

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

УТВЕРЖДАЮ

директор ФГБУН ФИЦ МГИ

С. К. Коньвалов

«29» *сентября* 202*6* г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Специальность
1.6.17. Океанология

Форма обучения
Очная

г. Севастополь 202*6*

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



Ф.И.О.

(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: | 50 | 1,4 |
| <i>Лекции</i> | 30 | 0,8 |
| <i>Семинары</i> | 20 | 0,6 |
| Самостоятельная работа (всего) | 56 | 1,6 |
| <i>Выполнение домашних заданий</i> | 20 | 0,6 |
| <i>Самоподготовка</i> | 36 | 1 |
| Форма аттестации по дисциплине зачет с оценкой | 2 | 0,05 |
| Общая трудоемкость | 108 | 3 |

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 Стоммела. β -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 Стоммела. β -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 |
| ИТОГО | 108 | 30 | 20 | 56 | 2 |

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 | Спираль 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 Стоммела. Уравнение баланса завихренности. | 2 |
| Всего | | | 20 |

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 соответствии 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 осуществляемая 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 | <i>отлично</i> | 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. |
| | <i>хорошо</i> | 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. |
| | <i>удовлетворительно</i> | 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. |
| <i>не зачтено</i> | <i>неудовлетворительно</i> | 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, β -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 Стоммела;
- 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.: Гидрометеиздат, 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.: Гидрометеиздат, 1980.304 с. | 3 экз. |
| 7 | Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптическме вихри в океане 1982. | 4 экз. |
| 8 | Зубов Н. Н., Мамаев О. И. Динамический метод вычисления элементов морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 116 с. | 1 экз. + эл.кн. |
| 9 | Саркисян А. С. Численный анализ и прогноз морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1977.182 с. | 3 экз. |
| 10 | Стоммел Г. Гольфстрим. Изд. Иностран. Лит, 1963 | 2 экз. |
| 11 | Штокман В.Б. Экваториальные противотечения в океанах. Основы теории Л.: Гидрометеиздат, 1948. — 156 с. | 1 экз. – ч/з |
| 12 | Бурков В. А. Общая циркуляция Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 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.I. Механика | Эл.кн |

Основная литература – интернет-ресурсы:

1. Стюарт Р. Введение в физическую океанографию. Пер. с англ. (http://www.oceanographers.ru/index.php?Itemid=251&id=141&option=com_content§ionid=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

Дополнительная литература

| | Наименование и полное библиографическое описание | Количество экземпляров в библиотеке |
|---|--|-------------------------------------|
| 1 | Толмазин Д. Океан в движении. Л.: Гидрометеиздат, 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.: Гидрометеиздат, 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.