**Дисциплина: Введение в дистанционное зондирование и анализ изображений**

**Лекция 1. История развития методов исследования дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).**

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) прошло долгий путь развития. Первые попытки фиксировать изображение земной поверхности появились еще до эпохи авиации, когда использовали воздушные шары и примитивные камеры. Развитие авиации в начале XX века сделало аэрофотосъемку основным методом получения данных.

Космическая эра началась с запуском первых спутников в 1950-х годах, а в 1972 году был запущен Landsat-1, открывший новую страницу в систематическом наблюдении Земли. Постепенно методы стали более точными и доступными благодаря использованию многоспектральных сканеров и цифровых технологий.

Современные технологии ДЗЗ позволяют анализировать данные в реальном времени, использовать гиперспектральные изображения и интегрировать их с геоинформационными системами. Эти методы стали незаменимыми для мониторинга окружающей среды, изучения климата и планирования инфраструктуры.

Сегодня ДЗЗ продолжает развиваться, предлагая все более точные и глубокие данные о нашей планете.

**Лекция 2. Данные ДЗЗ, их характеристики и особенности.**

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляют собой изображения или числовую информацию, полученную с помощью сенсоров, расположенных на спутниках, дронах или других платформах.

Основной характеристикой данных ДЗЗ является их многоспектральность, то есть способность фиксировать информацию в различных диапазонах электромагнитного спектра (видимый, инфракрасный, радиодиапазоны). Это позволяет анализировать свойства объектов, невидимые для человеческого глаза.

Пространственное разрешение определяет уровень детализации изображения и зависит от размера пикселя на местности. Высокое разрешение актуально для городских исследований, а среднее и низкое используются в климатологии и мониторинге экосистем.

Временное разрешение характеризует частоту съемки одной и той же территории. Оно особенно важно для задач мониторинга, например, отслеживания изменений растительности или последствий природных катастроф.

Особенностью данных ДЗЗ является их объем и необходимость в предварительной обработке: геометрической коррекции, атмосферной коррекции и других этапах. Современные технологии, такие как облачные платформы (например, Google Earth Engine), значительно упростили анализ данных.

Данные ДЗЗ применимы в экологии, урбанистике, сельском хозяйстве и геологии, делая их ключевым инструментом для решения глобальных задач.

**Лекция 3. Источники открытых (бесплатных) данных для загрузки спутниковых снимков с высокой и средней точностью.**

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стали доступнее благодаря открытым платформам, предоставляющим спутниковые снимки с высокой и средней точностью. Эти ресурсы позволяют использовать ДЗЗ для экологического мониторинга, сельского хозяйства, урбанистики и других направлений.

1. **USGS Earth Explorer** предоставляет снимки серий *Landsat* и *Sentinel-2*. Это данные со средней точностью (10–30 м), которые используются для мониторинга земного покрова и природных ресурсов.
2. **Copernicus Open Access Hub** обеспечивает доступ к снимкам спутников *Sentinel-1* и *Sentinel-2* с высокой точностью (10 м). Программа ориентирована на экологические и сельскохозяйственные исследования.
3. **NASA Worldview** позволяет работать с данными метеорологических спутников, такими как *MODIS* (точность 250 м – 1 км). Этот ресурс особенно полезен для климатических исследований и мониторинга природных явлений.
4. **Google Earth Engine** — облачная платформа для анализа спутниковых данных, включая *Landsat*, *Sentinel* и *MODIS*. Она предоставляет инструменты для обработки и визуализации, что делает её популярной в научных исследованиях.
5. **OpenTopography** специализируется на данных лазерного сканирования (LiDAR) и высотных моделях с высокой точностью (до 1 м). Полезен для геологии и анализа ландшафтов.
6. **DigitalGlobe Open Data Program** предлагает снимки с очень высоким разрешением (до 50 см) для анализа экстренных ситуаций и гуманитарных проектов.
7. **Radiant Earth Foundation** предоставляет бесплатные спутниковые снимки и инструменты, ориентированные на развитие технологий ДЗЗ в развивающихся регионах.

**Лекция 4. Оптические спутниковые снимки, их характеристики и особенности**

Оптические спутниковые снимки — это изображения поверхности Земли, полученные в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра. Эти снимки широко используются в сельском хозяйстве, экологии, картографии и других областях.

Основными характеристиками оптических снимков являются:

1. **Пространственное разрешение** — определяет размер пикселя на местности. Высокое разрешение (менее 1 м) используется для детализированных задач (городское планирование), среднее (10–30 м) — для мониторинга экосистем, низкое (свыше 100 м) — для глобальных исследований.
2. **Спектральное разрешение** — число и ширина спектральных диапазонов (каналов), фиксируемых спутником. Многоспектральные данные позволяют изучать растительность, водные объекты и почвы.
3. **Временное разрешение** — частота повторной съемки территории. Для мониторинга изменений предпочтительны спутники с частым обновлением данных, такие как *Sentinel-2*.
4. **Радиометрическое разрешение** — уровень детализации яркостных значений, обычно выражается в битах (8, 12, 16 бит), что влияет на качество изображения и возможности его обработки.

Особенностями оптических снимков являются зависимость от погодных условий (облачности) и освещения, что ограничивает их использование в определенных ситуациях. Тем не менее, высокая информативность и точность делают их незаменимыми для множества задач.

Современные оптические спутники, такие как *Landsat*, *Sentinel-2* и *WorldView*, предоставляют данные для анализа земного покрова, мониторинга состояния растений, обнаружения изменений и других исследований.

**Лекция 5. Радиолокационные спутники и их области применения**

Радиолокационные спутники используют активные системы наблюдения, которые посылают радиоволны и фиксируют их отражение от поверхности Земли. В отличие от оптических спутников, они работают независимо от времени суток и погодных условий, что делает их особенно ценными для мониторинга в сложных условиях.

**Основные особенности радиолокационных спутников:**

* **Активные сенсоры:** Излучают радиоволны и фиксируют их отражение, что позволяет получать данные даже при облачности или ночью.
* **Диапазоны частот:** Используются разные диапазоны (L-, C-, X-диапазоны), которые подходят для изучения различных объектов (растительность, вода, лед).
* **Высокая точность измерений:** Радиолокационные спутники предоставляют детальную информацию о рельефе и движении объектов благодаря способности фиксировать изменения поверхности.

**Области применения:**

1. **Мониторинг земной поверхности:** Изучение деформаций почвы, например, в результате землетрясений или добычи полезных ископаемых.
2. **Картография:** Создание цифровых моделей рельефа (Digital Elevation Models, DEM) с высокой точностью.
3. **Мониторинг ледников:** Изучение динамики ледников и снежного покрова, важное для климатических исследований.
4. **Сельское хозяйство:** Определение уровня влажности почвы, контроль состояния посевов.
5. **Морской мониторинг:** Обнаружение разливов нефти, изучение волн и ледовых полей.
6. **Городское планирование:** Оценка стабильности зданий и инфраструктуры.

Примеры радиолокационных спутников: *Sentinel-1* (программа Copernicus), *RADARSAT* (Канада), *TerraSAR-X* (Германия).

**Лекция 6. Методы предварительной обработки и улучшения спутниковых снимков. Атмосферная и геометрическая коррекция.**

Спутниковые снимки требуют предварительной обработки для устранения искажений, вызванных атмосферными и геометрическими факторами, а также для повышения их качества перед анализом.

#### ****1. Атмосферная коррекция****

Атмосферная коррекция устраняет влияние атмосферы на спутниковые снимки, вызванное рассеянием и поглощением света.

* **Цель:** Привести данные к значениям, соответствующим рефлектансам поверхности.
* **Методы:**
  + Эмпирические методы: Используют данные о реальных объектах (например, "черные тела").
  + Физические модели: Учитывают данные о составе атмосферы, влажности и аэрозолях.
  + Инструменты: Например, ATCOR (Atmospheric Correction) и Sen2Cor (для Sentinel-2).

#### ****2. Геометрическая коррекция****

Геометрическая коррекция устраняет искажения, вызванные наклоном сенсора, движением спутника и рельефом местности.

* **Цель:** Привести изображение в соответствие с географическими координатами.
* **Методы:**
  + Ручная коррекция: Использование контрольных точек (Ground Control Points, GCP).
  + Автоматическая коррекция: Сопоставление с цифровыми моделями рельефа (DEM).
  + Программное обеспечение: ArcGIS, ERDAS IMAGINE.

#### ****3. Методы улучшения снимков****

* **Фильтрация шумов:** Устранение случайных помех (например, с использованием медианных фильтров).
* **Растяжение гистограммы:** Улучшение контрастности изображения.
* **Объединение данных:** Паншарпенинг (объединение панхроматических и многоспектральных данных).
* **Калибровка:** Приведение данных к единой шкале значений для сравнения с другими изображениями.

**Лекция 7. Методы предварительной обработки и улучшения спутниковых снимков. Атмосферная и геометрическая коррекция.**

Предварительная обработка спутниковых снимков необходима для устранения искажений, вызванных атмосферными и геометрическими факторами, а также для повышения их качества перед анализом.

#### ****1. Атмосферная коррекция****

Атмосферная коррекция устраняет влияние рассеяния и поглощения солнечного света в атмосфере, приводя значения пикселей к реальным отражательным характеристикам поверхности.

* Используются физические модели атмосферы (например, Sen2Cor для Sentinel-2) или эмпирические подходы.

#### ****2. Геометрическая коррекция****

Геометрическая коррекция компенсирует искажения, вызванные движением спутника, наклоном сенсора и влиянием рельефа.

* Процедура включает использование цифровых моделей рельефа (DEM) и опорных географических точек.

#### ****3. Методы улучшения снимков****

После коррекции данные часто улучшаются методами фильтрации, растяжения гистограммы для повышения контрастности и паншарпенинга для увеличения детализации.

**Лекция 8. Методы классификации цифровых изображений.**

Классификация цифровых изображений — это процесс группировки пикселей на изображении в классы на основе их спектральных характеристик. Этот метод активно применяется в дистанционном зондировании Земли для анализа земного покрова, оценки растительности, мониторинга урбанизации и других задач.

1. Основные подходы к классификации

Супервизируемая классификация (контролируемая)

Требует предварительного обучения модели на основе обучающих выборок (ROI – Region of Interest).

Часто используемые алгоритмы:

Метод максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Method).

Support Vector Machines (SVM).

Применение: Точные задачи с заранее известными категориями (например, типы растительности).

Неподконтрольная классификация (неконтролируемая)

Не требует обучающих данных, классы формируются автоматически.

Алгоритмы:

K-means.

ISODATA.

Применение: Исследования новых территорий или для предварительного анализа данных.

Гибридные методы

Сочетают элементы супервизируемой и неподконтрольной классификации.

Используются для повышения точности результатов.

2. Прогрессивные подходы

Объектно-ориентированная классификация

Учитывает не только спектральные характеристики, но и текстуру, форму и контекст пикселей.

Применяется для анализа снимков высокого разрешения.

Машинное обучение и глубокое обучение

Алгоритмы, такие как Random Forest, Decision Trees, Convolutional Neural Networks (CNN), обеспечивают высокую точность.

Применение: Анализ сложных объектов, автоматизация обработки больших данных.

3. Этапы классификации

Сбор и подготовка данных.

Выбор метода классификации.

Проведение классификации.

Оценка точности (confusion matrix, коэффициент Kappa).

**Лекция 9. Методы классификации цифровых изображений.**

Классификация цифровых изображений — это процесс разделения пикселей на классы по их характеристикам.

Управляемая классификация основывается на предварительно созданных обучающих выборках. Этот метод требует знания классов до начала работы и обеспечивает высокую точность при качественных данных, но зависит от их объема и правильности.

Неуправляемая классификация выполняется без обучающих данных, автоматически группируя пиксели по схожим признакам. Этот подход полезен для анализа новых территорий, однако его результаты требуют дополнительной интерпретации.

Оба метода широко применяются в анализе земного покрова, мониторинге природных изменений и других задачах ДЗЗ. Выбор подхода зависит от целей исследования и доступности данных.

**Лекция 10. Методы управляемой (Supervised) и неуправляемой (Unsupervised) классификации.**

Классификация изображений в дистанционном зондировании подразделяется на управляемую и неуправляемую.

Управляемая классификация предполагает использование заранее заданных обучающих данных. Пиксели распределяются по классам на основе известных характеристик. Этот метод обеспечивает высокую точность при условии наличия качественных данных, но требует предварительной подготовки и точного знания исследуемых классов.

Неуправляемая классификация выполняется без обучающих данных. Пиксели группируются по схожим спектральным характеристикам автоматически. Метод полезен для анализа новых или неизученных территорий, однако часто требует дополнительной интерпретации и доработки для соответствия реальным объектам.

Выбор метода зависит от цели исследования, доступности данных и уровня точности, необходимого для решения задачи.

**Лекция 11. Расчет вегетационных индексов с использованием спутниковых снимков (Landsat, Sentinel-2).**

Вегетационные индексы являются ключевым инструментом для оценки состояния растительности на основе спутниковых снимков. Они рассчитываются с использованием спектральных данных, отражающих взаимодействие растительности с солнечным излучением.

Наиболее распространенным индексом является NDVI, который позволяет оценивать уровень фотосинтетической активности. Он вычисляется на основе данных красного и ближнего инфракрасного диапазонов. Высокие значения NDVI свидетельствуют о здоровой растительности, низкие — об её отсутствии или деградации.

Спутники Landsat и Sentinel-2 предоставляют многоспектральные данные, подходящие для расчета индексов. Landsat используется для долгосрочного мониторинга благодаря архиву данных с 1970-х годов, тогда как Sentinel-2 обеспечивает более высокую пространственную и временную детализацию.

Расчет индексов выполняется с использованием специализированного программного обеспечения, такого как ArcGIS или QGIS. Они применяются для мониторинга сельского хозяйства, оценки состояния лесов и анализа изменений земного покрова. Эти данные позволяют принимать обоснованные решения в управлении природными ресурсами.

**Лекция 12-13. Распознавание и классификация основных типов сельскохозяйственных земель на спутниковых снимках.**

Распознавание и классификация сельскохозяйственных земель с использованием спутниковых данных является важным инструментом для мониторинга сельского хозяйства и управления землепользованием. Спутниковые снимки, такие как Landsat и Sentinel-2, предоставляют многоспектральные данные, которые позволяют анализировать спектральные характеристики различных типов землепользования.

Ключевым этапом классификации является предварительная обработка данных, включая геометрическую и атмосферную коррекцию, что обеспечивает точность анализа. Спектральные характеристики сельскохозяйственных земель различаются в зависимости от состояния растительности, уровня влажности почвы и типа культуры. Для выделения классов используются индексы, такие как NDVI, которые позволяют дифференцировать области с активным ростом растительности и земли под паром или без растительного покрова.

Процесс классификации включает создание обучающих выборок для управляемых методов или автоматическую группировку пикселей в случае неуправляемого подхода. Управляемая классификация позволяет точно определить такие категории, как пашни, пастбища, сады или орошаемые земли, если классы заранее известны. Неуправляемая классификация помогает в первичном анализе новых территорий, но требует интерпретации полученных данных.

Распознавание сельскохозяйственных земель широко применяется для оценки урожайности, управления водными ресурсами, планирования агротехнических мероприятий и прогнозирования изменений землепользования. Анализ спутниковых данных дает возможность эффективно управлять сельскохозяйственными территориями, минимизируя затраты и повышая продуктивность.

**Лекция 14. Распознавание и классификация основных типов сельскохозяйственных земель на спутниковых снимках.**

Изучение динамики изменений землепользования и почвенного покрова с использованием спутниковых данных является ключевым направлением в экологическом мониторинге, управлении территориями и устойчивом развитии. Спутники, такие как Landsat и Sentinel-2, предоставляют многолетние серии данных, которые позволяют отслеживать изменения в пространстве и времени.

Анализ основывается на сравнении спутниковых снимков, полученных в разные временные периоды. Ключевую роль играют индексы, такие как NDVI, NDBI, и NDWI, которые помогают выявлять изменения растительности, урбанизированных территорий и водных объектов. Эти индексы позволяют оценить динамику роста городов, преобразования сельскохозяйственных земель и деградацию природных экосистем.

Методы анализа включают классификацию изображений и создание карт изменений (change detection). Классификация помогает разделить данные на категории землепользования, а карты изменений демонстрируют переходы между этими категориями, например, превращение лесов в пашни или застройку.

Практическое значение анализа изменений землепользования заключается в разработке стратегии устойчивого управления земельными ресурсами, оценки воздействия человеческой деятельности на окружающую среду и прогнозирования будущих изменений. Этот подход широко используется в экологии, градостроительстве, сельском хозяйстве и управлении водными ресурсами.

Спутниковые данные и современные методы их обработки позволяют получить актуальную и точную информацию для принятия решений, направленных на сохранение природных ресурсов и эффективное использование земель.

**Лекция 15. Преобразование данных из растрового векторные после обработки спутниковых снимков.**

Преобразование данных из растрового формата в векторный является важным этапом обработки спутниковых снимков, позволяющим анализировать и использовать результаты классификации и других операций в ГИС-системах.

Растровые данные представляют собой пиксельные изображения, где каждый пиксель имеет определенное значение (например, индекс растительности или класс землепользования). Векторные данные, в свою очередь, состоят из геометрических объектов (точек, линий, полигонов), которые обладают четкими границами и атрибутивной информацией.

Преобразование начинается с обработки классифицированного растрового изображения, где каждый пиксель относится к определенному классу. Затем пиксели одного класса объединяются в единые контуры, формируя полигоны. Этот процесс часто называют "векторизацией" и он выполняется автоматически с помощью инструментов ГИС, таких как ArcGIS, QGIS или специализированные модули Python.

Основные задачи векторизации включают устранение "шумов" и сглаживание контуров. После преобразования данные становятся более удобными для пространственного анализа, поскольку векторные объекты легко измерять, редактировать и интегрировать с другими слоями информации.

Практическое применение векторных данных после растровой обработки включает создание тематических карт, расчет площадей и периметров, анализ пространственных отношений и подготовку данных для дальнейшего моделирования. Этот процесс важен для управления землепользованием, экологического мониторинга и планирования территорий.

Преобразование растров в векторы позволяет использовать результаты спутниковой обработки с максимальной точностью и гибкостью, обеспечивая более эффективное принятие решений.