Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа дисциплины
НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки / специальности

05.04.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль) / Специализация:
Прикладная метеорология
Уровень:
Магистратура

Форма обучения
Очная /заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП
«Прикладная метеорология»
_____ **Смышляев С.П.**

Председатель УМС РГГМУ
_____**И.И.Палкин**

Рекомендовано решением
Учебно-методического совета РГГМУ
19 июля 2021 г., протокол № 8

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры
4 мая 2021 г., протокол № 9
Зав. кафедрой _____**Анискина О.Г.**

Авторы-разработчики:
_____ **Погорельцев А.И.**
_____ **Диденко К.А.**

Санкт-Петербург 2021

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» – формирование у студентов комплекса научных знаний о свойствах и особенностях крупномасштабных динамических процессов, протекающих в атмосфере Земли, их взаимосвязи и взаимодействии, а также о современных методах их моделирования, диагностики и анализа.

Задачи:

- изучение основных уравнений и математического аппарата, используемых для описания и диагностики нелинейных взаимодействий волна-волна и волна-средний поток;
- исследованиероли атмосферных волн и приливов в формировании общей циркуляции и термической структуры атмосферы;
- освоение методов анализа процессов генерации, распространения, диссипации и нелинейных взаимодействий крупномасштабных волновых движений.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» для направления подготовки 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла подготовки магистров по профилю подготовки «Прикладная метеорология».Читается во 2 семестре для очной формы обучения и на 1 году для заочной.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Вычислительная математика», «Физика», «Механика жидкостей и газа», «Физика атмосферы», «Динамическая метеорология», «Линейная теория атмосферных волн», «Теория ОЦА и климата».

Параллельно с дисциплиной «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» изучаются такие дисциплины, как: «Дистанционные методы исследованя природной среды», «Моделирование природных процессов».

Дисциплина «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» является базовой для освоения дисциплин: «Основные закономерности общей циркуляции атмосферы», «Основы теории Солнечно-Земных связей», для проведения научно-исследовательской работы, преддипломной практики. Знания, полученные в ходе изучения данной дисциплины, могут быть использованы при подготовке выпускной квалификационной работы магистра.

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:
ПК-1.3; ПК-4.1

Таблица 1.

Профессиональные компетенции

Код и наименование профессиональной компетенции	**Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции**	**Результаты обучения**
ПК-1Способен разрабатывать стратегии получения	**ПК-1.3.** Применяет полученные результаты для анализа и прогноза	Знать: – физическую и математическую постановки

и применения современных методов, средств и передовых технологий получения гидрометеорологической информации	атмосферных процессов с использованием современных методов	задачи о разделении крупномасштабных атмосферных движений на среднюю (фоновую) и волновую (вихревую) составляющие с учетом слагаемых, которые описывают нелинейные взаимодействия; – линейную теорию атмосферных волн (фазовая и групповая скорости, дисперсионное соотношение, волновая энергия, потоки волновой энергии, тепла и импульса, закон сохранения волнового действия); – климатические распределения температуры и зонального потока в средней атмосфере Земли, климатическую и внутрисезонную изменчивость этих распределений, основные характеристики и классификацию событий внезапных стратосферных потеплений, особенности весенней перестройки циркуляции. Уметь: – интерпретировать наблюдаемые (или рассчитанные) распределения вектора потока Элиассена-Пальма и трехмерного потока волновой активности Пламба, а также распределения их дивергенции с учетом знака широтного градиента потенциального вихря Эртеля. Владеть: – математическим аппаратом векторной алгебры и тензорного исчисления для получения уравнений и тождеств, используемых при выводе основных законов сохранения (законы сохранения энергии и вихревого заряда, уравнения Фридмана и Гельмгольца, теорема о потенциальном

		вихре Эртеля).
ПК-4Способен выполнять научные исследования, носящие междисциплинарный характер	**ПК-4.1.** Формулирует цели и задачи научных исследований вобласти гидрометеорологии и смежных наук	Знать: – методы возмущений и комплексных амплитуд, правила осреднения нелинейных слагаемых с использованием метода комплексных амплитуд; – закон сохранения плотности волновой активности, понятие потока Элиассена-Пальма (псевдоимпульса), трансформированный Эйлеров подход и понятие остаточной циркуляции, теорему Чарни-Дразина о невзаимодействии волн со средним потоком, выражения для плотности волновой активности по Эндрюсу, понятие потенциальной энстрофии, трехмерный поток волновой активности по Пламбу и процессы, ответственные за стратосферно-тропосферное взаимодействие; – теорию генерации вторичных гармоник при нелинейном взаимодействии планетарных волн и приливов волн в случае квадратичной нелинейности, уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии. Уметь: – использовать методы теории возмущений, комплексных амплитуд и правила осреднения нелинейных членов при получении уравнений, описывающих взаимодействия волна-волна и волна-средний поток. Владеть: – современными математическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108академических часа.

Таблица 2.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах 2021 года набора

Объём дисциплины	**Всегочасов**	
	Очная форма обучения	**Заочная форма обучения**
Объемдисциплины	**108**	**108**
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	**42**	**12**
в томчисле:	**-**	**-**
лекции	**14**	**8**
Занятиясеминарскоготипа:		
Практическиезанятия	**28**	**4**
Лабораторныезанятия		
Самостоятельная работа (далее – СРС) – **всего:**	**66**	**96**
в томчисле:	**-**	**-**
Курсоваяработа		
Контрольнаяработа		
Видпромежуточнойаттестации	**зачет**	**зачет**

4.2. Структура дисциплины

Таблица 3.

Структура дисциплины для очной формы обучения 2021 года набора

№	Раздел / тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Практическиезанятия	СРС			
1	*Среднезональная циркуляция и планетарные волны, вихревые потоки.*	2	2	4	11	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
2	*Нелинейное взаимодействие волн со средним потоком, поток Элиассена-Пальма.*	2	2	4	11	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
3	*Выражения для плотности волновой активности по Эндрюсу, закон сохранения волновой активности.*	2	2	4	11	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
4	*Трехмерный поток волновой активности по Пламбу, стратосферно-тропосферное взаимодейств*	2	2	4	11	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1

	ие.							
5	*Нелинейные взаимодействия планетарных волн и приливов, генерация вторичных волн.*	2	2	4	11	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
6	*Проявления нелинейного взаимодействия волн со средним потоком: стратосферные васцилляции, внезапные стратосферные потепления. Уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии.*	2	4	8	11	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
	ИТОГО	**-**	**14**	**28**	**66**	**-**	**-**	**-**

Таблица 4.

Структура дисциплины для заочной формы обучения 2021 года набора

№	Раздел / тема дисциплины	Год	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Практическиезанятия	СРС			
1	*Среднезональная циркуляция и планетарные волны, вихревые потоки.*	2	2	0	16	Вопросы на лекции	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
2	*Нелинейное взаимодействие волн со средним потоком, поток Элиассена-Пальма.*	2	2	0	16	Вопросы на лекции	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
3	*Выражения для плотности волновой активности по Эндрюсу, закон сохранения волновой активности.*	2	2	0	16	Вопросы на лекции	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
4	*Трехмерный поток волновой активности по Пламбу, стратосферно-тропосферное взаимодействие.*	2	0	2	16	практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1

5	*Нелинейные взаимодействия планетарных волн и приливов, генерация вторичных волн.*	2	0	2	16	практическое занятие	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
6	*Проявления нелинейного взаимодействия волн со средним потоком: стратосферные васцилляции, внезапные стратосферные потепления. Уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии.*	2	2	0	16	Вопросы на лекции	ПК-1; ПК-4	ПК-1.3; ПК-4.1
	ИТОГО	**-**	**8**	**4**	**96**	**-**	**-**	**-**

4.3. Содержание*разделов/тем*дисциплины

4.3.1. Среднезональная циркуляция и планетарные волны.

Основные уравнения гидротермодинамики. Зональное осреднение. Уравнения для среднезональных величин и возмущений. Понятие планетарных волн. Волновые (вихревые) потоки тепла и импульса. Метод комплексных амплитуд. Правила усреднение нелинейных слагаемых.

4.3.2. Нелинейное взаимодействие волн со средним потоком, поток Элиассена-Пальма.

Закон сохранения волнового действия для планетарных волн по Бойду. Поток Элиассена-Пальма. Вторичная циркуляция. Понятие установившейся волны.Теореманевзаимодействия волн со средним потоком Чарни-Дразина.

4.3.3. Выражения для плотности волновой активности по Эндрюсу, закон сохранения волновой активности.

Уравнение сохранения плотности волновой активности по Эндрюсу. Выражение для дивергенции потока Элиассена-Пальма через параметры диссипации. Потенциальный вихрь Эртеля. Понятие потенциальной энстрофии.

4.3.4.Трехмерный поток волновой активности по Пламбу, стратосферно-тропосферное взаимодействие.

Поток волновой активности для возмущений среднезонального состояния (без разделения возмущений на зональные гармоники). Связь трехмерного потока волновой активности с потоком Эльяссена-Пальма. Стратосферно-тропосферное взаимодействие.

4.3.5. Нелинейные взаимодействия планетарных волн и приливов, генерация вторичных волн.

Взаимодействие волн при наличии квадратичной нелинейности. Вторичные гармоники и комбинационные частоты. Взаимодействие нормальных атмосферных мод и приливов со стационарными планетарными волнами. Немигрирующие приливы.

4.3.6. Проявления нелинейного взаимодействия волн со средним потоком: стратосферные асцилляции, внезапные стратосферные потепления. Уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии.

Стратосферные асцилляции. Внезапные стратосферные потепления. Генерация нормальных атмосферных мод за счет нелинейного взаимодействия волн со средним потоком. Закон сохранения возмущенной потенциальной энстрофии. Изменчивость весенней перестройки циркуляции стратосферы, связь сроков перестройки с активностью планетарных волн. Климатическая изменчивость динамических процессов в стратосферы.

4.4. Содержание занятий семинарского типа

Таблица 5.

Содержание практических занятий для очной формы обучения

№ темыдисциплины	Тематикапрактическихзанятий	Всегочасов	В том числе часов практической подготовки
1	Вывод правил осреднения для произведения возмущенных величин.	4	4
2	Преобразование прогностических уравнений для горизонтальных составляющих скорости и температуры к дивергентной форме с использованием уравнения неразрывности. Выводуравнениясохраненияволновогодействияпо Бойду.	4	4
3	Вывод выражений для плотности волновой активности и дивергенции потока Эльяссена-Пальма по Эндрюсу.	4	4
4	Расчет трехмерного потока волновой активности по данным реанализа MERRA2. Построениеграфиков с использованиемпакета BMO GrADS.	4	4
5	Вывод соотношений для комбинационных частот и волновых чисел вторичных гармоник	4	4

	при наличии квадратичной нелинейности.		
6	Вывод выражений, описывающих нелинейное взаимодействие первичных волн в уравнении баланса возмущенной потенциальной энстрофии.	8	8

Таблица 6.

Содержание практических занятий для заочной формы обучения

№ темыдисциплины	**Тематикапрактическихзанятий**	**Всегочасов**	**В том числе часов практической подготовки**
4	Расчет трехмерного потока волновой активности по данным реанализа MERRA2. Построениеграфиков с использованиемпакета BMO GrADS.	2	2
5	Вывод соотношений для комбинационных частот и волновых чисел вторичных гармоник при наличии квадратичной нелинейности.	2	2

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

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).

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале. Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр – 100:

- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля - 75;
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 10;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 15;

6.1. Текущий контроль

Типовые задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6.2. Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – **зачет.**

Форма проведения **зачета**: *устно по билетам.*

Перечень вопросов для подготовки к зачету:

ПК-1.3

1. Что такое среднезональная циркуляция?
2. Определение планетарных волн.
3. Что такое вихревые потоки?
4. Что такое волновое действие? Закон сохранения волнового действия.
5. Закон сохранения волновой активности. Терема неускоренияЧарни-Дразина.
6. Комбинационные частоты и волновые числа.
7. Уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии.
8. Закон сохранения потенциального вихря Эртеля.
9. Вывести правило усреднения для произведения возмущенных величин в методе комплексных амплитуд.
10. Закон сохранения волнового действия. Формулировка теоремы о невзаимодействии волн со средним потоком.
11. Явные выражения для плотности волновой активности. Потенциальный вихрь Эртеля в случае отказа от квазигеострофического приближения.
12. Вторичные волны, комбинационные частоты.
13. В чем преимущество использования метода комплексных амплитуд при рассмотрении нелинейных взаимодействий?
14. Какие вторичные волны генерируются при нелинейном взаимодействии мигрирующих приливов со стационарными планетарными волнами?

ПК-4.1

15. Поток Элиассена-Пальма (ЭП). Интерпретация дивергенции потока ЭП.
16. Трехмерный поток волновой активности Пламба. Стратосферно-тропосферное взаимодействие.
17. Генерация вторичных волн за счет нелинейного взаимодействия первичных волн.
18. Стратосферные васцилляции и внезапные стратосферные потепления.
19. Тенденции в современных моделях атмосферных процессов.
20. Связь трехмерного потока волновой активности с потоком Эльяссена-Пальма.
21. Что характеризует дивергенция потока Эльяссена-Пальма?
22. Что определяет знак плотности волновой активности для планетарных волн?
23. Что такое возмущение потенциальной энстрофии.
24. Что характеризует вертикальная составляющая потока волновой активности?

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 7.

Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	**Баллы**
Посещение лекционных занятий	0-10
Контрольное расчётное задание №1	0-25
Контрольное расчётное задание №2	0-25
Реферат	0-25
Промежуточная аттестация	0-15
ИТОГО	**0-100**

Минимальное количество баллов для допуска до промежуточной аттестации составляет 40 баллов при условии выполнения всех видов текущего контроля.

Таблица 8.

Балльная шкала итоговой оценки на зачете

Оценка	**Баллы**
Зачтено	40-100
Незачтено	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролюи промежуточной аттестациипредставлены в Методическихрекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ».

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Переведенцев, Ю. П. Теория общей циркуляции атмосферы [Текст] : учебное пособие / Ю. П. Переведенцев, И. И. Мохов, А. В. Елисеев. - Казань: Казан.гос. ун-т, 2013. - 223 с.
2. Швед Г. М. Введение в динамику и энергетику атмосферы: учеб.пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2020. — 396 с.

Дополнительная литература

1. Галин М.Б. Поток Элиассена-Пальма и диагностика крупномасштабных атмосферных процессов//Метеорология и гидрология.- 1989, № 1.- С. 111-119.
2. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы.- Л.: Гидрометеоиздат. 1969. 196 с.
3. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана. – Г. И. Марчук, В. П. Дымников, В. Б. Залесный и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 320 с.
4. Модели общей циркуляции атмосферы. – под редакцией Ю. Чанга. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 352 с.
5. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы.- Л.: Гидрометеоиздат. 1988. 414с.
6. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика.- Т. 1,2.- М.: Мир. 1984. 816 с.
7. Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосфернымивасцилляциями//Изв. РАН, ФАО, 2007, Т. 43, № 4, 463-475.
8. ХолтонДж.Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы.- Л.: Гидрометеоиздат. 1979. 224 с.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. Электронный ресурс. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/
2. Электронный ресурс. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf
3. Электронный ресурс. Данные ре-анализов UKMETOFFICEhttp://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim
4. Электронный ресурс. Данные ре-анализов UKMETOFFICEhttp://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind
5. Использование сайта лаборатории моделирования средней и верхней атмосферы и кафедры метеорологических прогнозов: http://ra.rshu.ru, http://ra.rshu.ru/mp.

8.3. Перечень программного обеспечения

1. windows 7 48818295 20.07.2011
2. office 2010 49671955 01.02.2012
3. windows 7 48130165 21.02.2011
4. office 2010 49671955 01.02.2012
5. windows 7 48130165 21.02.2011
6. office 2010 49671955 01.02.2012
7. GNUFortran - компилятор (свободно распространяемое программное обеспечение).
8. GRADS - система анализа и представления данных (свободно распространяемое программное обеспечение).

8.4. Перечень информационных справочных систем

1. СПС Консультант Плюс;
2. Электронно-библиотечная система Знаниум. Режим доступа: http://znanium.com
3. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн. Режим доступа: http://elib.rshu.ru

8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. Электронно-библиотечная система elibrary;
2. База данных издательства SpringerNature;

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. **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.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2022/2023 учебный год без изменений.

Протокол заседания кафедры метеорологических прогнозов от 30.06.2022 № 14