

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Модели климата Мирового океана
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Н.Г. Яковлев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике 15.03.2024

Аннотация

В курсе рассмотрена модель климата, включающая блоки океана, атмосферы и морского льда, взаимодействующие между собой. Модель описывает глубинную термохалинную циркуляцию Мирового океана и основные характеристики остальных элементов климатической системы.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области крупномасштабной гидротермодинамики океана и морского льда для применения их при решении современных задач математического моделирования климата Земли, оперативного прогноза состояния системы океан-лед, и решения экологических задач.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области крупномасштабной гидротермодинамики океана и морского льда, интегрирующих общетеоретическую подготовку физиков и вычислительных математиков, и обеспечивающих технологические основы современных методов математического моделирования состояния океана и морского льда;
- обучение студентов принципам построения современных систем наблюдения за Мировым океаном и формирование представления о степени достоверности экспериментальных данных, обучение студентов основным понятиям, принятым среди экспериментальных океанологов;
- формирование представлений о современных проблемах в области моделирования динамики океана, и перспективных методах их решений.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- особенности наблюдаемой крупномасштабной динамики и состояния океана и морского льда;
- особенности построения наблюдательных систем за состоянием океана – в первую очередь – глубоко океана, и представлять их ограниченность;
- специфику математического описания крупномасштабной динамики океана и морского льда: проблему осреднения, физические и геометрические приближения;
- основные асимптотические решения уравнений крупномасштабной динамики океана и морского льда и связанную с этим терминологию;
- особенности длинноволновой динамики океана и связанные с ней вопросы численного решения задачи;
- основы теории приливов и их роль в формировании крупномасштабного состояния океана

уметь:

- квалифицированно оценивать значимость тех или иных физических процессов в их системной взаимосвязи в формирование состояния океана и морского льда;
- оценивать адекватность выбранной математической модели для исследований той или иной теоретической или практической задачи;
- оценивать адекватность используемых методов вычислительной математики для решения той или иной теоретической или практической задачи;
- планировать оптимальное проведение натурного или вычислительного эксперимента исходя из особенностей объекта и особенностей построения наблюдательной системы.

владеть:

- общекультурными и профессиональными компетенциями магистра;
- навыками выбора математических моделей для исследования и решения теоретических и практических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение	3	4		20
2	Основная система уравнений и граничных условий крупномасштабной динамики океана	4	8		20
3	Морской лед	3	3		20
4	Океанская турбулентность и ее простейшие параметризации	5			
Итого часов		15	15		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение

Тема курса. Основные проблемы современной науки о крупномасштабной динамике океана и морского льда. Связь с задачами моделирования Земной системы. Задачи прогноза состояния океана и морского льда («погоды океана»). Задачи ассимиляции данных. Понимание баланса качества входных данных, сложности численных методов, пространственно-временного разрешения и выбора системы уравнений и граничных условий, используемых в современных численных моделях.

Соленость. Состав солей. Закон Дитмара. Методы определения солености. Основные черты крупномасштабного распределения солености в Мировом океане.

Температура. Методы измерения температуры. Характерное распределение температуры по глубине. Трехмерное распределение температуры в океане.

Плотность. Вертикальная устойчивость океана. Сжимаемость морской воды. Потенциальная температура и потенциальная плотность.

Методы измерения течений в океане. Система квазистационарных крупномасштабных течений. Основные особенности поля течений: западная интенсификация, экваториальные течения, связь с полем ветра и с полем «динамического уровня» океана.

Представление о дистанционных методах измерения состояния океана. Космические наблюдательные системы. Измерение температуры поверхности океана, уровня океана, распределения морского льда, поверхностного волнения и т.д. Акустическая томография.

Представление о роли современных численных моделей океана в построении наблюдательных систем, анализе и интерпретации данных наблюдений.

2. Основная система уравнений и граничных условий крупномасштабной динамики океана

Уравнения движения.

Уравнения сохранения тепла и солей.

Уравнение неразрывности.

Осреднение уравнений по времени.

Масштабный анализ осредненных по времени уравнений. Основные приближения: Буссинеска, гидростатики и несжимаемости.

Система граничных условий. Условие «жесткой крышки». Касательное напряжение трения ветра. Условия на дне. Условия на «жидких» границах.

3. Морской лед

Основные физические свойства морского льда.

Изменение толщины льда за счет тепловых процессов. Локально-одномерные модели термодинамики морского льда. Соленость морского льда и ее роль в динамике океана

Дрейф морского льда. представление о реологии морского льда. Особенности взаимодействия океана и морского льда.

Характеристика ледового покрова Мирового океана. Роль морского льда в глобальной климатической системе.

Современные численные модели динамики и термодинамики морского льда и снега на нем, используемые в них вычислительные технологии.

4. Океанская турбулентность и ее простейшие параметризации

Особенности выбора системы координат и соответствующие геометрические приближения.

Представление о балансе точности численных методов и точности физических и геометрических приближений.

Обзор основных современных моделей крупномасштабной динамики океана.

Задача о ветровой циркуляции Экмана.

Геострофические течения в океане.

Интегральная по глубине циркуляция в однородном океане. Задача Стоммела о западной интенсификации течений.

Роль простых решений в постановке и проведении численных экспериментов.

Система уравнений, описывающих длинные волны в океане. Основные приближения.

Нормальные моды.

Два класса длинных волн. Длинные волны первого класса - инерционно-гравитационные волны. Цунами. Влияние вращения.

Длинные волны второго класса - волны Россби. Механизм поддержания волны Россби.

Волна Кельвина, захваченная у берега.

Топографические планетарные волны.

Длинные волны, захваченные на экваторе. Волны Кельвина и Россби. Волна Янаи.

Явление Эль-Ниньо и Южная осцилляция. Волновой механизм Эль-Ниньо.

Представление о понимании физики длинных волн при постановке и проведении численных экспериментов, и при разработке численных моделей динамики океана.

Приливообразующие силы. Гармоническое разложение приливообразующего потенциала. Статический прилив.

Динамическая теория приливов. Собственный и индуцированный прилив.

Роль приливов в вертикальном перемешивании океана на шельфе.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Аудитория с префектором.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. П. Ле Блон, Л. Майсек Волны в океане: в 2 ч. Ч. 1; пер. с англ. Е. Н. Амбарцумян [и др.] .— [Научное изд.] .— М. : Мир, 1981 .— 478 с. - 1900 экз. (в пер.).
2. Океанология. Физика океана В 2 т. Т. 1. Гидрофизика океана / отв. ред. В. М. Каменко-вич, А. С. Монин ; редкол.: П. Л. Безруков [и др.] .— М. : Наука, 1978 .— 456 с.: ил. - Библиогр.: 421-452. - 5300 экз.
3. Океанология. Физика океана. В 2 т. Т. 2. Гидродинамика океана : [монография] / отв. ред. В. М. Каменкович, А. С. Монин .— М. : Наука, 1978 .— 455 с. - Библиогр.: с. 409-431. - Предм. указ.: с. 432-439. - Имен. указ.: с. 440-452. - 5300 экз.
4. А. Гилл Динамика атмосферы и океана. В 2 т. Т. 1 / пер. с англ. В. Э. Рябинина, А. Н. Филатова ; под ред. Г. П. Курбаткина .— [Научное изд.] .— М. : Мир, 1986 .— 397 с. : ил. - 2600 экз. (в пер.)
5. А. Гилл Динамика атмосферы и океана. В 2 т. Т. 2 / пер. с англ. В. Э. Рябинина, А. Н. Филатова ; под ред. Г. П. Курбаткина .— [Научное изд.] .— М. : Мир, 1986 .— 415 с. : ил. - Библиогр.: с. 372-409. - 2600 экз. (в пер.).

Дополнительная литература

1. В.М. Каменкович, М.Н. Кошляков, А.С. Монин. Синоптические вихри в океане. Л., Гидрометеиздат, 1987.
2. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
3. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. Т. 1, 2 Пер. с англ. Г.М. Резника, Т.Б. Цыбаневой. М.: Мир, 1984.
4. Г.И. Марчук, Б.А. Каган. Океанские приливы (математические модели и численные эксперименты). Л., Гидрометеиздат, 1977.
5. Bitz, C.M., W.H. Limpscomb. An energy-conserving thermodynamic model of sea ice // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 15,669-15,677
6. Flato, G.M., and W.D. Hibler, III. Ridging and stress in modeling the thickness distribution of Arctic sea ice // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. P. 18611-18626.
7. Hibler W.D., III. A dynamic-thermodynamic sea ice model // J. Phys. Oceanogr. 1979. V.9. N 4. P. 815-846.
8. Hibler W.D., III. Modeling a variable thickness sea ice cover // Mon. Wea. Rev. 1980. V.108. P. 1943-1973.
9. Hunke E.C and J.K. Dukowicz. An elastic-viscous-plastic model for sea ice dynamics // J. Phys. Oceanogr. 1997. V. 27. P. 1849-1867.
10. Maykut, G. A. and N. Untersteiner. Some results from a time dependent thermodynamic model of sea ice // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. P. 1550-1575.
11. Parkinson, C.L. and Washington W.M. A large-scale numerical model of sea ice // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. P. 311-337.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://www.inm.ras.ru/library/direct2/>

<http://www.ocean.ru/>

свободно распространяемые данные по состоянию океана (PHC 3.0, WOA-2013).

свободно распространяемые данные реанализа состояния атмосферы и океана (NCEP/NCAR, ECMWF, SODA).

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

<http://www.inm.ras.ru/library/direct2/>

<http://www.ocean.ru/>

свободно распространяемые данные по состоянию океана (PHC 3.0, WOA-2013).

свободно распространяемые данные реанализа состояния атмосферы и океана (NCEP/NCAR, ECMWF, SODA).

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, алгоритмы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Н.Г. Яковлев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Модели климата Мирового океана» обучающийся должен:

знать:

- особенности наблюдаемой крупномасштабной динамики и состояния океана и морского льда;
- особенности построения наблюдательных систем за состоянием океана – в первую очередь – глубоко океана, и представлять их ограниченность;
- специфику математического описания крупномасштабной динамики океана и морского льда: проблему осреднения, физические и геометрические приближения;
- основные асимптотические решения уравнений крупномасштабной динамики океана и морского льда и связанную с этим терминологию;
- особенности длинноволновой динамики океана и связанные с ней вопросы численного решения задачи;
- основы теории приливов и их роль в формировании крупномасштабного состояния океана

уметь:

- квалифицированно оценивать значимость тех или иных физических процессов в их системной взаимосвязи в формирование состояния океана и морского льда;
- оценивать адекватность выбранной математической модели для исследований той или иной теоретической или практической задачи;
- оценивать адекватность используемых методов вычислительной математики для решения той или иной теоретической или практической задачи;
- планировать оптимальное проведение натурного или вычислительного эксперимента исходя из особенностей объекта и особенностей построения наблюдательной системы.

владеть:

- общекультурными и профессиональными компетенциями магистра;
- навыками выбора математических моделей для исследования и решения теоретических и практических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Особенности построения наблюдательных систем в глубоком океане. Их ограниченность. Необходимость использования специальных методов интерпретации полученной информации.
2. Представление о солености океана. Состав солей. Закон Дитмара. Методы определения солености. Основные черты крупномасштабного распределения солености в Мировом океане. Характерные значения солености вод Мирового океана.
3. Температура океана. Методы измерения температуры в глубоком океане. Характерное распределение температуры по глубине. Трехмерное распределение температуры в океане. Сжимаемость морской воды. Потенциальная температура. Характерные значения температуры вод Мирового океана.
4. Методы измерения течений в океане. Представление о системе квазистационарных крупномасштабных течений. Основные особенности поля течений: западная интенсификация, экваториальные течения, связь с полем ветра и с полем «динамического уровня» океана. Характерные значения скорости течений. Единицы измерения интенсивности крупных квазистационарных течений, характерные масштабы этой интенсивности.
5. Исходные уравнения движения океана во вращающейся системе координат, связанной с центром Земли.
6. Выбор системы координат типа сферического слоя для описания динамики океана. Геометрические приближения. Возможность использования сферической системы координат. Аппроксимация сферического слоя цилиндром над сферой - принципы трансформации исходных уравнений движения.
- 7). «Традиционные» приближения крупномасштабной гидротермодинамики океана: Буссинеска, гидростатики и несжимаемости. Представление о переходе к системе уравнений размерности 2,5. Возникающие проблемы при численном решении системы уравнений в традиционных приближениях.
8. Задача Экмана о ветровой циркуляции. Масштабы, при которых это решение справедливо. Спираль Экмана, глубина пограничного слоя Экмана.
9. Геоострофические течения в океане. Учет геоострофического баланса при выборе численной схемы.
10. Интегральная по глубине циркуляция в однородном океане. Задача Стоммела о западной интенсификации течений. Бета-эффект. Представление о масштабе ширины пограничного слоя и выбор сетки при реализации численной модели.
11. Система уравнений, описывающих длинные волны в океане. Основные приближения. Сведение системы уравнений длинноволновой динамики к одному уравнению. Разделение переменных. Нормальные моды. Значение понимания структуры нормальных мод для выбора вертикальной сетки в численной модели.
12. Два класса длинных волн. Длинные волны первого класса - инерционно-гравитационные волны.
13. Задача «распада ступеньки» - роль инерционно-гравитационных волн в процессе приспособления полей течений и давления. Представление о доступной потенциальной энергии.
14. Длинные волны второго класса - волны Россби. Механизм поддержания волны Россби.
15. Волна Кельвина, захваченная у берега. Ее место в спектре длинных волн в океане. Учет волны Кельвина при постановке численных экспериментов и при разработке численных моделей.
16. Спектр длинных волн, захваченных у экватора. Экваториальные волны Кельвина и Россби. Смешанная волна Янаи. Специфика движений, требующая аккуратности при численном решении задачи.

17. Приливообразующие силы. Гармоническое разложение приливообразующего потенциала. Основные составляющие прилива. Статический прилив. Представления об эффектах нагрузки и самопритяжения. Динамическая теория приливов. Уравнения Лапласа. Собственный и индуцированный прилив. Задача о приливе в зональном канале. Приливные карты. Представление о роли приливов в вертикальном перемешивании океана на шельфе и в глубоком океане.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачёта обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачёт может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.