляции. Теорема об импульсах, тензор турбулентных напряжений.
6. Основное отличие ламинарного и турбулентного течений. Мгновенная, средняя и пульсационная компоненты скорости. Уравнения Рейнольдса.

7. Связь между турбулентными пульсациями и коэффициентами перемешивания. Турбулентные пульсации тепла и солей.
8. Теорема об импульсах, тензор турбулентных напряжений. Кинетическая энергия турбулентности и скорость диссипации турбулентной энергии.
9. Гипотезы Прандтля и Кармана. Турбулентные пограничные слои. Универсальный закон распределения скоростей. Параметр шероховатости.
10. Локально-изотропная турбулентность. Теория подобия и гипотезы Колмогорова. Спектральные представления о структуре турбулентности.
11. Генерация и диссипация турбулентной энергии. Уравнение баланса турбулентной энергии в общем виде.
12. Иерархия вихрей. Гипотезы подобия Колмогорова. Инерционный и диссипативный участки спектра турбулентности.
13. Эргодическая гипотеза. Понятие о статистических моментах гидродинамических полей (первые, вторые, одноточечные и двухточечные) Уравнения Фридмана-Келлера.
14. Градиентные модели турбулентности. Гипотезы Прандтля, Тэйлора, Кармана.
15. Дифференциальные модели турбулентности.
16. Уравнения переноса турбулентных напряжений и скорости диссипации турбулентной энергии.
17. Тепловые волны в море. Два способа определения коэффициента теплопроводности. Формула Фьельдстада.
18. Понятие о субстанции. Интенсивные и экстенсивные параметры. Коэффициент обмена. Уравнение обмена. Теплопроводность и диффузия.
19. Понятие о вертикальной устойчивости. Барическая и адиабатическая устойчивость. Термохалинная устойчивость. Разделение на температурную, соленостную, плотностную устойчивость. Главная часть устойчивости.
20. Полуэмпирические теории турбулентности, примеры применения в океанологии.
21. Уравнение теплопроводности Фурье и уравнение диффузии Фикка. Коэффициенты диффузии, теплопроводности, температуропроводности. Понятие об эффективных коэффициентах обмена.
22. Горизонтальная турбулентность. "Закон четырех третей" Ричардсона — Обухова.
23. Устойчивость и скорость звука в море. Частота Вайсяля-Брента. Коэффициенты обмена как функции частоты Вайсяля.
24. Коэффициенты обмена как функции числа Ричардсона. Коэффициент турбулентного обмена в однородной жидкости. Коэффициенты турбулентного обмена в стратифицированной жидкости.
25. Механизмы генерации турбулентности и турбулентная вязкость в приповерхностном слое океана.
26. Турбулентность в придонном слое океана.
27. Механизмы генерации турбулентности в стратифицированной жидкости. Работа архимедовых сил. Диссипация энергии.
28. Главная часть вертикальной (термохалинной) устойчивости. Частота Вайсяля-Брента. Уравнение баланса турбулентной энергии в форме Ричардсона. Число Ричардсона.
29. Трансформация кинетической энергии осредненного течения в энергию турбулентности. Диссипация энергии. Уравнение баланса турбулентной энергии в форме Ричардсона.
30. Коэффициенты турбулентного обмена в стратифицированной жидкости. Формулы Райли, Манка и Андерсона.
31. Непрерывная горизонтальная диффузия. Задача о диффузии от мгновенного точечного источника примеси.
32. Сравнительная характеристика коэффициентов вертикального и горизонтального перемешивания в море. Задача о диффузии от стационарного точечного источника примеси.

33. Влияние стратификации на горизонтальное перемешивание. «Эллипсы» турбулентного обмена. Теория "взаимного разделения" пар частиц.
34. Инерционный интервал турбулентности. "Закон пяти третей" Мони́на-Обухова. Зоны энергоснабжения в спектре турбулентности (гипотеза Озмидова).
35. Виды гравитационной конвекции. Конвекция между двумя горизонтальными плоскостями, число Рэлея.
36. Дифференциальные модели турбулентности.
37. Задача о выравнивании температуры соприкасающихся водных масс. Языкообразное распределение изохалин или изотерм на разрезах.
38. Понятие о вертикальной устойчивости. Барическая и адиабатическая устойчивость. Термохалинная устойчивость.
39. Факторы, определяющие конвекцию в море. Виды гравитационной конвекции.
40. Конвекция, обусловленная «двойной диффузией», образование слоев. Физические механизмы образования «солевых пальцев» и «солевого фонтана».

Шкала оценивания: четырехбалльная

Критерии оценивания

Критерии оценки ответа	Оценка
Тема не раскрыта, ответ на один из вопросов отсутствует	неудовлетворительно
Тема раскрыта не полностью, ответы на наводящие вопросы позволяют раскрыть тему полностью	удовлетворительно
Тема экзаменационных вопросов раскрыта полностью, ответы на дополнительные вопросы не полные, имеет место нечеткость формулировок.	хорошо
Тема раскрыта полностью, ответы на дополнительные вопросы отражают понимание роли и физики турбулентных процессов моря	отлично

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

Доронин Ю.П. Физика океана. - СПб.: изд. РГГМУ, 2000. - 340 с. - Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-417204055.pdf (добавлена ссылка).

б) дополнительная литература:

1. Физика океана. Т. 1. Гидрофизика океана. / Отв. ред. В.М. Каменкович, А.С. Монин. – М.: Наука, 1978. – 455 с.
2. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 319 с.
3. Озмидов Р.В. Диффузия примесей в океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 277 с.
4. Монин А.С., Красицкий В.П. Явления на поверхности океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 375 с.
5. Методы расчета турбулентных течений: Пер с англ. / Под ред. В. Колльмана. – М.: Мир, 1984. – 464 с.

6. Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л. Лекции по теоретическим методам исследования турбулентности: Учебное пособие. М.: МФТИ, 2005. – 179 с.
 7. Рожков В.А. Статистическая гидрометеорология. Часть 2. Турбулентность и волны. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2013. – 216 с.
 8. Soloviev A., Lukas R. The Near-Surface Layer of the Ocean: Structure, Dynamics and Applications /2nd ed. - Springer, 2014. - 552 pp.
 9. Шутова М.М. Общая океанология. Гидрофизика океана: электронный ресурс - учебно-методическое пособие. Владивосток. 2012. Издательский дом ДВФУ. – 151 с. / <http://nashol.com/2015043084397/obschaya-oceanologiya-gidrofizika-okeana-shutova-m-m-2012.html>.
 10. Paskyabi M.B., Fer I. Turbulence structure in the upper ocean: a comparative study of observations and modeling // Ocean Dynamics, 2014. / DOI 10.1007/s10236-014-0697-6
 11. Ocean-Atmosphere Interactions of Gases and Particles/ eds. Liss P.S., Johnson M.T. Springer, 2014. / DOI 10.1007/978-3-642-25643-1.
 12. Монин А.С., Озмидов Р.В. Океанская турбулентность. Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 321 с.
 13. Монин А.С. Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Ч 1. М.: Наука, 1965. – 639 с.
 14. Фрик П.Г. Турбулентность: модели и подходы. Курс лекций. Часть 1. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 1998. – 108 с.
 15. Фрик П.Г. Турбулентность: модели и подходы. Курс лекций. Часть 2. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 1999. – 136 с.
 16. Тэрнер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. М.: Мир, 1977. – 431 с.
 17. Мамаев О.И. Физическая океанография. Избранные труды. М.: ВНИРО, 2000. – 364 с.
 18. Rodi W., Uhlmann M. (Eds.) Environmental Fluid Mechanics /Boca Raton: CRC Press, 2012. — 436 p.
 19. Kornev N. Mathematical modeling of turbulent flows. Rostock.:Universität Rostock. 2013. – 121 p.
 20. Burchard H, Umlauf L. Marine Turbulence. 2014/ http://www.io-warnemuende.de/tl_files/staff/umlauf/turbulence/turbulence.pdf
 21. Гарбарук А.В., Стрелец М.Х., Шур М.Л. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
- (материалы предоставляются сотрудниками базовой кафедры на базе МГИ, г. Севастополь)

в) программное обеспечение

1. операционная система Windows 7
2. пакет прикладных программ Microsoft Office,

г) Интернет-ресурсы не предусмотрены

д) профессиональные базы данных не предусмотрены

е) информационные справочные системы не предусмотрены

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Любой практическое занятие включает самостоятельную проработку теоретического материала и изучение методики решения типичных задач. Некоторые задачи содержат элементы научных исследований, которые могут потребовать углубленной самостоятельной проработки теоретического материала.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине преподавателю рекомендуется использовать следующие ее формы:

- решение студентом самостоятельных задач обычной сложности, направленных на закрепление знаний и умений;
- выполнение индивидуальных заданий повышенной сложности, направленных на развитие у студентов научного мышления и инициативы.

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
Разделы 1-11	Лекции-визуализации практические занятия самостоятельная работа в ЭБС	1. операционная система Windows 7 2. пакет прикладных программ Microsoft Office,

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение программы соответствует действующим санитарно-техническим и противопожарным правилам и нормам и обеспечивает проведение всех видов практических занятий и самостоятельной работы студентов.

Учебный процесс обеспечен аудиториями, комплектом лицензионного программного обеспечения, библиотекой РГГМУ.

Учебная аудитории 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 аудитории для проведения занятий семинарского типа укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, компьютерами с возможностью подключения к сети "Интернет".

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

Помещение для самостоятельной работы студентов. Помещение оснащено: специализированной (учебной) мебелью, компьютерами с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации

Помещение для хранения оборудования (ноутбук, проектор и переносной экран).