

Обработка данных ДЗЗ - Этапы обработки данных

Данные дистанционного зондирования (ДЗЗ) (**remote sensing data, aerospace data**) - син. данные аэрокосмического зондирования - данные о поверхности Земли, объектах, расположенных на ней или в ее недрах, полученные в процессе съемок любыми неконтактными, т.е. дистанционными методами.

Обработка данных ДЗЗ (image processing) - процесс выполнения операций над аэрокосмическими снимками, включающий их коррекцию, преобразование и улучшение, дешифрирование, визуализацию.

Основные этапы обработки данных космических снимков:

- Предварительная обработка;
- Тематическая обработка.

Предварительная обработка мультиспектральных данных

Предварительная обработка - это коррекция и улучшение спутниковых изображений.

Примечание! Следует помнить, что некоторые методы улучшения изображений (фильтрация, изменение контраста) подразумевают изменение спектральных характеристик снимка, поэтому после их применения нельзя применять методы тематической обработки, которые основаны на анализе значений спектральной яркости пикселей (классификации, арифметические преобразования каналов и др.).

Виды предварительной обработки:

- Геометрическая коррекция спутниковых изображений;
- Радиометрическая калибровка снимков;
- Радиометрическая коррекция влияния атмосферы;
- Восстановление пропущенных пикселей;
- Контрастирование;
- Фильтрация.

Геометрическая коррекция включает в себя:

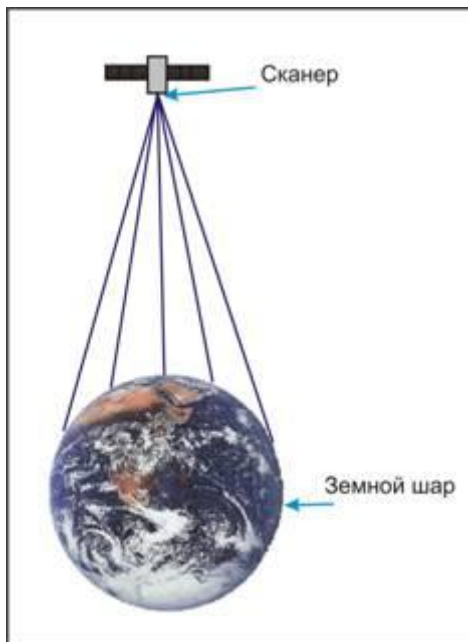
- устранение на изображении геометрических искажений (орторегификация),
- географическую привязку.

Синонимы геометрической коррекции в английском языке: *geometric correction, geometric rectification, image registration.*

Причины геометрических искажений.

Существует несколько причин геометрических искажений, однако эти причины действуют совместно. Кроме того, следует отметить, что для разных типов космических снимков комбинация этих причин различна

1) Кривизна поверхности Земли



Геометрические искажения снимков, вызванные кривизной поверхности Земли получаются в результате того, что точки сканируемой местности не лежат в одной плоскости и наблюдение ведется не в надире, а под

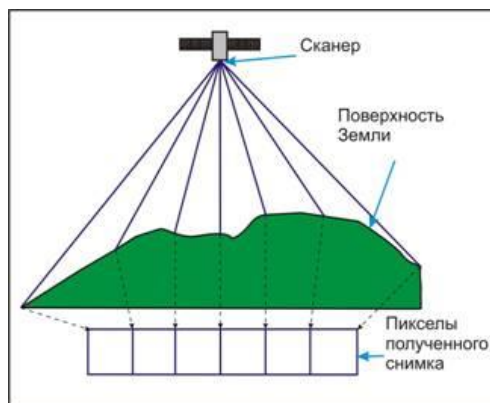
углом к поверхности земли. Поэтому при удалении от центральной линии сканирования (где съемка ведется в надире) искажение формы и размера объектов увеличивается.

Искажение формы объектов. Прямая линия на местности будет кривой на снимке, квадрат прямоугольником и т.д. Этим типом искажения можно пренебречь, если угол обзора сканера невелик (MSS - Landsat, угол обзора примерно $5,8^\circ$).

Искажение масштаба. Для снимков сделанных оптико-механическим сканером (MODIS, AVHRR, ETM и MSS - Landsat, Aster (TIR))- масштаб при удалении от центральной линии снимка становится мельче. То есть, если взять два пиксела снимка: один из центральной области снимка, а второй из боковой, то пиксел из боковой области будет содержать большую площадь Земли, хотя размер их одинаков.

Для ПЗС снимков (спутники SPOT, IRS, Ikonos, датчик Aster (VNIR, SVIR)) масштаб при удалении от центральной линии снимка не изменяется.

2) Неровности рельефа.



Неровности рельефа вызывают те же искажения, что и кривизна поверхности, земли, но задача устранения их сложнее, по причине того, что формы рельефа сложнее, чем форма Земли, которая близка к сфере.

Поскольку космические снимки делают с большой высоты, то влияние форм рельефа незначительно, поэтому данный тип искажений учитывают лишь для горных областей.

3) Вращение Земли. Поскольку сканирование Земли из космоса происходит не мгновенно, как фотосъемка, то вращение Земли (за 1 мин Земля поворачивается на $0,25$) вызывает изменение условий съемки в процессе сканирования одной сцены.

4) Движение космического аппарата в процессе формирования изображения. На качество и свойства снимков влияет форма и высота орбиты спутника. Например, круговая орбита обеспечивает одинаковую высоту съемки земной поверхности, а следовательно, для одной и той же аппаратуры - одинаковый охват и разрешение снимков.

Радиометрическая калибровка снимков.

Для чего нужна радиометрическая калибровка (radiometric correction, spectral correction)?

Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых "сырых значений" яркости DN (Digital Number). Данные в таком формате нельзя адекватно сопоставить с данными других съемок.

Задача радиометрической калибровки заключается в приведении этих значений в физические единицы.

Формула для калибровки многозональных снимков в оптическом диапазоне:

$$V^* = K \cdot DN + C$$

V^* - это энергетическая яркости для спектральной зоны ?;

DN - сырые значения яркости;

K ? - калибровочный коэффициент;

C ? - калибровочная константа, соответствующая минимальной величине регистрируемой яркости.

Радиометрическая коррекция влияния атмосферы.

Поглощение и рассеивание.

При прохождении через атмосферу электромагнитные волны поглощаются и рассеиваются, причиной поглощения и рассеивания являются: озон, водяной пар, углекислый газ, кислород, метан, пыль, дым.

Облачность. Облачность является помехой при съемке в оптическом диапазоне.



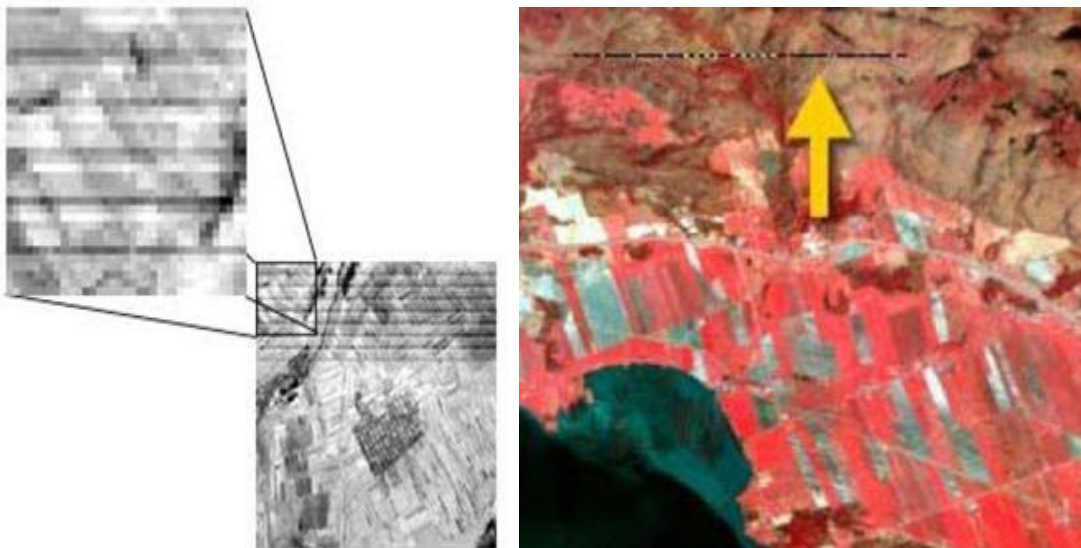
Поглощение, рассеивание и облачность вызывают искажение значений яркости пикселов на снимках.

Способы атмосферной коррекции:

- Облака и туманы хорошо видно на фоне воды, так как в красном и ИК участках спектра поверхность воды по своим оптическим характеристикам близка к абсолютно черному телу. Поэтому содержание в атмосфере водяного пара и аэрозолей (дыма) можно оценить по снимкам, включающим участки морей и океанов.
- Существуют математические методы построения моделей состояния атмосферы с учетом типов рассеяния в атмосфере, времени года, метеорологических данных. Для уточнения таких моделей используют наземное измерение отражательной способности объектов во время полета спутника.

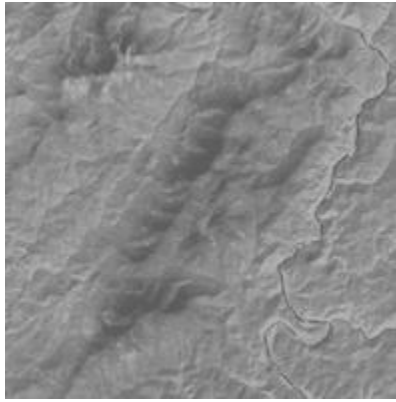
Восстановление пропущенных пикселов

«Пропущенные пиксели» могут возникнуть во время съемки или передачи данных, также случается замена значений яркости целой строки значениями соседней строки. Такие явления могут стать помехой при тематической обработке снимка. Пропущенные пиксела можно восстановить путем интерполяции с определенной погрешностью.

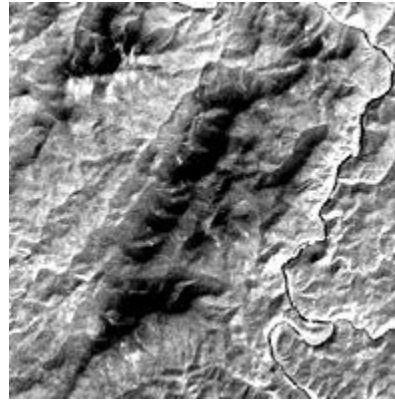


Контрастирование.

Контраст изображения - это разность между максимальным и минимальным значениями яркости.
Слабый контраст – наиболее распространенный дефект изображений.



Неконтрастное изображение.

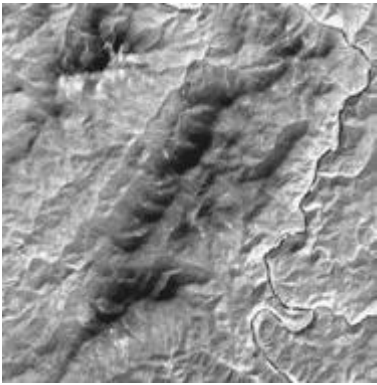


Контрастное изображение

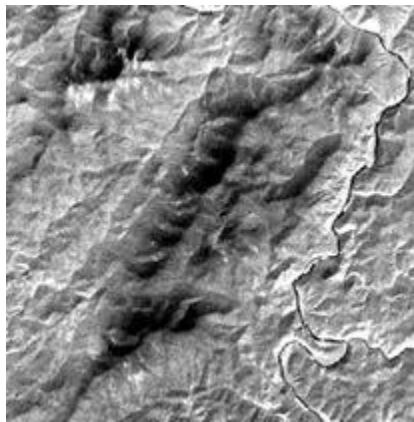
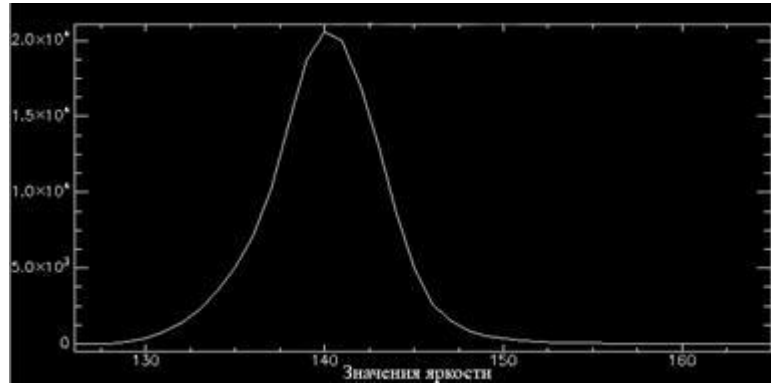
Существует несколько методов повышения контраста путем цифровой обработки. Операция повышения контрастности снимка может быть использована при визуальном дешифрировании снимков (например, чтобы подчеркнуть границы объектов).

Методы повышения контраста:

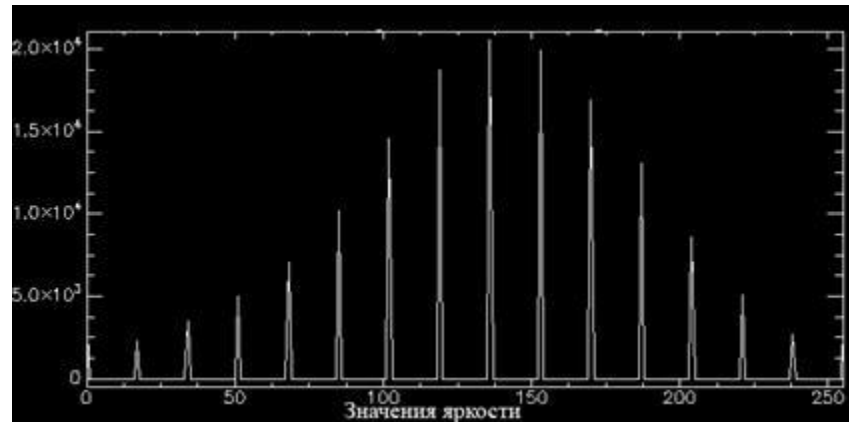
- **Линейное растягивание гистограммы.** Всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью - охватить весь возможный интервал изменения яркости (0, 255).



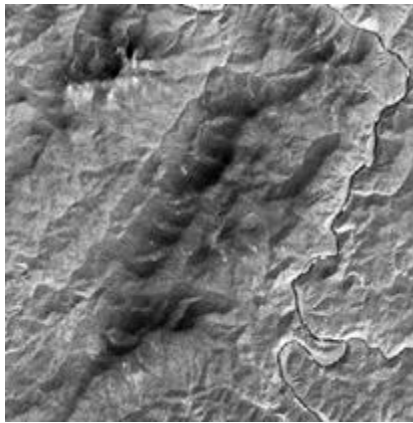
Исходный снимок



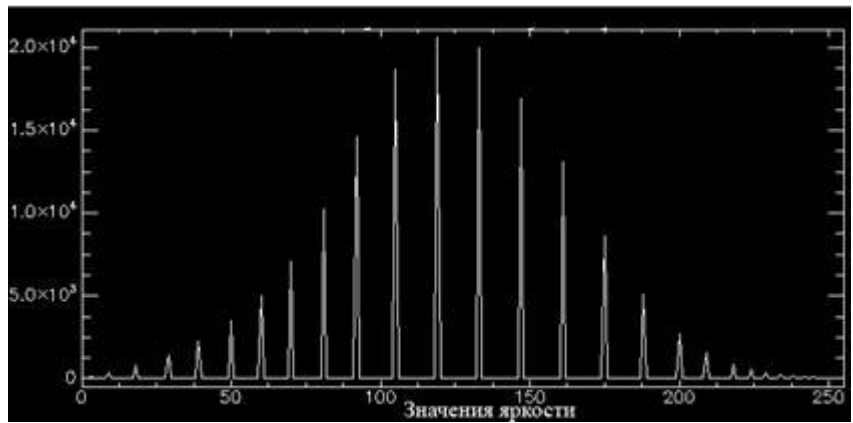
Снимок после линейного растягивания гистограммы



- **Нормализация гистограммы.** На весь возможный интервал изменения яркости растягивается не вся гистограмма, а ее наиболее интенсивный участок



Снимок после нормализации гистограммы

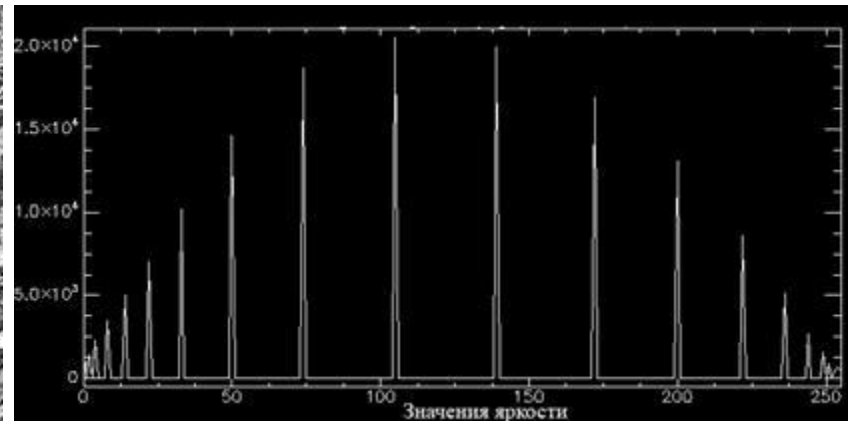


диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее =121.5. Причем растянута средняя, наиболее информативная часть гистограммы

- **Выравнивание гистограммы** (линеаризация, эквализация). В процессе выравнивания происходит изменение значений яркости пикселей таким образом, чтобы для каждого уровня яркости было одинаковое или близкое количество пикселей.



Снимок после выравнивания гистограммы



диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее =115.9

Фильтрация.

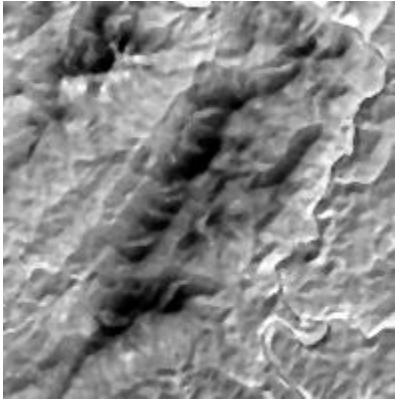

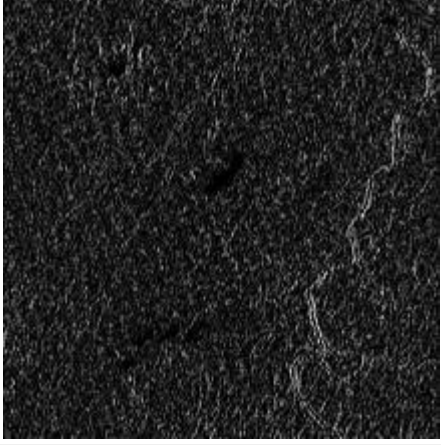
Фильтрация - это преобразование, которое позволяет усилить воспроизведение тех или иных объектов, подавить нежелательное вуалирование, устранить другие случайные помехи (шум).

Один из самых простых способов фильтрации - преобразование в скользящем окне.

При таком преобразовании пересчитываются значения яркости всех пикселей изображения. Пересчет происходит для каждого пикселя таким образом: когда данный пиксел является центральным в окне, которое "движется" по снимку, ему дается новое значение, которое является функцией от значений окружающих его в окне пикселей.

Размер окна может быть, например 3x3 или 5x5 пикселей. Каждый раз окно смещается на 1 пиксел и движется до тех пор, пока не пройдет весь снимок.

Для всех пикселей окна исследователь устанавливает весовые коэффициенты исходя из целей дешифрирования.

<table border="1"> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> </tbody> </table>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<p>Если весовые коэффициенты всех пикселей в окне равны, изображение будет сглажено..</p>	
0.1	0.1	0.1									
0.1	0.1	0.1									
0.1	0.1	0.1									
<table border="1"> <tbody> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>3</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </tbody> </table>	-1	-1	-1	-1	3	-1	-1	-1	-1	<p>Если весовой коэффициент центрального пикселя в окне значительно выше остальных, то изображение станет более резким.</p>	
-1	-1	-1									
-1	3	-1									
-1	-1	-1									
<table border="1"> <tbody> <tr><td>-1</td><td>3</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>3</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>3</td><td>-1</td></tr> </tbody> </table>	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	<p>Если весовые коэффициенты вертикально расположенных пикселей в окне будут значительно выше остальных, на изображении выделятся линии меридионального направления.</p>	
-1	3	-1									
-1	3	-1									
-1	3	-1									

Тематическая обработка мультиспектральных снимков

Тематическая обработка космических снимков – это процесс дешифрирования или распознавания объектов и явлений на космических снимках.

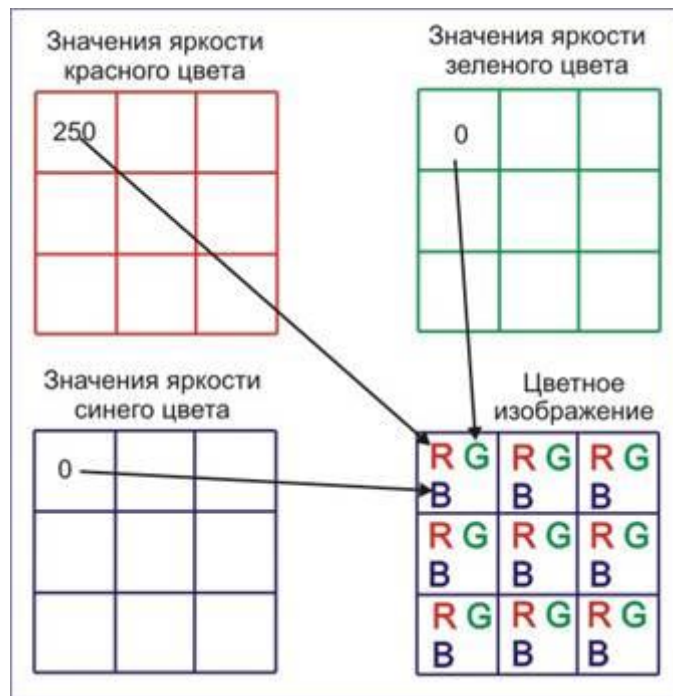
Способы тематической обработки:

- Цветовые преобразования;
- Индексные изображения;
- Анализ главных компонент;
- Метод спектральное разделение;
- Классификации.

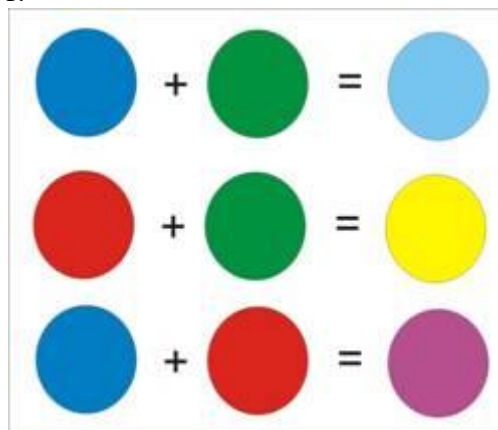
Система RGB.

Цветное изображение на мониторе компьютера получается путем сложения трех основных цветов. За основные приняты цвета, соответствующие монохроматическим излучениям с длиной волны 0.7 мкм (красный - R); 0.5461 мкм (зеленый - G); 0.4358 (синий - B). Такое представление цвета называют цветовой моделью RGB.

В файле цветного изображения, для каждого пикселя записано три числа, которые означают интенсивности трех основных цветов, диапазон значений от 0 до 255.



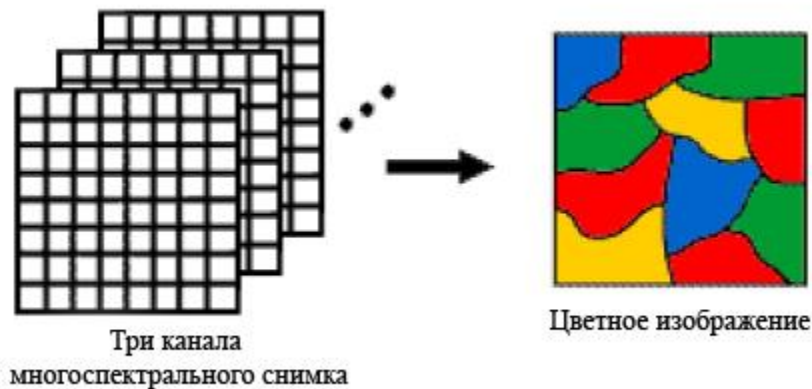
Практически любой цвет, видимый человеком, может быть представлен как сумма трех основных цветов. Если значения яркости $R=250$, $G=0$, $B=0$, то пиксель будет окрашен в красный цвет. Если значения яркости равны между собой $R=G=B$, пиксель будет окрашен в серый цвет. Если значение яркости R , G , B не равны между собой то в зависимости от значений яркости R , G , B пиксель будет окрашен в определенный цвет.



Цветовые преобразования.

Если вывести на экран дисплея изображение одного канала многоспектрального снимка, то оно будет окрашено в серые тона (полутоновое изображение).

Чтобы получить цветное изображение нужно сложить вместе три канала многоспектрального снимка. Один из которых будет красный (R), другой зеленый (G), третий синий (B).



Можно окрашивать изображения в натуральные и ложные цвета.

Если в каналы R, G, B изображения подставлены R, G, B каналы снимка, то изображение представлено в натуральных цветах. Если в каналы R, G, B изображения подставлены другие каналы снимка, то изображение представлено в ложных цветах.

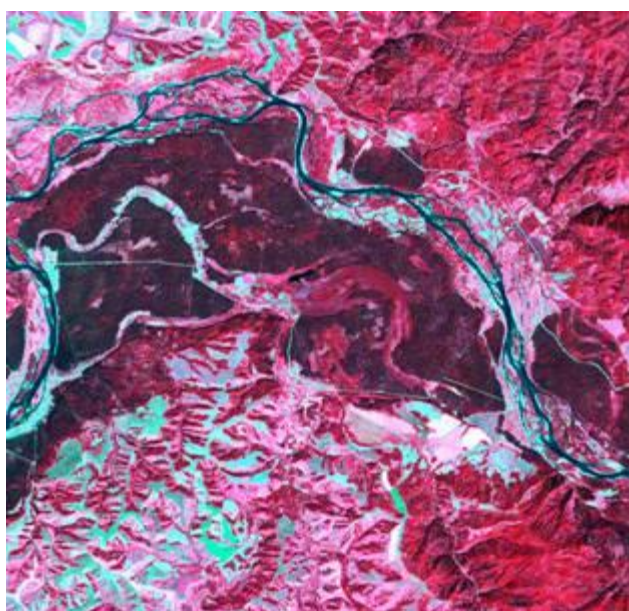
Механизм подбора цвета изображения.

Если в канал изображения R подставить канал снимка, в котором значения яркости пикселей высокие, а в каналы G и B каналы с низкими значениями яркости, то изображение будет окрашено преимущественно в красные тона и так далее.



Пример окраски снимка в натуральные цвета

Каналы изображения	Спектральные каналы снимка	Цвет воды на изображении	Цвет растительности на изображении	Цвет почвы на изображении
R G B	Красный Зеленый Синий	Синий	Зеленый	Коричнево-серый



Пример окраски изображения в ложные цвета

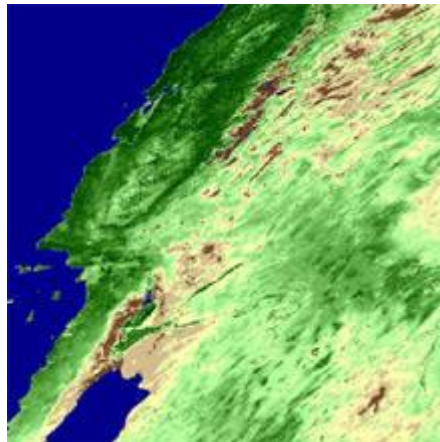
Каналы изображения	Спектральные каналы снимка	Цвет воды на изображении	Цвет растительности на изображении	Цвет почвы на изображении
R G B	Ближний инфракрасный Красный Зеленый	Черный	Красный	Серо-голубой

Сущность объектов целесообразно определять на изображениях в натуральных цветах, а разделять и оконтуривать объекты удобнее на изображениях в ложных цветах. Правильно подобранная шкала позволяет оператору визуально выделять объекты, мало отличающиеся по яркости на полутонном изображении.

Индексные изображения

Для получения индексного изображения, значение яркости каждого пиксела вычисляется путем применения арифметических операций над значениями яркости этого пиксела из разных каналов снимка.

Что дает такое изображение? При изучении объектов по многозональным снимкам часто важны не абсолютные значения, а характерные соотношения между значениями яркости объекта в различных спектральных зонах. На таких изображениях более ярко и контрастно выделяются искомые объекты по сравнению с исходным снимком.



Результат применения вегетационного индекса для данных MODIS

Примеры расчета индексных изображений.

Название индекса	Формула	Применение
Индекс содержания оксида железа	Отношение значений яркости в красном (К) канале к значениям яркости в синем канале (С). K/C	Для выявления содержания окислов железа
Индекс содержания глинистых минералов	Отношение значений яркости в пределах среднего инфракрасного канала (СИК). $СИК1/СИК2$ СИК1 это диапазон от 1.55 до 1.75 мкм, СИК2 это диапазон от 2.08 до 2.35 мкм.	Для выявления содержания глинистых минералов
Индекс содержания железистых минералов	Отношение значения яркости в среднем инфракрасном (СИК1 см. выше) канале к значению яркости в ближнем инфракрасном канале (БИК). $СИК1/БИК$	Для выявления содержания железистых минералов
Индекс красноцветности (RI)	Основан на различии отражательной способности красноцветных минералов в красном (К) и зеленом (З) диапазонах. $RI=K-Z/K+Z$	Для выявления содержания оксида железа в почве.
Нормализованный дифференциальный	Хлорофилл листьев растений отражает излучение в ближнем инфракрасном (БИК) диапазоне электромагнитного спектра и поглощает в	Показывает наличие и состояние растительности.

Индекс вегетационный (NDVI)	красном (К). Отношение значений яркости в этих двух каналах позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. $NDVI=(БИК-K)/(БИК+K)$	Значения NDVI варьируют в пределах от -1 до 1 <table border="1" data-bbox="1092 153 1515 657"> <thead> <tr> <th>Тип объекта</th> <th>Значение NDVI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Густая растительность</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Разряженная растительность</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Открытая почва</td> <td>0.025</td> </tr> <tr> <td>Облака</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Снег и лед</td> <td>-0.05</td> </tr> <tr> <td>Вода</td> <td>-0.25</td> </tr> <tr> <td>Искусственные материалы (бетон, асфальт)</td> <td>-0.5</td> </tr> </tbody> </table>	Тип объекта	Значение NDVI	Густая растительность	0.7	Разряженная растительность	0.5	Открытая почва	0.025	Облака	0	Снег и лед	-0.05	Вода	-0.25	Искусственные материалы (бетон, асфальт)	-0.5
Тип объекта	Значение NDVI																	
Густая растительность	0.7																	
Разряженная растительность	0.5																	
Открытая почва	0.025																	
Облака	0																	
Снег и лед	-0.05																	
Вода	-0.25																	
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	-0.5																	
Нормализованный дифференциальный индекс снега (NDSI)	NDSI – это относительная величина, характеризующая различие отражательной способности снега в красном (К) и коротковолновом инфракрасном (КИК) диапазонах. $NDSI=(K-КИК)/(K+КИК)$	Используется для выделения территорий, покрытых снегом. Для снега NDSI > 0,4.																
Водный индекс (WI)	$WI=0.90\text{мкм}/0.97\text{мкм}$	Применяется для определения содержания воды в растительности по гиперспектральным снимкам.																

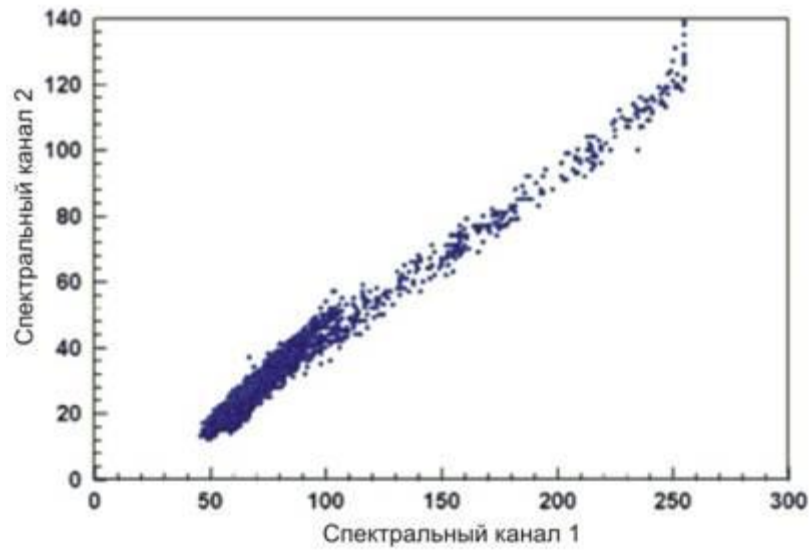


Анализ главных компонент (Principal Components Analysis).

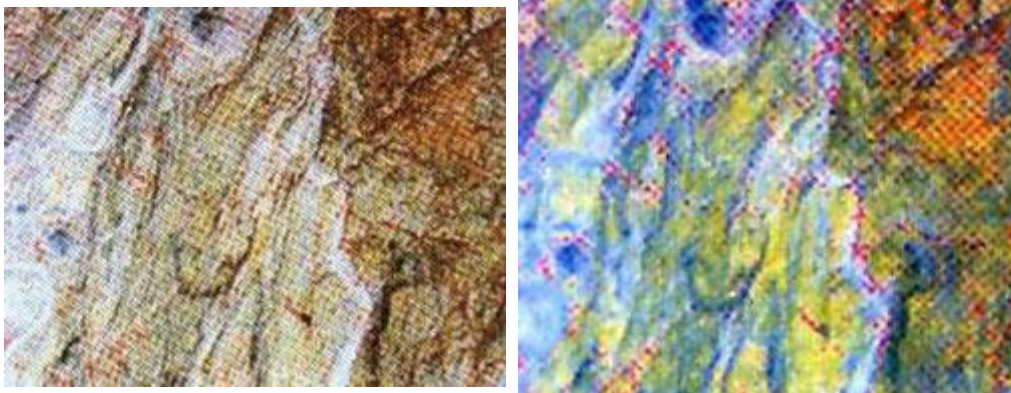
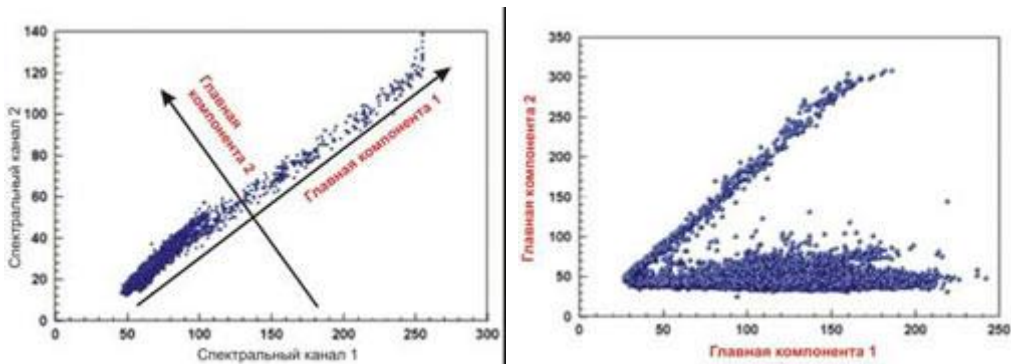
Анализ главных компонент это метод анализа многоспектральных коррелированных данных.

Понятие коррелированные данные означает, что при возрастании значения яркости пикселей в одном спектральном канале возрастают значения яркости и в других спектральных каналах.

На графике снизу показан пример двумерного пространства спектральных признаков, при возрастании значения в первом канале возрастает значение во втором, это означает высокую корреляцию между этими каналами [PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS: A BACKGROUND]. Видно, что область распределения значений расположена под углом к осям графика, поэтому ни по одной из этих осей не отображается весь диапазон значений объекта. Это значит, что при синтезировании цветного изображения снимок будет обделен цветами. Например, все виды растительности будут изображены близкими неразличимыми оттенками цвета. Такое расположение значений яркости характерно для большинства природных объектов (растительности, почв, горных пород).



Если оси координат развернуть так, чтобы одна из них шла параллельно полю распределения значений, а вторая располагалась ортогонально, то вдоль каждой из осей диапазон значений будет максимальным, что увеличит возможности дешифрирования снимка.



Фрагмент снимка, представленного в Снимок, обработанный по методу ложных цветов.

Снимок, обработанный по методу главных компонент.

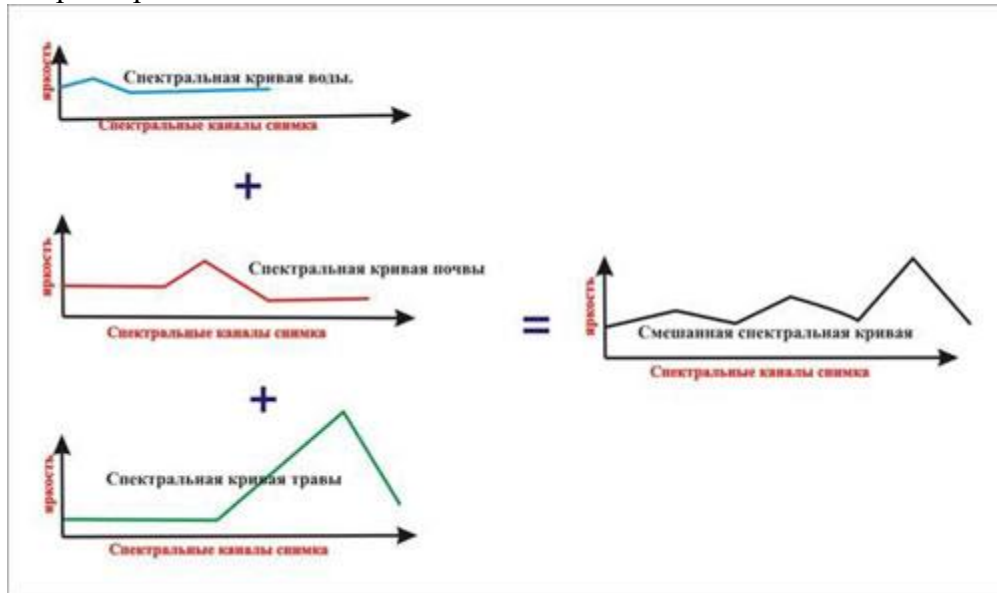
Возможности анализа главных компонент:

1. Если снимок содержит более трех спектральных каналов, можно создать цветное изображение из трех главных компонент, поскольку в типичном многозональном изображении обычно первые два или три компонента способны описать практически всю изменчивость спектральных характеристик. Остальные компоненты чаще всего подвержены шумовым воздействиям. Отбрасывая эти компоненты можно уменьшить объем данных без заметной потери информации.
2. Если объекты малого размера и низкого контраста плохо дешифрируются на исходных снимках, часто хорошо выявляются на изображениях отдельных спектральных компонент.
3. Такое преобразование проводят для серии разновременных снимков, приведенных в единую систему координат, для выявления динамики, которая ярко проявляется в одной или двух компонентах.

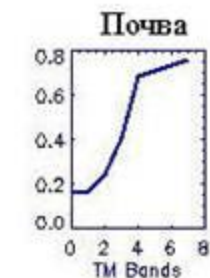
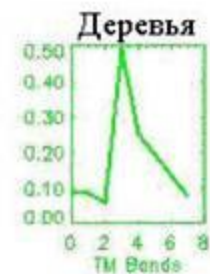
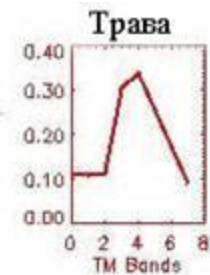
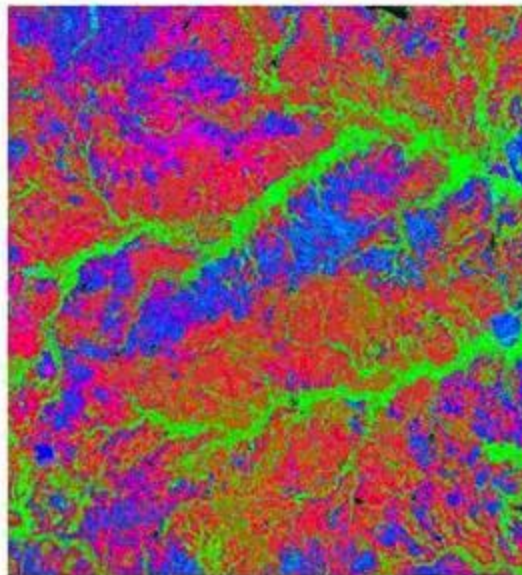
Метод спектрального разделения (Spectral Unmixing).

Один пиксел снимка может отображать от нескольких квадратных метров до тысяч квадратных метров поверхности Земли, и содержать информацию не об одном объекте, а о группе объектов, которые расположены на соответствующей территории.

Метод спектрального разделения применяют для распознавания на снимках объектов, размер которых значительно меньше размера пиксела.



Суть метода состоит в следующем: смешанные спектры анализируют, сравнивая их с известными чистыми спектрами, например, из спектральных библиотек чистых материалов. Происходит количественная оценка соотношения данного известного (чистого) спектра и примесей в спектре каждого пиксела. После выполнения такой оценки может быть получено изображение, раскрашенное так, что цвет пиксела будет означать, какой компонент преобладает в спектре это пиксела.



Классификации.

Классификация - это компьютерное дешифрирование снимков или процесс автоматизированного подразделения всех пикселей снимка на группы (классы), которые соответствуют разным объектам.

Существуют разные виды классификаций:

- **Классификация с обучением;**
- **Классификация без обучения.**

Классификация с обучением - это процесс, при котором происходит сравнение значения яркости каждого пикселя с эталонами, в результате, каждый пиксел относится к наиболее подходящему классу объектов.

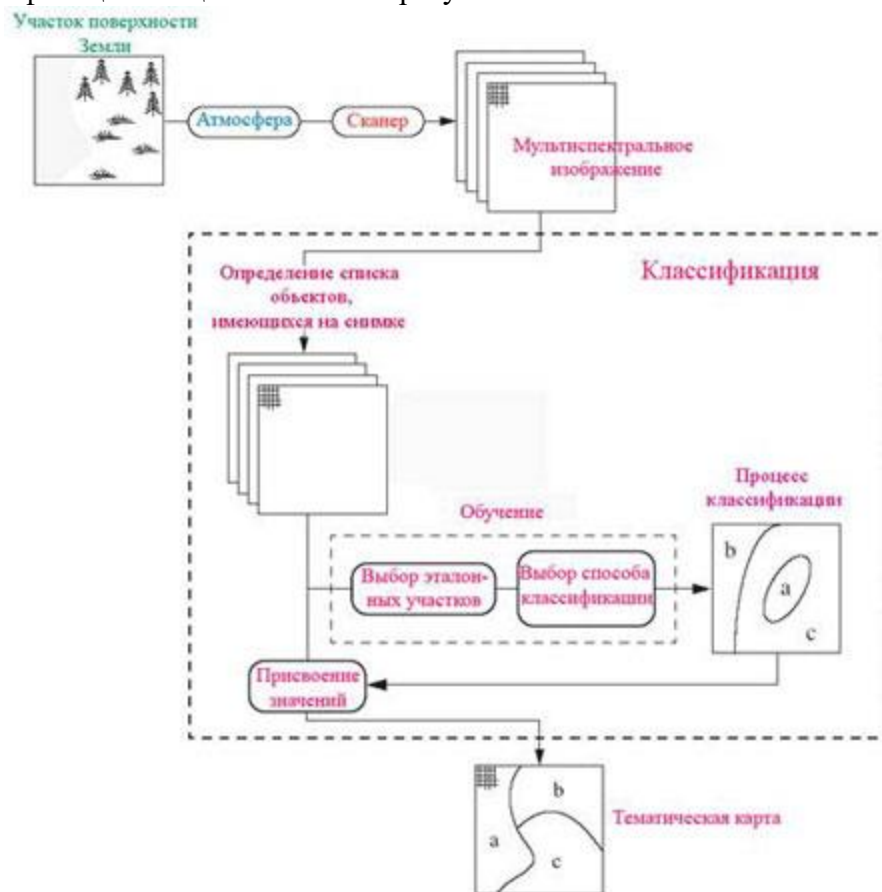
Классификацию с обучением можно применять, если:

- заранее известно, какие объекты есть на снимке;
- на снимке имеется небольшое количество (до 30) классов;
- эти классы четко различаются на снимке.

Процесс классификации с обучением включает в себя несколько этапов.

Этапы классификации с обучением:

- определение задач обработки снимка и выбор способа классификации;
- выбор эталонных участков;
- проведение классификации и оценка качества результатов.

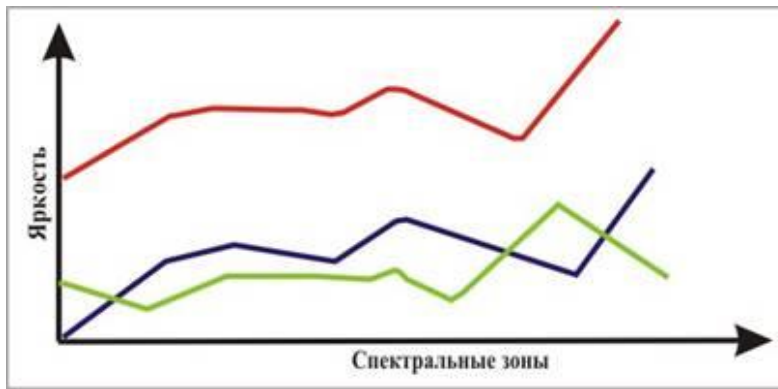


На рисунке изображены этапы получения и обработки мультиспектральных изображений.

Определение задач обработки снимка и выбор способа классификации.

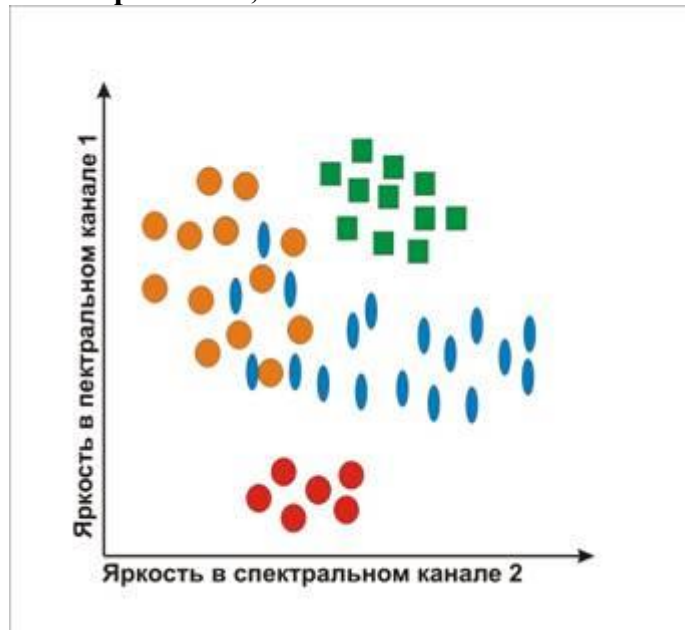
На данном этапе обработки снимка нужно:

4. **Определить список дешифрируемых объектов, оценить характер распределения значений яркости этих объектов:**
 - а) на снимке;



На рисунке изображены спектральные кривые трех объектов, кривые красного и синего объекта имеют схожую форму и сильно отличаются по значениям яркости, в то время как синий и зеленый объекты имеют близкие значения яркости и сильно различаются по форме.

б) в пространстве спектральных признаков;



На рисунке характер распределения значений яркости в пространстве спектральных признаков, области значений яркости красного и зеленого объектов имеют изометричную форму и не пересекаются с другими, области оранжевого и синего цвета пересекаются и имеют сложную форму.

5. Выбрать способ классификации, или правило, в соответствии с которым, будет осуществляться распределение пикселей изображения на классы:

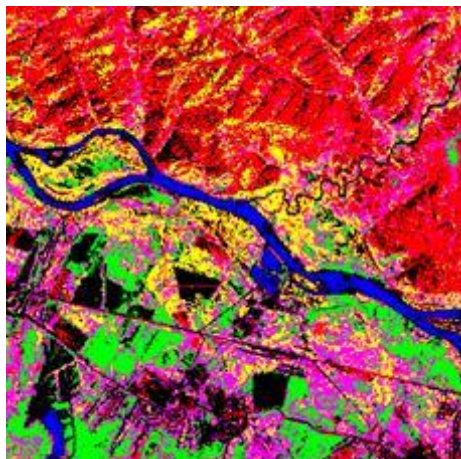
<p>Способ спектрального угла. Способ спектрального угла дает хорошие результаты, когда нужно провести классификацию для объектов, которые имеют схожие значения яркости.</p>	<p>Способ минимального расстояния. Способ минимального расстояния применяют, когда области значения яркости объектов пересекаются.</p>	<p>Способ параллелепипедов. Способ параллелепипедов применяют, когда области значения яркости объектов не пересекаются.</p>
<p>Способ максимального правдоподобия. Этот способ применяют в особенно сложных случаях, когда области значений яркости разных классов в пространстве признаков перекрываются и имеют сложную (или вытянутую) форму.</p>	<p>Способ дистанции Махаланобиса. Этот способ является более точным, по сравнению со способом минимального расстояния, поскольку учитывает распределение значений яркости обучающих выборок.</p>	<p>Бинарное кодирование. Этот способ применяют, если все пиксели на снимке нужно разделить на два класса.</p>

Способ спектрального угла.

Способ спектрального угла дает хорошие результаты, когда нужно провести классификацию для объектов, которые имеют схожие значения яркости во всех спектральных диапазонах. Кроме того, поскольку этот способ не учитывает значения яркости пикселей, то на результаты не влияют и эффекты засветки снимков.



Первоначальный снимок Landsat.



Результат классификации способом спектрального угла.



способом

При классификации способом спектрального угла:

- 1) предварительно создают эталонные участки;
- 2) все пиксели снимка, в том числе и эталонные, рассматриваются как векторы в пространстве спектральных признаков;
- 3) задается максимально допустимый спектральный угол, то есть, если угол между эталонным вектором и вектором пикселя, который подвергается классификации меньше максимального, то этот пиксел относится к данному классу, если больше - не относится.

Примечание: классы, полученные способом спектрального угла, зависят от угла между векторами яркости пикселей и не зависят от длины вектора (значения яркости).



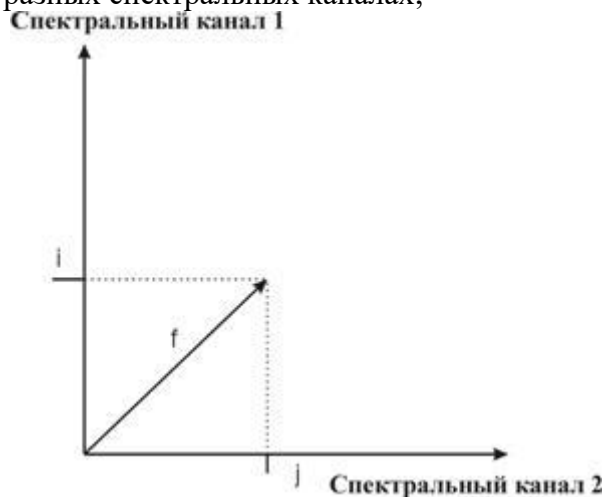
Способ минимального расстояния.

Этот способ используют, когда спектральные признаки разных классов похожи, и диапазоны значений их яркости перекрываются.



В процессе классификации способом минимального спектрального расстояния:

- 1) предварительно создают эталонные участки;
- 2) значения яркости пикселей рассматривается как вектор f_{ij} в пространстве спектральных признаков, i и j это значения яркости пиксела в разных спектральных каналах;

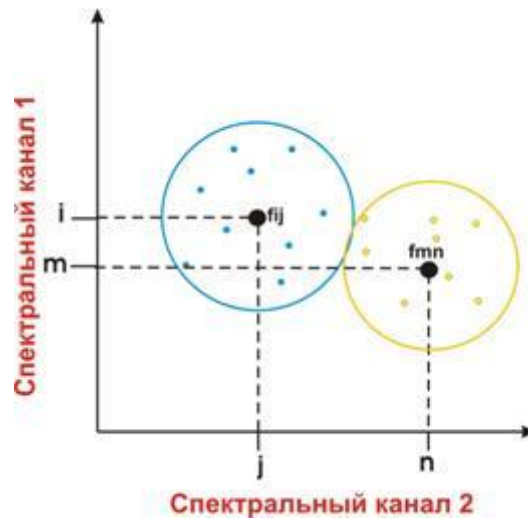


- 3) высчитывается спектральное расстояние между эталонными векторами и векторами значений яркости всех пикселей снимка, расстояние между двумя векторами (r) рассчитывается по формуле,

$$r = \sqrt{\sum_k (f_{kij} - f_{kmn})^2}$$

где k – номер спектрально канала; это расстояние (как видно из формулы) рассчитывается совокупно по всем спектральным каналам.

- 4) далее происходит распределение пикселей по классам, если расстояние от данного вектора до эталонного меньше заданного значения (которое задают предварительно), то этот вектор относят в данный класс, если расстояние больше заданного значения, относят в другой класс, или не относят ни в какой из классов.

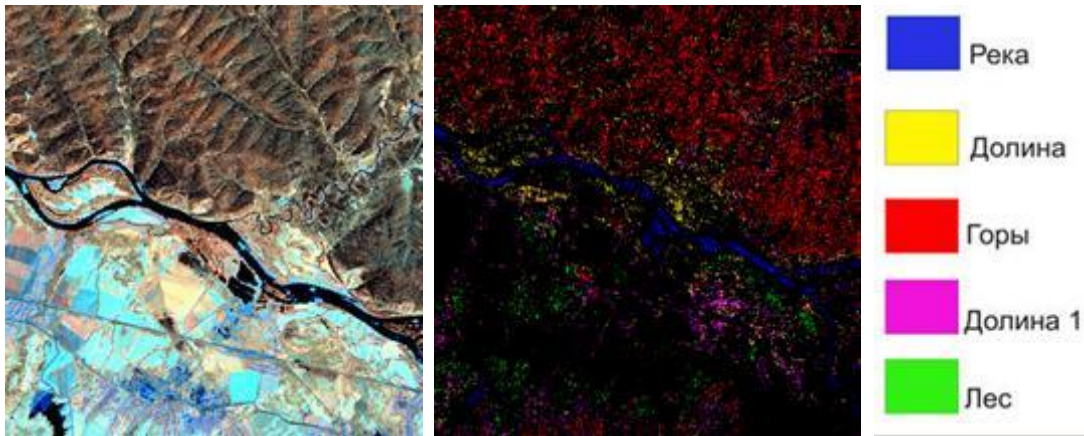


В двумерном пространстве спектральных признаков полученные классы выглядят как округлые области, в многомерном пространстве, как шарообразные области.

Примечание! Недостаток этого метода заключается в том, что при его применении не учитывается распределение (дисперсия) значения яркости пикселей в эталонных участках.

Способ параллелепипедов.

Способ параллелепипедов применяют, когда области значения яркости объектов не пересекаются.



Первоначальный снимок Landsat.

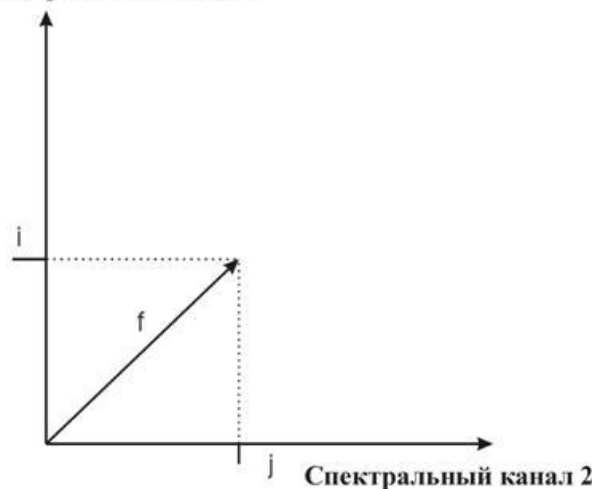
Результат классификации способом спектрального угла.

способом

В процессе классификации способом параллелепипедов:

1. <предварительно создают эталонные участки;
2. значения яркости пикселей рассматривается как вектор f_{ij} в пространстве спектральных признаков, i и j это значения яркости пикселя в разных спектральных каналах;

Спектральный канал 1



3. высчитывается спектральное расстояние между эталонными векторами и векторами значений яркости всех пикселей снимка,

расстояние между двумя векторами (r) рассчитывается по формуле,

$$r = \sqrt{\sum_k (f_{kij} - f_{kmn})^2}$$

где k – номер спектрально канала; это расстояние (как видно из формулы) рассчитывается совокупно по всем спектральным каналам.

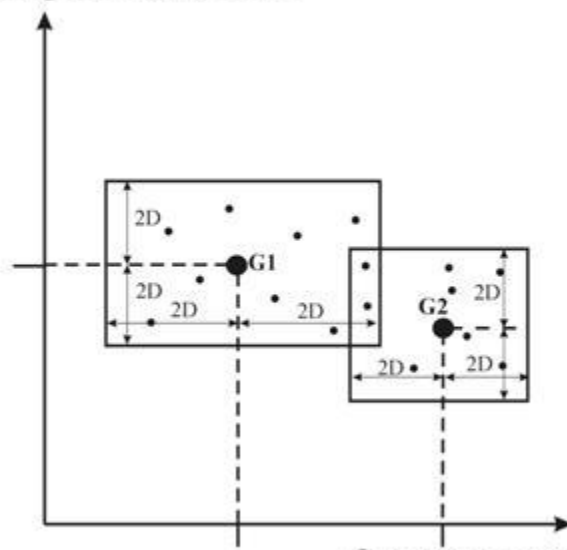
- то есть все как в способе минимального расстояния, но способ параллелепипедов использует дисперсию (D) что делает этот метод точнее, поскольку известно, что для выборки, значения которой распределены в соответствии с нормальным законом, 95.5% ее значений лежат в пределах отклонений от среднего значения, меньше чем $2D$ (смотри рисунок ниже);

- поэтому, при классификации методом параллелепипедов в данный класс включаются пиксели, значения яркости которых отстоят от среднего обучающей выборки меньше чем на $2D$.

Если обрисовать полученные области классов на плоскости (двумерное пространство признаков) полученная фигура будет прямоугольником, в 3х-мерном пространстве – параллелепипедом.

Прямоугольники могут частично перекрываться, в этом случае возникает неопределенность.

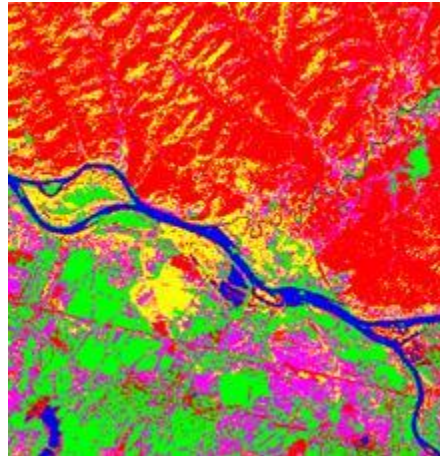
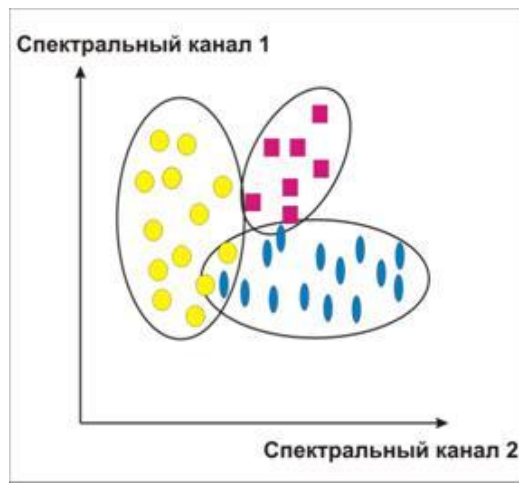
Спектральный канал 1



Спектральный канал 2

Способ максимального правдоподобия.

Способ максимального правдоподобия рассчитывает вероятность, с которой данный пиксел принадлежит к какому-либо классу. Количество и параметры классов задаются пользователем, путем указания обучающих выборок. Каждый пиксел относится к тому классу, к которому он может принадлежать с наибольшей вероятностью. При расчете вероятности учитывается яркость пиксела и яркости окружающих его пикселей. В двумерном пространстве спектральной яркости, полученные данным способом классы, описываются эллипсами, а в многомерном - эллипсоидами



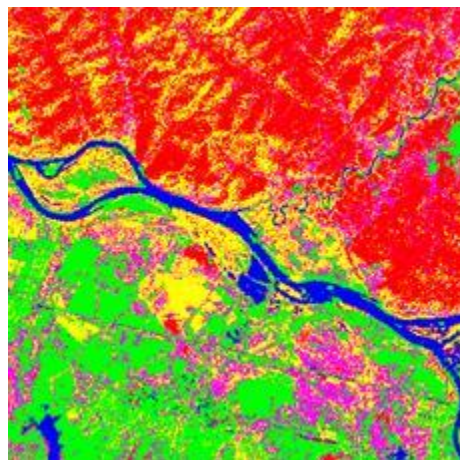
Первоначальный снимок Landsat.

Результат классификации способом максимального правдоподобия.

способом

Способ дистанции Махаланобиса.

Этот способ классификации похож на способ минимального расстояния, а отличается тем, что в процессе классификации измеряется не эвклидово (как в способе минимального расстояния), а расстояние Махаланобиса. Это означает, что этот способ учитывает распределение (дисперсию) значений яркости пикселей в эталонных участках. Поэтому, если эвклидово расстояние от вектора яркости данного пиксела, до двух эталонных векторов одинаково, то этот пиксел будет отнесен в тот класс, дисперсия эталонной выборки которого больше.



Первоначальный снимок Landsat.

Результат классификации способом дистанции Махаланобиса.

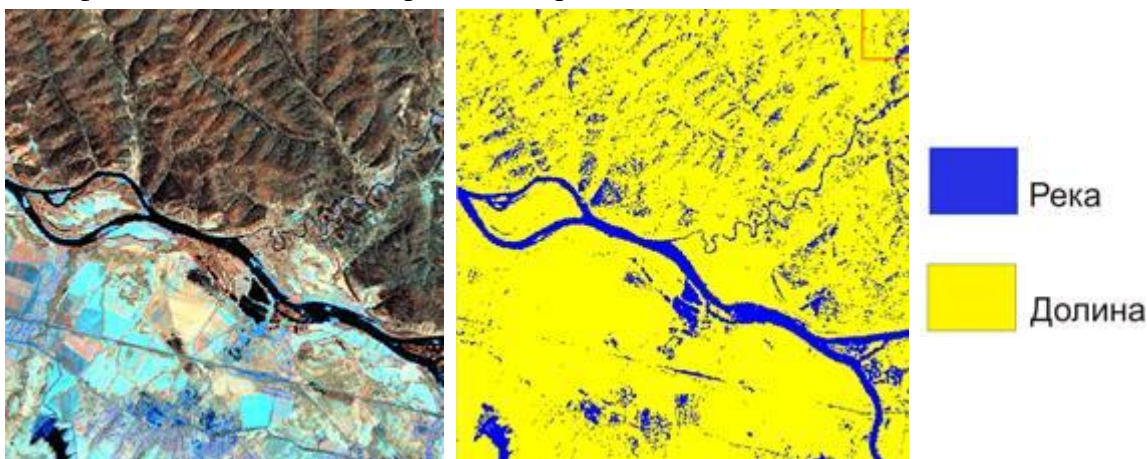
способом

Бинарное кодирование.

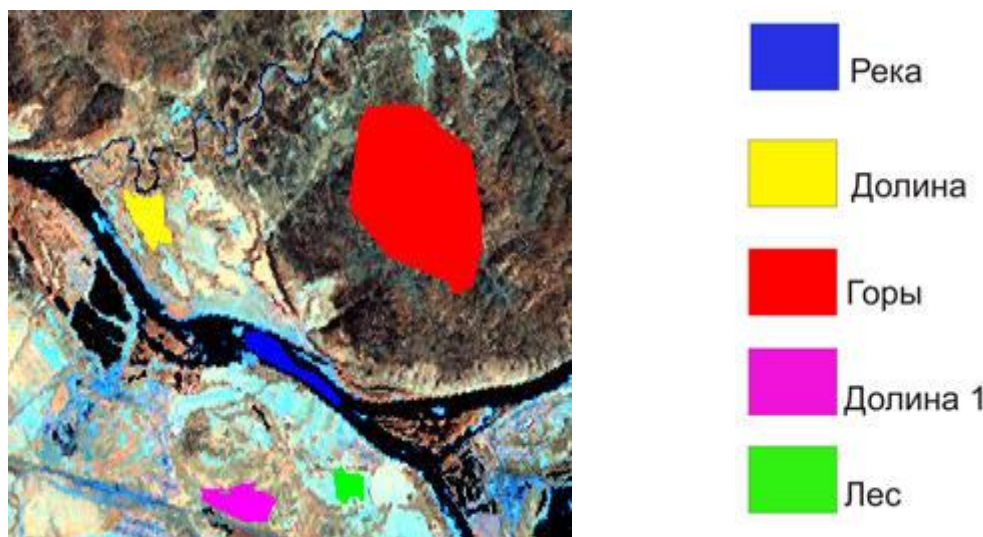
Если на снимке все пиксели нужно разделить на два класса, например, вода - суша, можно использовать метод бинарного кодирования. При бинарном кодировании всем пикселям присваивается одно из двух

значений на основе сравнения со значениями эталонных выборок. Во время классификации значения каждого пиксела сравниваются со средним эталонной выборки. В результате получается бинарное изображение.

Результат классификации способом бинарного кодирования.



Выбор эталонных участков подразумевает цифрование фрагментов снимка, однородных по яркости и расположению.

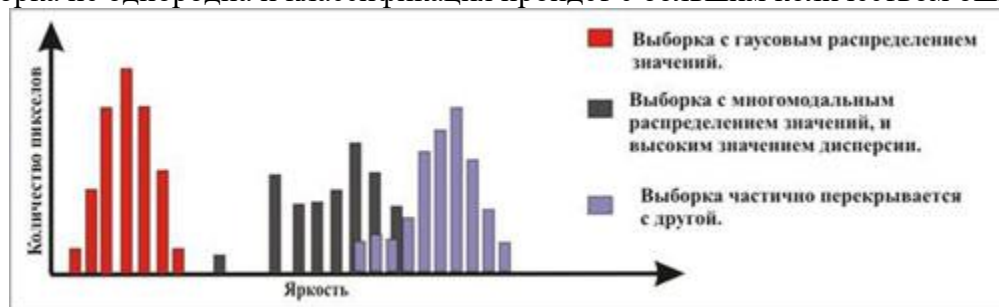


На рисунке оцифрованные эталонные участки.

Согласно эмпирическому правилу каждый эталонный участок должен содержать в 10-100 раз больше пикселей, чем число спектральных каналов снимка.

Способы оценки качества эталонных участков.

а) Построить и оценить кривую распределения значений яркости пикселей на выбранном участке: характер распределения должен подчиняться нормальному (гаусовому) закону распределения; для оценки однородности обучающей выборки, оценить величину дисперсии, если дисперсия имеет высокое значение, то выборка не однородна и классификация пройдет с большим количеством ошибок.



б) Совместить кривые распределения значений яркости пикселей всех обучающих выборок, чтобы оценить их различимость. Если выборки значительно перекрываются, классификация пройдет с большим количеством ошибок.

После выполнения процесса классификации нужно оценить достоверность полученных результатов.

Оценка достоверности производится:

а) визуально, чтобы выявить грубые ошибки,

в) количественно, то есть контрольные участки классифицированного изображения сравнивают с наземными данными (картами, снимками крупного масштаба, литературными данными).

Если количество ошибок превышает установленные для конкретной задачи пределы, то создают новые обучающие выборки, и процесс классификации повторяют.

Классификация без обучения.

Классификации без обучения это процесс, при котором распределение пикселей изображения происходит автоматически, на основе анализа статистического распределения яркости пикселей.

Следует отметить, что перед началом классификации неизвестно сколько, и каких объектов есть на снимке, а после проведения классификации необходимо дешифрирование полученных классов, чтобы определить, каким объектам они соответствуют.

Таким образом, классификацию без обучения применяют в случае если:

а) заранее неизвестно какие объекты есть на снимке;

б) на снимке большое количество объектов (более 30) со сложными границами;

в) также можно применять, как предварительный этап перед классификацией с обучением.

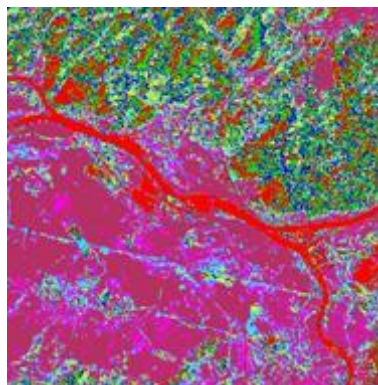
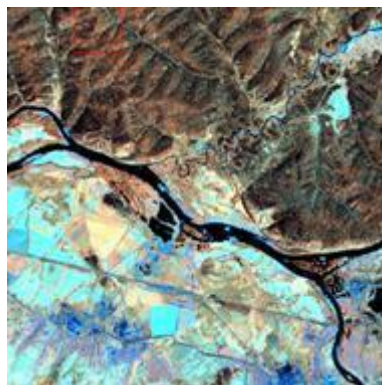
Наиболее распространенные методы классификации без обучения:

1. ISODATA;
2. К-Средних.

ISODATA

Метод классификации без обучения ISODATA (Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных – Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique).

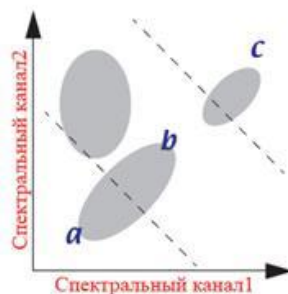
ISODATA это процесс, который основан на кластерном анализе. К одному классу относятся пиксели, значения яркости которых наиболее близки в пространстве спектральных признаков.



Первоначальный снимок Landsat. Результат классификации ISODATA.

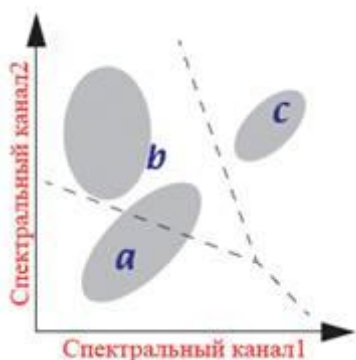
Этапы классификации ISODATA:

- 1) расчет статистических параметров распределения яркостей всего снимка в каждой спектральной зоне (минимальное, максимальное, среднее значение, стандартное отклонение);
- 2) все пиксели снимка делятся на n равных диапазонов в пространстве спектральных признаков, для каждого из них определяется среднее значение;



- 3) первая итерация кластеризации, то есть в пространстве спектральных признаков для каждого пиксела рассчитывается спектральное расстояние до средних значений, и каждый пиксел относят в определенный

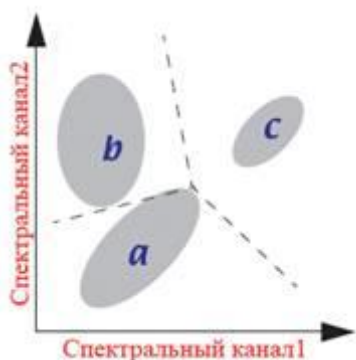
кластер. В один кластер попадают те пиксели, между которыми меньше расстояния в пространстве спектральных признаков;



4) расчет реальных средних значений для полученных классов;



5) следующая итерация с новыми значениями средних, и уточнение границ классов, при этом число классов может меняться.



Рисунки принадлежат (Dr. Robert A. Schowengerdt, schowengerdt@ece.arizona.edu, 520-621-2706 (voice), -8076 (fax)).

Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное (заранее установленное) количество итераций или достигнут максимальный процент пикселей не изменивших свой класс во время последней итерации (этот параметр тоже задается заранее).

К-Средних.

Метод классификации без обучения К-Средних Отличается от метода ISODATA тем, что требует изначального задания некоторого количества средних значений для формирования начальных классов, следовательно, этот метод используют, когда объекты на снимке достаточно хорошо различаются.