

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Прикладные оптические методы зондирования природных сред
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра систем, устройств и методов геокосмической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.А. Борисов, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры систем, устройств и методов геокосмической физики 04.06.2020

## Аннотация

В курсе рассматриваются методические основы разработки и реализации оптических методов дистанционного зондирования, включая анализ и постановку научно-прикладной задачи ДЗЗ, выбора эффективного для достижения поставленной цели метода зондирования и обоснование возможности его практической реализации, рассмотрение оптоэлектронных схем бортового комплекса и циклограмм его функционирования, методы обработки измеряемой комплексом информации для решения поставленной задачи. Изучаемые материалы разбираются на примерах наиболее результативных проектов по зондированию Земли из космоса.

Курс содержит обсуждение вопросов состава, строения и влияния атмосферы на перенос излучения, спектральных характеристик газов и аэрозоля, методические вопросы мониторинга характеристик атмосферы и подстилающей поверхности, методы решения прямых и обратных задач переноса излучения в атмосфере, вопросы валидации получаемой тематической информации.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение научно-технических основ: оптических систем спутниковой аппаратуры дистанционного зондирования (ДЗ) на примерах наиболее результативных проектов по зондированию Земли из космоса; технологий создания имитаторов измерительной аппаратуры и программных комплексов на основе физико-математических моделей, имитирующих весь процесс наблюдений в целях генерации «экспериментальных» данных.
- изучение методов интерпретации данных спутникового, воздушного и наземного зондирования для определения характеристик исследуемых природных сред. Обеспечение будущих инженеров-исследователей и конструкторов комплексом минимально необходимых знаний по подходам, средствам и сопутствующей информации, необходимых, как в процессе эксплуатации действующих пассивных и активных (лазерных) оптических комплексов ДЗ наземного и авиакосмического базирования, так и при разработке систем нового поколения.

### Задачи дисциплины

- приобретение теоретических и прикладных знаний в области пассивных и активных (лазерных) оптических технологий ДЗ природных сред в целях определения их количественных характеристик;
- изучение типовой архитектуры авиакосмических и наземных платформ пассивных и активных оптических систем ДЗ природных сред;
- изучение методов математического моделирования для генерации экспериментальных данных с учетом взаимодействия излучения с атмосферой, подстилающей поверхностью и характеристиками аппаратуры;
- получение базовых навыков использования методического аппарата описания взаимодействия оптического, в том числе и лазерного излучения с природных сред.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- физические оптически-активные характеристики атмосферы и ее примесей, как среды распространения оптического излучения; зависимость локальных оптических характеристик атмосферы от термодинамических параметров;
- ключевые факторы влияния атмосферы на перенос оптического излучения, состав и строение атмосферы;
- принципиальные оптические схемы спутниковой аппаратуры по зондированию природных сред на примере наиболее результативных в научном и прикладном плане проектов
- основные физические процессы и явления, составляющие основу лазерной техники и систем лазерного зондирования;
- основные виды лазерных излучателей, используемых для зондирования природных сред – твердотельные, жидкостные, газовые и их разновидности, полупроводниковые, эксимерные, перестраиваемые, непрерывные и импульсные.
- теоретические основы подходов для оценки влияния среды распространения лазерного излучения на результат зондирования;
- простые модели поверхностного рассеяния;
- методы определения характеристик природных сред по результатам лазерного зондирования;
- основные понятия, определения и подходы, используемые при постановке задач создания космических систем лазерного зондирования.

уметь:

- ☐ грамотно анализировать результаты современных фундаментальных и научно-прикладных исследований, выполняемых и планируемых в ведущих зарубежных космических агентствах;
- ☐ применять на практике основные понятия, физико-математические модели и подходы к постановке задач по созданию оптических и лазерных систем для зондирования природных сред;
- ☐ производить обоснованный выбор систем зондирования наземного и космического базирования в зависимости от поставленных задач;
- ☐ выполнять численные оценки ключевых характеристик, формирующих исходные данные при описании взаимодействия лазерного излучения с объектом исследования и средой распространения излучения;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с использованием новой техники для исследования природных сред.

владеть:

- ☐ навыками усвоения и анализа междисциплинарной информации в области наук о Земле, оптической и лазерной техники;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических и научно-технических задач в предметной области оптического и лазерного зондирования природных сред;
- ☐ навыками системного проектирования методов и средств зондирования природных сред в целях мониторинга состояния их характеристик;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач в предметной области дисциплины.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Физические оптически-активные характеристики атмосферы и ее примесей; зависимость локальных оптических характеристик атмосферы от ее термодинамических параметров; Характеристики природных сред, критически важные для изучения процессов изменения климата.	2			1
2	Цели и задачи спутниковой аппаратуры SAGE-3, установленной НАСА в 2017 году на МКС и предназначенной для мониторинга газового и аэрозольного состава атмосферы. Принципиальная оптическая схема аппаратуры, тактико-технические данные.	2			1
3	Геометрия наблюдений SAGE-3 при затменном зондировании. Циклограммы работы и регистрации данных. Физико-математические основы программного комплекса имитации процесса наблюдений в целях генерации «экспериментальных» данных.	6			3
4	Метод и технология определения профилей пропускания атмосферы для спектральных каналов аппаратуры при затменном зондировании.	6			3
5	Методы разделения вкладов различных компонент атмосферы в ослабление излучения и определения профилей содержания газовых компонент и экстинкции аэрозоля.	4			2
6	Технология определения вертикального профиля содержания водяного пара по многоканальным функциям пропускания атмосферы в диапазоне 920-960 нм.	4			2

7	Основы технологии определения вертикального профиля температуры по функциям пропускания атмосферы в спектральных каналах в диапазоне 760-770 нм.	2			1
8	Цели и задачи аппаратуры ОМІ, функционирующей на борту КА AURA и обеспечивающей измерения восходящих потоков в узких каналах ближнего УФ – диапазона. Тактико-технические данные.	4			2
9	Метод и технология определения спектральной функции пропускания атмосферы в каналах УФ и видимого диапазона при зондировании в надир. Технология калибровки длин волн спектральных каналов и учета деградации оптических элементов.	4			2
10	Методы определения общего содержания озона, двуокиси азота, двуокиси серы и полей распределения аэрозоля в тропосфере по результатам зондирования в надир.	4			2
11	Основы лазерной техники - основные процессы и явления. Системы лазерного зондирования.	2			1
12	Оптические свойства подстилающих поверхностей.	2			1
13	Лазерные системы для определения характеристик сред: определение профиля ветра, содержания водяного пара, газового состава, аэрозоля, комбинационные лидары.	4			2
14	Методы интерпретации данных лазерного зондирования.	6			3
15	Лазерное зондирование верхних слоев морской поверхности. Опто-акустический метод зондирования.	2			1
16	Многоволновые лидары для исследования приземного слоя атмосферы.	4			2
17	Лидарные измерения турбулентных структур в приземном слое.	2			1
Итого часов		60			30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

1. Физические оптически-активные характеристики атмосферы и ее примесей; зависимость локальных оптических характеристик атмосферы от ее термодинамических параметров; Характеристики природных сред, критически важные для изучения процессов изменения климата.

Спектральная зависимость сечения поглощения основных газов атмосферы и ее примесей. Зависимость сечения поглощения от температуры и давления для основных газов и примесей. Общая характеристика атмосферы Земли: вертикальное строение, термодинамические параметры различных слоев атмосферы их пространственно-временная изменчивость, газовый и аэрозольный состав атмосферы. Общая характеристика влияния термодинамических параметров (температуры, давления, влажности) на распространение лазерного излучения. Турбулентность. Радиационно-активные компоненты атмосферы, влияние альbedo подстилающей поверхности на радиационный баланс, глобальные поля приземной УФ-облученности, мониторинг приполярной ледовой обстановки. турбулентности.

2. Цели и задачи спутниковой аппаратуры SAGE-3, установленной НАСА в 2017 году на МКС и предназначенной для мониторинга газового и аэрозольного состава атмосферы. Принципиальная оптическая схема аппаратуры, тактико-технические данные.

Система мониторинга вертикальных профилей газового и аэрозольного состава атмосферы в глобальном масштабе с высоким вертикальным разрешением, спутниковые и наземные комплексы. Мониторинг вертикальных профилей аэрозоля, озона, двуокиси азота, двуокиси серы в целях определения их роли в процессах изменения климата, биохимических циклах и химии атмосферы. Долговременные тренды аэрозолей и малых газовых составляющих.

3. Геометрия наблюдений SAGE-3 при затменном зондировании. Циклограммы работы и регистрации данных. Физико-математические основы программного комплекса имитации процесса наблюдений в целях генерации «экспериментальных» данных.

Геометрия наблюдений по диску Солнца, по диску Луны, по рассеянной радиации, технология обеспечения контроля направления угла поля зрения, существенно меньшего углового размера Солнца. Система обеспечения самокалибровки аппаратуры. Алгоритмы учета медленных колебаний КА. Физико-математические основы программного комплекса имитации процесса наблюдений в целях генерации «экспериментальных» данных, используемых для отработки алгоритмов интерпретации. Пакеты исходных данных для имитации.

4. Метод и технология определения профилей пропускания атмосферы для спектральных каналов аппаратуры при затменном зондировании.

Технология определения контура яркости Солнца. Технология определения границ Солнца для каждого скана, определения положения угла поля зрения прибора на диске Солнца.

Калибровка длин волн спектральных каналов. Физико-математическая модель учета рефракции. Группировка данных по прицельным высотам и определение дисперсии.

5. Методы разделения вкладов различных компонент атмосферы в ослабление излучения и определения профилей содержания газовых компонент и экстинкции аэрозоля.

Технология разделения вкладов озона, двуокиси азота и аэрозоля в ослабление излучения в УФ и синей области спектра. Методы решения обратной задачи по определению вертикальных профилей содержания газовых компонент и экстинкции аэрозоля.

6. Технология определения вертикального профиля содержания водяного пара по многоканальным функциям пропускания атмосферы в диапазоне 920-960 нм.

Технология применения полинейного расчета поглощения линиями водяного пара в спектральных каналах с учетом аппаратных функций каналов и зависимости интенсивностей и контуров линий поглощения водяного пара от температуры и давления атмосферы вдоль трассы зондирования.

7. Основы технологии определения вертикального профиля температуры по функциям пропускания атмосферы в спектральных каналах в диапазоне 760-770 нм.

Аппроксимация внешней прогностической информации о вертикальных профилях температуры и давления в узлах глобальной сетки на координаты наблюдений, использование этой информации в качестве нулевого приближения, применение технологии полинейного расчета суммарного поглощения узкими линиями в спектральных каналах 2 нм для создания справочных таблиц. Технология интерполяции на основе использования таблиц.

8. Цели и задачи аппаратуры ОМІ, функционирующей на борту КА AURA и обеспечивающей измерения восходящих потоков в узких каналах ближнего УФ – диапазона. Тактико-технические данные.

Принципиальная оптическая схема аппаратуры, тактико-технические данные. Предполетные калибровки оптоэлектронных каналов. Геометрия наблюдений при зондировании в надир. Циклограммы работы и регистрации данных. Определение требований к точности ориентации КА и сканирующему устройству.

Семестр: 2 (Весенний)

9. Метод и технология определения спектральной функции пропускания атмосферы в каналах УФ и видимого диапазона при зондировании в надир. Технология калибровки длин волн спектральных каналов и учета деградации оптических элементов.

Метод расчета потоков восходящего солнечного излучения, прошедшего через атмосферу и рассеянного подстилающей поверхностью. Алгоритмы и технология определения спектральной функции пропускания атмосферы в каналах УФ и видимого диапазона при зондировании в надир. Технология калибровки длин волн спектральных каналов и учета деградации оптических элементов на основе предполетных калибровок.

10. Методы определения общего содержания озона, двуокиси азота, двуокиси серы и полей распределения аэрозоля в тропосфере по результатам зондирования в надир.

Основное соотношение для определения интенсивности восходящей от верхней границы атмосферы (100 км) многократно рассеянной солнечной радиации. Связь измеряемой интенсивности с зенитным углом Солнца и углом сканирования прибора. Методы расчета прямой задачи для ближнего УФ излучения. Априорная информация. Создание и использование парных таблиц в методе дифференциального поглощения. Пошаговый алгоритм решения обратной задачи.

11. Основы лазерной техники - основные процессы и явления. Системы лазерного зондирования.

Типы и виды лазеров, рабочие тела лазеров, способы накачки, возможные спектральные диапазоны, ширины линий излучения, стабильность по мощности и длине волны. Существующие отечественные и зарубежные лазерные системы для зондирования природных сред, тактико-технические характеристики лазерных систем. Суточный ход вертикальных профилей газовых компонент, оказывающий существенное влияние на проведение спутникового зондирования. Изменчивость аэрозольной компоненты атмосферы. Влияние крупных извержений на аэрозольную компоненту атмосферы.

12. Оптические свойства подстилающих поверхностей.

Альbedo различных типов подстилающих поверхностей при спутниковом зондировании. Спектральная зависимость альbedo в УФ, видимом и ИК диапазонах. Рассеивающие свойства подстилающих поверхностей.

13. Лазерные системы для определения характеристик сред: определение профиля ветра, содержания водяного пара, газового состава, аэрозоля, комбинационные лидары.

Физические основы определения характеристик зондируемой среды. Доплеровский и корреляционный метод определения компонент скорости переноса отражающих структур для расчета полей ветра. Дистанционное определение поперечного ветра лазерными системами. Определение содержания водяного пара по величине ослабления излучения в линиях поглощения водяного пара. Лазерные методы определения содержания газовых компонент атмосферы. Лидары для определения аэрозоля атмосферы. Преимущества и недостатки использования эффекта комбинационного рассеяния для дистанционного лидарного зондирования.

#### 14. Методы интерпретации данных лазерного зондирования.

Прямые и обратные задачи. Основные методы решения обратных задач лазерного зондирования – метод наименьших квадратов, метод невязки, регрессионный метод, итерационные методы. Оценка погрешности решения.

#### 15. Лазерное зондирование верхних слоев морской поверхности. Опто-акустический метод зондирования.

Лазерное зондирование верхних слоев морской поверхности. Опто-акустический метод зондирования. Опыт использования лазерно-альтиметрической системы GLAS на спутнике ICESAT.

#### 16. Многоволновые лидары для исследования приземного слоя атмосферы.

Описание метода дифференциального поглощения. Многоволновая методика для разделения вклада поглощения другими газами и учета спектральной зависимости ослабления излучения аэрозолем.

#### 17. Лидарные измерения турбулентных структур в приземном слое.

Ключевые понятия турбулентности атмосферы. Физические основы влияния турбулентности на распространения лазерного излучения. Когерентные и некогерентные доплеровские лидары. Обзор современных методов лазерного зондирования приземных трасс и методов обработки сигнала.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций: аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

Фонд литературы базовой кафедры (предприятия):

1. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М : Изд-во МГУ, 2004 .— 656 с.
2. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии [Текст] / пер. с англ. К. Н. Лаврова [и др.] ; под ред. А. П. Крэкнелла .— [Научное изд.] .— М. : Мир, 1984 .— 535 с

#### Дополнительная литература



Фонд литературы базовой кафедры (предприятия):

1. Дополнительные главы линейной алгебры [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д. В. Беклемишев. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Лань, 2008. — 496 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

1. Электронная версия Algorithm Theoretical Basic Document (ATBD): Transmission Level 1B Data Products, NASA, LaRC.
2. Электронная версия ATBD: Solar and Lunar Algorithm, NASA, LaRC. Программное обеспечение: текстовый редактор (Microsoft Office, Microsoft PowerPoint), программные пакеты Matlab, Excel.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Для успешного освоения курса слушателю желательно знать курс общей физики (оптика, спектроскопия), курс «Физические основы дистанционного зондирования», владеть основами математического анализа и линейной алгебры.

Успешное освоение курса «Прикладные оптические методы зондирования природных сред» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала по конспектам лекций;
- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- подготовку к зачету и дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Литература для самостоятельной подготовки:

1. Л.Т. Матвеев. Физика атмосферы. Гидрометеиздат, 2000.
2. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.:Мир, 1987.
3. А.А. Мицель, К.М. Фирсов, Б.А. и др. Перенос оптического излучения в молекулярной атмосфере. –Томск: SST, 2001.
- Р.М. Гуди. Атмосферная радиация – Мир, 1966.
4. В.М. Захаров, О.К. Костко. Лазерное зондирование атмосферы из космоса. –Гидрометеиздат, 1988.
6. Ю.М. Тимофеев, А.В. Поляков Математические аспекты решения обратных задач атмосферной оптики. – Изд-во С-Петербурга. Ун-та, 2001.
7. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей. Под редакцией В.Г. Смирнова. ГНЦРФААНИИ, 2011.
- Спектроскопические методы зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1985
8. В.А. Банах, И.Н. Смелихо. Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013.
9. Федотов Ю. В., Матросова О. А., Белов М. Л., Городничев В. А. Метод классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в пяти узких спектральных диапазонах, Наука и образование, электронный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана DOI: 10.7463/0313.0539554

10. D.M. Winker et. al. The Calipso Mission. American Meteorological Society, BAMS, September 2010 .

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра систем, устройств и методов геокосмической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** Ю.А. Борисов, канд. техн. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Прикладные оптические методы зондирования природных сред» обучающийся должен:

**знать:**

- физические оптически-активные характеристики атмосферы и ее примесей, как среды распространения оптического излучения; зависимость локальных оптических характеристик атмосферы от термодинамических параметров;
- ключевые факторы влияния атмосферы на перенос оптического излучения, состав и строение атмосферы;
- принципиальные оптические схемы спутниковой аппаратуры по зондированию природных сред на примере наиболее результативных в научном и прикладном плане проектов
- основные физические процессы и явления, составляющие основу лазерной техники и систем лазерного зондирования;
- основные виды лазерных излучателей, используемых для зондирования природных сред – твердотельные, жидкостные, газовые и их разновидности, полупроводниковые, эксимерные, перестраиваемые, непрерывные и импульсные.
- теоретические основы подходов для оценки влияния среды распространения лазерного излучения на результат зондирования;
- простые модели поверхностного рассеяния;
- методы определения характеристик природных сред по результатам лазерного зондирования;
- основные понятия, определения и подходы, используемые при постановке задач создания космических систем лазерного зондирования.

#### **уметь:**

- ☐ грамотно анализировать результаты современных фундаментальных и научно-прикладных исследований, выполняемых и планируемых в ведущих зарубежных космических агентствах;
- ☐ применять на практике основные понятия, физико-математические модели и подходы к постановке задач по созданию оптических и лазерных систем для зондирования природных сред;
- ☐ производить обоснованный выбор систем зондирования наземного и космического базирования в зависимости от поставленных задач;
- ☐ выполнять численные оценки ключевых характеристик, формирующих исходные данные при описании взаимодействия лазерного излучения с объектом исследования и средой распространения излучения;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с использованием новой техники для исследования природных сред.

#### **владеть:**

- ☐ навыками усвоения и анализа междисциплинарной информации в области наук о Земле, оптической и лазерной техники;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических и научно-технических задач в предметной области оптического и лазерного зондирования природных сред;
- ☐ навыками системного проектирования методов и средств зондирования природных сред в целях мониторинга состояния их характеристик;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач в предметной области дисциплины.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Текущий контроль осуществляется по средствам оценки преподавателем знаний в ходе рубежного контроля, а также по итогам аттестации по предмету (зачет и дифференцированный зачет), умения демонстрировать знания, полученные из материалов лекций, и рекомендуемой литературы.

Рубежный контроль применяется в следующих формах:

- ☐ оценка ответов на вопросы в процессе краткого (до 5 мин) выборочного устного опроса перед началом каждого занятия по материалам предыдущей лекции.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате индивидуальных консультаций.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков к зачету в 9 семестре:

1. Общая характеристика атмосферы Земли: вертикальное строение, термодинамические параметры различных слоев атмосферы их пространственно-временная изменчивость, газовый и аэрозольный состав атмосферы.
2. Основные оптические характеристики атмосферы Земли в УФ-, видимом и ИК-диапазонах.
3. Основные компоненты атмосферы, их вклад в поглощение и рассеяние атмосферы. Спектральная зависимость сечения поглощения основных газов атмосферы и ее примесей.
4. Вертикальная стратификация оптических свойств атмосферы, взаимосвязь со структурой атмосферы.
5. Основные динамические процессы атмосферы. Широтный обмен воздушных масс.
6. Зависимость оптических характеристик компонент атмосферы от термодинамических параметров.
7. Понятие турбулентности.
8. Влияние альбедо подстилающей поверхности на радиационный баланс. Парниковый эффект, основные факторы влияния.
9. Глобальные поля общего содержания озона. Глобальные поля приземной Уф-облученности.
10. Затменный метод зондирования. История развития спутникового затменного зондирования, основные полученные результаты. Цели и задачи спутниковой аппаратуры затменного зондирования SAGE-3.
11. Принципиальная оптическая схема аппаратуры SAGE-3, тактико-технические данные.
12. Система мониторинга вертикальных профилей газового и аэрозольного состава атмосферы в глобальном масштабе с высоким вертикальным разрешением, спутниковые и наземные комплексы.
13. Мониторинг вертикальных профилей аэрозоля, озона, двуокиси азота, двуокиси серы в целях определения их роли в процессах изменения климата, биохимических циклах и химии атмосферы. Долговременные тренды аэрозолей и малых газовых составляющих.
14. Геометрия наблюдений SAGE-3 при затменном зондировании по диску Солнцу, по диску Луны, технология обеспечения контроля направления угла поля зрения прибора, существенно меньшего углового размера Солнца.
15. Система обеспечения самокалибровки аппаратуры SAGE-3.
16. Алгоритмы учета медленных колебаний КА.
17. Физико-математические основы программного комплекса имитации процесса наблюдений в целях генерации «экспериментальных» данных, используемых для отработки алгоритмов интерпретации спутниковых данных.
18. Пакеты исходных данных для комплекса имитации процесса наблюдений.
19. Технология определения контура яркости Солнца. Технология определения границ Солнца для каждого скана.
20. Метод определения положения угла поля зрения прибора на диске Солнца и Луны аппаратурой SAGE-3.
21. Калибровка длин волн спектральных каналов аппаратуры SAGE-3.
22. Физико-математическая модель учета рефракции при затменных спутниковых наблюдениях.
23. Группировка данных затменного зондирования по прицельным высотам и определение дисперсии пропускания атмосферы, как функции прицельных высот. Обоснование выбора величины шага по прицельным высотам.
24. Методы разделения вкладов различных компонент атмосферы в ослабление солнечного излучения и определение профилей содержания газовых компонент и экстинкции аэрозоля.
25. Технология разделения вкладов озона, двуокиси азота и аэрозоля в ослабление излучения в УФ и синей области спектра.
26. Методы решения обратной задачи по определению вертикальных профилей содержания газовых компонент и экстинкции аэрозоля.
27. Технология применения полинейного расчета поглощения линиями водяного пара в спектральных каналах с учетом аппаратных функций каналов и зависимости интенсивностей и контуров линий поглощения водяного пара от температуры и давления атмосферы вдоль трассы зондирования в диапазоне 920-960 нм.

28. Технология аппроксимация внешней прогностической информации о вертикальных профилях температуры и давления в узлах глобальной сетки на координаты наблюдений, использование этой информации в качестве нулевого приближения, применение технологии полинейного расчета суммарного поглощения узкими линиями в спектральных каналах шириной 2 нм для создания справочных таблиц. Технология интерполяции на основе использования таблиц.

29. Цели и задачи спутниковой аппаратуры зондирования атмосферы в надир ОМІ. История развития спутникового надирного зондирования атмосферы, основные полученные результаты.

30. Принципиальная оптическая схема спутниковой аппаратуры зондирования в надир, тактико-технические данные аппаратуры ОМІ. Геометрия наблюдений при зондировании в надир.

31. Циклограммы работы и регистрации данных аппаратуры ОМІ. Определение требований к точности ориентации КА и сканирующему устройству при зондировании в надир.

Перечень контрольных вопросов для подготовки к дифференцированному зачету в 10 семестре:

1. Пункты из контрольных заданий семестра 9: 10, 14, 15, 17, 20, 29-31.

2. Метод расчета потоков восходящего солнечного излучения, прошедшего через атмосферу и рассеянного подстилающей поверхностью.

3. Алгоритмы и технология определения спектральной функции пропускания атмосферы в каналах УФ и видимого диапазона при зондировании в надир.

4. Технология калибровки длин волн спектральных каналов и учета деградации оптических элементов на основе предполетных калибровок и калибровок в полете.

5. Основное соотношение для определения интенсивности восходящей от верхней границы атмосферы (100 км) многократно рассеянной солнечной радиации.

6. Связь измеряемой интенсивности с зенитным углом Солнца и углом сканирования прибора.

7. Методы расчета прямой задачи для ближнего УФ излучения. Априорная информация.

8. Построение и использование парных таблиц в методе дифференциального поглощения.

9. Пошаговый алгоритм решения обратной задачи (интерпретации данных наблюдений в надир).

10. Типы и виды лазеров, рабочие тела лазеров, способы накачки, возможные спектральные диапазоны, ширины линий излучения, стабильность по мощности и длине волны.

11. Существующие отечественные и зарубежные лазерные системы для зондирования природных сред, тактико-технические характеристики лазерных систем.

12. Суточный ход вертикальных профилей газовых компонент, оказывающий существенное влияние на проведение спутникового зондирования.

13. Изменчивость аэрозольной компоненты атмосферы. Влияние крупных извержений на аэрозольную компоненту атмосферы.

14. Альbedo различных типов подстилающих поверхностей при спутниковом зондировании. Спектральная зависимость альbedo в УФ, видимом и ИК диапазонах. Рассеивающие свойства подстилающих поверхностей.

15. Физические основы определения характеристик зондируемой среды лазерными методами. Доплеровский и корреляционный метод определения компонент скорости переноса отражающих структур для расчета полей ветра.

16. Дистанционное определение поперечного ветра лазерными системами.

17. Лазерные методы определения содержания газовых компонент атмосферы. Определение содержания водяного пара по величине ослабления излучения в линиях поглощения водяного пара.

18. Лидары для определения аэрозоля атмосферы. Преимущества и недостатки использования эффекта комбинационного рассеяния для дистанционного лидарного зондирования.

19. Методы интерпретации данных лазерного зондирования. Прямые и обратные задачи. Основные методы решения обратных задач лазерного зондирования. Оценка погрешности решения.

20. Лидарные измерения турбулентных структур в приземном слое.

21. Оптическое и лазерное зондирование верхних слоев морской поверхности. Оптоакустический метод зондирования. Опыт использования лазерно-альтиметрической системы GLAS на спутнике ICESAT.

22. Многоволновые лидары для исследования приземного слоя атмосферы. Описание метода дифференциального поглощения. Многоволновая методика для разделения вклада поглощения другими газами и учета спектральной зависимости ослабления излучения аэрозолем.
23. Лидарные измерения турбулентных структур в приземном слое. Ключевые понятия турбулентности атмосферы. Физические основы влияния турбулентности на распространения лазерного излучения. Когерентные и некогерентные доплеровские лидары. Обзор современных методов лазерного зондирования приземных трасс и методов обработки сигнала.
24. Дистанционные методы изучения морского льда. Основные виды морского льда.
25. Оптически активные составляющие естественных морских вод.
26. Распределение взвешенных частиц по размерам.
27. Поглощение оптического излучения в чистой морской воде.
28. Рассеяние света в морской воде: оптические характеристики водных масс.

#### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) и задачи по программе дисциплины.

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета и правильные ответы не менее чем на два из трех дополнительных вопросов (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на вопросы по билету или дополнительные, уточняющие вопросы в рамках билета неточности, не связанные с принципиальными ошибками или не знанием материала.

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более двух ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более четырех ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, а при необходимости и дополнительных вопросов (вне рамок билета) студент показывает нетвердое знание базовых положений, связанных с материалом билета и дополнительных вопросов (допускает ошибки в определениях, фундаментальные законы, и т.п.), допускает нарушение логической последовательности при ответах, но при этом демонстрирует знание основных разделов учебной программы.

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета студент показывает разрозненный характер знаний, нечеткие, но без грубых ошибок, формулировки базовых положений, входящих в материалы билета, допускает нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом демонстрирует общее понимание и ключевые знания основных разделов учебной программы.

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов билета, допускает грубые ошибки при формулировках базовых положений, входящих в материалы билета; во время ответа на вопросы билета обращается к справочным материалам (конспектам лекций, семинаров и пр.).

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**



Зачет (без оценки) в 9 семестре служит формой проверки уровня усвоения студентами базовых положений программы и проставляется по результатам рубежного контроля и посещаемости занятий студентами. Для студентов, которые посетили в 9 семестре менее 75% занятий на последнем занятии (15 учебная неделя) проводится устный опрос с использованием вопросов, относящихся к программе 9 семестра.

Дифференцированный зачет по дисциплине в 10 семестре является заключительным этапом изучения всего курса и имеет целью проверку знаний студентов по теории и выявление навыков применения полученных знаний при решении практических задач, а также навыков самостоятельной работы с рекомендованными учебно-научной литературой и интернет ресурсами. Дифференцированный зачет проводится в устной форме в соответствии с критериями оценивания. Студенты с разрешения преподавателя могут пользоваться конспектами лекций, семинаров, справочной литературой только во время подготовки к дифференцированному зачету.