

Программа дисциплины «Теория климата»  
*Автор: Кислов А.В., профессор, д.г.н., географический факультет Московский  
государственный университет имени М.В.Ломоносова*

**Цели дисциплины:**

Развитие представлений о причинах изменений климата и способах прогнозирования климата.

**Задачи дисциплины:**

- дать представление о истории климата и колебаниях климата различного масштаба
- дать представление о математическом моделировании климата
- познакомить с физическими механизмами изменений климата
- сопоставить изменения климата на планетах солнечной системы и экзопланетах
- дать представление об международном сотрудничестве в области прогнозов климата
- ознакомить с современными методами прогноза климата
- ознакомить с основами методов прогноза климатически обусловленных изменений состояния окружающей среды

**Место дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина «Теория климата» входит в профессиональный цикл вариативной части ООП по направлению «Гидрометеорология» и читается на 1-м курсе магистратуры в 1-м семестре.

Изучение курса базируется на предварительном усвоении студентами материала базовых метеорологических дисциплин: физической метеорологии, химии атмосферы, динамической метеорологии, климатологии, синоптической метеорологии, блока эколого-географических дисциплин; а также базовых физико-математических дисциплин: физики, гидромеханики, высшей математики, численных методов прогноза погоды.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь дисциплины «Синоптическая метеорология» с другими частями ООП определяется следующей совокупностью входных компетенций, необходимых для освоения данной дисциплины:

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- основы теории климата;
- принципы прогноза изменений климата.

**Уметь:**

Выполнять диагноз и прогноз состояния климата с использованием результатов численного моделирования и анализа эмпирической информации

**Владеть:**

- методами климатического анализа;
- методами диагноза и прогноза изменений климата
- методами обслуживания прогностической климатической информацией потребителей и субъектов народного хозяйства

**Содержание дисциплины**

**Раздел 1. Общие свойства климатической системы.**

**Тема 1. Структура климатической системы.**

Определение понятия «климатическая система», внешние факторы и внутренние элементы. Обратные связи. Климатически значимые свойства атмосферы, океана, суши,

криосферы, биоты. Климатические переменные, «среднее», изменчивость, изменения. Определение понятия «климат». Определение понятия «современный климат». Моделирование климата. Динамика климата и изменения окружающей среды. Цивилизации, конфликты и изменения климата.

### ***Тема 2 Общие понятия (введение).***

Климатология как раздел страноведения. Представления о изменениях климата в прошлом. Четвертичная геология и палеогеография, представления о ледниковых периодах. Понимание изменений климата как процессов планетарного масштаба. Теория Миланковича, ее успехи, мистификации и ренесанс. Антропогенное воздействие на климат. Математические модели климата и компьютерные (численные) эксперименты. Прогноз изменений климата. Международное сотрудничество в области изучения изменений климата.

## **Раздел 2. Общие закономерности формирования климатического режима.**

### **Тема 3. Энергетика климатической системы**

Радиационный бюджет на внешней границе атмосферы как граничное условие для климатической системы. Планетарное альbedo. Парниковый эффект. Неустойчивая стратификация и конвективное перемешивание. Общая циркуляция атмосферы и океана. Изменчивость климата и циркуляционные режимы атмосферы и океана. Арктическая осцилляция. Южное колебание. Ритмы декадной периодичности, индексы АМО и PDO.

### ***Тема 4. Законы сохранения энергии и углового момента и геобиохимические циклы***

Бюджет энергии в климатической системе. Источники и стоки. Кинетическая энергия и доступная потенциальная энергия. Бюджет углового момента. Источники и стоки углового момента атмосферы. Гипотетические климатические эффекты неравномерности вращения Земли. Цикл углерода и азота.

## **Раздел 3. Сравнительный анализ климата на планетах и экзопланетах**

### ***Тема 5. Климат некоторых планет солнечной системы***

Эмпирические данные. Дивергенция природно-климатических условий планет Венера, Земля, Марс: роль изменений светимости Солнца, роль разного по интенсивности парникового эффекта, роль магнитного поля планет. Уникальность Земли: Мировой океан, озоновый слой, роль биоты (концепция Геи, «мир маргариток»). Гигантские планеты: Юпитер и Сатурн. Климат Титана (спутник Сатурна).

### ***Тема 6. Экзопланеты.***

М.В.Ломоносов и Э.Кант. Методы обнаружения экзопланет. Некоторые сведения о климатическом режиме экзопланет.

## **Раздел 4. Математические модели и моделирование климата**

### ***Тема 7. Иерархия моделей***

Модель Будыко-Селлерса. Стохастическая модель. Модели промежуточной сложности (ПС). Модели общей циркуляции атмосферы и океана. Модели земной климатической системы (ЗКС). Усвоение данных. Проблемы параметризации. Подробный анализ структуры одной из современных моделей ПС и ЗКС.

### ***Тема 8. Стохастические модели и предсказуемость климата***

Предсказуемость климата и практические подходы климатического прогноза. Источники погрешностей при моделировании климата. Вероятностный характер

результатов моделирования климата. Попытки получения вероятностных показателей: уравнения Лиувилля и Фоккера-Планка. Ансамблевый подход в моделировании климата.

## **Раздел 5. История изменений климата в фанерозое (в целом) и в кайнозойской эре.**

### **Тема 9. Контроль климатических изменений явлениями глобальной тектоники**

Климат последних 0.5 млрд. лет. Изменения климата в ответ на движение материков, изменение CO<sub>2</sub> в атмосфере.

### **Тема 10. Похолодание климата кайнозойской эры и формирование криосферы**

Климат кайнозойской эры. Уменьшение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере и прогрессирующее похолодание. Формирование криосферы. Обратные связи в системе при наличии снега/льда. Критические значения содержания CO<sub>2</sub> для образования ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии.

## **Раздел 6. Генезис колебаний климата в плиоцене - плейстоцене - голоцене**

### **Тема 11. Теория колебаний климата в период ледниковых и межледниковых эпох**

Флуктуации климата: переход в последний миллион от колебаний с преобладающим периодом 41 тыс. лет к 100 тыс. летней ритмичности. Морские изотопные стадии. Данные ледниковых кернов. Позднеплейстоценовый криохрон (~ 21 тыс. лет назад). Красный шум в спектрах. Механизмы Миланковича, переброса, запаздывания и стохастического резонанса в климатической системе. Совместное моделирование изменений климата, растительности и вариаций глобального цикла углерода. Климат голоцена: изменения муссонной активности и термического режима.

### **Тема 12. Механизм резких изменений климата**

События Хайнриха. Циклы Дансгора-Оешгера. Событие Молодой Дриас. Неустойчивость ледниковых щитов и прерывание переноса тепла в системе Гольфстрим - Северо-Атлантическое течение как механизм резких колебаний климата.

## **Раздел 7. Генезис изменений климата за последние 2 тыс. лет**

### **Тема 13. Эмпирические данные о колебаниях климата в историческую эпоху**

Проблема интерпретации палеоданных - разные взгляды на особенности колебаний климата в историческое время. Флуктуация Средневековое потепление - Малый ледниковый период.

### **Тема 14. Теория колебаний климата**

Восстановление аномалий светимости Солнца по данным о колебаниях солнечной активности: современные спутниковые данные, астрофизические данные по другим звездам, изотопные данные (<sup>14</sup>C и <sup>10</sup>Be). Минимум Маундера. Роль изменений светимости Солнца и вулканического аэрозоля в климатической изменчивости.

## **Раздел 8. Генезис изменений климата в современную эпоху**

### **Тема 15. Эмпирические данные о колебаниях климата в современную эпоху**

Данные мировой сети станций. Проблема однородности рядов. Нерегулярный характер глобального потепления в современную эпоху (с момента окончания Малого ледникового периода). Проявления климатического сигнала в динамике природной среды.

### **Тема 16. Теория колебаний климата**

Сочетание антропогенно обусловленного нарастания интенсивности парникового эффекта и естественной ритмичности климата. Сопоставление потепления 40-х годов («потепления Арктики») и потепления 80-90-00-х годов. Роль изменений светимости Солнца, вулканического аэрозоля, свойств поверхности материков за счет с/х и

урбанистического использования. Моделирование климата, направленное на воспроизведение наблюдавшихся на протяжении полутора столетий особенностей. Проблема детектирования проявления антропогенного сигнала на фоне климатической изменчивости.

## **Раздел 9. Международное сотрудничество при изучении климата**

### **Тема 17. Крупные международные проекты, направленные на исследование изменений климата (IPCC, CMIP и др.).**

Объединение климатических исследований в рамках комитета экспертов (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) под эгидой Всемирной метеорологической организации. Отчеты IPCC по проблеме изменений климата, смягчения последствий, приспособления к изменениям. Объединение усилий в моделировании климата. Проект CMIP (Coupled Model intercomparison Project). Проекты CMIP3, CMIP5, RMIIP3.

## **Раздел 10. Декадные прогнозы климатической изменчивости и прогнозы изменений климата на пятьдесят, сто и более лет.**

### **Тема 18. Прогнозы климата на 50 и 100 лет**

Сценарии IPCC: A2, B1 и др.; семейство сценариев RCP. Моделирование климата для прогнозирования фоновых изменений в 21 веке. Ансамбль результатов моделирования.

### **Тема 19. Прогноз климата на 1 - 2 года**

Постановка задачи прогноза состояния климата на ближайшие несколько лет. 4-д усвоение данных о состоянии Мирового океана. Существование потенциала практической предсказуемости сроком до, приблизительно, двух лет.

## **Раздел 11. О возможностях противодействия изменениям климата**

### **Тема 20. Предотвращение изменений климата.**

Ограничения выбросов парниковых газов. Киотский протокол и другие международные договоры. Геоинженерные решения: системы зеркал, регулирующих поступление солнечной энергии, и искусственное формирование облаков стратосферного аэрозоля.

## **Литература:**

### **а) Основная**

- 1) Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем., -Москва, Наука-Интерпериодика, 2001
- 2) Кислов А.В. Климатология., - Москва, Академия, 2011
- 3) Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Под ред. Семенова С.М., - Москва, Росгидромет, 2012

### **Б) Дополнительная:**

- 1) Кислов А.В., и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления., - Москва, МаксПресс, 2008
- 2) Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, - Москва, Росгидромет, 2008
- 3) Переведенцев Ю.П. Теория климата., - Казань, Изд. Казанского ун-та, 2004
- 4) Warner T.T. Numerical weather and climate prediction., - UK, Cambridge Univ. Press, 2011

### *Интернет-ресурсы*

1. Библиотека климатических данных (IRI-LDEO)
2. Всемирный центр метеоданных, Ashville (NOAA)
3. Гидрометеорологические данные по России (Ascii, по станциям)
4. Изменения климата в России (ГМЦ РФ) <http://climate.mecom.ru/>
6. Климатические данные NOAA (daily - global, regional, gif, Ascii, и др.)
7. Международный центр распространения данных (DDC-IPPC)