

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**  
**МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ.**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ**

Специальность  
**1.6.17. Океанология**

Форма обучения  
**Очная**

г. Севастополь 2024

Рабочая программа дисциплины «Морские течения. Теоретические модели океанической циркуляции» 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:

**Шокурова Ирина Геннадиевна, кандидат географических наук, доцент отдела аспирантуры**  
**ФГБУН ФИЦ МГИ**

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



(Подпись)

Зам. директора по научно-методической и образовательной работе

Васильева Е.Ф. Ф.И.О. др. геол. наук Васильева Е.Ф.  
(Подпись)

## 1. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью подготовки по дисциплине «Морские течения. Теоретические модели океанической циркуляции» является получение сведений о морских течениях, их классификации, о теоретических моделях, созданных для математического описания основных океанических течений.

## 2. ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Задачи дисциплины:

- ознакомить аспирантов с полной системой уравнений, необходимых для математического моделирования динамики океана;
- дать общие сведения об основных океанических течениях, их классификации, причинах, вызывающих течения;
- изложить основные аналитические решения уравнений гидродинамики для математического описания крупномасштабных океанических течений.

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Морские течения. Теоретические модели океанической циркуляции» относится к Образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по специальности 1.6.17. Океанология.

Дисциплина тесно связана с другими учебными дисциплинами: «Методология и современные проблемы океанологии», «Взаимодействие океана и атмосферы».

Дисциплина предназначена для аспирантов ФГБУН ФИЦ МГИ, прошедших обучение по программе подготовки магистров/специалистов. Для освоения дисциплины требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда предшествующих дисциплин, таких как: «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика и гидромеханика».

## 4. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

- **знать** масштабы движений в океане; основные течения и их особенности, причины, вызывающие морские течения, систему уравнений гидродинамики и постановку граничных условий для математического описания течений, упрощенные системы гидродинамических уравнений и их аналитические решения, используемые для описания отдельных видов течений; основные научные достижения в изучении циркуляции в океане.
- **уметь** использовать полученные знания в области теории морских течений для решения научно-исследовательских и прикладных задач.
- **владеть** навыками расчета скоростей морских течений и массопереноса в океане с использованием аналитических решений.

## 5. ОБЪЕМ И ВИД УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов.

Таблица 1. Распределение трудоемкости по всем видам аудиторной и самостоятельной работы аспиранта

Виды учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Часы	ЗЕ
Аудиторные занятия (всего), в том числе:		
Лекции	50	1,4
Семинары	30	0,8
Самостоятельная работа (всего)	20	0,6
Выполнение домашних заданий	56	1,6
Самоподготовка	20	0,6
Форма аттестации по дисциплине <b>зачет с оценкой</b>	36	1
	2	0,05
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>108</b>	<b>3</b>

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание разделов и тем по дисциплине «Морские течения. Теоретические модели океанической циркуляции»:

**Тема 1.** Общие сведения о морских течениях. Классификация течений. Основные океанические течения в Атлантическом, Тихом, Индийском, Северном ледовитом и Южном океанах.

**Тема 2.** Масштабы океанических процессов. Причины, вызывающие морские течения. Ветер, потоки тепла и массы на поверхности океана Основные подходы к изучению циркуляции океана: наблюдения, теория, численное моделирование.

**Тема 3.** Сведения из гидродинамики. Представление сплошной среды. Полная, локальная и адвективная производные скорости. Производная по направлению. Линии тока. Закон сохранения массы. Объемные и массовые силы. Поверхностные напряжения. Уравнение движения в напряжениях. Уравнения Эйлера. Закон Ньютона для вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Сила Кориолиса. Начальные и граничные условия. Кинематические и динамические условия на границе.

**Тема 4.** Инерционные колебания. Дрейфовые течения. Классическая теория Экмана. Постановка задачи. Безразмерное число Экмана. Общее аналитическое решение системы уравнений и предельные случаи – мелкое и глубокое море. Мелкое море, аналитическое решение. Пример: мелкое море, однородный ветер.

**Тема 5.** Дрейфовые течения. Решение для глубокого моря. Экмановская спираль. Толщина Экмановского слоя. Полные потоки. Экмановский перенос массы. Придонный слой Экмана. Неоднородный ветер, вертикальная скорость на нижней границе экмановского слоя. Апвеллинг.

**Тема 6.** Геострофические течения. Оценки масштабов движений. Геострофический баланс.

**Тема 7.** Расчет течений на поверхности моря по альтиметрическим данным. Расчет геострофических течений по гидрологическим данным. Динамическая топография морской поверхности. Динамический метод.

**Тема 8.** Дрейфовые течения с учетом градиента давления. Постановка задачи. Функция тока полных потоков. Общее аналитическое решение системы уравнений с учетом градиента давления и предельные случаи – мелкое и глубокое море. Пример: мелкое море, однородный ветер.

**Тема 9.** Дрейфовые течения с учетом градиента давления. Глубокое море. Межпассатные противотечения. Модель зонального канала.

**Тема 10.** Подповерхностные противотечения. Явления Эль-Ниньо, Ла-Ниньо.

**Тема 11.** Теория западной интенсификации Стормела.  $\beta$ -эффект. Модель Манка.

**Тема 12.** Термохалинная циркуляция. Основные факторы и районы образования глубинной и донной воды. Водные массы. Роль Антарктического циркумполярного течения. Методы изучения термохалинной циркуляции. Модели термохалинной циркуляции. Влияние на климат.

## 7. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2. Темы курса, их содержание и объем в часах

Наименование разделов и тем	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
		Лекции	Семинары	Самостоятельная работа	Зачет
1	2	3	4	5	6
Тема 1. Общие сведения о морских течениях. Классификация течений. Основные океанические течения.	10	2	2	6	
Тема 2. Масштабы океанических процессов. Причины, вызывающие морские течения. Ветер, потоки тепла и массы на поверхности океана Основные подходы к изучению циркуляции океана: наблюдения, теория, численное моделирование.	6	2		4	
Тема 3. Сведения из гидродинамики. Полная система уравнений гидродинамики. Граничные условия. Сила Кориолиса.	12	4	2	6	
Тема 4. Инерционные колебания. Дрейфовые течения. Классическая теория Экмана. Мелкое море	10	2	2	6	
Тема 5. Дрейфовые течения. Глубокое море. Экмановская спираль. Экмановская вертикальная скорость. Экмановский перенос массы. Апвеллинг.	10	2	2	6	
Тема 6. Геострофические течения. Оценки масштабов движения. Геострофический баланс.	10	2	2	6	
Тема 7. Расчет течений на поверхности моря по альтиметрическим данным. Расчет геострофических течений по гидрологическим данным. Динамический метод.	4	2	2		
Тема 8. Дрейфовые течения с учетом градиента давления. Функция тока полных потоков. Мелкое море	10	2	4	4	
Тема 9. Дрейфовые течения с учетом градиента давления. Глубокое море. Межпассатные противотечения.	8	2	2	4	

1	2	3	4	5	6
Тема 10. Экваториальные подповерхностные противотечения. Явления Эль-Ниньо, Ла-Нинья	8	2		6	
Тема 11. Теория западной интенсификации Стommела. $\beta$ -эффект. Уравнение баланса завихренности. Модель Манка.	8	2	2	4	
Тема 12. Термохалинная циркуляция. Водные массы. Роль Антарктического циркумполярного течения Методы изучения термохалинной циркуляции. Модели термохалинной циркуляции. Влияние на климат.	6	2		4	
Зачет	2				2
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>56</b>	<b>2</b>

Таблица 3. Содержание семинарских занятий по дисциплине «Морские течения. Теоретические модели морских течений»

№ занятия	№ темы	Краткое содержание занятия	Кол-во часов
13	1	Общие сведения о течениях в океане. Классификация течений.	2
2	3	Уравнение движения жидкости в системе координат, связанной с поверхностью вращающейся Земли.	2
3	4	Расчет параметра Кориолиса в зависимости от широты. Расчет диаметра и периода инерционных движений в Черном море.	2
4	4	Расчет скорости течений в мелком море. Пример Азовское море.	2
5	5	Сpirаль Экмана в глубоком море. Расчет толщины экмановского слоя, скорости дрейфовых течений на поверхности и на заданной глубине.	2
6	5	Полные потоки. Экмановский перенос массы. Неоднородный ветер, вертикальная скорость на нижней границе экмановского слоя.	2
7	6	Расчет течений на поверхности моря по альтиметрическим данным.	2
8	7	Расчет геострофических течений по гидрологическим данным. Динамический метод.	2
9	10	Межпассатные противотечения.	2
10	11	Теория западной интенсификации Стommела. Уравнение баланса завихренности.	2
<b>Всего</b>			<b>20</b>

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Технология процесса обучения по дисциплине «Морские течения. Теоретические модели океанической циркуляции» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- лекции;
- семинары;

- самостоятельная работа аспирантов;
- «круглые столы» по обсуждению современных достижений в данной дисциплине;
- контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию.

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

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, что позволяет улучшить восприятие материала.

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

- домашние задания (решение задач, подготовка к контрольным работам и тестам).

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач;
- самостоятельное знакомство аспирантов с современными достижениями по данным задачам на основе изучения научной информации (статей и книг, предложенных преподавателем и выбранных аспирантами самостоятельно) в открытых источниках с целью дальнейшего ее обсуждения на семинарах в виде «круглых столов».

## **9. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

### **9.1. Текущий контроль.**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, развитие практических умений.

Текущая аттестация проводится в виде тестов, опросов и решения задач на семинарах, участия в дискуссиях и обсуждениях проблемных вопросов.

### **9.2. Промежуточная аттестация.**

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины «Морские течения. Теоретические модели океанической циркуляции». Форма аттестации – дифференцированный зачет в письменной или устной форме. Знания, полученные при освоении дисциплины, также будут использоваться при подготовке к кандидатскому экзамену.

Обучающийся допускается к зачету в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

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

Таблица 4. Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета по дисциплине «Морские течения. Теоретические модели

океанической циркуляции»

Оценка по национальной шкале		Требования к знаниям и критерии выставления оценок
Для зачета с оценкой	для зачета	
Зачтено	отлично	Аспирант при ответе демонстрирует полноценное знание содержания тем учебной дисциплины, знает основные морские течения, причины их возникновения и систему уравнений гидродинамики. Уверенно владеет знаниями о методах решения упрощенных систем гидродинамических уравнений и использовании их аналитических решений для расчета скоростей течений и массопереноса в океане. Способен использовать знания фундаментальных достижений в области изучения морских течений для выполнения самостоятельных исследований.
	хорошо	Аспирант знает основное содержание учебной дисциплины, имеет достаточное представление о физических процессах в морской среде. Владеет знаниями о методах решения упрощенных систем гидродинамических уравнений и использовании их аналитических решений для расчета скоростей течений и массопереноса в океане.
	удовлетворительно	Аспирант в целом представляет содержание учебного курса, демонстрирует правильное понимание физических процессов и явлений в океанологии, знает основные термины и понятия в теории морских течений.
не засчитано	неудовлетворительно	Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала. Не знает основные морские течения, причины их возникновения и систему уравнений гидродинамики. Не владеет навыками использования аналитических решений упрощенных гидродинамических уравнений для расчета скоростей течений и массопереноса в океане.

### 9.3. Список вопросов для промежуточной аттестации.

- основные подходы к изучению циркуляции океана: наблюдения, теория, численное моделирование. Масштабы изучаемых процессов;
- основные течения Мирового океана;
- идеальная жидкость. Уравнения Эйлера;
- вязкая жидкость. Уравнения Навье-Стокса;
- относительное движение. Сила Кориолиса.  $f$ -плоскость,  $\beta$ -плоскость;
- напряжения Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса;
- геострофические течения. Геострофические соотношения;
- дрейфовые течения. Классическая теория Экмана. Постановка задачи;
- дрейфовые течения. Классическая теория Экмана. Мелкое море. Распределение скорости при однородном ветре;
- дрейфовые течения. Классическая теория Экмана. Глубокое море. Экмановская спираль. Полные потоки. Вертикальная скорость;

- дрейфовые течения с учетом градиента давления. Функция тока полных потоков. Мелкое море;
- экваториальные подповерхностные противотечения;
- эрейфовые течения с учетом градиента давления. Глубокое море;
- межпассатное противотечение;
- антарктическое циркумполярное течение;
- теория западной интенсификации Стommела;
- термохалинная циркуляция.

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

	Наименование и полное библиографическое описание	Количество экземпляров в библиотеке
1	Седов Л.И. Механика сплошной среды Наука 1970, 1 том	Эл.кн.
2	Каменкович В. М. Основы динамики океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1973, 240 с.	4 экз. + эл.кн.
3	Гилл А. Динамика атмосферы и океана. М: Мир, 1986. Т. 1, 398с.; Т.2, 416 с.	4 экз. + эл.кн.
4	Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. М.: Мир, 1984. Т. 1,400 с; Т. 2, 811 с.	2 экз. + эл.кн.
5	Океанология. Физика океана, Гидрофизика океана 1т, Гидродинамика океана 2т., М: Наука, 1978	2 экз.
6	Доронин Ю. П. Физика океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1980.304 с.	3 экз.
7	Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптические вихри в океане 1982.	4 экз.
8	Зубов Н. Н., Мамаев О. И. Динамический метод вычисления элементов морских течений. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. 116 с.	1 экз. + эл.кн.
9	Саркисян А. С. Численный анализ и прогноз морских течений. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.182 с.	3 экз.
10	Стоммел Г. Гольфстрим. Изд. Иностр. Лит, 1963	2 экз.
11	Штокман В.Б. Экваториальные противотечения в океанах. Основы теории Л.: Гидрометеоиздат, 1948. — 156 с.	1 экз. – ч/з
12	Бурков В. А. Общая циркуляция Мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1980, 254 с.	4 экз.
13	Мамаев О. И. Морские течения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986.104с.	1 экз.
14	Сивухин Д.В Общий курс физики. Т.І. Механика	Эл.кн

#### Основная литература – интернет-ресурсы:

- Стюарт Р. Введение в физическую океанографию. Пер. с англ. ([http://www.oceanographers.ru/index.php?Itemid=251&id=141&option=com\\_content&sectionid=34&task=category](http://www.oceanographers.ru/index.php?Itemid=251&id=141&option=com_content&sectionid=34&task=category))

2. Stewart R.H. Introduction To Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University Copyright 2008 Edition ([http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng\\_textbook/contents.html](http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/contents.html))

#### Дополнительная литература

	Наименование и полное библиографическое описание	Количество экземпляров в библиотеке
1	Толмазин Д. Океан в движении. Л: Гидрометеоиздат, 1976, 176 с.	2 экз.
2	Современные проблемы динамики океана и атмосферы Сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения проф. П.С. Линейкина М: 2010	3 экз.
3	Штокман В.Б. Избранные труды по физике моря Л.: Гидрометеоиздат, 1970. — 338 с. (Последняя статья)	3 экз.
4	Vallis, G. K. Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, 2006. Cambridge University Press, 745 pp	1 экз.
5	Munk W.H. 1950. On the wind-driven ocean circulation. Journal of Meteorology 7 (2): 79–93.	1 экз.
6	Stommel H. 1958. The abyssal circulation. Deep-Sea Research 5 (1): 80–82.	1 экз.
7	Stommel, H. and Arons, A. B. 1961. On the abyssal circulation of the world ocean- I. Stationary planetary flow patterns on a sphere. Deep-Sea Research, 6, 140-154	1 экз.
8	Коротаев Г.К., Михайлова Э.Н, Шапиро Н.Б. Теория экваториальных противотечений в Мировом океане. К: Наук. Думка, 1986, 205 с.	7 экз.
9	Cushman-Roisin B., Beckers J.-M. - Introduction to Geophysical Fluid Dynamics_ Physical and Numerical Aspects, 2006	Эл. Кн.

#### Дополнительная литература – Интернет-ресурсы:

1. Classic and Historical Papers In GFD and Atmospheric and Oceanic Dynamics -Geoff Vallis - Dept. of Mathematics - University of Exeter <http://empslocal.ex.ac.uk/people/staff/gv219/classics.d/index.html>
2. <http://stommel.tamu.edu/~baum/oceanography.html> - Океанографические ресурсы
3. <http://www-pord.ucsd.edu/~ltalley/sio210/> - океанографическая литература
4. Sverdrup H.U. 1947. Wind-driven currents in a baroclinic ocean: with application to the equatorial currents of the eastern Pacific. Proceedings of the National Academy of Sciences 33 (11): 318–326
5. Stommel H. 1948. The westward intensification of wind-driven ocean currents. Transactions, American Geophysical Union 29 (2): 202–206.

#### 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

- лекционная аудитория с проектором и доской;
- компьютер для показа электронных презентаций.