

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета,
академик РАН Добролюбов С.А.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ
ТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ**

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки:
05.04.03 «Картография и геоинформатика»

Направленность (профиль) ОПОП:
«Геоинформационные и аэрокосмические методы картографирования»

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол №21, дата 30.09.2023)

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Картография и геоинформатика» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова (приказ по МГУ № 1383 от 30 декабря 2020 года).

Год (годы) приема на обучение: 2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: требуется владеть знаниями об основах дистанционного зондирования Земли из космоса (включая радиолокационную съемку), фонда радиолокационных данных, ключевых методах дешифрирования космических снимков и обладать навыками работы в специализированном программном обеспечении.
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<p>МПК-3 Владеет навыками выбора оптимальных типов космических снимков и алгоритмов обработки для картографирования, способен использовать технологии машинного обучения по большим данным комплексного характера (космическим снимкам, цифровым моделям местности, данным полевого картографирования), в том числе алгоритмы нейронных сетей, для дешифрирования космических снимков</p>	<p>МПК-3.1. Осуществляет выбор оптимальных типов космических снимков и алгоритмов обработки для картографирования, способен использовать технологии машинного обучения по большим данным комплексного характера (космическим снимкам, цифровым моделям местности, данным полевого картографирования), в том числе алгоритмы нейронных сетей, для дешифрирования космических снимков</p>	<p><i>Уметь:</i> формулировать задачи, обосновывать выбор методов обработки радиолокационных данных, формулировать выводы <i>Владеть:</i> навыками самостоятельной обработки радиолокационных данных</p>
<p>ПК-10 Способен преобразовывать аэрокосмическую информацию от разных типов съёмочных систем, производящих съёмку в разных диапазонах с разным пространственным, радиометрическим и временным разрешением в целях тематического картографирования и создания геоинформационных проектов и систем</p>	<p>ПК-10.1. Обрабатывает радиолокационные данные разного частотного диапазона, пространственного разрешения и в разных поляризациях</p>	<p><i>Уметь</i> преобразовывать и дешифрировать (визуально и автоматизированно) радиолокационные данные разного типа для составления географических карт <i>Владеть:</i> навыками визуального и автоматизированного дешифрирования радиолокационных данных</p>

4. Объем дисциплины (модуля) 3 з.е., в том числе 28 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 80 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>					Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада*)	Практическая работа	Всего
Обзор актуального состояния радиолокационного зондирования из космоса в России и мире	8	2	-	-	-	2	4	2	6
Особенности применения радиолокационных данных в географических исследованиях	8	2	-	-	-	2	4	2	6
Возможности программного обеспечения для обработки радиолокационных данных, ключевые подходы к анализу	12	2	2	-	-	4	2	6	8
Основные принципы радиолокационной поляриметрии	16	2	2	-	-	4	4	8	12
Методы радиолокационной интерферометрии и их практическое применение	16	2	2	-	-	4	4	8	12
Изучение динамики объектов по рядам радиолокационных данных	16	2	2	-	-	4	4	8	12
Подходы к оценке качества результатов автоматизированного дешифрирования радиолокационных данных	16	2	2	-	-	4	4	8	12

Особенности составления карт по результатам дешифрирования радиолокационных данных	16	2	2	-	-	4	4	8	12
Итого	108	28				80			

Содержание лекций, семинаров

Обзор актуального состояния радиолокационного зондирования из космоса в России и мире.

Основные тенденции в развитии дистанционного зондирования Земли из космоса; доля космических аппаратов, выполняющих радиолокационную съемку. Сравнение радиолокаторов, завершивших свою работу, функционирующих на орбите Земли и планируемых к запуску разными странами мира. Анализ накопленного архива радиолокационных данных. Перспективы радиолокационного зондирования в России и мире.

Особенности применения радиолокационных данных в географических исследованиях.

Особенности радиолокационной съемки (частотные диапазоны, поляризация, геометрия съемки, амплитудное изображение, фаза). Сравнение возможностей радиолокационных данных и съемки в оптическом диапазоне. Особенности применения радиолокационных данных в морских исследованиях, в сельском и лесном хозяйстве, при анализе урбанизированных районов, при мониторинге чрезвычайных ситуаций.

Возможности программного обеспечения для обработки радиолокационных данных, ключевые подходы к анализу данных.

Обзор рынка современного программного обеспечения. История развития методов и программных средств для обработки радиолокационных данных. Текущие тенденции в развитии программного обеспечения. Обзор современных методов обработки радиолокационных данных. Обзор существующих цифровых сервисов, содержащих продукты – результаты обработки радиолокационных данных.

Семинар. Текущие возможности программного обеспечения для обработки современных радиолокационных данных.

Семинар проводится в формате обсуждения устных докладов студентов, сопровождаемых обязательной презентацией. В докладе и презентации необходимо отразить:

открытое и коммерческое программное обеспечение, используемое для: обработки амплитудной составляющей радиолокационного сигнала, интерферометрической обработки, поляриметрической обработки;

библиотеки, существующие для разных языков программирования (R, Python) и используемые для обработки радиолокационных данных.

Основные принципы радиолокационной поляриметрии.

Радиолокационная поляриметрия, физические принципы, организация поляриметрических съёмок. Поляриметрические декомпозиции, классификации. Информационные свойства многополяризационных радиолокационных данных

Семинар. Поляриметрическая декомпозиция радиолокационных изображений.

Задача: применить различные методы поляриметрической декомпозиции для анализа состояния лесной растительности или сельскохозяйственных культур по радиолокационным данным в четырех поляризациях.

Общая схема выполнения работы:

Студент открывает радиолокационное изображение в программном обеспечении (например, SNAP, PolSarPro), анализирует доступные методы поляриметрической декомпозиции и выбирает не менее двух. Выбранными методами проводит обработку радиолокационного изображения и анализирует результаты: какие компоненты декомпозиции лучше подчеркивают различия в растительном покрове района работ и позволяют уверенно выделить растительность на фоне других объектов. Результаты анализа оформляет в виде отчета с иллюстрациями, где описывает выбранные методы, параметры обработки и полученные результаты, делает выводы.

Методы радиолокационной интерферометрии и их практическое применение.

Радиолокационная интерферометрическая съемка. Основы интерферометрической обработки радиолокационных данных. Преимущества и недостатки методов интерферометрической обработки. Источники ошибок. Методы предварительной коррекции исходных данных. Требования к исходным радиолокационным данным. Виды интерферометрической обработки. Поляриметрическая интерферометрия. Практическое применение радиолокационных интерферометрических данных. Сравнение глобальных моделей рельефа SRTM, WorldDEM. Этапы интерферометрической обработки. Оценка качества полученных результатов.

Семинар. Интерферометрическая обработка пары радиолокационных изображений

Задача: вычислить смещения поверхности по паре радиолокационных изображений

Общая схема выполнения работы:

Студент открывает два радиолокационных изображения Sentinel-1 в формате SLC в программном обеспечении SNAP. Выполняет предварительную обработку интерферометрической пары (вырезание фрагмента, уточнение орбит, корегистрацию), создает интерферограмму, вычитает набег фазы, выполняет фильтрацию интерферограммы и расчёт когерентности, развёртку фазы и переходит от значений фазы к значениям смещений. Анализирует полученные результаты и оформляет их в виде карты. Готовит отчет, в котором описывает параметры интерферометрической обработки, распределение смещений для района работ, приводит иллюстрации (включая составленную карту) и делает выводы.

Изучение динамики объектов по рядам радиолокационных данных.

Изучение динамики объектов по разновременным амплитудным снимкам. Интерферометрическая когерентность как показатель изменений объектов. Совмещение амплитудных снимков и изображений когерентности. Комплексование разновременных снимков в радиоволновом и оптическом диапазонах.

Семинар. Анализ динамики объектов по разновременным радиолокационным данным

Задача: проанализировать изменение отраженного радиолокационного сигнала по набору радиолокационных изображений Sentinel-1

Общая схема выполнения работы:

Студент открывает набор радиолокационных изображений Sentinel-1 в программном обеспечении SNAP. Выполняет их предварительную обработку. Для выбранных объектов извлекает значения отраженного радиолокационного сигнала и строит график. Проводит анализ изменения значений сигнала и выделяет факторы, которые могли повлиять на изменение этих значений. Готовит отчет, где описывает параметры выполненной обработки, приводит иллюстрации, включая график изменения радиолокационного сигнала, и делает выводы.

Подходы к оценке качества результатов автоматизированного дешифрирования радиолокационных данных.

Понятие точности, полноты и достоверности в оценке качества результатов дешифрирования. Источники данных, которые могут быть использованы в качестве эталонных при оценке результатов дешифрирования радиолокационных данных. Оценка пригодности результатов дешифрирования радиолокационных изображений для составления карты.

Семинар. Оценка качества результатов автоматизированного дешифрирования радиолокационного изображения

Задача: оценить точность результатов автоматизированного дешифрирования

Общая схема выполнения работы:

Студент выполняет обработку радиолокационного амплитудного изображения разными методами классификации: с обучением и без (не менее трех методов) в любом программном обеспечении. Анализирует качество полученных результатов классификации с привлечением снимков оптического диапазона, определяет параметры точности и достоверности. Готовит отчет, в котором описывает выбранные методы классификации, параметры алгоритмов обработки, обучающую выборку и значения полученных метрик качества. Выбирает наиболее достоверный результат.

Особенности составления карт по результатам дешифрирования радиолокационных данных.

Особенности результатов обработки радиолокационных данных. Подходы к генерализации. Особенности составления легенды и выбора условных обозначений.

Семинар. Составление карты по результатам обработки радиолокационного изображения

Задача: составить карту по результатам обработки амплитудного изображения

Общая схема выполнения работы:

Студент открывает результат обработки амплитудного радиолокационного изображения, который он получил на предыдущем семинаре (наиболее достоверный результат классификации). Составляет легенду к карте и оформляет результат дешифрирования. В отчете приводит карту и описывает выбранные характеристики картографического произведения (масштаб, размер, содержание).

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:

Текущая аттестация на основе оценки работы студента на семинарах.

Примерные темы для самостоятельного проекта

1. Определение характеристик ледяного покрова по радиолокационным данным Sentinel-1
2. Анализ методов декомпозиции на примере данных Radarsat-2
3. Определение сезонных изменений поверхности арктических остров
4. Применение интерферометрического метода для оценки динамики рельефа вулканических областей
5. Анализ характеристик снежного покрова по радиолокационным изображениям
6. Применение радиолокационных данных для анализа городов

Зачет проходит в форме защиты выполненного проекта по направлению обработки радиолокационных данных. Процедура защиты включает устное сообщение каждого студента в соответствии с индивидуальным заданием, ответы студентов на вопросы присутствующих. Устное выступление сопровождается электронной презентацией и демонстрационными результатами обработки радиолокационных данных и картографическими материалами. Выступление каждого студента должно быть четким и лаконичным, демонстрировать знания по методам обработки радиолокационных изображений и содержать выводы по выполненной работе.

Шкала и критерии оценивания

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
Знания (виды оценочных средств: устные опросы)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (виды оценочных средств: результат обработки радиолокационного изображения)	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 непринципиального характера)
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: презентация и защита проекта)	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

8. Ресурсное обеспечение:

а) основная литература:

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. 2014.
2. Захаров А.И., Яковлев О.И., Смирнов В.М. Спутниковый мониторинг Земли: Радиолокационное зондирование поверхности. М.: КРАСАНД, 2012. - 248 с.

б) дополнительная литература:

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. – М. Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
3. Woodhouse I.H. Introduction to microwave remote sensing. 2005. 370 p.
4. Jensen J. Active and passive microwave, and Lidar remote sensing, Remote sensing of the Environment and Earth resource perspective. University of South Carolina, 2000, pp. 285-329
5. Campbell Bruce A. Radar remote sensing of planetary surfaces. Cambridge university press, 2002, 332 pp.
6. Балдина Е.А., Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учебник, [электронное издание сетевого распространения] / – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2021. – 269 с. – URL: <https://bookonline.ru/node/6333> – doi: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1163-4-2021-269. <https://bookonline.ru/product-pdf/deshifirovanie-aerokosmicheskikh-snimkov>
7. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 416 с

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Программное обеспечение для проведения практических занятий и тестов по курсу:

- свободно распространяемая программа для обработки радиолокационных данных SNAP (Sentinels Application Platform) или лицензионные программы SARscape (модуль программы ENVI), Photomod Radar
- ArcGIS, QGIS
- графические редакторы для оформления результатов дешифрирования Corel DRAW, Adobe Illustrator

Интернет-источники космических снимков:

- Sentinel data hub. URL: <https://scihub.copernicus.eu/>
- ASF – Alaska Satellite Facility. URL: <https://www.asf.alaska.edu/>
- EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Supersites. URL: <http://supersites.earthobservations.org/>
- Google Earth

Сайты для самостоятельного изучения свойств радиолокационных снимков и сопоставления их со снимками оптического диапазона:

- <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>

Сайты для углубленно самостоятельного изучения принципов радиолокационной съёмки, методов обработки радиолокационных данных:

- Front | SAR-EDU. URL: <https://saredu.dlr.de/>
- Radar Basics. URL: <http://www.radartutorial.eu/index.en.html>

г) методические указания к практическим и/или творческим работам: варианты индивидуальных заданий и указания по их выполнению

- Лабутина И.А., Балдина Е.А. Практикум по курсу «Дешифрирование аэрокосмических снимков». М.: Географический факультет МГУ, 2013. –168 с.
- Sentinel-1 Toolbox. SAR Basics Tutorial. 2015. 19 p.
- Sentinel-1 Toolbox. Polarimetric Tutorial. 2015. 29 p.
- Sentinel-1 Toolbox. Interferometry Tutorial. 2015. 41 p.
- Sentinel-1 Toolbox. TOPS Interferometry Tutorial. 2015. 21 p.
- Sentinel-1 Toolbox. Interferometry Tutorial with RADARSAT-2. 2015. 43 p.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Компьютерный класс с доступом в Интернет, установленной программой Google Earth и программным обеспечением для обработки снимков радиоволнового диапазона, создания и оформления карт
- Комплект цифровых снимков, пополняемый и обновляемый по мере появления материалов новых съемочных экспериментов.

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватели:

Илюшина Полина Геннадьевна, научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики

Балдина Елена Александровна, ведущий научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики

11. Разработчики программы:

Илюшина Полина Геннадьевна, научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики, к.г.н.

Балдина Елена Александровна, ведущий научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики, к.г.н.