

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет

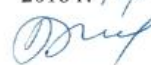
«Утверждено»

Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов



Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

« 23 » 11 2018 г., пр. № 10



ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ»

по направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология»
профиль «Метеорология»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет**

«Утверждено»

Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов

Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

« ____ » _____ 2018 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ»

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**
профиль «Метеорология»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»** (*программы бакалавриата, реализуемой последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются получение знаний о сущности основных химических процессов, происходящих в атмосфере, и их взаимосвязи с погодными и климатическими условиями в настоящем, прошлом и будущем, формирование у студентов экологического мышления.

Задачи освоения дисциплины:

- получить представление об основных естественных источниках и стоках атмосферных газов и аэрозолей;
- понять и усвоить пространственно-временные закономерности распределения атмосферных газов и аэрозолей и причины, их формирующие;
- изучить основные процессы физической и химической трансформации атмосферных газов и аэрозолей на разных этапах биогеохимических циклов;
- получить представление о современных моделях атмосферной химии и их применении в метеорологии и климатологии.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Химия атмосферы» входит в модуль «Физическая метеорология и химия атмосферы» вариативной части ООП, профиль «Метеорология». Она обязательная и изучается на 2 курсе в 4 семестре.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь дисциплины «Химия атмосферы» с другими частями ООП определяется совокупностью компетенций, получаемых студентами в результате ее освоения.

Изучение дисциплины базируется на предварительном усвоении студентами материала следующих дисциплин и модулей: «Климатология с основами метеорологии», «Физическая метеорология», «Динамическая метеорология», а также «Химия», «Физика», «Высшая математика», «Теория вероятностей и математическая статистика».

Изучение данной дисциплины необходимо для освоения последующих дисциплин: «Гидрометеорологические основы охраны атмосферы», «Климатология», «Теория климата», «Прикладная климатология», «Биогеохимические циклы экосистем суши и изменение климата».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с ОС МГУ и «Оценочными и методическими материалами формирования компетенций, оценивания уровня знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности у обучающихся и выпускников» освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций и получение следующих результатов обучения:

- способность использовать знания о химических процессах, протекающих в атмосфере, для оценки степени загрязнения воздуха и разработки рекомендаций по охране атмосферы (СПК-3.Б, формируется частично)

В результате освоения дисциплин модуля обучающийся должен:

Знать:

- закономерности функционирования атмосферы, как системы, в которой действуют обратные связи между состоянием погоды, климата, общей циркуляции атмосферы, с одной стороны, и содержанием естественных и антропогенных компонентов в составе атмосферного воздуха, с другой;
- основные концепции зависимости радиационного и циркуляционного режима атмосферы от ее состава;
- пространственно-временные закономерности формирования, функционирования и развития источников и стоков атмосферных компонентов;

- свойства атмосферных газов и аэрозолей, влияющих на климатическую систему, экологическую безопасность и здоровье человека;

Уметь:

- рассчитывать составляющие баланса атмосферных газов и аэрозолей с учетом взаимодействия атмосферы с другими компонентами географической оболочки;
- оценивать степень влияния атмосферных газов и аэрозолей на состояние климатической системы;

Владеть:

- основами теории атмосферной химии;
- методами обработки первичных данных о концентрации атмосферных газов и аэрозолей с учетом конкретных задач;
- методами оценки баланса примесей в атмосфере;
- методами количественной оценки влияния атмосферных газов и аэрозолей на климатическую систему.

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 академических часа (2 з.е.).

Общая аудиторная нагрузка – 39 часов, в т.ч. лекции – 26 часов и семинары – 13 часов.

Объем самостоятельной работы студентов – 33 академических часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, <u>включая СРС</u> и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа		СРС	
				лекция	семинар		
1	Вводные термины и понятия.	4	1	2		1	
2	Модели атмосферной химии.	4	2 - 3	4	2	2	Контрольная работа по темам 1-2
3	Перенос примесей в атмосфере, их газофазное и фотохимическое преобразование.	4	4	2		2	
4	Химические процессы в жидкой фазе.	4	5 - 6	4		2	
5	Атмосферные аэрозоли.	4	7	2		2	
6	Малые газовые примеси в атмосфере.	4	8	2	2	3	Контрольная работа по темам 3-7
7	Соединения кислорода в атмосфере.	4	9	2		3	
8	Соединения серы в атмосфере.	4	10	2	4	3	
9	Соединения углерода в атмосфере.	4	11	2	3	6	Контрольная работа по темам 8-9
10	Изотопный состав атмосферы.	4	12-13	4	2	6	Устный доклад
	Промежуточная аттестация					3	зачет

	ция					
	Итого		13	26	13	33

5. Содержание дисциплины

Содержание лекций

Тема 1. Вводные термины и понятия. Роль основных газовых и аэрозольных составляющих атмосферы, их физико-химических превращений в понимании важнейших геофизических процессах, в том числе в формировании погодного и климатического режимов. Обзор развития и современное состояние химии атмосферы. Единицы определения концентрации вещества в атмосфере. Химическое равновесие. Динамическое равновесие. Состав атмосферы Земли. Основные компоненты и малые газовые составляющие. Формирование атмосферы Земли, роль дегазации мантии и фотохимических процессов.

Тема 2. Модели атмосферной химии. Процессы, контролирующие концентрацию вещества в атмосфере. Основные понятия концепции резервуарных и траекторных моделей, модели Эйлера и Лагранжа. Источники атмосферного вещества, резервуары, время пребывания и стоки примесей в атмосфере. Уравнение баланса массы. Обмен вещества между различными резервуарами атмосферы.

Тема 3. Перенос примесей в атмосфере, их газофазное и фотохимическое преобразование. Глобальный перенос. Турбулентная диффузия. Молекулярная диффузия. Роль зональной и меридиональной циркуляции. Механизмы обмена вещества между различными атмосферными резервуарами. Общие особенности газофазного и фотохимического преобразования вещества в атмосфере.

Тема 4. Химические процессы в жидкой фазе. Источники примесей в облаках и осадках. Жидкофазные реакции. Внутриоблачное и подоблачное вымывание веществ из атмосферы. Растворение газов в каплях. Закон Генри. Ионизация газов в растворах. Окисление оксидов серы и азота в жидких растворах. Кислотность осадков. Состав атмосферных осадков континентального и морского происхождения. Различия химического состава осадков в фоновых и промышленных районах. Химические процессы внутри капель. Влияние фотохимических процессов на возникновение радикалов в облачной среде.

Тема 5. Атмосферные аэрозоли. Аэрозоли, их источники. Первичные и вторичные частицы. Распределение аэрозолей по размерам. Химический состав аэрозолей. Физическая трансформация аэрозолей (коагуляция, гигроскопический рост). Химическая трансформация аэрозолей. Изменений размеров аэрозолей, имеющих в составе растворимые вещества. Стоки аэрозолей (сухое осаждение, влажное выведение, влажное осаждение). Влияние аэрозолей на климат.

Тема 6. Малые газовые примеси в атмосфере. Общая характеристика. Метан, формальдегид, гидроксильный радикал. Их источники, время пребывания в атмосфере, стоки, роль в формировании погодного и климатического режимов.

Тема 7. Соединения кислорода в атмосфере. Кислород, его геохимический бюджет. Атмосферный озон. Географическое распределение. Источники и стоки озона в тропосфере. Озон в стратосфере. Каталитические циклы с NO_x, HO_x, ClO_x, их отдельный и суммарный эффект. Влияние озона на погоду и климат.

Тема 8. Соединения серы в атмосфере. Серные соединения в атмосфере. Географическое распределение. Источники и стоки. Основные резервуары серных соединений и потоки между ними. Глобальный цикл серы. Влияние на погоду и климат.

Тема 9. Соединения углерода в атмосфере. Углеродные соединения в атмосфере. Географическое распределение. Источники и стоки. Основные резервуары и потоки между ними. Глобальный цикл углерода. Влияние на погоду и климат.

Тема 10. Изотопный состав атмосферы. Виды радиоактивных изотопов в атмосфере. Единицы измерения радиоактивности. Время полураспада. Источники радиоактивных изотопов в атмосфере. Выведение радиоизотопов и продуктов их распада из атмосферы. Радиоуглерод (^{14}C) атмосфере. Радиоуглеродный метод датировки.

Стабильные изотопы в атмосфере. Дейтерий ($^2\text{H}(\text{D})$) и кислород-18 (^{18}O). Их источники, механизмы формирования и переноса. Связь концентрации ^2H и ^{18}O с температурой воздуха и количеством осадков. Использование стабильных изотопов в климатических исследованиях.

План проведения семинаров

Семинар 1. Контрольная работа по разделам 1, 2.

Семинар 2. Контрольная работа по разделам 3–7.

Семинар 3. Защита рефератов по разделам 1-8.

Семинар 4. Контрольная работа по разделам 8-9.

Семинар 5. Представление докладов.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Самостоятельная работа студентов заключается в проработке материала лекций и подготовке к коллективному обсуждению на семинарских занятиях по заданным темам и написанию реферата.

Учебная внеаудиторная деятельность, выполняемая в часы, отведенные студенту для самостоятельной работы, проводится с целью закрепления и углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины;
- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к семинарским занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля.

Самостоятельная работа студентов обеспечена следующими материалами:

- заданием для написания рефератов с перечнем рекомендуемой литературы;
- учебно-методическими материалами по основным разделам дисциплины.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Примерные темы докладов

1. Основные концепции эволюции химического состава атмосферы земли.
2. Резервуарные модели атмосферы в задачах атмосферной химии. Методы Эйлера и Лагранжа.
3. Учет химических процессов в моделях общей циркуляции атмосферы и океана.
4. Пространственно-временные особенности распределения кислотности атмосферных осадков по земному шару.
5. Роль атмосферных малых газовых примесей в химических процессах, их климатообразующая роль.
6. Влияние океана на химический состав атмосферы.
7. Окислительные свойства тропосферы.
8. Озон и загрязнение воздуха.
9. Кислотные дожди.
10. Парниковый эффект атмосферы.
11. Роль изотопных исследований в понимании атмосферных процессов.

Примерные вопросы к контрольным работам

1. Вычислить отношение смеси вещества на заданной высоте, если известна его количественная концентрация, а также температура воздуха и атмосферное давление.
2. С выбросами предприятия в атмосферу поступает газообразная примесь X с постоянной скоростью E, кг/сек, с момента времени $t=0$. Выведение вещества X из атмосферы происходит за счет химических превращений в реакции первого порядка с константой скорости реакции k, 1/сек. В начальный момент времени $m(0)=0$.
 - а) Пусть m – масса вещества X в воздухе, поступающего за счет эмиссии. Напишите уравнение для m(t). Нарисуйте результат. Чему будет равна масса m_{∞} при установившемся, равновесном процессе?
 - б) Покажите, что время жизни вещества X в атмосфере составляет $\tau=1/k$. Как будет выглядеть отношение $m(t)/m_{\infty}$ в момент времени $t=\tau$? В момент $t=3\tau$?
 - в) В случае прекращения выброса вещества X в атмосферу сколько времени потребуется, чтобы m уменьшилось с равновесной массы m_{∞} до 5% от величины m_{∞} ?
3. Представим нижнюю атмосферу над Европейской территорией России (ЕТР) в виде хорошо перемешиваемого резервуара, протяженностью с запада на восток 3000 км. Через ЕТР западный ветер дует со средней скоростью 10 м/с.
 - а) Вычислите время пребывания τ_{out} (сут) частицы в воздухе над ЕТР.
 - б) Пусть некоторое вещество X выбрасывается в атмосферу над ЕТР и имеет время жизни по отношению к выведению путем химических реакций τ_{chem} . Рассчитайте, какая часть f вещества X будет транспортирована за пределы ЕТР как функцию соотношения τ_{out}/τ_{chem} . Нарисуйте результат.
4. При меридиональном переносе примесей в тропосфере какой механизм (крупномасштабный или турбулентный) является наиболее эффективным?
При каком переносе будет эффективным второй процесс?
5. Где на земном шаре проникновение воздуха из южного полушария в северное в тропосфере происходит наиболее далеко? Почему? Как называется этот процесс в общей циркуляции атмосферы?
6. Если в облачной капле, где присутствует слабая муравьиная кислота, $\text{НСООН} \rightarrow \text{H}^+ + \text{СООH}^-$ начнет растворяться оксид серы и ионизироваться в растворе, что произойдет с концентрацией ионов СООH^- . Почему так происходит?
7. Что такое константа Генри? Почему основная жизнь в Мировом океане сосредоточена в высоких широтах?
8. Назовите основной механизм внутриоблачного вымывания: а) для аэрозолей; б) для газов.
9. Присутствие каких ионов в воде облаков и осадков свидетельствует о морском влиянии? О континентальном влиянии?
10. При одновременном выпадении крупных и мелких капель дождя в каких из них концентрация примесей будет больше? Почему?
11. Почему в химически чистой (дистиллированной) воде присутствуют ионы H^+ ?
12. Первичных или вторичных аэрозолей больше в стратосфере? Почему?
13. Почему в добиотической атмосфере максимум концентрации кислорода располагался не у земной поверхности, как сейчас, а на высотах в несколько десятков км?
14. Если фотохимическое время жизни одной атмосферной примеси составляет 1 сут, а второй – 10 сут, какая из примесей будет иметь более равномерное горизонтальное распределение в глобальной атмосфере? Почему?

15. Почему биосфера не является основным контролирующим звеном в биогеохимическом цикле кислорода?
16. К уменьшению или увеличению содержания атмосферного CO₂ может привести рост кораллов? Почему?
17. Какие основные процессы контролируют биогеохимический цикл азота? Серы?
18. Какие процессы определяют содержание озона в тропосфере? В стратосфере?

8. Формы и содержание промежуточной аттестации

Форма – зачет устный.

Примерные вопросы к зачету

1. Единицы концентрации вещества в атмосфере. Химическое равновесие. Динамическое равновесие.
2. Эволюция состава атмосферного воздуха на протяжении истории формирования земли. Современный состав атмосферы.
3. Влияние состава атмосферного воздуха на структуру вертикального термического профиля атмосферы. Убегание газов на верхней границе атмосферы .
4. Роль крупномасштабных движений воздуха и турбулентной диффузии в процессах зонального и меридионального переноса примесей.
5. Механизмы и скорости обмена веществом между различными резервуарами атмосферы.
6. Основные процессы, контролирующие концентрацию вещества в атмосфере.
7. Время жизни/пребывания вещества в атмосфере. Определение времени жизни вещества по отношению к отдельным стокам.
8. Уравнение баланса массы в концепции резервуарных моделей.
9. Различие понятий «время выведения» и «время полураспада»
10. Уравнение баланса массы в концепции траекторных моделей.
11. Механизмы внутриоблачного и подоблачного вымывания аэрозолей и газов.
12. Основные процессы, определяющие кислотность водных растворов в атмосфере?
13. Различие химического состава облаков и осадков континентального и морского происхождения. Определяющие факторы, изменение во времени.
14. Классификация аэрозолей в зависимости от их источников. Первичные и вторичные аэрозоли.
15. Физическая и химическая трансформация аэрозолей
16. Влияние аэрозолей на климат?
17. Кислород в атмосфере – источники, формы существования, стоки, влияние на климат.
18. Основные реакции водородных соединений в атмосфере и их влияние на климат Земли.
19. Основные реакции азотных соединений в атмосфере и их влияние на климат Земли.
20. Основные источники и стоки тропосферного озона. Его вертикальное и географическое распределение. Влияние озона на климат.
21. Фотохимический смог – основные механизмы и условия его формирования, основные химические процессы в фотохимическом смоге.
22. Основные источники формирования стратосферного озона.
23. Влияние на климат Земли стратосферного озона.
24. Основные особенности глобального цикла серы. Влияние серных соединений на климат.
25. Основные особенности глобального цикла азота. Влияние на климат азотных соединений.
26. Источники естественной и искусственной радиоактивности атмосферы.
27. Использование данных по радиоактивным изотопам в исследованиях атмосферы.
28. Источники стабильных изотопов водорода и кислорода в атмосфере.

29. Использование данных о содержании стабильных изотопов в атмосферной влаге в климатических исследованиях.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО)

Для зачета

Оценка	Незачет	Зачет
РО и соответствующие виды оценочных средств		
Знания (виды оценочных средств: устный доклад)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (виды оценочных средств: контрольные задания)	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: контрольные задания)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

Суркова Г.В. Химия атмосферы. М.: ИНФРА-М, 2020. 190 с.

б) дополнительная литература:

Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы. М., Мир. 1988.

Будыко М.И. и др. История атмосферы Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 208 с.

Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов. □ М., 1992 (том 1, гл. 3).

Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. – С.–Пб.: Прогресс–погода. 1996. 356 с.

Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. – Химиздат, 2001. – 346 с.

Кислотные дожди. / Ю.А.Израэль и др., Л.: Гидрометеиздат, 1989, 269 с.

Исидоров В.А. Экологическая климатология. СПб.: Химиздат. 2001. 304 с.

Прибылов К.П., Савельев В.П., Латыпов З.М. Основы химии атмосферы. – Казань.: Изд-во «ДАС», 2001. 212 с.

Совга Е.Е. Загрязняющие вещества в атмосфере и их свойства в природной среде. Севастополь. 2005. 238 с.

Холленд Х.Д. Химическая эволюция океанов и атмосферы. – М.: Мир, 1989. – 551 с.

Austin J., P. Brimblecombe, W.Sturges (Eds.), Air Pollution Science for the 21st Century, Elsevier. 2003.

Brimblecombe P. Air Composition and Chemistry. Cambridge University Press. 1986/1996

Graedel T E., P J. Crutzen. Atmospheric change: an earth system perspective. W.H. Freeman, 1997. 446 p.

Jacob D.J. Introduction to Atmospheric Chemistry. Princeton University Press, 1999. 270 p.
Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric chemistry and physics. – John Wiley & sons, inc.1998.1328 с.

Warneck P. Chemistry of the natural atmosphere. – Academic Press inc. 1988. – 700 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы – профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Интернет-ресурсы

Название	Адрес
1. Главная геофизическая обсерватория имени А.И.Воейкова	http://voeikovmgo.ru
2. ГПУ «Мосэкомониторинг»	http://www.mosecom.ru
3. Европейское агентство по окружающей среде	http://www.eea.europa.eu
4. Информационно-аналитический центр по углекислому газу (CDIAC)	http://cdiac.ornl.gov
5. Международное агентство по атомной энергии (IAEA)	http://www.iaea.org
6. Международный центр распределения данных Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC)	http://www.ipcc-data.org
7. Министерство природных ресурсов и экологии РФ	http://www.mnr.gov.ru
8. Мировой центр данных по химии атмосферных осадков (WDCPC)	http://wdcpc.org
9. Спутниковые данные о концентрации озона и концентрации атмосферных примесей	http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, экраном, доской для мела или флوماстеров.

11. Контролирующие материалы по дисциплине (ФОС)

тесты контроля остаточных знаний по дисциплине

1. Перечислите основные последствия влияния аэрозолей на климат.
2. Назовите основные источники и стоки тропосферного озона, стратосферного озона.
3. Перечислите процессы, контролирующие концентрацию вещества в атмосфере
4. Назовите соединений, определяющие кислотность атмосферных осадков.

Программа одобрена на заседании кафедры метеорологии и климатологии

Протокол № 632 от 20 ноября 2018 г.

Зав. кафедрой метеорологии и климатологии
д.г.н., профессор

_____ А.В. Кислов
подпись

Разработчик:

Суркова Галина Вячеславовна,
доцент, д.г.н., доцент

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет,
кафедра метеорологии и кли-
матологии

Эксперт:

Еремина Ирина Дмитриевна, к.х.н., в.н.с.

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра
метеорологии и климатологии