

Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение по естественнонаучному образованию

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

В.А. Богуш

17.03.2016

Регистрационный № ТД- 4-556/тип.

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

**Типовая учебная программа
по учебной дисциплине для специальности
1-31 02 02 Гидрометеорология**

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по естественнонаучному
образованию

А.Л. Толстик
(подпись)
20.03.2016
(дата)

СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего
образования Министерства образования
Республики Беларусь

С.И. Романюк
(подпись)
10.03.2016
(дата)

СОГЛАСОВАНО

Начальник Государственного
учреждения «Республиканский
гидрометеорологический центр»

А.И. Полищук
(подпись)
20.03.2016
(дата)

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

И.В. Титович
(подпись)
18.02.2016
(дата)

Эксперт-нормоконтролер

Н.К. Машинский
20.11.2015

Минск 2016

СОСТАВИТЕЛИ:

А.Н. Красовский – доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

Л.Н. Турышев – старший преподаватель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра экологического мониторинга и менеджмента Учреждения образования «Международный государственный экологический университет им. А.Д.Сахарова»;

И.А. Хорунжий – заведующий кафедрой «Техническая физика» Белорусского национального технического университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета
(протокол № 4 от 17 декабря 2013 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 3 от 29 января 2014 г.);

Научно-методическим советом по географии Учебно-методического объединения по естественному образованию
(протокол № 2 от 20 марта 2014 г.).

Ответственный за выпуск: Л.Н. Турышев

I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

На рубеже XX-XXI веков метеорология перешла к масштабному экспериментальному и теоретическому изучению количественных характеристик атмосферных процессов, что позволило глубже понять их природу и прикладные аспекты.

Учебная дисциплина «Физическая метеорология» предусматривает формирование фундаментальных знаний о составе и структуре атмосферы, общих свойствах атмосферы Земли, об основных физических процессах, протекающих в ней, а также приобретение инженерных, исследовательских навыков в области моделирования (физического, математического) атмосферных процессов, получения (выбора), анализа и реализации метеорологической информации.

Задача дисциплины – дать студентам знания в области физических свойств воздуха, как сплошной сжимаемой среды, дать основные сведения о метеорологических явлениях, на конкретных примерах научить студентов применять полученные знания к физическому и математическому моделированию атмосферных процессов. Показать взаимосвязь физических процессов различного пространственного и временного масштаба, в частности, роль микрофизических процессов в глобальной циркуляции атмосферы.

Специалист-гидрометеоролог должен понимать физическую природу метеорологических явлений и процессов, уметь определять ключевые физические факторы, влияющие на состояние объектов атмосферы при их взаимодействии с гидросферой и литосферой, с одной стороны, и космическими факторами, с другой.

Программа согласована с другими учебными дисциплинами специальности «Гидрометеорология». Изучение материала предполагает знание студентами физики, математики и тесно связано с учебными дисциплинами «Геофизика», «Теория общей циркуляции атмосферы», «Гидрология», «Динамическая метеорология», «Аэрология».

Выпускник должен:

знать:

- состав, строение атмосферы; оптические, физические и акустические явления в атмосфере; научные основы статики атмосферы и закономерности водного режима атмосферы;

- закономерности распределения лучистой энергии в атмосфере:

- основы термодинамических процессов в атмосфере;

уметь:

- объяснить принципы выделения воздушных масс, фронтов, механизм возникновения и изменения атмосферного давления, принципы общей циркуляции атмосферы;

- характеризовать основные законы теплового излучения, распределения солнечной радиации, радиационный баланс Земной поверхности, атмосферы в пограничном слое;

- характеризовать физические, акустические, электрические свойства атмосферы;

- использовать основы динамики атмосферы в пограничном слое для решения задач практической метеорологии.

На изучение дисциплины отводится всего 86 часов, из них 56 часов аудиторных. Примерное распределение аудиторного времени по видам занятий: 44 часа – лекции и 24 часа – практические занятия. Итоговый контроль знаний рекомендуется осуществлять в форме экзамена.

II. ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название разделов и тем	аудиторные часы	лекции	практические
1	Введение. Предмет и методы физической метеорологии	4	4	
1.1	Предмет и методы метеорологии как науки	2	2	
1.2	Метеорологические величины и атмосферные явления	2	2	
2	Состав и строение атмосферы	2	2	
3	Статика атмосферы	6	4	2
3.1	Основное уравнение статики атмосферы	2	2	
3.2	Барометрические формулы	2	2	
3.3	Полная барометрическая формула. Геопотенциал	2		2
4	Термодинамика атмосферы	8	4	4
4.1	Первое начало термодинамики применительно к атмосфере	4	2	2
4.2	Термодинамика влажного воздуха. Тепловое состояние атмосферы	4	2	2
5	Роль воды в атмосфере	2	2	
6	Радиационные процессы в атмосфере	4	2	2
7	Механизм формирования осадков	6	4	2
7.1	Образование и распределение облачности	2	2	
7.2	Физика осадков	4	2	2
8	Динамика атмосферы	8	4	4
8.1	Уравнения движения атмосферы	4	2	2
8.2	Движение свободной атмосферы	4	2	2
9	Элементы физики открытых систем	2	2	
10	Волновые движения в атмосфере	2		2
11	Глобальная циркуляция	6	4	2
11.1	Структура общей циркуляции атмосферы	2	2	
11.2	Воздушные массы. Фронты и циклоны	4	2	2
12	Погода и климат	2	2	
13	Электрические и акустические явления в атмосфере	4	2	2
13.1	Атмосферное электричество	2	2	
13.2	Атмосферная акустика	2		2
	Итого:	56	36	20

III. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение. Предмет и методы физической метеорологии

1.1. Предмет и методы метеорологии как науки

Цель и задачи курса, связь с другими науками естественного цикла. Основные этапы становления и развития метеорологии. Структура и направления современной метеорологии, практические их приложения. Особенности атмосферных процессов как объекта изучения метеорологии. Понятие о сплошной среде.

1.2. Метеорологические величины и атмосферные явления

Метеорологические величины и атмосферные явления. Градиент метеорологической величины. Понятие о барических системах. Индивидуальная, локальная и пространственная производные. Метод Эйлера и метод Лагранжа.

2. Состав и строение атмосферы

Физические явления в разных слоях атмосферы. Строение атмосферы. Принципы деления атмосферы на слои. Вертикальная структура атмосферы.

Газовый состав атмосферного воздуха. Постоянные и переменные компоненты воздуха, их соотношения и пределы изменения. Углекислый газ. Атмосферный озон: свойства, распределение; фотохимические процессы. Водяной пар.

Изменение газового состава с высотой. Разделение газов. Диссипация газов из атмосферы Земли. «Верхняя граница» атмосферы.

Атмосферные аэрозоли: происхождение, физические свойства, химический состав, распределение по размерам. Вертикальное распределение аэрозолей в атмосфере. Роль аэрозолей в метеорологических процессах и климатические эффекты их колебания. Методы исследования атмосферных аэрозолей.

3. Статика атмосферы

3.1. Основное уравнение статики атмосферы

Силы, действующие в атмосфере в состоянии равновесия. Уравнения состояния сухого и влажного воздуха. Удельная газовая постоянная. Виртуальная температура. Характеристики влажности воздуха. Основное уравнение статики.

3.2. Барометрические формулы

Уравнение статики атмосферы. Барометрические формулы. Однородная атмосфера. Изотермическая атмосфера. Политропная атмосфера. Стандартная атмосфера.

3.3. Полная барометрическая формула. Геопотенциал

Уравнение статики атмосферы. Барометрические формулы. Однородная атмосфера. Изотермическая атмосфера. Политропная атмосфера. Стандартная атмосфера. Полная барометрическая формула.

Геопотенциал. Абсолютная и относительная топография.
Механизм изменения атмосферного давления.

4. Термодинамика атмосферы

4.1. Первое начало термодинамики применительно к атмосфере

Первое начало термодинамики применительно к атмосфере. Уравнения Пуассона. Политропические процессы. Адиабатические процессы. Устойчивость. Потенциальная температура. Сухоадиабатический градиент температуры. Второе начало термодинамики. Энтропия и энтальпия.

4.2. Термодинамика влажного воздуха. Тепловое состояние атмосферы

Влажноадиабатический процесс. Влажноадиабатический градиент.

Условия и критерии термодинамической устойчивости атмосферы. Адиабатические модели на основе методов частицы и слоя. Конвекция, уровень конвекции. Фактор вовлечения. Термодинамические графики. Энергия неустойчивости. Потенциальная (конвективная) неустойчивость. Стратификация атмосферы.

Тепловое состояние атмосферы. Потоки и приток тепла. Лучистый, конвективный, турбулентный потоки; потоки, обусловленные адиабатическим изменением давления и фазовыми переходами.

5. Роль воды в атмосфере

Свойства воды. Роль фазовых переходов в энергетическом балансе атмосферы. Влажноадиабатические процессы. Формирование облаков. Туманы - процессы возникновения и классификация. Закономерности распределения туманов во времени и пространстве.

6. Радиационные процессы в атмосфере

Солнце как источник энергии на Земле. Шкала электромагнитных волн. Корпускулярная и электромагнитная радиация. Вариации солнечной активности и их влияние на метеорологические процессы. Спектр излучения Солнца. Солнечная постоянная и ее вариации. Радиационные потоки в атмосфере.

Основные законы теплового излучения. Законы Кирхгофа, Планка, Стефана-Больцмана, Вина.

Ослабление солнечной радиации в атмосфере. Основные показатели ослабления. Общие принципы процесса ослабления излучения. Поглощение радиации в атмосфере; спектр и полосы поглощения. Рассеяние радиации в атмосфере; молекулярное рассеяние (теория Рэлея), индикатрисса рассеяния, рассеяние на аэрозолях. Прозрачность атмосферы и ее характеристики; спектральный и интегральный коэффициенты прозрачности. Фактор мутности.

Коротковолновая радиация. Прямая солнечная радиация, ее спектральный состав, интегральная энергетическая освещенность; ослабление облаками. Рассеянная радиация; зависимость потока радиации от свойств атмосферы и от облачности. Суммарная радиация. Методы измерения и расчета прямой, рассеянной и суммарной радиации.

Отраженная радиация. Альbedo естественных подстилающих поверхностей. Эффективное альbedo. Альbedo облаков. Альbedo Земли как планеты.

Длинноволновое излучение. Излучение земной поверхности. Парниковый эффект.

Радиационный баланс земной поверхности, атмосферы и системы «земная поверхность – атмосфера».

7. Механизм формирования осадков

7.1. Образование и распределение облачности.

Облака. Классификация облаков. Процессы возникновения облаков. Системы облаков. Главные закономерности пространственно-временного распределения облаков. Глобальное поле облачности.

7.2. Физика осадков.

Термодинамика осадков. Условия фазовых переходов воды в атмосфере. Парциальное давление насыщения. Его зависимость от температуры. Уравнение Клаузиуса-Клайперона. Эквивалентная температура. Зависимость давления насыщения от фазового состояния испаряющей поверхности. Процесс возникновения зародышевых капель в атмосфере. Ядра конденсации в атмосфере. Конденсационный рост капель. Коагуляционный рост капель. Испарение в природе. Турбулентная диффузия водяного пара. Пространственно-временное распределение характеристик влажности в атмосфере.

Осадки. Происхождение атмосферных осадков в естественных условиях. Распределение количества осадков по земному шару, годовой ход количества осадков. Влагооборот в природе. Активные воздействия на формирование облаков и осадки.

8. Динамика атмосферы

8.1. Уравнения движения атмосферы.

Силы, действующие в атмосфере. Сила тяжести, сила Кориолиса, сила барического градиента, вязкие силы, центробежная сила. Геоострофический и градиентный ветер. Уравнения движения турбулентной атмосферы. Система основных уравнений метеорологии. Траектории и линии тока. Вертикальные движения.

8.2. Движение свободной атмосферы.

Движение свободной атмосферы. Геоострофический ветер. Градиентный ветер. Трансформация воздушных масс. Возникновение фронтов. Теплый фронт. Холодный фронт. Фронт окклюзии. Возникновение циклонов и антициклонов. Строение и эволюция циклонов. Синоптический прогноз погоды.

Особенности мезомасштабной циркуляции атмосферы: бризы, склоновые и стоковые ветры, фены.

9. Элементы физики открытых систем

Перераспределение тепловой энергии в атмосфере. Конвективный и турбулентный перенос. Метастабильные состояния. Понятие о странном аттракторе. Примеры из физики атмосферы. Устойчивость воздушной массы.

10. Волновые движения в атмосфере

Понятие о колебательных процессах и волнах. Свободные и вынужденные колебания. Периодические сигналы и их спектры. Причины возникновения волн в атмосфере. Роль волновых процессов в облакообразовании. Волны Россби. Гравитационные колебания и волны. Автоколебания климата.

11. Глобальная циркуляция.

11.1. Структура общей циркуляции атмосферы.

Определение и простейшие схемы общей циркуляции атмосферы. Масштабы метеорологических явлений. Среднее распределение температуры и ветра в атмосфере, определяющее общую циркуляцию. Ячейки циркуляции.

11.2. Воздушные массы. Фронты и циклоны.

Свойства и классификация воздушных масс. Стационарные фронты. Волновой циклон. Циркуляция стратосферы. Струйные течения. Полярный вихрь. Глобальная циркуляция атмосферы и климат.

12. Погода и климат

Синоптическая и климатическая карты. Методы изучения климатов. Вековые климаты. Факторы, влияющие на климат. Естественные факторы изменения климата. Изменение газового и аэрозольного состава атмосферы.

Международные соглашения в области контроля атмосферных процессов. Проблемы климата.

13. Электрические и акустические явления в атмосфере

13.1. Атмосферное электричество

Ионизация атмосферы. Электропроводность атмосферы. Методы определения проводимости. Ионосфера и ее роль в распространении электромагнитных волн. Электрическое поле в атмосфере. Напряженность электрического поля, ее связь с другими элементами атмосферного электричества и метеорологическими величинами. Электрические токи в атмосфере. Электрическое поле облаков. Основы теории грозового электричества. Условия возникновения молнии. Формы молний. Способы грозозащиты.

13.2. Атмосферная акустика

Основы теории распространения звука в атмосфере. Зависимость скорости звука от характеристик движения воздуха, температуры, влажности. Отражение, преломление и поглощение звука в атмосфере. Акустическое зондирование атмосферы.

IV. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Литература

Основная

1. Хргиан А.Х. Физика атмосферы, 2 изд. перераб. и доп. Т 1, 2. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 558 с.
2. Семенченко Б.А. Физическая метеорология, изд. «Аспект Пресс», М., 2002. – 415 с.
3. Польшен Э., Ньютон И. Циркуляционные системы атмосферы, Изд. «Мир», Л., 1973. – 615 с.
4. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы, Изд. Гидромет., Л., 1986. – 752 с.
5. Тверской П.Н. Курс метеорологии (физика атмосферы). Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.
6. Хромов С.П. Петросянц М.А. Метеорология и климатология, Изд.-во Моск. ун-та: Наука, 2006. – 582 с.

Дополнительная

7. Аверкиев М.С. Метеорология, изд. МГУ, М. 1951. – 384 с.
8. Гилл А. Динамика атмосферы и океана: В 2-х т. Т. 1. Пер. с англ.: – М.: Мир, 1986. – 396 с.
9. Гилл А. Динамика атмосферы и океана: В 2-х т. Т.2. Пер. с англ.: – М.: Мир, 1986. – 415 с.
10. Шакина Н.П., Динамика атмосферных фронтов и циклонов, Гидрометиздат, 1985. – 264 с.
11. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 350 с.
12. Герман Дж. Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 315 с.
13. Кондратьев К.Я. Актинометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 690 с.
14. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. 3 изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
15. Орленко Л.Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 270 с.
16. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск, «ТетраСистемс», 2008. – 496 с.
17. Ван-Мигем Ж. Энергетика атмосферы, Гидрометиздат, 1977. – 326 с.
18. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию метеопроцессов, Л., 1969. – 285 с.
19. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1. М. Наука, 1970. – 492с.
20. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. Госиздат. физ.-мат. литературы, М. 1959. – 572 с.
21. Харкевич А.А. Спектры и анализ, Госиздат. физ.-мат. литературы, М. 1962. – 236 с.

МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

- объяснительно-иллюстративный метод с использованием современных информационных технологий;
- метод проблемного изложения;
- исследовательский метод.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку конспекта лекций и учебной литературы;
- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания или домашней контрольной работы, предусматривающих решение задач, выдаваемых на практических занятиях;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольным работам;
- написание реферата (доклада, научной статьи) по заданной проблеме.

Примерная тематика практических занятий

1. Статика атмосферы.
2. Термодинамическая устойчивость в атмосфере.
3. Термодинамические графики.
4. Синоптическая и климатическая карты.
5. Уравнения движения турбулентной атмосферы.
6. Электрическое поле облаков. Грозовое электричество.

Примерный перечень заданий для самостоятельной работы

1. *Состав и строение атмосферы.* Изменение газового состава атмосферы с высотой. Роль малых составляющих атмосферы. Кривая стратификации. Атмосферные аэрозоли.

2. *Статика атмосферы.* Физический смысл понятия виртуальная температура. Физический смысл понятия потенциальная температура. Почему в атмосфере температура убывает с высотой?

3. *Солнечная и земная радиация.* Равновесное и неравновесное излучение Солнца. Что такое линии Фраунгофера? Какие процессы ослабляют излучение в атмосфере? Почему мы защищаемся от УФ излучения, хотя ИК излучения в атмосфере гораздо больше? Парниковый эффект. Альbedo поверхности.

4. *Формирование осадков.* Законы испарения. Уравнение диффузии водяного пара. Уровень конденсации. Микроструктура, водность облаков и туманов. Классификация осадков.

5. *Динамика атмосферы.* Силы, действующие в атмосфере. Траектории и линии тока. Геострофическое движение. Градиентный ветер. Термический ветер. Струйные течения. Местные ветры и явления: фен, бора, бризы, горно-долинные ветры, смерчи.

6. *Волновые движения в атмосфере.* Свободные и вынужденные колебания. Периодические сигналы и их спектры. Причины возникновения волн в атмосфере. Роль волновых процессов в облакообразовании. Волны Россби. Гравитационные колебания и волны.

7. *Глобальная циркуляция.* Общая циркуляция атмосферы. Определяющие принципы. Фронты и внетропические циклоны. Тропические циклоны. Муссоны.

8. *Погода и климат.* Факторы, влияющие на климат. Естественные факторы изменения климата. Причины изменения газового и аэрозольного состава атмосферы.

9. *Атмосферное электричество.* Ионизация атмосферы. Молнии. Тихие разряды. Атмосферики. Физические основы молний. Способы грозозащиты.

Примерная тематика коллоквиумов

1. Устойчивость атмосферы.
2. Основные законы теплового излучения.
3. Возникновение циклонов и антициклонов.

Примерная тематика курсовых работ

1. Радиационный баланс земного шара.
2. Солнечная радиация, ее преобразования в атмосфере и на земной поверхности.
3. Ослабление излучения в атмосфере.
4. Волновые движения в атмосфере.
5. Физические основы молний.