

Составил: С.П. Смышляев, д. ф.-м. н., профессор кафедры метеорологических прогнозов
РГГМУ

© Смышляев С.П. 2020
© РГГМУ, 2020.

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» является одной из основных дисциплин специализации, формирующих компетенции магистров по направлению 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология, обучающихся по профилю подготовки – Прикладная метеорология.

Цель дисциплины – освоение обучающимися принципов построения и функционирования гидродинамических моделей атмосферы, способных создавать гидродинамические модели атмосферных процессов и грамотно использовать результаты моделирования..

Основной задачей дисциплины является освоение

- физических основ построения гидродинамических моделей атмосферы,
- теоретических принципов разработки и функционирования гидродинамических моделей атмосферы,
- численных методов решения уравнений гидродинамики атмосферы,
- основ применения результатов гидродинамического моделирования при составлении оперативных прогнозов погоды.

Дисциплина изучается студентами очной формы обучения, обучающимися по программе подготовки академического бакалавра на метеорологическом факультете

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология относится к дисциплинам по выбору общеобразовательного цикла по профилю подготовки «Прикладная метеорология».

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Информатика», «Вычислительная математика», «Математика (теория вероятности и статистика)», «Динамическая метеорология», «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации», «Геофизика», «Иностранный язык», «Численные методы математического моделирования».

Дисциплина «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» является базовой для освоения дисциплин: «Моделирование природных процессов», «Технические аспекты гидродинамического моделирования атмосферных процессов», «Численные методы, используемые в атмосферных моделях», «Дополнительные разделы численных методов решения задач гидродинамики», «Ассимиляция гидрометеорологических данных», «Усвоение данных наблюдений гидродинамическими моделями», «Численное моделирование процессов переноса и трансформации газовых примесей», «Моделирование общей циркуляции атмосферы».

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОПК-1	Владение базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объёме, необходимом для владения математическим аппаратом в гидрометеорологии, для обработки и анализа данных, прогнозирования метеорологических характеристик
ОПК-3	Владение знаниями основ природопользования, экономики природопользования, оценки воздействия на окружающую среду, правовых основ природопользования и охраны окружающей среды.

ОК-3	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учётом основных требований информационной безопасности
ППК-1	Способность получать и проводить контроль качества оперативных гидрометеорологических данных, применять современные методы анализа и аппаратные средства обработки информации при работе с текущими и архивными данными.
ПК-3	Способность понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в гидрометеорологии при составлении разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.
ОК-2	способностью решать стандартные профессиональные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом требований информационной безопасности

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» обучающийся должен:

Знать:

- физическую и математическую постановку задачи гидродинамического моделирования атмосферных физических и химических процессов;
- системы координат, используемые в гидродинамическом моделировании;
- методы аппроксимации уравнений с помощью конечных разностей ;
- методы анализа конечно-разностных схем;
- способы борьбы с вычислительными ошибками, возникающими при интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы численными методами;
- численные методы интегрирования уравнений гидродинамических моделей.

Уметь:

- разрабатывать алгоритмы гидродинамического моделирования состава атмосферы;
- применять современные численные методы и другие количественные технологии в научных исследованиях и прогностических разработках по численному моделированию изменчивости состава атмосферы;
- пользоваться численными моделями состава нижней и средней атмосферы;
- проводить численные эксперименты по моделированию изменчивости состава атмосферы.
- анализировать результаты численных расчетов изменения состава атмосферы;

Владеть:

- современными методами численного прогноза газового и аэрозольного состава атмосферы;
- способами учета взаимодействия физических и химических процессов в нижней атмосфере.
- методикой обработки результатов гидродинамического моделирования;
- методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.

Иметь представление

о состоянии научной проблемы изменения состава атмосферы и влиянии изменчивости содержания атмосферных газов и аэрозолей на состояние окружающей среды и экономическое развитие.

Основные признаки освоения формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» сведены в таблице.

Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенц ии	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3 минимальный	4 базовый	5 продвинутый
Третий этап (уровень) ОПК-1	Владеть: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Не владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Слабо владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Слабо владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Свободно владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.
	Уметь: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Не умеет: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Затрудняется: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Хорошо умеет: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Отлично умеет: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.
	Знать: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	Не знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	Плохо знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	Хорошо знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных	Отлично знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования

				форм энергии в атмосфере.	различных форм энергии в атмосфере.
Второй этап (уровень) ОПК-5	Владеть: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Не владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Недостаточно владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Хорошо владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Свободно владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных
	Уметь: грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Не умеет: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Затрудняется: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Умеет с помощью преподавателя: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Умеет самостоятельно: грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы
	Знать: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Не знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Плохо знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Хорошо знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Отлично знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.
Второй этап (уровень) ОПК-6	Владеть: методами решения стандартных задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учётом основных требований информационной безопасности	Не владеет: методами решения стандартных задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учётом основных требований информационной безопасности	Недостаточно владеет: методами решения стандартных задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учётом основных требований информационной безопасности	Хорошо владеет: методами решения стандартных задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учётом основных требований информационной безопасности	Свободно владеет: методами решения стандартных задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учётом основных требований информационной безопасности
	Уметь: Решать задачи ассимиляции данных гидрометеорологических	Не умеет: Решать задачи ассимиляции данных гидрометеорологических	Затрудняется: Решать задачи ассимиляции данных гидрометеорологических измерений	Умеет с помощью преподавателя: Решать задачи ассимиляции данных	Умеет самостоятельно: Решать задачи ассимиляции данных

	измерений	измерений		гидрометеорологических измерений	гидрометеорологических измерений
	Знать: основные принципы ассимиляции данных гидрометеорологических измерений	Не знает: основные принципы ассимиляции данных гидрометеорологических измерений	Плохо знает: основные принципы ассимиляции данных гидрометеорологических измерений	Хорошо знает: основные принципы ассимиляции данных гидрометеорологических измерений	Отлично знает: основные принципы ассимиляции данных гидрометеорологических измерений
Второй этап (уровень) ППК-1	Владеть: Методами получения и контроля качества оперативных гидрометеорологических данных.	Не владеет: Методами получения и контроля качества оперативных гидрометеорологических данных.	Недостаточно владеет: Методами получения и контроля качества оперативных гидрометеорологических данных.	Хорошо владеет: Методами получения и контроля качества оперативных гидрометеорологических данных.	Свободно владеет: Методами получения и контроля качества оперативных гидрометеорологических данных.
	Уметь: применять современные методы анализа и аппаратные средства обработки информации при работе с текущими и архивными данными	Не умеет: применять современные методы анализа и аппаратные средства обработки информации при работе с текущими и архивными данными	Затрудняется: применять современные методы анализа и аппаратные средства обработки информации при работе с текущими и архивными данными	Умеет с помощью преподавателя: применять современные методы анализа и аппаратные средства обработки информации при работе с текущими и архивными данными	Умеет самостоятельно: применять современные методы анализа и аппаратные средства обработки информации при работе с текущими и архивными данными
	Знать: основные принципы контроля качества данных измерений	Не знает: основные принципы контроля качества данных измерений	Плохо знает: основные принципы контроля качества данных измерений	Хорошо знает: основные принципы контроля качества данных измерений	Отлично знает: основные принципы контроля качества данных измерений
Второй этап (уровень) ПК-2	Владеть: Навыками составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.	Не владеет: Навыками составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований	Недостаточно владеет: Навыками составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований	Хорошо владеет: Навыками составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований	Свободно владеет: Навыками составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований
	Уметь: излагать и критически анализировать базовую информацию	Не умеет: излагать и критически анализировать базовую информацию	Затрудняется: излагать и критически анализировать базовую информацию	Умеет с помощью преподавателя: излагать и критически анализировать базовую информацию	Умеет самостоятельно: излагать и критически анализировать базовую информацию

				информацию	информацию
	<p>Знать: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.</p>	<p>Не знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.</p>	<p>Плохо знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.</p>	<p>Хорошо знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.</p>	<p>Отлично знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.</p>

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
	2020 г. набора	
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	42	12
в том числе:		
Лекции	14	6
практические занятия	-	-
лабораторные занятия	28	6
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	66	96
в том числе:		
курсовая работа	-	
контрольная работа	-	
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	Зачет	Зачёт

4.1. Структура дисциплины

Очное обучение

2020 г. набора

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семиры Лаборат. Практич.	Самост. работа			
1	Общие свойства климатической системы. История изменений климата.	8	2	2	4	Вопросы на лекции		ОПК-1 ОПК-3 ОК-3 ПК-3
2	Постановка задачи моделирования изменения климата.	8	2	2	6	Вопросы на лекции		ОПК-1 ППК-1 ОК-2 ПК-3
3	Процессы, влияющие на формирование и изменения климата.	8	0	2	2	Вопросы на лекции		ППК-1 ОПК-3 ОК-5 ПК-3
4	Система уравнений климатических моделей.	8	2	2	6	Вопросы на лекции		ОПК-1 ОПК-2 ОК-2

							ОК-3
5	Модели общей циркуляции атмосферы.	8	0	2	4	Вопросы на лекции	ОПК-1 ППК-1 ПК-3 ОК-5
6	Распространение солнечной радиации в земной атмосфере.	8	2	2	6	Вопросы на лекции	ППК-1 ОПК-1 ОПК-5 ПК-2
7	Нагрев атмосферы солнечной радиацией.	8	0	2	6	Вопросы на лекции	ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6 ПК-2
8	Распространение уходящей радиации, охлаждающей земную поверхность и атмосферу.	8	2	2	4	Вопросы на лекции	ОПК-5 ППК-1 ОПК-6 ПК-2
9	Парниковый эффект атмосферы и его моделирование.	8	0	2	4	Вопросы на лекции	ОПК-1 ОПК-5 ППК-1
10	Численные методы решения уравнений климатической системы	8	2	2	6	Вопросы на лекции	ОПК-6 ППК-1 ПК-2
11	Скрытые источники тепла и их параметризация в климатических моделях.	8	0	2	6	Вопросы на лекции	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
12	Численное моделирование влияния атмосферного переноса на изменение климата.	8	0	2	6	Вопросы на лекции	ОПК-5 ППК-1 ПК-2
13	Климатические модели промежуточной сложности.	8	0	2	2	Вопросы на лекции	ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6 ПК-2
14	Численное моделирование одновременного изменения климата и состава атмосферы.	8	2	2	4	Вопросы на лекции	ОПК-1 ППК-1 ОПК-5 ПК-2
ИТОГО:			14	28	66		108 часов

Заочное обучение

2020 г. набора

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семиры Лабораг. Практич.	Самост. работа			
1	Общие свойства климатической системы. История изменений климата.	5	2	0	8	Вопросы на лекции		ОПК-1 ОПК-3 ОК-3 ПК-3
2	Постановка задачи моделирования изменения климата.	5	2	0	6	Вопросы на лекции		ОПК-1 ППК-1 ОК-2 ПК-3
3	Процессы, влияющие на формирование и изменения климата.	5	0	2	6	Вопросы на лекции		ППК-1 ОПК-3 ОК-5 ПК-3
4	Система уравнений климатических моделей.	5	2	0	6	Вопросы на лекции		ОПК-1 ОПК-2 ОК-2 ОК-3
5	<p>Модели общей циркуляции атмосферы.</p> <p>Распространение солнечной радиации в земной атмосфере.</p> <p>Нагрев атмосферы солнечной радиацией.</p> <p>Распространение уходящей радиации, охлаждающей земную поверхность и атмосферу.</p> <p>Парниковый эффект атмосферы и его моделирование.</p>	5	0	2	38	Вопросы на лекции		ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6 ППК-1 ПК-2 ПК-3 ОК-5
6	Численные методы решения уравнений климатической системы	5	0	2	32	Вопросы на лекции		ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6 ППК-1 ПК-2

Скрытые источники тепла и их параметризация в климатических моделях.							
Численное моделирование влияния атмосферного переноса на изменение климата.							
Климатические модели промежуточной сложности.							
Численное моделирование одновременного изменения климата и состава атмосферы.							
ИТОГО:		6	6	96			108 часов

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1. Общие свойства климатической системы. История изменений климата.

Понятие климата. Значимость изменений климата и актуальность их исследования. Место климатологии среди других наук и связь с ними. Краткие сведения из истории климатологии. Всемирные климатические программы и основные направления международного сотрудничества в области исследований климата. Национальная программа исследований климата. Методы изучения изменений климата.

4.2.2. Постановка задачи моделирования изменения климата.

Циркуляция атмосферы и ее влияние на формирование климата. Схема ОЦА. Климатические центры действия и фронты. Особенности циркуляции в умеренных и высоких широтах и ее влияние на годовой ход температуры в высоких широтах. Траектории циклонов и антициклонов, повторяемость барических систем и их траекторий в различных частях земного шара. Особенности циркуляции атмосферы внутри тропических широт. Внутритропическая зона конвергенции. Тропические циклоны. Климатическая роль пассатов и муссонов. Различные взгляды на муссонную циркуляцию. Влияние циркуляции атмосферы на термический режим и режим увлажнения.

4.2.3. Процессы, влияющие на формирование и изменения климата.

Климатообразующие факторы, неоднозначность их трактования. Приход солнечной радиации, характер подстилающей поверхности и общая циркуляция атмосферы как основные физические факторы климатообразования. Антропогенные факторы изменения климата

4.2.4. Система уравнений климатических моделей.

Фундаментальные законы физики как основа для уравнений климатической системы. Уравнения гидротермодинамики атмосферы. Инварианты моделей климатической системы. Абсолютная и потенциальная температура. Уравнение движения. Гидростатическое приближение. Гидростатические и негидростатические модели климатической системы.

4.2.5. Модели общей циркуляции атмосферы.

Общее понятие об атмосферной циркуляции, зональность течений ОЦА в тропосфере, особенности циркуляции в стратосфере, струйные течения, климатологические фронты, особенности циркуляции в тропической зоне (ВЗК, ТЦ), умеренной зоны (постоянные и сезонные ЦДА), муссонная циркуляция. Полные уравнения термодинамики и глобальные трехмерные модели на них основанные. Модели с упрощенным рассмотрением взаимодействия атмосферы и океана. Параметризация процессов подсеточного масштаба в моделях общей циркуляции атмосферы. Моделирование одновременной циркуляции атмосферы и океана. Влияние распределения суши и океана на климат. Влияние морских течений на климат.

4.2.6. Распространение солнечной радиации в земной атмосфере.

Распространение солнечной радиации в Земной атмосфере. Прохождение солнечной радиации через плоско-параллельную и сферическую атмосферу. Оптическая масса атмосферы. Полный поток коротковолновой радиации в атмосфере. Радиационный баланс Земли как планеты. Вклад аэрозолей и водяного пара в ослабление солнечной радиации. Радиационные процессы на верхней границе земной атмосферы и их роль в формировании климата, суточные и годовые суммы. Инфракрасная и ультрафиолетовая составляющая радиации.

4.2.7. Нагрев атмосферы солнечной радиацией.

Нагрев атмосферы при поглощении солнечной радиации атмосферными газами. Приток солнечной радиации к земной поверхности. Солнечная радиация на земной поверхности: прямая, рассеянная и суммарная. Альbedo земной поверхности и облаков, поглощенная радиация. Астрономические, геофизические и естественные факторы изменения климата и их динамика. Распределение инсоляции на верхней границе атмосферы. Эксцентриситеты земной орбиты, угла наклона плоскости эклиптики к плоскости экватора. Прецессия земной оси – как факторы вариации солнечной постоянной. Горизонтальная и вертикальная изменчивость радиационного нагрева атмосферы.

4.2.8. Распространение уходящей радиации, охлаждающей земную поверхность и атмосферу.

Распределение уходящей радиации. Закон смещения Вина. Закон Кирхгофа. Роль углекислого газа, аэрозолей, фреонов, озона и других примесей в изменении климата. Чувствительность климата к антропогенным воздействиям. Роль метана в усилении парникового эффекта. Радиационное воздействие оксидов, озона и твердых хлорсульфатных аэрозолей на земную климатическую систему.

4.2.9. Парниковый эффект атмосферы и его моделирование.

Парниковый эффект и его простейшая модель. Причины парникового эффекта. Влияние парникового эффекта на климат. Основные парниковые газы. Относительный вклад разных

газов в парниковый эффект. Парниковые потенциалы отдельных газов. Возмущение

радиационного баланса при увеличении концентраций парниковых газов. Моделирование парникового эффекта в моделях общей циркуляции атмосферы.

4.2.10. Численные методы решения уравнений климатической системы.

Конечно-разностная аппроксимация дифференциальных операторов моделей климатической системы. Аппроксимация пространственных операторов моделей климатической системы. Смешанная краевая задача климатической системы. Сведение смешанной краевой задачи к задаче с начальными данными (задаче Коши). Метод шагов по времени.

4.2.11. Скрытые источники тепла и их параметризация в климатических моделях.

Связь теплового и водного балансов. Влагооборот и его роль в формировании климата. Водный баланс земного шара и его годовой ход. Влагооборот между океаном и атмосферой и методики его параметризации в климатических моделях. Факторы формирования облачности и осадкообразования. Влияние океанов и циркуляции атмосферы на распределение влажности, облачности и осадков. Параметризация скрытых потоков тепла, облачности и атмосферных осадков в климатических моделях.

4.2.12. Численное моделирование влияния атмосферного переноса на изменения климата.

Численное решение уравнений климатической модели. Метод шагов по времени. Метод расщепления уравнений климатической модели. Метод переменных направлений для расчета переноса тепла, влаги и количества движения в климатических моделях. Адвективная и потоковая формы уравнения переноса климатических моделей. Методы решения уравнения переноса в адвективной форме. Методы решения уравнения переноса в потоковой форме. Полулагранжевая схема переноса климатических моделей.

4.2.13. Климатические модели промежуточной сложности.

Энергобалансовые модели климата. Одномерные (зависимость от широты), двумерные (широта и долгота), нестационарные (изменение температуры во времени в зависимости от изменения факторов), резервуарные (боксовые) с выделением подсистем или географических и функциональных признаков (атмосфера, глубокий океан, криосфера, атмосфера тропиков, суша полушария). Радиационно-конвективные модели.

4.2.14. Численное моделирование одновременного изменения климата и состава атмосферы.

Влияние взаимодействия физических и химических процессов в региональном и глобальном масштабах на изменения климата. Влияние состава атмосферы на изменения климата. Химико-климатическое моделирование одновременного изменения климата и состава атмосферы.

4.3. Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1,2	Постановка задачи численного	Практическая	ОПК-1,

		моделирования изменений климата.	работа	
2	2	Расчет эффективной температуры Земли как планеты на основе интегральных соотношений.	Практическая работа	ОПК-3, ППК-1
3	3,4,5,6	Расчет спектрального пропускания солнечной радиации атмосферой	Практическая работа	ОПК-1, ОПК-3, ПК-3
4	7	Расчет нагрева атмосферы солнечной радиацией.	Практическая работа	ОПК-3, ОК-3
5	8,9	Расчет охлаждения атмосферы уходящей радиацией.	Практическая работа	ОПК-1, ОПК-3, ОК-5,
6	10,12	Расчет адвективного переноса тепла.	Практическая работа	ППК-1, ОК-3, ОК-5
7	11.13,14	Расчет скрытых потоков тепла.	Практическая работа	ОПК-1, ППК-1, ПК-3

Семинарских и лабораторных занятий учебным планом не предусмотрено.

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

5.1. Текущий контроль

а). Образцы тестовых заданий текущего контроля

Вопросы на лекции:

1. *Какие фундаментальные законы физики являются основой для уравнений климатической системы?*
2. *Какие основные процессы влияют на изменение климата*
3. *Какие методы можно применять для решения уравнений климатической модели*
4. *Какие процессы определяют нагрев и охлаждение атмосферы?*
5. *Как можно рассчитать перенос тепла в атмосфере?*
6. *Какую роль играют скрытые потоки тепла в климатических моделях?*
7. *Что такое модели промежуточной сложности?*
8. *Почему изменения климата в Арктике происходят быстрее, чем в других районах?*

б). Примерная тематика рефератов, эссе, докладов

Выполнение рефератов, эссе и докладов по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

в). Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания

Выполнение курсовых работ по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу, предоставленные преподавателем презентации лекций. Освоение материалов и выполнение практических работ проходит при регулярных консультациях с преподавателем, для чего предоставлена возможность использовать удаленный доступ (Интернет).

5.3. Промежуточный контроль: зачет

Перечень вопросов к зачету:

1. Вычислить содержание атмосферных газов при заданных отношениях смеси.
2. Оценить время жизни первичных атмосферных примесей.
3. Рассчитать скорость образования вторичных атмосферных газов при заданных концентрациях первичных атмосферных газов?
4. Оценить вертикальное перемешивание атмосферных газов при заданных коэффициентах турбулентности.
5. Сравнить атмосферный перенос коротко и долгоживущих атмосферных примесей.
6. Оценить скорость гравитационного осаждения аэрозольных частиц разных размеров.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Мордвинов В.И., Латышева И.В., Девятова Е.В. Теория климата. – Учебное пособие. Иркутск. Издательство ИГУ. 2013. - 187 с.
2. Переведенцев Ю. П. Теория климата. – Казань. : Изд. Казан. ун-та, 2009. – 503 с..
3. Володин Е.М., Дианский Н.А. Моделирование циркуляции атмосферы. Курс лекций. – Москва, РАН, МГУ, 2017. – 96 с..
4. Кислов А.В. Климатология с основами метеорологии. – Издательский центр «Академия», М. 2016. – 224 с.

б) дополнительная литература:

1. Монин А.С. Введение в теорию климата – Л., Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
2. Дымников В. П. О предсказуемости изменений климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1998. Т. 34, № 5. С. 741–751.
3. Монин А. С., Шишков Ю. А. Климат как проблема физики // Успехи физ. наук. 2000. Т. 170. С. 13–24.
4. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана / Г. И. Марчук, В. П. Дымников, В. Б. Залесный, В. Н. Лыкосов, В. Я. Галин. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 320 с.
5. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата : пер. с нем. / под ред. С. Л. Бастамова. М. ; Л. ГОНТИ, 1939. 208 с.
6. Матвеев Л. Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. Л. : Гидрометеиздат, 1991. С. 158–180.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Электронный ресурс. <http://www.scert.ru/conferences/cites/2015/presentation/Presentation/School/20.06.15/2-Dymnikov.pdf>
2. Электронный ресурс. <http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr359/tolstih.pdf>
3. Электронный ресурс. <https://www.inm.ras.ru/wp-content/uploads/direct2.pdf>
4. Электронный ресурс. <https://ru-ecology.info/term/6188/>
5. Электронный ресурс. http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2016/15.pdf
6. Электронный ресурс. <https://studfile.net/preview/7604595/>
7. Электронный ресурс. https://ru.qwe.wiki/wiki/Climate_model

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекции (темы №1-14)	<p>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>Проверка терминов, понятий, технических характеристик с помощью интернет ресурсов с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.</p> <p>Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции, на консультации, или с использованием удаленного доступа через Интернет</p>
Практические занятия (темы №1-7)	<p>Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины.</p> <p>Конспектирование источников.</p> <p>Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом. Решение тестовых заданий, решение задач и другие виды работ.</p>
Подготовка к зачету	<p>При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к зачету и т.д.</p>

8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
Темы 1 и 6	<p><u>информационные технологии</u></p> <p>1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций,</p> <p>2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты</p> <p>3. использование архивов данных, ассимилированных в модель UK Met Office и MERRA2, пакет прикладных программ, предназначенных для анализа и диагностики волновых процессов и нелинейных взаимодействий в атмосфере.</p> <p><u>образовательные технологии</u></p> <p>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</p> <p>2. сочетание индивидуального и</p>	<p>1. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint.</p> <p>2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн http://elib.rshu.ru</p> <p>3. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов: http://ra.rshu.ru/mps/dwn/apogor/Динамика/ http://ra.rshu.ru/mps/dwn/apogor/Нелинейные_процессы/</p> <p>4. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/</p> <p>5. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/document_s/MERRA_File_Specification.pdf</p> <p>6. Данные ре-анализов UK MET OFFICE http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assisim</p> <p>7. Данные ре-анализов UK MET OFFICE http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind</p>

	коллективного обучения	8. Программный пакет GrADs, предназначенный для визуализации четырехмерных (долгота, широта, высота и время) распределений метеорологических полей 9. Трехмерная модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы 10. Использование сайта лаборатории моделирования средней и верхней атмосферы и кафедры метеорологических прогнозов: http://ra.rshu.ru , http://ra.rshu.ru/mp .
--	------------------------	---

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная аудитории для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитории для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.