

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "27" апреля 2022 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**  
**Методы дистанционного зондирования окружающей среды**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Программа аспирантуры  
**Радиофизика**

Научная специальность  
**1.3.4 Радиофизика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижегород  
2022 год

## 1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «**Методы дистанционного зондирования окружающей среды**» относится к числу *элективных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2-ом году обучения в 3 семестре.

### Цель дисциплины

- получение на основе единого волнового (радиофизического) подхода научно обоснованных представлений о распространении и рассеянии электромагнитных и акустических волн в средах, содержащих дискретные и непрерывные неоднородности, а также об их отражении от шероховатых поверхностей
- усвоение основных методов извлечения информации о свойствах среды (статистических характеристиках дискретных и непрерывных неоднородностей, скоростях их движения и т.д.) из рассеянных сигналов
- изучение структуры современных систем дистанционного зондирования и общее знакомство с принципами действия их функциональных элементов: антенн, приемно-передающих устройств, подсистем обработки, отображения и хранения данных
- изучение примеров применения радиолокационных, акустических и лазерных систем дистанционного зондирования для исследований в области гидрометеорологии, океанологии, экологии.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования и полученные в результате освоения следующих дисциплин: «Электродинамика», «Статистическая радиофизика», «Квантовая радиофизика», «Механика сплошных сред», «Основы радиолокации», «Спектральная обработка сигналов», «Теория оптимального приема сигналов».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен:

### **Знать:**

- современное состояние науки в области радиофизики;
- современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов;

### **Уметь:**

- представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу;

### **Владеть:**

- навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов;
- методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности «Радиофизика».

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 1**

| Наименование раздела дисциплины  | Всего, часов | В том числе              |                           |                            |              |           | Самостоятельная работа обучающегося, часов |
|--|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-----------|--|
|  |              | Контактная работа, часов |                           |                            |              |           |  |
|  |              | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Консультации | Всего     |  |
| 1. Введение  | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2         | 2  |
| 2. Трансформация излучения в случайно-неоднородной среде. Приближения теории рассеяния и условия их применимости | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2         | 2  |
| 3. Рассеяние ЭМ и акустических волн на дискретных неоднородностях  | 8            | 4                        | -                         | -                          | -            | 4         | 4  |
| 4. Рассеяние ЭМ и акустических волн на непрерывно-распределенных неоднородностях                                 | 8            | 4                        | -                         | -                          | -            | 4         | 4  |
| 5. Рассеяние ЭМ и акустических волн на неровной поверхности  | 6            | 3                        | -                         | -                          | -            | 3         | 3  |
| 6. Обратная задача рассеяния в случайно-неоднородной среде   | 6            | 3                        | -                         | -                          | -            | 3         | 3  |
| 7. Структура и функции систем дистанционного зондирования  | 6            | 3                        | -                         | -                          | -            | 3         | 3  |
| 8. Метеорадиолокация   | 6            | 3                        | -                         | -                          | -            | 3         | 3  |
| 9. Радиолокационное зондирование поверхности океана  | 8            | 4                        | -                         | -                          | -            | 4         | 4  |
| 10. Акустическое зондирование толщи и дна океана. Пассивная биоакустика  | 8            | 4                        | -                         | -                          | -            | 4         | 4  |
| 11. Лазерное зондирование атмосферы  | 8            | 4                        | -                         | -                          | -            | 4         | 4  |
| Промежуточная аттестация: зачет  |              |                          |                           |                            |              |           |  |
| <b>Итого</b>   | <b>72</b>    | <b>36</b>                | <b>-</b>                  | <b>-</b>                   | <b>-</b>     | <b>36</b> | <b>36</b>                                  |

**Таблица 2**

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела  | Форма проведения занятия | Форма текущего контроля |
|-------|---------------------------------|---|--------------------------|-------------------------|
| 1     | Введение                        | Классификация методов ДЗ. Энергетический баланс и взаимодействие солнечного | Лекции                   | -                       |

|   |   |  |        |            |
|---|---|--|--------|------------|
|   |   | излучения с атмосферой и гидросферой Земли. Происхождение гидрометеоров, атмосферной и океанической циркуляции. Объекты ДЗ в атмосфере и океане. Некоторые сведения по экологии. Процессы и явления в экосистемах, наблюдаемые с помощью активного ДЗ.               |        |            |
| 2 | Трансформация излучения в случайно-неоднородной среде. Приближения теории рассеяния и условия их применимости | Трансформация когерентного поля в некогерентное при распространении в рассеивающей среде. Теория одно- и многократного рассеяния, теория переноса излучения: критерии применимости.  | Лекции | -          |
| 3 | Рассеяние ЭМ и акустических волн на дискретных неоднородностях  | Понятие сечения рассеяния. Рассеяние Рэлея ЭМ и акустических волн на одиночной частице. Рассеяние Ми ЭМ и акустических волн на одиночной частице. Рассеяние на больших частицах в приближении геометрической оптики (акустики). Резонансные рассеиватели в акустике. | Лекции | -          |
| 4 | Рассеяние ЭМ и акустических волн на непрерывно-распределенных неоднородностях                                 | Обзор методов описания непрерывных случайных полей. Турбулентность. Общие закономерности рассеяния в среде с флуктуациями плотности и скорости (аналогия с рассеянием Брэгга света на ультразвуке).  | Лекции | -          |
| 5 | Рассеяние ЭМ и акустических волн на неровной поверхности  | Законы отражения и преломления на ровной границе двух сред. Формулы Френеля. Методы малых возмущений и Кирхгофа в теории рассеяния на неровной поверхности. Двухмасштабная модель. Особенности рассеяния на подвижной поверхности на примере морского волнения.      | Лекции | Коллоквиум |
| 6 | Обратная задача рассеяния в случайно-неоднородной среде.  | Общая постановка обратной задачи рассеяния. Понятие некорректности. Использование дополнительной информации о среде. Эффект Доплера для ЭМ и акустических волн.  | Лекции | -          |

|    |  |   |        |   |
|----|--|---|--------|---|
|    |  | Упрощенные методы оценки характеристик среды по рассеянному излучению. Энергетическое описание процесса рассеяния. Уравнения радио- и акустической локации.   |        |   |
| 7  | Структура и функции систем дистанционного зондирования               | Обобщенная схема системы активного ДЗ. Антенные системы. Фазированные антенные решетки. Синтезирование апертуры. Способы обзора пространства в ДЗ. Задача обнаружения и оценки параметров рассеянного сигнала. Функция неопределенности (ФН) зондирующего сигнала. Простые и сложные сигналы и их ФН. Сжатие импульса. Принцип неопределенности в активной локации.   | Лекции | - |
| 8  | Метеорадиолокация  | Гидрометеоры и аэрозоли. Оценка скорости ветра. Радиоакустическая локация.  | Лекции | - |
| 9  | Радиолокационное зондирование поверхности океана                     | Спутниковая альтиметрия возвышений поверхности океана: цунами, вихри и рельеф дна. Ледовый покров. Морское волнение: проявление морфологии дна, внутренних волн и скорости ветра на РЛ-изображениях морской поверхности.  | Лекции | - |
| 10 | Акустическое зондирование толщи и дна океана. Пассивная биоакустика. | Стратификация и акустические характеристики водной среды. Дальнее волноводное распространение звука в океане. Потери при распространении. Неоднородности океанской среды: турбулентность, дискретные рассеиватели биологического происхождения, пузырьки (резонансное рассеяние, нелинейные свойства, генерация шумов), рассеивающие свойства дна и поверхности. Гидролокация как исследовательский инструмент в океанологии и экологии. Доплеровские профилографы течений. Биоакустика океана. Механизмы генерации и | Лекции | - |

|    |  |   |        |       |
|----|--|---|--------|-------|
|    |  | восприятия звуков морскими животными. Его биологическое значение: ориентация, коммуникация, поиск пищи.   |        |       |
| 11 | Лазерное зондирование атмосферы и приповерхностного слоя океана. | Эффекты взаимодействия лазерного излучения с веществом: «упругое» рассеяние; спонтанное комбинационное рассеяние (СКР); резонансное рассеяние и поглощение; флуоресценция. Виды используемых лазеров. Методы измерения концентраций основных и малых газовых составляющих атмосферы и аэрозолей. Лазерное зондирование водной поверхности приповерхностного слоя. Флюориметрические методы. Обнаружение и трассировка углеводородных (нефтяных) пленок, хлорофилла, взвесей, измерение глубины в прибрежных районах с авиационных/судовых носителей. ДЗ озонового слоя. | Лекции | Зачет |

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся состоит в изучении рекомендованной литературы, проверка знаний происходит в ходе промежуточной и итоговой аттестаций по дисциплине (в ходе коллоквиума и зачета).

#### 5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

##### 5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

### ***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета***

| <b>Оценка</b>     | <b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>   |
|-------------------|--|
| <i>Зачтено</i>    | владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
| <i>Не зачтено</i> | непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.  |

#### ***5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине***

1. Понятие экосистемы и биогеоценоза. Физические поля (температура, концентрации различных химических веществ, солнечное излучение, течение, ветер и т.д.) как экологические условия и ресурсы. Понятие экологической ниши.

2. Спектральный состав солнечного излучения, влияние на него земной атмосферы. Энергетический баланс в атмосфере Земли.

3. Классификация методов дистанционного зондирования (ДЗ). ДЗ в живой природе.

4. Понятие сечения и индикатрисы рассеяния. Основные закономерности рассеяния акустических и электромагнитных волн на дискретных неоднородностях.

5. Понятие сечения и индикатрисы рассеяния. Основные закономерности рассеяния акустических и электромагнитных волн на непрерывно распределенных неоднородностях.

6. Понятие сечения и индикатрисы рассеяния. Основные закономерности рассеяния акустических и электромагнитных волн на шероховатой поверхности.

7. Моностатические и бистатические локационные схемы. Энергетическое описание процесса локации. Уравнение локации, физ. смысл его сомножителей.

8. Эффект Доплера для электромагнитных и акустических волн. Задачи обнаружения и оценки параметров объектов в активной локации. Разрешающая способность. Понятие функции неопределенности (ФН). Простые и сложные сигналы и их ФН. Принцип неопределенности в активной локации.

9. Структура волнового поля антенны с заполненной апертурой. Фазируемые антенные решетки, электронное управление диаграммой направленности. Способы обзора пространства в ДЗ.

10. Объекты и методы акустического ДЗ океана. Примеры конкретных систем.

11. Механизмы восприятия гидродинамических и акустических возмущений водными организмами. Генерация звуков водными организмами и ее биологическое значение. Пассивное акустическое ДЗ океана: примеры.

12. Воздушные пузырьки, особенности их рассеивающих свойств. Воздушный пузырек как нелинейный элемент.

13. Радиолокационное ДЗ, частотные диапазоны и области их использования. Непрерывная и импульсная локация. Антенные системы, способы обзора пространства, носители. Локаторы бокового обзора с синтезированной апертурой.

14. Радиолокационное ДЗ морского волнения. Связь характеристик эхосигнала с параметрами волнения.

15. Метеородиолокация. Измеряемые параметры метеорологических процессов. Радиоакустическое зондирование атмосферы.

16. Лазерное ДЗ. Принцип действия лазера. Свойства лазерного излучения. Виды лазеров, используемых в ДЗ.

17. Взаимодействие лазерного излучения с газами атмосферы и аэрозолями. Способы измерения концентраций основных и малых газовых составляющих (загрязнений) и аэрозолей.

18. Лазерное зондирование водной поверхности и приповерхностного слоя океана. Флуориметрические методы. Обнаружение и трассировка углеводородных (нефтяных) пленок, хлорофилла, взвесей, измерение глубины в прибрежных районах с авиационных/судовых носителей.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Волосюк, В.К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.К. Волосюк, В.Ф. Кравченко. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2008. — 704 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/49105>. — Загл. с экрана.

2. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К - Экология: особи, популяции и сообщества : в 2 т. Т. 2. - М.: Мир, 1989. - 477 с.

3. Исимару А. - Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах: [в 2 т.]. Т. 1. - М.: Мир, 1981. - 280 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. P.C.Wille. Sound images of the ocean - in research and monitoring. Springer, 2005, 471 pp.

2. Клей К. С., Медвин Г - Акустическая океанография: Основы и применения. - М.: Мир, 1980. - 580 с.

3. Басс Ф. Г., Фукс И. М. - Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. - М.: Наука, 1972. - 424 с.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

[http://e.lanbook.com/;](http://e.lanbook.com/)

<http://www.biblioclub.ru>.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной

аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;

- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор: к.ф.-м.н., доцент Муякшин Сергей Иванович

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кудрин Александр Владимирович

Заведующий кафедрой радиотехники: д.т.н. Фитасов Евгений Сергеевич

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «20» января 2022 года, протокол № 01/22.