

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Морской гидрофизический институт РАН»  
(ФГБУН ФИЦ МГИ)



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ВОЛНОВЫЕ ДВИЖЕНИЯ В ОКЕАНЕ**

Специальность  
**1.6.17. Океанология**

Форма обучения  
**Очная**

г. Севастополь 2024

Рабочая программа дисциплины «Волновые движения в океане» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Разработчик рабочей программы дисциплины:

Дулов Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, профессор отдела аспирантуры ФГБУН ФИЦ МГИ

(Ф.И.О., ученая степень, звание, должность разработчиков).



(Подпись)

Зам. директора по научно-методической и образовательной работе, доктор географических наук



Васечкина Е. Ф.

(Подпись)

## 1. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Главной целью изучения дисциплины является формирование у аспирантов представлений об общей картине волновых и колебательных движений в океане, месте в ней изучаемых волн и колебаний, их связей с другими геофизическими процессами и их значении в гидротермодинамике морской среды.

## 2. ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Задачи дисциплины:

- получение аспирантами базовых океанологических знаний об основных типах волн и колебаний в океане: звуке, длинных волнах, приливах и колебаниях в замкнутых водоемах, поверхностных гравитационных и капиллярных волнах, внутренних волнах, планетарных и шельфовых волнах;
- изучение свойств различных типов волн и колебаний в океане на основе уравнений гидродинамики и принципов волновой механики;
- приобретение аспирантами представлений о способах регистрации волновых и колебательных движений в океане, практических подходах к их анализу и прогнозу, глобальному и региональному моделированию;
- развитие навыков самостоятельного изучения и осмысливания учебного материала;
- развитие навыков изложения учебного материала и устной научной дискуссии.

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Волновые движения в океане» относится к Образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по специальности 1.6.17. Океанология.

Для усвоения дисциплины, обучающиеся должны предварительно освоить следующие дисциплины программ подготовки бакалавров и магистров:

«Математика», разделы:

- Математический анализ;
- Аналитическая геометрия;
- Дифференциальные уравнения;
- Теория вероятности и статистика;
- Уравнения математической физики.

«Общая физика», разделы:

- Механика;
- Молекулярная физика и термодинамика;
- Оптика либо Волновая механика;

а также начальные разделы курса «Гидродинамика».

Дисциплина предполагает наличие у обучающихся навыков самостоятельной работы с учебной литературой.

Дисциплина «Волновые движения в океане» является базовой для исследовательской работы в области океанологии. Она необходима при подготовке диссертации и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

Дисциплина является базовой для дисциплин «Спутниковая океанология», «Взаимодействие океана и атмосферы».

## 4. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Волновые движения в океане» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ООП ВО по направлению подготовки Науки о Земле:

4.1. Универсальные компетенции:

– способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

– способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

– готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

– способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

#### 4.2. Общепрофессиональные компетенции:

– способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

#### 4.3. Профессиональные компетенции:

– способность к глубоким исследованиям и самостоятельным научным выводам на базе системы фундаментальных и прикладных знаний в области океанологии (ПК-1);

– умение использовать современные методы исследования океанологических процессов и явлений с целью анализа и прогноза состояния морской среды и получения приоритетных научных результатов (ПК-2);

– умение применять современные знания в области океанологии для разработки и совершенствования востребованных технологий и решения актуальных прикладных проблем, возникающих при взаимодействии человека и природы (ПК-3).

4.4. В результате изучения дисциплины «Волновые движения в океане» аспирант должен

#### **Знать:**

– общефизические подходы к описанию волн и колебаний, а также их взаимодействия с неоднородной морской средой;

– классические разделы теории волн в океане (акустические волны, длинные волны, приливы, поверхностные волны, внутренние волны, планетарные волны), включая вывод свойств волн и колебаний из уравнений гидродинамики;

– основы моделирования и прогноза волновых и колебательных процессов в океане;

#### **Уметь:**

– выполнять количественные оценки физических характеристик волн различных типов;

– интерпретировать данные наблюдений в рамках волновых подходов;

#### **Владеть:**

– научными методами описания волновых и колебательных движений в океане;

– подходами к измерению характеристик волновых и колебательных движений в океане;

– современными представлениями об общей картине волновых и колебательных движений в океане, месте в ней изученных волн и колебаний, их связей с другими геофизическими процессами и их значениях в гидротермодинамике морской среды;

#### **Приобрести опыт:**

– самостоятельного изучения научных публикаций;

– представления и обсуждения результатов собственной работы.

Таблица1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и уровень формируемой компетенции по ООП ВО	Владения	Умения	Знания
			1 2 3 4
(УК-1) – 1	владеть современными представлениями об общей картине волновых и колебательных движений в океане и значении этих движений в гидротермодинамике морской среды		знать современные представления о месте изученных волн и колебаний в общей картине волновых и колебательных движений в океане, а также об их связях с другими геофизическими процессами.
(УК-2) – 1	владеть общефизическими подходами к описанию волн и колебаний, а также их взаимодействия с неоднородной морской средой		иметь представление об истории исследования волновых и колебательных движений в океане
(УК-3) – 1		получить опыт представления и обсуждения результатов собственной работы	
(УК-5) – 1		получить опыт самостоятельного изучения научных публикаций	
(ОПК-1)-1			получить представления о современных методах волновых исследований в океане и о возможностях повышения их эффективности с помощью информационно-коммуникационных технологий
(ПК-1)-1	владеть научными методами описания волновых и колебательных движений в океане	уметь выводить свойства волн и колебаний из уравнений гидродинамики	знать классические разделы теории волн в океане: акустические волны, длинные волны, приливы, поверхностные волны, внутренние волны, планетарные волны
(ПК-2)-1	владеть современными приемами и средствами анализа волновых и колебательных движений в океане	уметь выполнять количественные оценки физических характеристик волн различных типов	знать основы моделирования и прогноза волновых и колебательных процессов в океане
(ПК-3)-1	Владеть представлениями об актуальных проблемах, связанных с волновыми и колебательными движениями в океане	уметь интерпретировать данные об океанической среде в рамках волновых подходов	знать классические и современные подходы к измерению характеристик волновых и колебательных движений в океане

## 5. ОБЪЕМ И ВИД УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 часов), из них аудиторных занятий – 36 часов, в том числе аудиторных часов занятий в активной или в интерактивной форме – 36 часов, и самостоятельной работы по подробно сформулированным заданиям – 72 часа. Аудиторные занятия включают лекции (36 часов). Вид итогового контроля – зачет.

Распределение трудоемкости в часах по всем видам аудиторной и самостоятельной работы аспиранта:

Виды учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Часы	ЗЕ
Аудиторные занятия (всего), в том числе:	36	1
Лекции	36	1
Практические занятия	-	-
Самостоятельная работа (всего)	70	1,94
Формы аттестации по дисциплине зачет с оценкой	2	0,06
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>108</b>	<b>3</b>

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Лекции

#### Тема 1. Введение.

Уравнения гидродинамики. Силы, ответственные за различные типы волн и колебаний: поверхностные волны, внутренние волны, инерционные колебания и волны, приливы, планетарные волны.

Уравнения гидродинамики – оценка членов. Устойчивое равновесное состояние и малые возмущения; линеаризация уравнений и решения в виде волн; дисперсионное соотношение; принцип суперпозиции; орбитальные скорости и фазовая скорость.

#### Тема 2. Акустические волны.

Уравнения гидродинамики, адиабатическое приближение, звуковые уравнения, дисперсионное соотношение, скорость звука, орбитальные скорости. Энергия и поток энергии. Проверка малости возмущений.

#### Тема 3. Длинные волны.

Теория мелкой воды – уравнения и граничные условия, приближение гидростатики, уравнение длинных волн, волновое уравнение и его общее решение, фазовая скорость, движение частиц воды; энергия волн и групповая скорость.

Сейши – резонансные колебания в прямоугольном бассейне с ровным дном: постановка задачи, решение в виде стоячих волн, дискретные моды колебаний; картины движения жидкости и изменений уровня для различных мод в случаях закрытого бассейна и бассейна, открытого с одного конца; понятие о сейшах в реальных водоемах, периоды и пространственная структура; колебания в бухтах, резонатор Гельмгольца, тягун.

Цунами – механизмы генерации, скорость распространения и высота волн; трансформация волн при приближении к берегу – объяснение рефракции и интенсификации волн на качественном уровне, зависимость высоты волн от глубины в линейном приближении.

#### Тема 4. Приливы.

Основные характеристики приливов – периоды, элементы прилива и их характерные значения, приливные неравенства и их связь с фазами луны.

Статическая теория приливов – приливообразующие силы, эллипсоид прилива, объяснение изменчивости характеристик приливов и фазового неравенства с помощью статической теории приливов.

Динамическая теория приливов – приливные уравнения Лапласа, индуцированные и собственные приливы, волны Кельвина в зональном канале: дисперсионное соотношение и свойства, радиус деформации Россби; предвычисление приливов – измерения приливных колебаний, гармонический анализ приливов, понятие о моделировании приливов.

### **Тема 5. Поверхностные волны.**

Поверхностные волны на глубокой воде - постановка задачи: уравнения, динамические и кинематические граничные условия; невозмущенное состояние и линеаризация; дисперсионное соотношение, связь возвышений поверхности, скоростей и давления; траектории частиц в бегущей волне; энергия и поток энергии.

Групповая скорость - задача Коши, решение методом Фурье, формула для вектора групповой скорости.

Гравитационно-капиллярные волны – отличия в постановке задачи от случая чисто гравитационных волн, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости; предельные случаи чисто капиллярных и чисто гравитационных волн. Дисперсионная кривая  $\omega(k)$  – определение фазовой и групповой скоростей по дисперсионной кривой, диаграммы Хоффмюллера.

Стационарные волны. Стационарные волны на потоке. Корабельные волны. Паразитная капиллярная рябь.

Поверхностные волны при конечной глубине - дисперсионное соотношение, траектории частиц в бегущей волне, случаи мелкой и глубокой воды: фазовая и групповая скорости, вертикальная структура решений, движение частиц; стоячие волны, траектории частиц в стоячей волне.

### **Тема 6. Рефракция волн.**

Приближение геометрической оптики – волновые пакеты, гамильтонова система, лучи, каустики, подводный звуковой канал. Рефракция поверхностных волн на мелководье и на течениях. Пространственная и времененная фокусировка.

### **Тема 7. Ветровые волны.**

Понятие о ветровых волнах и их роли в системе океан-атмосфера – диапазон горизонтальных масштабов ветровых волн; ветровое волнение и зыбь; явления, связанные с ветровыми волнами: сопротивление воздушному потоку, обрушения волн, генерация аэрозолей, генерация подповерхностной турбулентности, влияние на процессы обмена между атмосферой и океаном, слики, сулои, волны-убийцы.

Характеристики ветровых волн – методы измерений, волнограммы; элементы ветровых волн – высота и период индивидуальных волн, значительные волны, характеристики  $H_s$  и  $T_s$ ; плотность вероятности возвышений, гауссово волнение, понятие о волнах-убийцах; спектры волн – понятия о частотном, частотно-угловом и пространственном спектрах волн; решетки датчиков, дистанционные измерения – скаттерометр, альтиметр, радиолокатор с синтезированием апертуры, уклоны волн и солнечный блик.

Основы прогноза ветрового волнения - волнообразующие факторы, гипотеза Китайгородского и безразмерные характеристики волнения, развивающиеся и развитые волны, эмпирические законы развития волн, развитие волн на примере зависимости спектра JONSWAP от безразмерного разгона волн, понятие о волновых моделях.

### **Тема 8. Внутренние волны.**

Общее понятие о внутренних волнах – физический механизм, методы измерений, характеристики масштабы, роль в динамике океана.

Внутренние волны в двухслойной жидкости – постановка задачи, невозмущенное состояние и линеаризация, волновые решения, дисперсионное соотношение, внутренняя мода: вертикальные профили горизонтальной и вертикальной скоростей, дивергенции и конвергенции скорости на морской поверхности; приближение твердой крышки.

Внутренние волны в непрерывно стратифицированной жидкости – частота Вайсаля-Брента; постановка задачи, невозмущенное состояние и линеаризация, разделение переменных и уравнение для вертикальной скорости, постановка краевой задачи; волновые моды: дисперсионные соотношения и вертикальная структура.

Мелкомасштабные внутренние волны (без учета вращения Земли) – дисперсионное соотношение, движение частиц воды, фазовая и групповая скорости, распространение волн от точечного источника и его объяснение с помощью понятий групповой и фазовой скоростей.

**Тема 9.** Волны и колебания, обусловленные вращением Земли.

Гирокопические волны – постановка задачи, движение частиц, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости.

Квазинерционные внутренние волны – постановка задачи, невозмущенное состояние и линеаризация, волновое решение, движение частиц, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости.

Инерционные колебания – постановка задачи, решение для случая скачкообразного усиления ветра.

Шельфовые волны Кельвина – постановка задачи, дисперсионное соотношение и свойства, радиус деформации Россби.

**Тема 10.** Планетарные волны.

Физическая природа волн Россби в однородной вращающейся жидкости - абсолютная и относительная завихренность, сопротивление возмущениям и столбики Праудмена-Тэйлора, число Россби, физический механизм волны Россби.

Баротропные волны Россби – постановка задачи, приближение  $\beta$ -плоскости, уравнение для функции тока в приближении твердой крышки, движение частиц, дисперсионное соотношение, фазовая и групповая скорости. Отражения от границ.

Бароклиновые волны Россби – уравнение для завихренности, бароклиновый вектор, решение в виде волн в горизонтальной плоскости и разделение переменных, краевая задача для вертикальной структуры волн, радиусы деформации Россби, дисперсионное соотношение.

Топографические волны Россби – потенциальная завихренность, физический механизм баротропных топографических волн Россби, дисперсионное соотношение.

6.2. Самостоятельная работа.

Самостоятельная работа аспирантов состоит как в самостоятельном изучении некоторых подразделов приведенных выше тем (не более 20% общего объема по литературе, рекомендованной лектором), так и в подготовке в выполнении индивидуальных заданий, состоящих изучении тем, предложенных лектором.

Примеры подразделов, изучение которых может быть осуществлено в рамках самостоятельной работы:

- затухание звуковых волн в океане, связь с частотой звука;
- гармонический анализ приливов;
- подход цунами к берегу;
- отражения волн различных типов от берега;
- разложение Стокса.

Примеры тем индивидуальных заданий:

- Длинные волны в Черном море;
- Сейши в Черном море;
- Концепция групповой скорости;
- Распространение зыби;
- Солитон Скотта Рассела;
- Слабая нелинейность волн;
- Резонансные взаимодействия волн;
- Волновая модель WaveWatch;
- Волны-убийцы.

Подготовку индивидуальных заданий аспирант осуществляет по литературе, предложенной лектором. Литература включает как учебные пособия, так и научные статьи, в том числе современные статьи сотрудников МГИ РАН. Литература может быть как на русском, так и на английском языках.

Примеры научных статей для самостоятельной работы:

- F. E. Snodgrass, G. W. Groves, K. F. Hasselmann, G. R. Miller, W. H. Munk, W. H. Powers Propagation of Ocean Swell across the Pacific // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 259, No. 1103 (May 5, 1966), pp. 431-497.
- Cox C., Munk W. Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter // J. Opt. Soc. Am. – 1954. – 44. – P. 838 – 850.
- Hasselmann, K., et al. (1973), Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), Dtsch. Hydrogr. Z., Suppl. A, 8, 1 – 95.
- Donelan, M. A., J. Hamilton, and W. H. Hui (1985), Directional spectra of wind-generated waves // Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A, 315, 509–562.
- Fabrice Ardhuin, Bertrand Chapron, and Fabrice Collard, Observation of swell dissipation across oceans // Geophysical Research Letters, VOL. 36, L06607, doi:10.1029/2008GL037030, 2009
- L. Cavaleri, B. Fox-Kemper, and M. Hemer, Wind Waves in the Coupled Climate System // Bulletin of American Meteorological Society, November 2012, 1651-1661.

## 7. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2. Тематический план дисциплины «Волновые движения в океане»

Наименование тем	Объём работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
		лекции	семинары	самостоятельная работа	зачет
1	2	3	4	5	6
Тема 1. Введение (общие положения волновой механики; дисперсионное соотношение; принцип суперпозиции; орбитальные скорости и фазовая скорость; уравнения гидродинамики; силы, ответственные за различные типы волн и колебаний)	6	4	-	2	
Тема 2. Акустические волны	4	2	-	2	
Тема 3. Длинные волны (теория, сейши, колебания в бухтах, цунами)	12	4	-	8	
Тема 4. Приливы (основные понятия, статическая теория, динамическая теория)	12	4	-	8	
Тема 5. Поверхностные волны (теория для глубокой воды, групповая скорость, гравитационно-капиллярные волны, стационарные и корабельные волны, конечная глубина)	14	4	-	10	
Тема 6. Рефракция волн	8	2	-	6	
Тема 7. Ветровые волны (роль, характеристики, спектры, основы прогноза)	14	4	-	10	
Тема 8. Внутренние волны (общие понятия, двухслойная жидкость, непрерывно стратифицированная жидкость, мелкомасштабные внутренние волны)	12	4	-	8	
Тема 9. Волны и колебания, обусловленные вращением Земли	10	4	-	6	
Тема 10. Планетарные волны	14	4	-	10	
Зачет	2				2
<b>Всего по дисциплине</b>	<b>108</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>70</b>	<b>2</b>

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Технология процесса обучения по дисциплине «Волновые движения в океане» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- самостоятельная работа студентов;
- контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;
- зачет.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике путем показа фильмов, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствие с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы, а также литературы, предлагаемой аспиранту для индивидуальных занятий;
- подготовка презентаций и кратких докладов с последующей дискуссией.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Волновые движения в океане» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

## 9. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель контроля – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### 9.1. Текущий контроль.

Текущий контроль успеваемости осуществляется путем короткого группового опроса аспирантов на каждом занятии, а также при докладе аспиранта и его ответах на вопросы слушателей.

### 9.2. Промежуточная аттестация.

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины. Форма аттестации – дифференцированный зачет в устной форме. Билет состоит из трех теоретических вопросов, тематика которых соответствует курсу.

Оценивание обучающегося на дифференцированном зачете осуществляется с использованием нормативных оценок «зачет» («отлично», «хорошо», «удовлетворительно») / «не зачет».

Таблица 2. Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета по дисциплине «Волновые движения в океане»

Оценка по национальной шкале		Требования к знаниям и критерии выставления оценок
Для зачета с оценкой	для зачета	
Зачтено	отлично	Аспирант при ответе демонстрирует полноценные океанологические знания содержания тем учебной дисциплины, уверенно владеет терминологией и основными понятиями об основных типах волн и колебаний в океане на основе уравнений гидродинамики и принципов волновой механики, ориентируется в способах регистрации волновых и колебательных движений в океане, практических подходах к их анализу и прогнозу, глобальному и региональному моделированию.
	хорошо	Аспирант знает основное содержание учебной дисциплины, имеет достаточное представление об основных типах волн и колебаний в океане. Имеет представление о способах регистрации волновых и колебательных движений в океане, практических подходах к их анализу и прогнозу, глобальному и региональному моделированию
	удовлетворительно	Аспирант в целом представляет содержание учебного курса, демонстрирует правильное понимание физических процессов и явлений в океанологии, знает основные об основных типах волн и колебаний в океане.
Не засчитано	неудовлетворительно	Аспирант при ответе демонстрирует слабое знание значительной части основного материала о волнах и колебаниях в океане. Не знает основных теоретических понятий предмета и их связи с уравнениями гидродинамики, слабо разбирается в проблемах регистрации волновых и колебательных движений в океане, практических подходах к их анализу и прогнозу, глобальному и региональному моделированию.

9.3. Примеры вопросов для проведения устного опроса обучающихся:

- элементы волн (перечислить и показать для конкретного типа волн);
- направление распространения волн (показать для конкретной волны);
- стоячие и стационарные волны (в чем различие);
- стационарные волны и эффект Допплера (какова связь);
- антенна из 3 датчиков – можно ли определить направление на источник и длину волны;
- связь между характеристиками звуковой волны – скоростью частиц и звуковым давлением;
- законы сохранения для системы лучевых уравнений;
- может ли поверхностная волна отразиться от струи течения?
- привести пример захвата волн течением;
- дать интерпретацию подводному звуковому каналу, используя закон Снеллиуса;
- уравнения теории поверхностных гравитационных волн;
- компоненты скорости, возвышение поверхности и давление в прогрессивной и стоячей поверхностной волне;
- траектории движения жидких частиц в прогрессивной и стоячей поверхностной волне;
- предложить способы различения зыби и ветровых волн;
- объяснить трансформацию поверхностных волн при подходе к берегу;
- что такое возраст ветровых волн?

- как изменяются элементы ветровых волн в зависимости от разгона?
- какие характеристики волн можно извлечь из диаграммы Хоффмюллера?
- оценить период основной сейши по известным глубине и размеру водоема;
- объяснить трансформацию элементов цунами при подходе к берегу;
- сколько мод внутренних волн возможно в четырехслойном океане?
- показать фазовый резонанс на диаграмме  $\omega$ - $k$ ;
- объяснить угол расхождения системы корабельных волн;
- почему волны на морской поверхности можно наблюдать визуально?
- перечислить геофизические процессы, где существенна роль обрушений ветровых волн.

9.4 Примеры вопросов для билетов на зачет по дисциплине «Волновые движения в океане»:

1. Распространение звука в океане. Рефракция звуковых волн. Подводный и приповерхностный звуковые каналы. Факторы, влияющие на затухание акустических волн с расстоянием.

2. Акустические волны. Компоненты скорости и давление в акустической волне в жидкости. Скорость звука, ее связь с характеристиками среды, формулы Ньютона и Лапласа. Зависимость коэффициента поглощения акустического излучения в воде от его частоты.

3. Типы волн. Классификация волн по возбуждающим силам, характеру движения формы, вертикальной структуре. Основные элементы волн. Волны на глубокой и мелкой воде – упрощающие аппроксимации.

4. Ветровые волны. Зарождение и развитие, волнообразующие факторы. Средние характеристики, обеспеченность и функции распределения. Спектральное представление ветровых волн.

5. Внутренние волны. Определение внутренних волн. Условия их существования. Вертикальная структура внутренних волн. Методы обнаружения.

6. Цунами. Причины возникновения. Скорость распространения. Трансформация элементов цунами при подходе к берегу.

7. Сейши. Механизм образования сейш. Основные элементы сейшевых колебаний. Периоды сейшевых колебаний. Траектории движения жидких частиц.

8. Ветровые волны и зыбь. Связь спектра ветровых волн с волнообразующими факторами. Трансформация волн при подходе к берегу.

9. Уравнения теории поверхностных гравитационных волн. Потенциальность волн. Интеграл Бернулли. Граничные условия.

10. Теория волн малой амплитуды. Дисперсионное соотношение. Компоненты скорости и давление в прогрессивной и стоячей волне. Траектории движения жидких частиц.

11. Определения коротких и длинных гравитационных волн. Основные допущения теории длинных волн. Уравнения длинных волн.

12. Приливы. Основные понятия. Наблюдения приливов. Приливообразующие силы. Потенциал приливообразующей силы.

13. Статическая теория приливов. Формирование статического прилива. Влияние Солнца на статический прилив. Неравенства статического прилива.

14. Динамическая теория приливов. Приливные уравнения Лапласа. Гармонические составляющие приливов.

15. Инерционные (гироскопические) волны. Причина возникновения. Уравнения для волн в однородном жидким слое. Дисперсионное соотношение, групповая скорость.

16. Уравнение для вертикальной составляющей скорости внутренних волн в стратифицированном океане. Приближения Буссинеска и твердой крышки. Дисперсионные кривые и собственные моды внутренних волн.

17. Внутренние волны при двухслойной стратификации океана. Дисперсионное соотношение и вертикальная структура собственных мод.

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 3. Основная и дополнительная литература

	Наименование и полное библиографическое описание	Количество экземпляров в библиотеке
<b>Основная литература</b>		
1	Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. Т. 1. М.: Мир. 1981. 480 с.	4 экз.
2	Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. Т. 2. М.: Мир. 1981. 365 с.	4 экз.
3	Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. М.: Мир. 1981. 603 с.	2 экз. + эл.кн.
4	Кондрин А.Т. Волновые процессы в океане. М.: Изд-во Моск. ун-та,2004, 140 с.	7 экз.
5	Доронин Ю.П. Динамика океана. Л.: Гидрометеоиздат,1980, 305 с.	3 экз.
6	Черкесов Л.В. Основы динамики несжимаемой жидкости. Киев, Наукова думка, 1984, 167с., раздел «Волновые движения жидкости»	7 экз.
7	Доронин Ю.П. Физика океана. СПб: изд. РЕЕМУ, 2000. 340 с.	4 экз. + эл.кн.
8	Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 1 М.: Мир. 1986. 397 с.	4 экз. + эл.кн.
9	Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 2. М.: Мир. 1986. 416 с.	4 экз. + эл.кн.
10	Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. Т. 1 М.:Мир. 1984. 404 с.	2 экз. + эл.кн
11	Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. Т. 2 М.:Мир. 1984. 406 с.	2 экз. + эл.кн

**Дополнительная литература**

1	Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. М.: Мир, 1981, 603 с.	2 экз. + эл.кн
2	Филлипс О. Динамика верхнего слоя океана. Л.: Гидрометеоиздат; Издание 2-е, испр. и доп., 1980, 283 с.	5 экз.
3	Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны, М.: Мир, 622с.	1 экз. – ч./з.

## Электронные версии:

1	Joseph Pedlosky, Waves in the Ocean and Atmosphere. Introduction to Wave Dynamics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003, 260 с.
2	Holthuijsen L. H. Waves in Oceanic and Coastal Waters: Cambridge Univ. Press, 2007, 387pp.
3	Massel S.R. Ocean Surface Waves. Their Physics and Prediction. 3 <sup>rd</sup> Edition. World Scientific, 2018, 794 pp.

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекции проводятся с использованием мультимедийного проектора: вывод основных формул выполняется на доске либо подробно показывается на слайдах; изложение материала сопровождается демонстрацией иллюстраций в виде слайдов и фильмов, включающих результаты натурных измерений в океане, записи лабораторных опытов, иковые изображения. Освоение дисциплины предполагает использование учебной аудитории, проведения лекционных занятий с необходимыми техническими средствами (компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска).