

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт экологии и природопользования



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Д.А. Гаурский

ДЕПАРТАМЕНТ  
ОБРАЗОВАНИЯ  
(ДО КФУ)

» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Методы математического моделирования и прогноза гидрометеорологических процессов  
Б1.В.ДВ.7

Направление подготовки: 05.03.04 - Гидрометеорология

Профиль подготовки: Метеорология

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Гурьянов В.В.

**Рецензент(ы):**

Переведенцев Ю.П.

### **СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Переведенцев Ю. П.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института экологии и природопользования:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 226518

Казань  
2018

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Гурьянов В.В. кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы отделение природопользования, Vladimir.Guryanov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

формирование у студентов современных представлений по вопросам численного гидрометеорологического моделирования и технологии прогнозирования гидрометеорологических процессов

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.7 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 05.03.04 Гидрометеорология и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Дисциплина относится к Профессиональному циклу (Б3.ДВ3).

"Методы математического моделирования и прогнозы гидрометеорологических процессов" базируется на таких фундаментальных науках, как физика, математика и гидромеханика, численные методы прогноза погоды.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 8 семестре.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1 (профессиональные компетенции)	Владением базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом в гидрометеорологии, для обработки и анализа данных, прогнозирования гидрометеорологических характеристик
ПК-3 (профессиональные компетенции)	Владением теоретическими основами и практическими методами организации гидрометеорологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, а также методами оценки влияния гидрометеорологических факторов на состояние окружающей среды, жизнедеятельность человека и отрасли хозяйства

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

современные теоретические методы построения математических моделей общей циркуляции атмосферы;

2. должен уметь:

разрабатывать параметризации физических процессов, происходящих в атмосфере;

3. должен владеть:

навыками необходимыми для численной реализации мезомасштабных численных моделей (WRF и COSMO), навыками необходимыми для понимания современной литературы по вопросам численного моделирования, и участия в работах соответствующего профиля.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Владеть основными компетенциями

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Квазигидростатические и негидростатические модели атмосферы	8	1	2	0	2	Устный опрос
2.	Тема 2. Система уравнений гидротермодинамики бароклинной атмосферы	8	2	2	0	2	Устный опрос
3.	Тема 3. Описание численной схемы модели WRF. Использование вложенных сеток.	8	3	2	0	2	Устный опрос
4.	Тема 4. Параметризации подсеточной турбулентности	8	4	3	0	2	Устный опрос
5.	Тема 5. Параметризации микрофизических процессов	8	5	3	0	3	Устный опрос
6.	Тема 6. Расчет радиационных поток, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию	8	6	2	0	3	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Параметризации пограничного слоя	8	7	2	0	2	Устный опрос
8.	Тема 8. Параметризации приземного слоя.	8	8	2	0	2	Устный опрос
9.	Тема 9. Параметризации процессов на поверхности и в почве.	8	9	2	0	2	Устный опрос
10.	Тема 10. Параметризации конвекции	8	10	2	0	2	Устный опрос
11.	Тема 11. Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.	8	11	2	0	2	Устный опрос
12.	Тема 12. Оценка современного состояния математического моделирования в атмосфере с использованием мезомасштабных негидростатических моделей.	8	12	2	0	2	Контрольная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Экзамен
	Итого			26	0	26	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Квазигидростатические и негидростатические модели атмосферы

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Квазигидростатические и негидростатические модели атмосферы Крупномасштабные гидродинамические модели атмосферы. Мезомасштабные модели атмосферы. Структура прогностической системы WRF-NMM.

###### **лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Мезомасштабные модели атмосферы.

##### Тема 2. Система уравнений гидротермодинамики бароклиной атмосферы

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Система уравнений гидротермодинамики бароклиной атмосферы Учет условия негидростатичности(наличие вертикальных ускорений в уравнении движения для вертикальной скорости  $w$ )

###### **лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Система уравнений гидротермодинамики бароклиной атмосферы

##### Тема 3. Описание численной схемы модели WRF. Использование вложенных сеток.

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Описание численной схемы модели WRF. Получение вспомогательных и промежуточных полей с использованием явных схем. Расчет окончательных полей с использованием неявных схем. Использование вложенных сеток.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Описание численной схемы модели WRF. Использование вложенных сеток.

**Тема 4. Параметризации подсеточной турбулентности**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Параметризации подсеточной турбулентности в моделях WRF-ARW и WRF-NMM. Расчет коэффициентов турбулентного обмена. Задание постоянных значений коэффициентов горизонтального и вертикального обмена. Расчет горизонтальной турбулентности по горизонтальной деформации с использованием замыкания первого порядка по Смагоринскому. Трехмерное замыкание по Смагоринскому для расчета коэффициентов турбулентного обмена по горизонтали и вертикали. Определение коэффициентов обмена с использованием турбулентной кинетической энергии.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Задание постоянных значений коэффициентов горизонтального и вертикального обмена.

**Тема 5. Параметризации микрофизических процессов**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Параметризации микрофизических процессов Параметризация Кесслера. Параметризация Линя Параметризации WSM3, WSM5 и WSM6 Образование облачного льда Образование снега Образование граупелей Образование дождя Конденсация водяного пара и испарение облачности

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Параметризации микрофизических процессов

**Тема 6. Расчет радиационных потоков, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Расчет радиационных потоков, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию Длинноволновая радиация. Схема RRTM. Схема GFDL. Коротковолновая радиация. Схема Дудья. Схема Eta GFDL. Поглощение озоном. Поглощение водяным паром.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Расчет радиационных потоков, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию

**Тема 7. Параметризации пограничного слоя**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Параметризации пограничного слоя. Параметризация MRF. Параметризация университета Ёнсей (YSU) Праметризация Меллора-Ямады-Янича (MYJ)

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Параметризации пограничного слоя.

**Тема 8. Параметризации приземного слоя.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Параметризации приземного слоя. Схема подобия MM5. Схема подобия Eta (или Янича) Схема подобия GFS

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Параметризации приземного слоя.

**Тема 9. Параметризации процессов на поверхности и в почве.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Параметризации процессов на поверхности и в почве. Пятислойная модель термической диффузии Модель Noah Перенос тепла Перенос влаги Представление снега и льда

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Параметризации процессов на поверхности и в почве.

#### **Тема 10. Параметризации конвекции**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Параметризации конвекции Схема Беттса-Миллера-Янича Схема Каина ? Фритша. Формулировка области восходящих движений. Расчет возбуждающей функции Формулировка потока массы Гипотеза замыкания

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Параметризации конвекции

#### **Тема 11. Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.

#### **Тема 12. Оценка современного состояния математического моделирования в атмосфере с использованием мезомасштабных негидростатических моделей.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Оценка современного состояния математического моделирования в атмосфере с использованием мезомасштабных негидростатических моделей. Использование мезомасштабных моделей для расчета переноса примеси в пограничном слое атмосферы.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Современные мезомасштабные негидростатические модели.

### **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Система уравнений гидротермодинамики бароклинной атмосферы	8	2	подготовка к устному опросу	2	Устный опрос
4.	Тема 4. Параметризации подсеточной турбулентности	8	4	подготовка к устному опросу	2	Устный опрос
6.	Тема 6. Расчет радиационных потоков, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию	8	6	подготовка к контрольной точке	2	контрольная точка
7.	Тема 7. Параметризации пограничного слоя	8	7	подготовка к устному опросу	1	Устный опрос
				подготовка к устному опросу	1	устный опрос
8.	Тема 8. Параметризации приземного слоя.	8	8	подготовка к устному опросу	2	Устный опрос
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
9.	Тема 9. Параметризации процессов на поверхности и в почве.	8	9	подготовка к устному опросу	2	Устный опрос
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
10.	Тема 10. Параметризации конвекции	8	10	подготовка к устному опросу	2	Устный опрос
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
	Итого				20	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Использование компьютерных симуляций (численного моделирования).

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Квазигидростатические и негидростатические модели атмосферы

экзамен

### Тема 2. Система уравнений гидротермодинамики бароклиной атмосферы

Устный опрос , примерные вопросы:

Для описания атмосферных процессов можно использовать систему 7 уравнений гидротермодинамики с 7 неизвестными: □ закон сохранения трехмерного момента (3 скалярных уравнения движения); □ закон сохранения массы сухого воздуха; □ уравнение состояния идеального газа; □ закон сохранения энергии; □ уравнения для сохранения влажности во всех ее фазах.

### Тема 3. Описание численной схемы модели WRF. Использование вложенных сеток.

экзамен

### Тема 4. Параметризации подсеточной турбулентности

Устный опрос , примерные вопросы:

В модель ARW можно включить 4 варианта задания (расчета) коэффициентов горизонтальной ( $K_h$ ) и вертикальной ( $K_v$ ) турбулентностей. Первый вариант предусматривает простое задание пользователем постоянных значений  $K_h$  и  $K_v$ . Во втором варианте производится расчет только горизонтальной турбулентности по горизонтальной деформации с использованием замыкания первого порядка по Смагоринскому. В третьем варианте используется трехмерное замыкание по Смагоринскому. В четвертом варианте в определение коэффициентов обмена входит турбулентная кинетическая энергия (ТКЭ), которая отыскивается замыканием порядка 1,5.

### Тема 5. Параметризации микрофизических процессов

экзамен

### Тема 6. Расчет радиационных потоков, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию

контрольная точка , примерные вопросы:

Анализ и расчет поглощения, отражения и рассеяния солнечной радиации в атмосфере согласно теоретическому распределению участвующих в этих процессах компонент. Задание для контрольной точки: Дать описание предлагаемых в модели четырех параметризаций длинноволнового излучения и четырех ? для коротковолнового излучения, которые позволяют учесть облачность, распределение водяного пара, углекислый газ, озон, малые концентрации других значимых газов.



## Тема 7. Параметризации пограничного слоя

Устный опрос , примерные вопросы:

В моделях ARW и NMM может быть выбрано 4 параметризации пограничного слоя, дающие вертикальные турбулентные потоки количества движения, тепла и влаги. Первая из параметризаций называется MRF, поскольку она была заимствована из глобальной модели среднесрочного прогноза NCEP MRF (Medium Range Forecast). Вторая параметризация именуется YSU (Yonsei State University в Южной Корее). Третья параметризация носит название MYJ (Mellor-Yamada- Janjic) по ее авторам. Четвертая параметризация называется ACM2 (Asymmetrical Convective Model, версия 2). Ниже будет дана краткая информация о каждой из этих параметризаций. Параметризация MRF. Описание этой параметризации имеется в статье Хонга и Пэна. Она относится к классу так называемых нелокальных моделей. Нелокальность состоит в том, что вводится поправка к локальному градиенту, которая учитывает вклад крупных вихрей. Параметризация университета Ёнсей (YSU).

устный опрос , примерные вопросы:

Параметризации пограничного слоя

## Тема 8. Параметризации приземного слоя.

Устный опрос , примерные вопросы:

В параметризации приземного слоя рассчитываются потоки количества движения (или напряжения  $\tau$ ), доступного тепла  $H$  и потоки влаги (или скрытого тепла  $E$ ) с использованием тех или иных под-ходов к расчетам соответствующих коэффициентов обмена. Потоки  $\tau$ ,  $H$  и  $E$  используются как в параметризациях пограничного слоя, так и в схемах подстилающей поверхности и почвы. Соотношения для этих потоков на поверхности практически во всех параметризациях имеют одну общую форму:  $\tau = \rho C_d u a^2$ ,  $H = \rho c_p C_h u a (\theta_s - \theta_a)$ ,  $E = \rho C_e u a (q_s - q_a)$ . Здесь  $\rho$  ? плотность воздуха,  $c_p$  ? удельная теплоемкость при постоянном давлении. Значения скорости, потенциальной температуры и удельной влажности с индексом  $a$  относятся к нижнему уровню модели, а значения переменных с индексом  $s$  ? значения на поверхности Земли, причем  $\theta_s$  получается обычно из уравнения теплового баланса на поверхности.  $C_d$ ,  $C_h$  и  $C_e$  ? коэффициенты обмена на поверхности для количества движения, тепла и водяного пара, соответственно.

устный опрос , примерные вопросы:

Параметризации приземного слоя.

## Тема 9. Параметризации процессов на поверхности и в почве.

Устный опрос , примерные вопросы:

Формально пользователи WRF могут включить в модель 4 схемы подстилающей поверхности и почвы: пятислойную модель термической диффузии, унифицированную модель Noah, модель RUC и модель Плейма-Ксю. В пятислойной модели, которая перенесена в ARW из MM5, производится только перенос тепла в почве, поэтому она представляет ограниченный интерес с точки зрения прогноза погоды. Унифицированная схема Noah подогнана к моделям ARW и NMM. Схема RUC, заимствованная из региональной модели RUC (Rapid Update Cycle), и схема Плейма-Ксю пока что применялись только в модели ARW. Модели подстилающей поверхности и почвы активизируются только на поверхности суши и морского льда.

устный опрос , примерные вопросы:

Параметризации процессов на поверхности и в почве.

## Тема 10. Параметризации конвекции

Устный опрос , примерные вопросы:

Пользователям моделей ARW и NMM предоставляются следующие возможности: не использовать параметризации конвекции или использовать следующие схемы: Каина-Фритша, Беттса-Миллера-Янича, ансамбль Грела-Дэвени и Грела 3d. Ниже дается краткое описание этих схем. Схема Беттса-Миллера-Янича. Параметризация основана на упрощенном уравнении притока тепла в предположении существования баланса между вертикальной адвекцией и конвективным притоком тепла.

устный опрос , примерные вопросы:

Параметризации конвекции

## **Тема 11. Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.**

экзамен

## **Тема 12. Оценка современного состояния математического моделирования в атмосфере с использованием мезомасштабных негидростатических моделей.**

экзамен

### **Итоговая форма контроля**

экзамен

Примерные вопросы к экзамену:

Вопросы для самостоятельной подготовки (дать подробное описание и привести соответствующие алгоритмы):

1. Каким образом учитываются процессы подсеточного масштаба.
2. Сколько схем параметризаций физических процессов в модели WRF может быть использовано.
3. Можно ли комбинировать в модели WRF схемы параметризаций физических процессов.
4. Какие процессы включает в себя микрофизика.
5. Какую радиацию учитывают параметризации радиационных процессов.
6. Какие процессы учитывают параметризации поверхностного слоя.
7. Какие физические механизмы учитывают параметризации подстилающей поверхности и процессы в почве.
8. Какие физические механизмы учитывают параметризации планетарного пограничного слоя.
9. Какие физические механизмы учитывают параметризации облачности.

Вопросы к экзамену по курсу

Методы математического моделирования и прогноза гидрометеорологических процессов

1. Крупномасштабные гидродинамические модели атмосферы.
2. Мезомасштабные модели атмосферы.
3. Система уравнений гидротермодинамики бароклинной атмосферы.
4. Структура модели WRF с динамическими ядрами ARW и NMM.
5. Использование вложенных сеток..
6. Параметризации подсеточной турбулентности.
7. Параметризации микрофизических процессов.
8. Расчет радиационных потоков, включая длинноволновую и коротковолновую радиацию.
9. Параметризации пограничного слоя.
10. Параметризации приземного слоя.
11. Параметризации процессов на поверхности и в почве.
12. Параметризации конвекции.
13. Использование мезомасштабных моделей для расчета переноса примеси в пограничном слое атмосферы.
14. Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.
15. Современные мезомасштабные негидростатические модели.
16. Средства, используемые для визуализации результатов численного прогноза.
17. Назначение и функции утилиты ARWpost, входящей в состав комплекса моделирования WRF.
18. Достоинства и недостатки модели WRF (Weather Research and Forecasting).
19. Какие данные могут использоваться в качестве исходных в модели WRF.
20. Теоретическая основа численного моделирования с использованием модели WRF.

## Примерные экзаменационные билеты

### Билет 1

1. Крупномасштабные гидродинамические модели атмосферы.
2. Предварительная обработка (WPS).
3. Параметризации подсеточной турбулентности. Задание коэффициентов горизонтальной ( $K_h$ ) и вертикальной ( $K_v$ ) турбулентностей.

### Билет 2

1. Мезомасштабные модели атмосферы.
2. Инициализация.
- 3.

### Билет 3

1. Система уравнений гидротермодинамики бароклинной атмосферы.
2. Описание численной схемы модели WRF.
3. Параметризации микрофизических процессов. Образование облачного льда

### Билет 4

1. Структура модели WRF с динамическими ядрами ARW и NMM.
2. Система подготовки вывода модельной продукции.
3. Длинноволновая радиация. Схема RRTM.

### Билет 5

1. Использование мезомасштабных моделей для расчета переноса примеси в пограничном слое атмосферы.
2. Динамические ядра модели WRF.
3. Коротковолновая радиация. Схема Дудья.

### Билет 6

1. Прогноз опасных явлений для различных типов синоптических процессов.
2. Использование вложенных сеток.
3. Параметризации пограничного слоя. Параметризация Меллора-Ямады-Янича (MYJ).

### Билет 7

1. Современные мезомасштабные негидростатические модели.
2. Динамическое ядро модели ARW.
3. Параметризации приземного слоя. Схема подобия GFS.

### Билет 8

1. Достоинства и недостатки модели WRF (Weather Research and Forecasting).
2. Исходные уравнения.
3. Параметризации процессов на поверхности и в почве. Модель RUC.

### Билет 9

1. Какие данные могут использоваться в качестве исходных в модели WRF.
2. Метод численного решения.
3. Параметризации конвекции. Ансамбль Грела-Дэвени.

### Билет 10

1. Теоретическая основа численного моделирования с использованием модели WRF.
2. Опыт эксплуатации модели WRF-ARW в Гидрометцентре России.
3. Определение коэффициентов обмена с использованием турбулентной кинетической энергии (ТКЭ).

### **7.1. Основная литература:**

1. Калинин Н.А. Динамическая метеорология / Н.А. Калинин - Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2009. - 260 с.

Фонд кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы 25 экз.

2. Пиловец Г. И. Метеорология и климатология: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ Г.И. Пиловец. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 399 с.

Режим доступа: <http://znaniyum.com/bookread.php?book=391608>

3. Ясовеев М. Г. Методика геоэкологических исследований: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ М.Г. Ясовеев, Н.Л. Стреха, Н.С. Шевцова. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. - 292 с.

Режим доступа: <http://znaniyum.com/bookread.php?book=446113>

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Христофорова Н. К. Основы экологии: Учебник [Электронный ресурс]/ Н.К. Христофорова. - 3-е изд., доп. - М.: Магистр: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 640 с.

Режим доступа: <http://znaniyum.com/bookread.php?book=406581>

2. Мешалкин В. П. Основы информатизации и математического моделирования экологических систем: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ В.П. Мешалкин, О.Б. Бутусов, А.Г. Гнаук. - М.: ИНФРА-М, 2010. - 357 с. Режим доступа: <http://znaniyum.com/bookread.php?book=184099>

3. Чикуров Н. Г. Моделирование систем и процессов: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ Н.Г. Чикуров. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 398 с.

Режим доступа: <http://znaniyum.com/bookread.php?book=392652>

4. Ярушкина Н. Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева. - М.: ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2012. - 160 с.

Режим доступа: <http://znaniyum.com/bookread.php?book=249314>

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

General WRF modeling system support - <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/support.html>

The WRF NMM core - <http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/docs>

User's Guide for the NMM core of Weather Research and Forecast (WRF) - [http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/docs/user\\_guide/index.php](http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/docs/user_guide/index.php)

Модель КОСМО - <http://www.cosmo-model.org/>

Система предупреждения об опасных явлениях - <http://hirlam.org/>

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Методы математического моделирования и прогноза гидрометеорологических процессов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Компьютеры, мультимедийный проектор.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 05.03.04 "Гидрометеорология" и профилю подготовки Метеорология .

Автор(ы):

Гурьянов В.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Переведенцев Ю.П. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.