

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция 8

«Дистанционные методы в геологии. Аэрофотосъемка»

Дистанционные методы

Дистанционными называются методы изучения строения преимущественно верхних частей земной коры на расстоянии. При этом изучаются не столько сами объекты, сколько их выражение в различных физических полях: (гравитационном, электромагнитном, звуковом), полученное на удалении от земной поверхности.

В геологии применяются самые разнообразные дистанционные методы, которые делятся на несколько основных типов в соответствии с тем, какую часть спектра (диапазон) электромагнитного поля они используют.

Диапазоны электромагнитного излучения (длины волн):

- **гамма-излучение** ($< 0,01$ нм);
- рентгеновское излучение ($0,01 - 10$ нм);
- ультрафиолетовое излучение ($10 - 400$ нм);
- **оптическое излучение**, или видимый спектр ($\approx 400 - \approx 700$ нм);
- **инфракрасное излучение** (≈ 700 нм – 200 мкм); **тепловое**
- **радиоизлучение** (> 200 мкм)

Различные диапазоны электромагнитного излучения несут информацию о разных свойствах структурных элементов земной коры. Наиболее часто используются снимки в видимой и инфракрасной частях спектра, полученные с различных летательных аппаратов – "Материалы аэро-космических съемок" (МАКС)

Виды МАКС по высоте полета летательного аппарата:

1. **Космофотосъемка** земной поверхности (первые сотни км) выполняется с искусственных спутников Земли.
2. **Аэрофотосъемка (АФС)** выполняется с самолетов и вертолетов:
 - 2а – **высотная** (5-10 км).
 - 2б – **стандартная** (1-5 км).
 - 2в – **низковысотная** (100-300 м)

Виды МАКС по цветности:

1. **Цветная** – снимки получают в естественных цветах местности;
2. **Черно-белая** – снимки получают в оттенках серого. Это позволяет снять излишнюю пестроту изображения территории, сохраняя **фототон** – интенсивность серого цвета и фактуры изображения.
3. **Спектральная** – с помощью фильтров получают снимки определенных частей спектра и раскрашивают их в условные цвета. Технология позволяет совмещать и комбинировать изображения отдельных частей видимого спектра.

**Каковы основные диапазоны
видимого спектра (качественно)?**

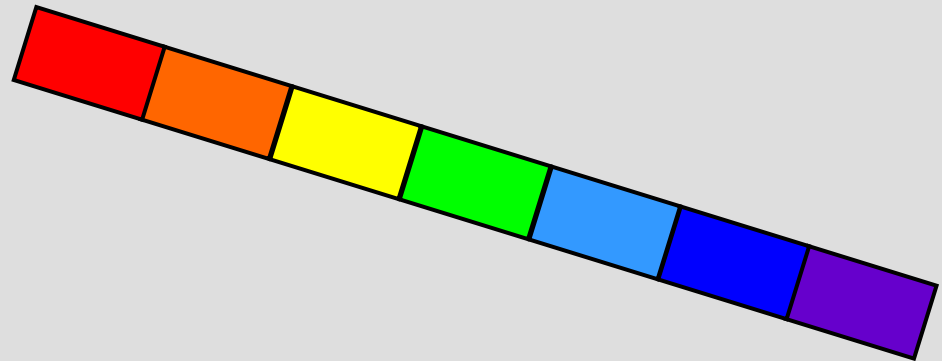


Фото М. Рысакова

Лекции и фото Ал.В. Тевелева

Стандартный набор космических снимков спутника LANDSAT

1 канал

(0,45-0,52 мкм – **синий+голубой**);

2 канал

(0,53-0,61 мкм – **зеленый+желтый+оранжевый**);

3 канал

(0,63-0,69 мкм – **красный**)

4 канал

(0,78-0,90 мкм – *начало коротковолновой области инфракрасного спектра*);

5 канал

(1,55-1,75 мкм – *середина коротковолновой области инфракрасного спектра*);

6 канал

(2,09-2,35 мкм – *конец коротковолновой области инфракрасного спектра*);

7 канал

(10,45-12,5 мкм – *начало средневолновой области инфракрасного спектра*);

8. Панхроматический канал

(0,52-0,90 мкм – *от зеленого до красного + начало коротковолновой области инфракрасного спектра*).

ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

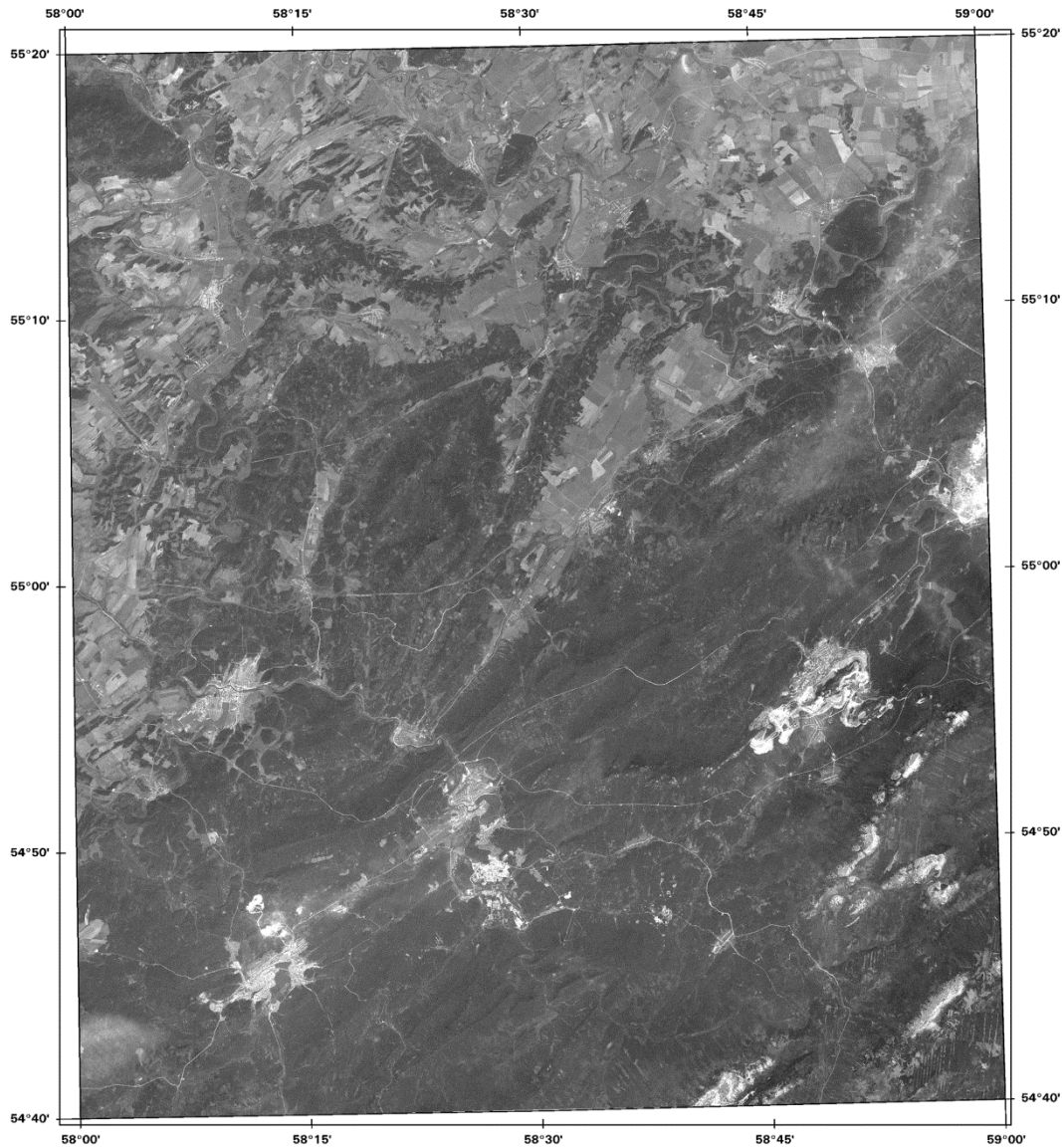
1 канал (0,45-0,52 мкм) KC LANDSAT

N-40-XI

1 канал

(0,45-0,52 мкм –
синий+голубой).

Малоконтрастен,
но структура на нем
кое-где проглядывает.



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

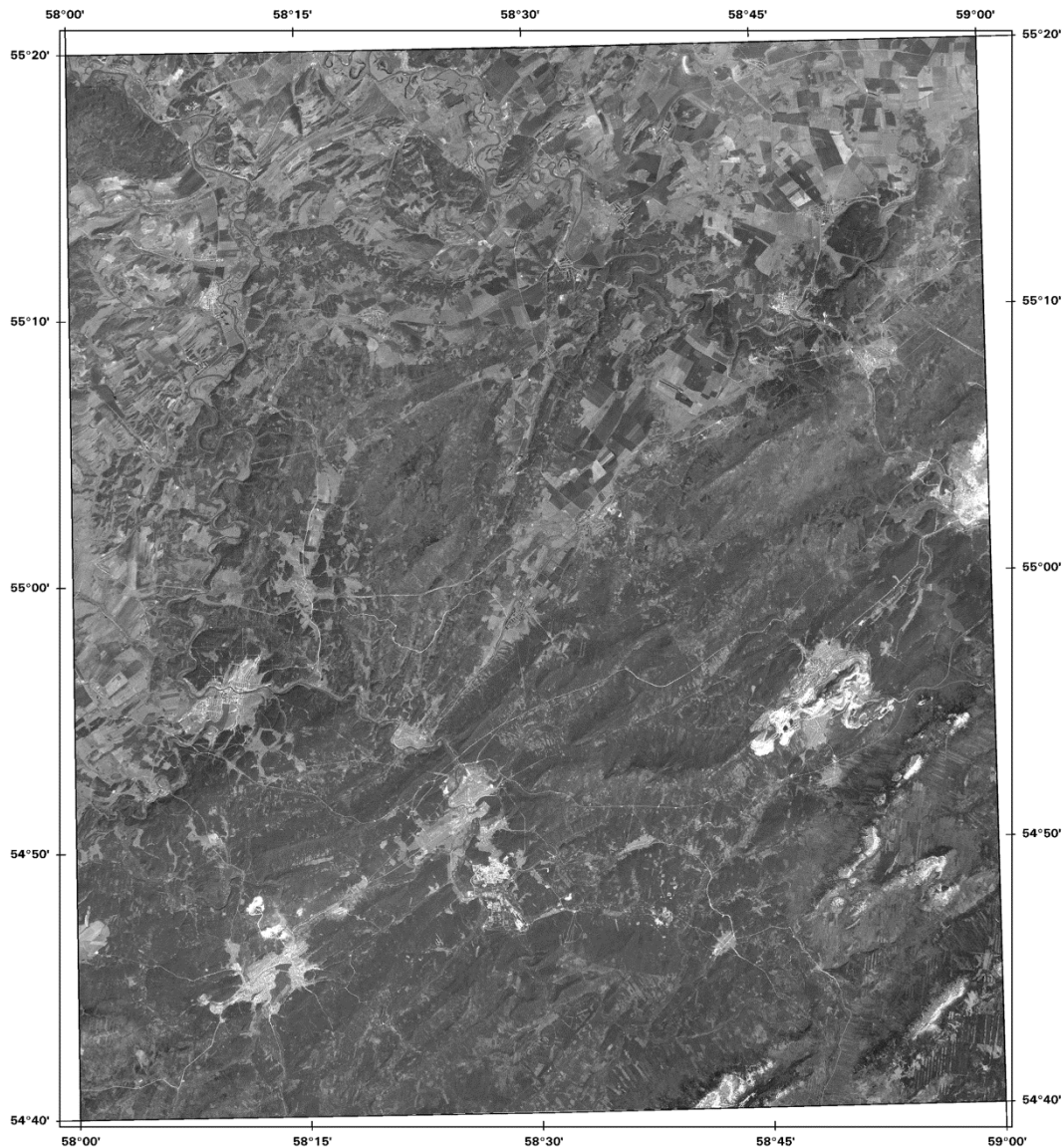
Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

2 канал (0,52-0,60 мкм) KC LANDSAT

N-40-XI



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



2 канал

(0,53-0,61 мкм –
зеленый+**желтый**
+оранжевый).

Тоже мало контрастен,
но структура на нем
кое-где проглядывает.

ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

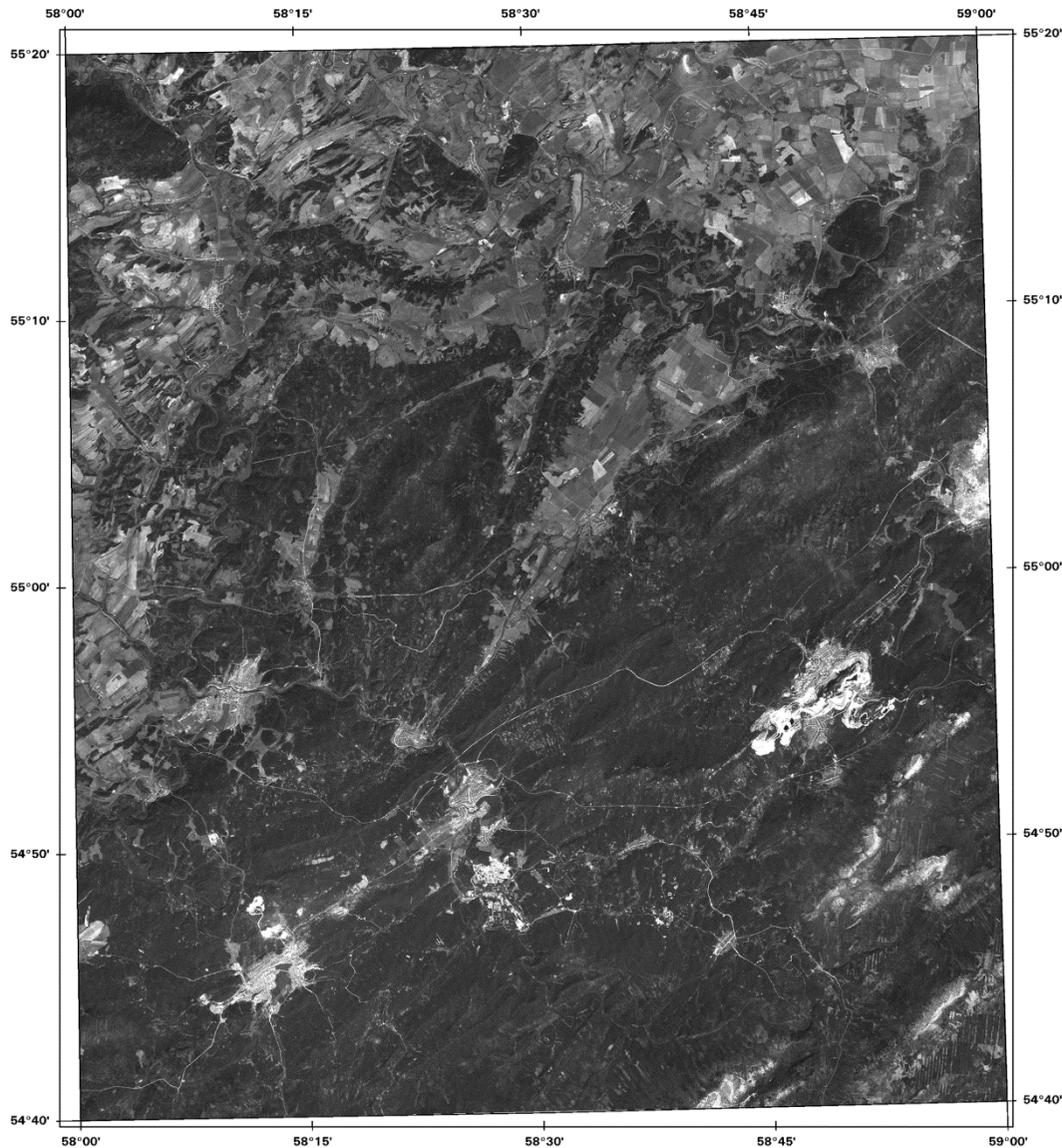
3 канал (0,63-0,69 мкм) КС LANDSAT

N-40-XI

3 канал

(0,63-0,69 мкм – *красный*).

Немного контрастнее
1 и 2 каналов и
структура на нем
кое-где проглядывает.



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

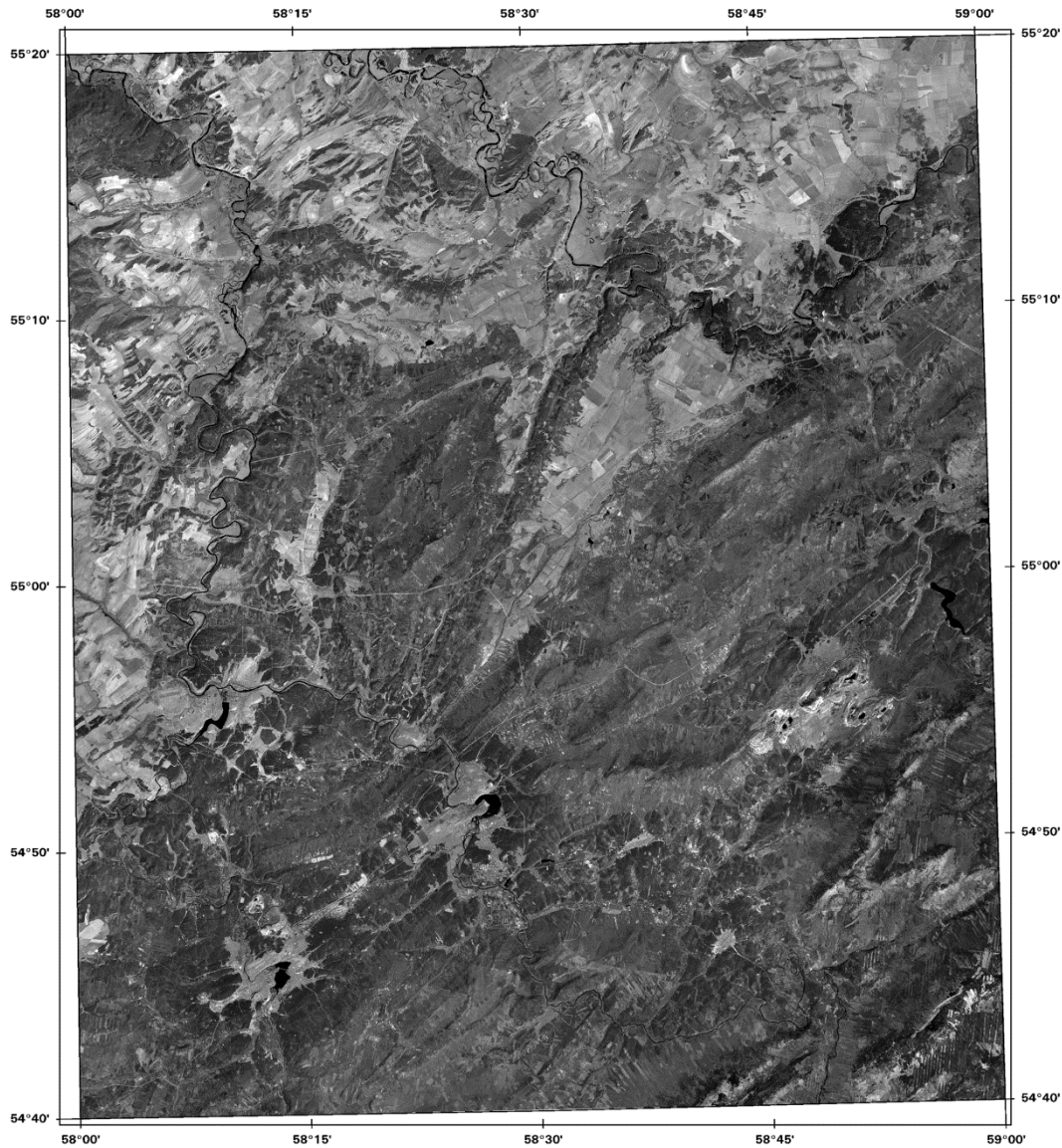
5 канал (1,55-1,75 мкм) KC LANDSAT

N-40-XI

5 канал

(1,55-1,75 мкм – середина коротковолновой области инфракрасного спектра).

Более контрастен, структура хорошо дешифрируется.



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

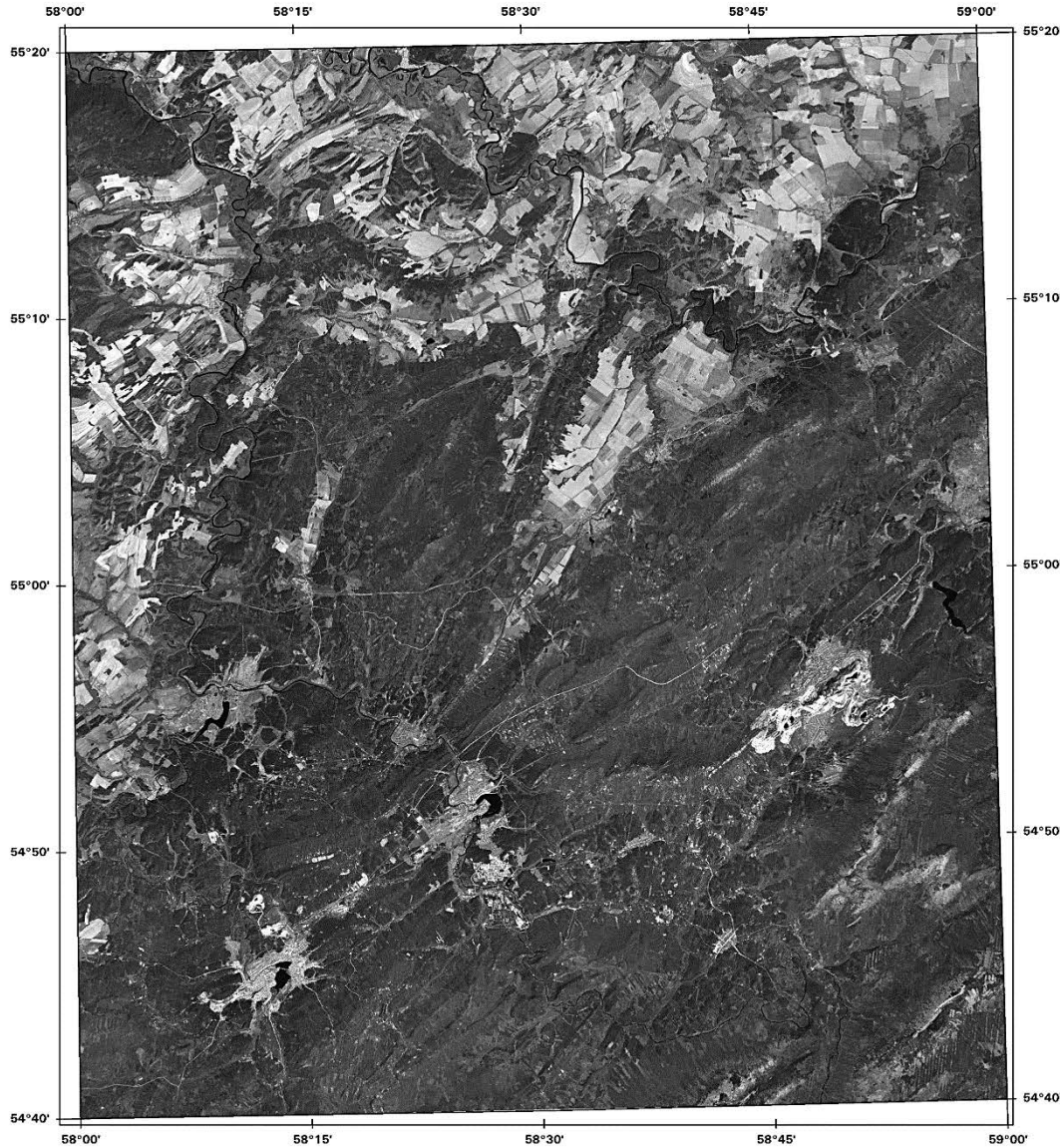
7 канал (2,08-2,35 мкм) KC LANDSAT

N-40-XI

7 канал

(2,09-2,35 мкм – конец коротковолновой области инфракрасного спектра).

Имеет оптимальную контрастность и среднюю плотность.



Масштаб 1:200 000

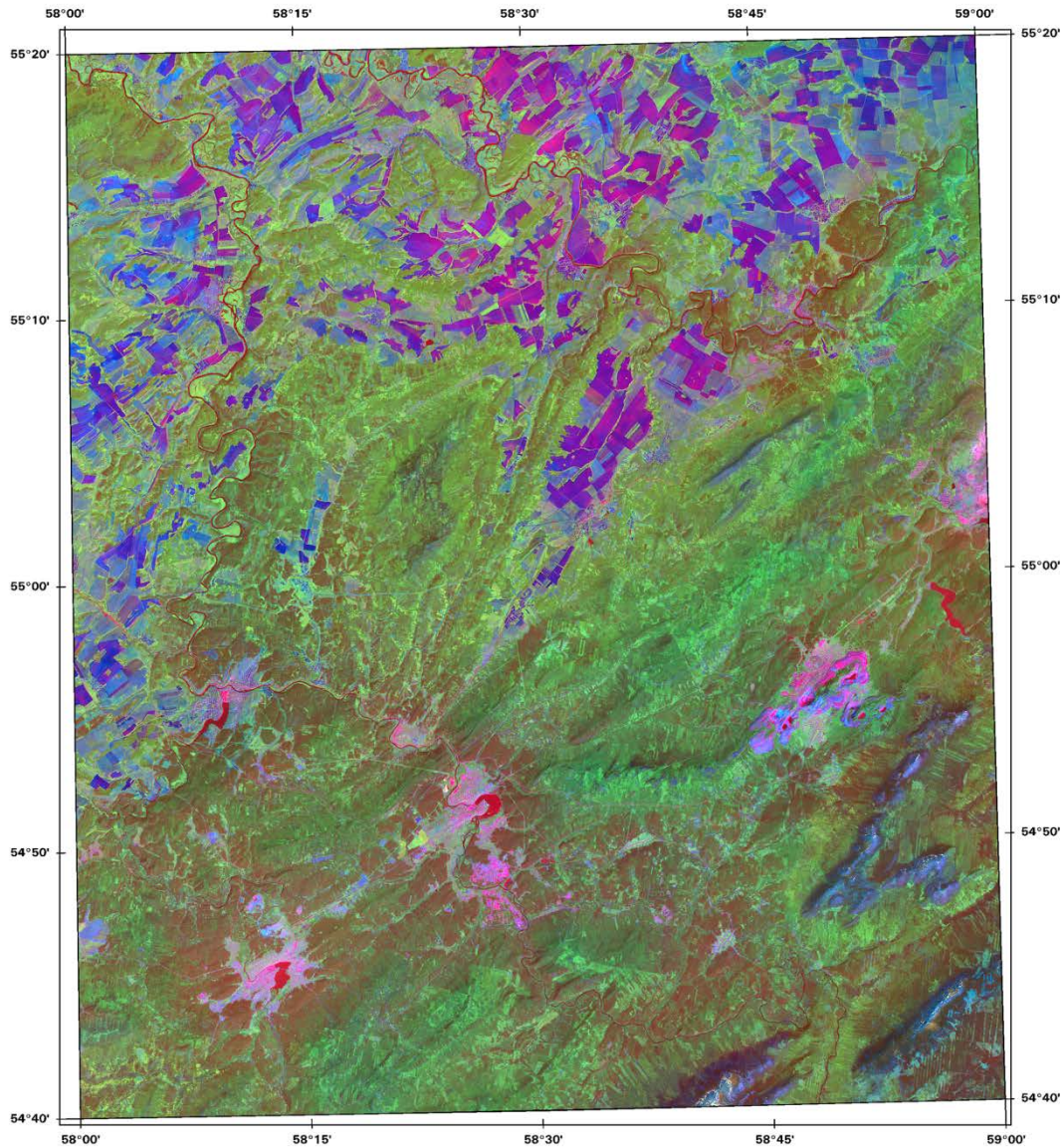
5 0 5 10 км

Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.

ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

Метод главных компонент.
Цветовая композиция RGB 4-й, 2-й и 1-й компонент KC LANDSAT

N-40-XI



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



Цветовая композиция 4, 2, 1 каналы

Цвета условные, структура
читается неплохо.

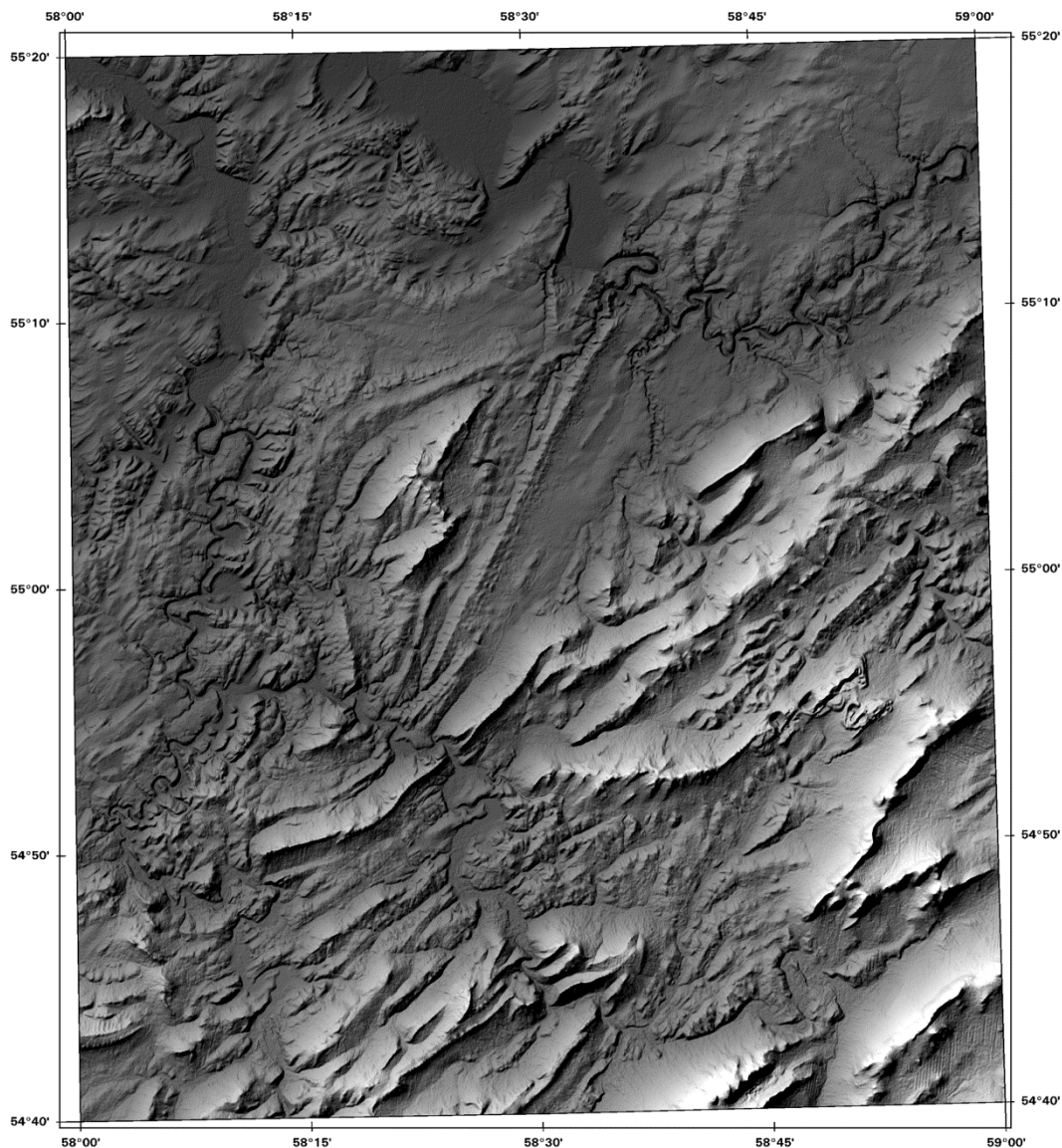
ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

Цифровая модель рельефа по данным SRTM
(азимут Солнца - 315°)

N-40-XI

Цифровой рельеф (азимут Солнца – 315)

При высоком рельефе и хорошей выраженности структура читается, при пологом рельефе – нет.



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

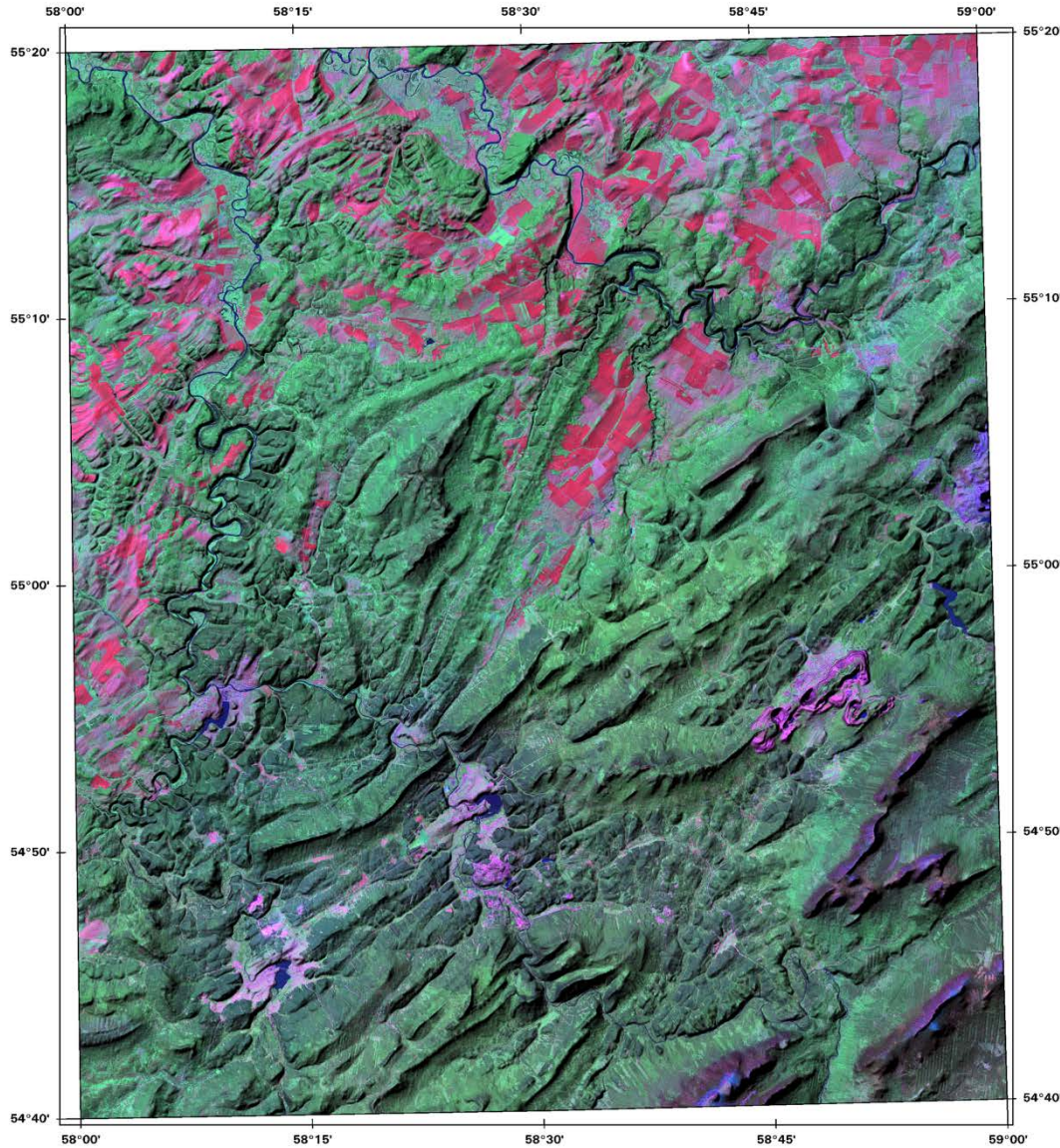
Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



ДИСТАНЦИОННАЯ ОСНОВА

Цветовая композиция RGB 7-го, 4-го и 2-го каналов,
совмещенная с рельефом

N-40-XI



Масштаб 1:200 000

5 0 5 10 км

Проекция Гаусса-Крюгера
Эллипсоид Красовского
Геодезическая система Пулково, 1942 г.



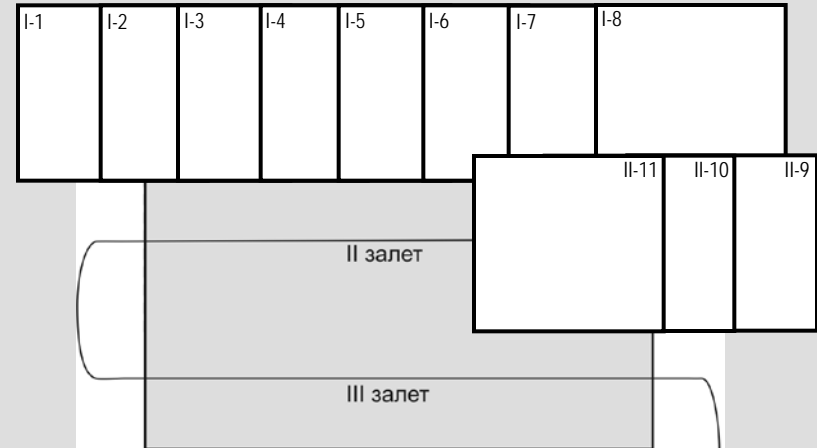
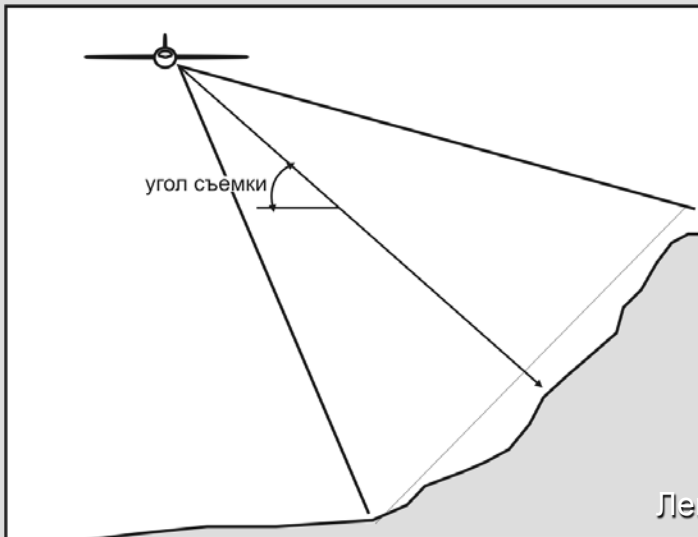
Цветовая композиция 7, 4, 2 каналы, совмещенные с рельефом

Цвета условные, структура
читается очень хорошо.

Виды аэрофотосъемки

1. Плановая. Фотографирование производится в вертикальном направлении, сверху вниз, с отклонением от вертикали не более 3° . Этим видом съемки покрывают большие территории, пролетая над ней *галсами* (залетами). Обычно залеты имеют широтную ориентировку. Это наиболее часто используемый вид съемки.

2. Перспективная. Съемка производится под острым углом к горизонту. Используется обычно для съемки больших участков крутых склонов в условиях горной местности.



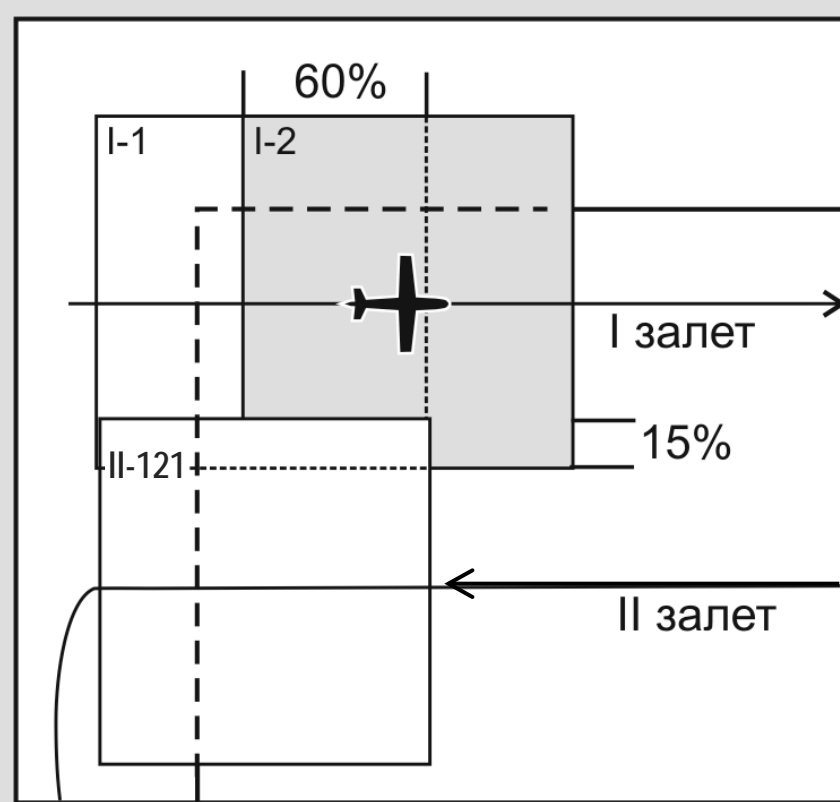
3. Маршрутная. Разновидность плановой съемки. Производится вдоль определенных направлений, долин рек, горных дорог и т.д. Особенно часто используется для съемки инженерной геологии.

Перекрытие АФС

Перекрытие АФС – "общая" часть земной поверхности, изображенная двух соседних снимках. По ходу залёта перекрытие должно составлять не менее **60%**, между соседними залетами – **15%** (ГОСТ)

Зачем вообще нужно перекрытие?

Зачем нужно перекрытие 60%?



Масштабы АФС

Ограничение накладывает разрешающая способность глаза (0,1–0,2 мм). Поэтому для решения различных задач используют АФС разного масштаба. По нормативам масштаб используемых АФС должен быть по крайней мере в 2 раза крупнее масштаба работ.

1. Региональные задачи – м-б АФС 1:1 000 000 – 1:200 000 (*космофотосъемка*).
2. Среднемасштабные геологосъемочные работы – м-б АФС 1:100 000 – 1:30 000 (*высотная и стандартная аэрофотосъемка*).
3. Крупномасштабные и детальные геологосъемочные работы – м-б АФС 1:17 000 – 1:10 000 (*низковисотная аэрофотосъемка*).

Геометрия снимка

Самолет не может лететь абсолютно ровно, ветры крутят его как хотят, т.е. в момент съемки самолет всегда в той или иной степени наклонен

1. Рабочая часть и поля снимка.

На полях (1а) помещают номер снимка и дополнительную информацию (номер заказа, дату и время съемки, пузырьковый уровень).

2. Главная точка снимка.

Изображение точки поверхности, куда нацелена оптическая ось камеры.

3. Координатные вершины снимка.

Метки, помогающие установить главную точку снимка.

4. Базис снимка.

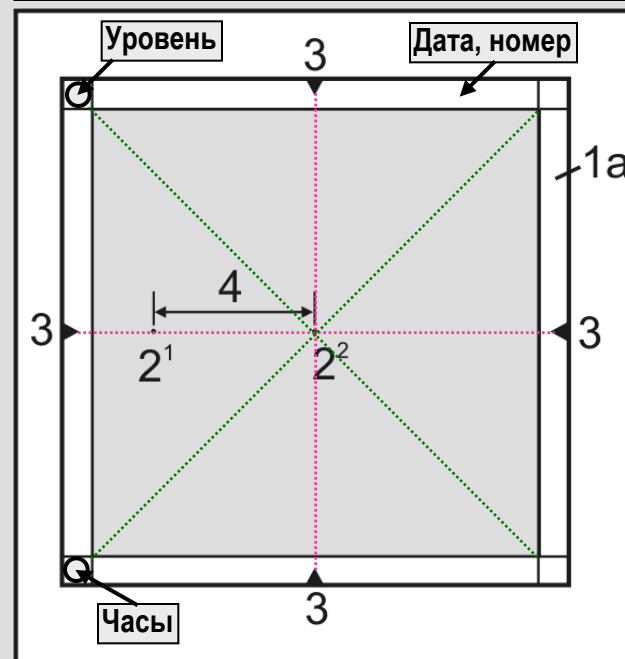
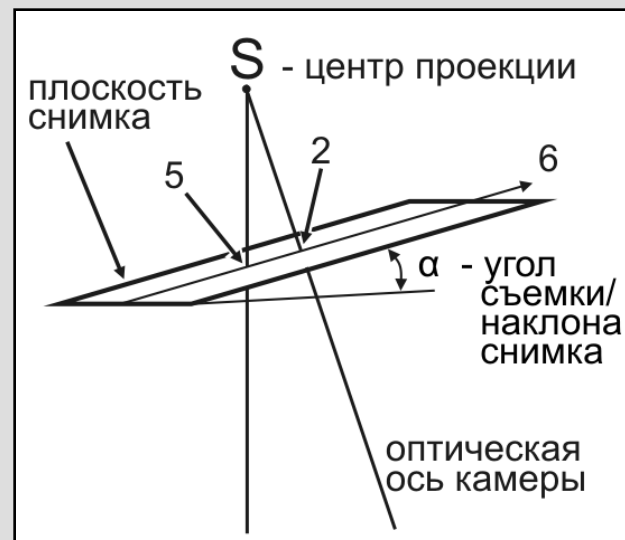
Расстояние между главной точкой текущего снимка и положением на нем главной точки предыдущего снимка.

5. Точка надира.

Изображение на снимке точки на поверхности земли, находящейся точно под самолетом.

6. Направление съемки.

Вектор, проходящий через главную точку и точку надира по направлению к следующему снимку.



1. Искажения, связанные с непостоянством масштаба

Снимок представляет собой центральную проекцию, а не плановую, как карта.

Стандартный масштаб снимка

$$1 / M = f / H, \text{ где}$$

f – фокусное расстояние камеры,

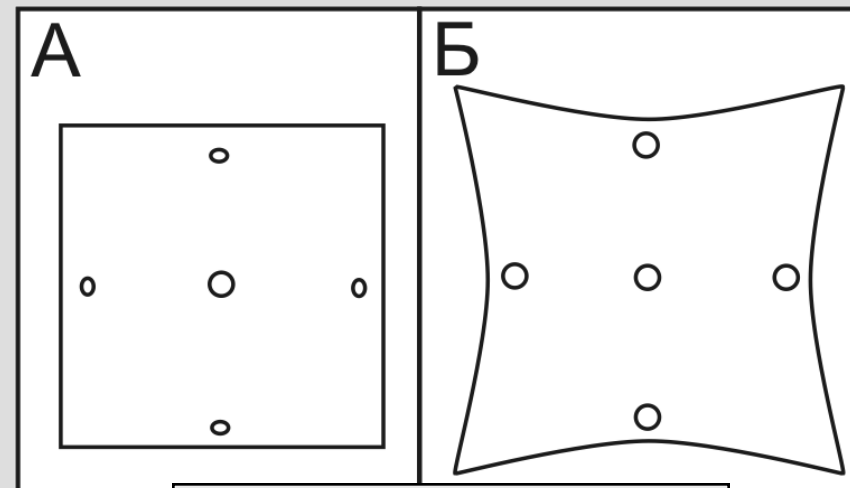
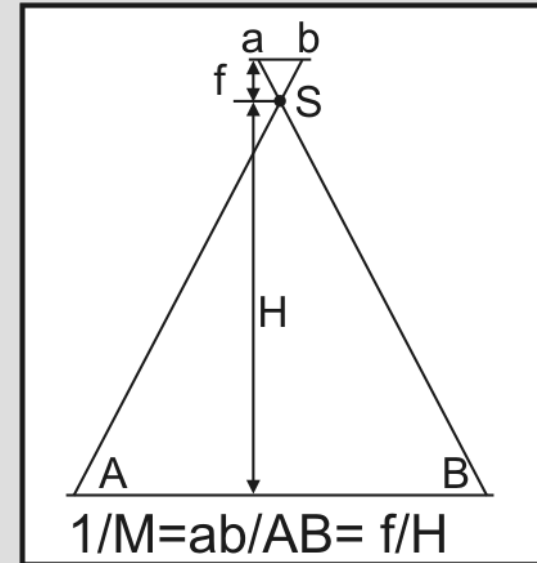
H – высота съёмки над местностью

Очевидно, что $SA = SB > H$, поэтому $M_H < M_{SA}$, т.е. в середине снимка масштаб крупнее, чем на краях.

Вследствие того, что масштаб изображения плавно изменяется по всему снимку, на нем **все объекты** изображены с **искажениями!**

Наименьшие искажения, связанные с непостоянством масштаба, наблюдаются в центре снимка, в пределах рабочей части.

На какой высоте надо лететь, чтобы камерой с объективом с $f = 100$ мм получить снимки масштаба 1:10 000?



Снимок (А) и территория, на нем изображенная (Б)

2. Искажения из-за наклона самолета

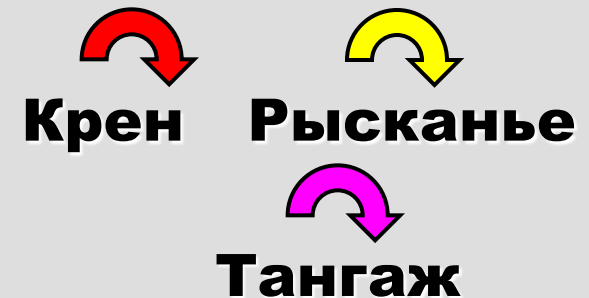
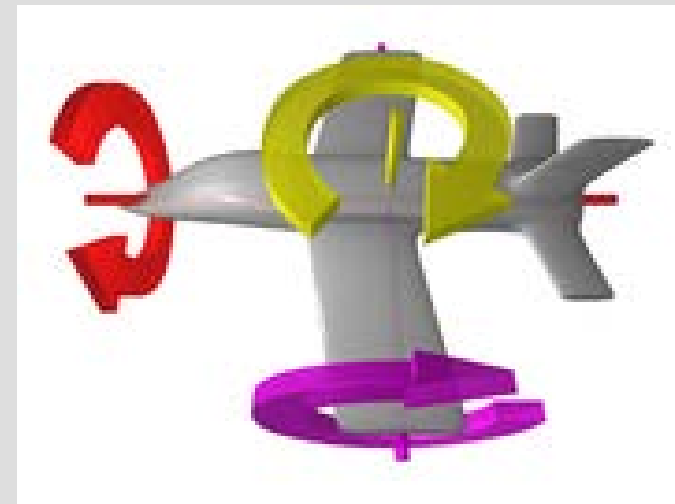
Самолет не может лететь абсолютно ровно, ветры крутят его как хотят, т.е. в момент съемки самолет всегда в той или иной степени наклонен относительно одной из осей

В идеальном случае, т.е. когда самолет расположен совершенно горизонтально и ориентирован строго по курсу, центральная точка снимка (о) совпадает с точкой надира (п). В реальном полете так не бывает, поэтому центральная точка снимка "гуляет" вокруг точки надира.

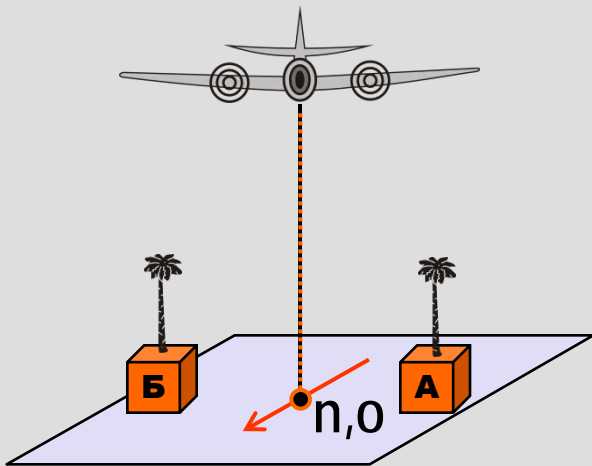
Крен – вращение самолета вокруг продольной оси, самолет "машет крылышками"

Рысканье – вращение самолета вокруг вертикальной оси, самолет летит немного боком по направлению полета: то правым, то левым

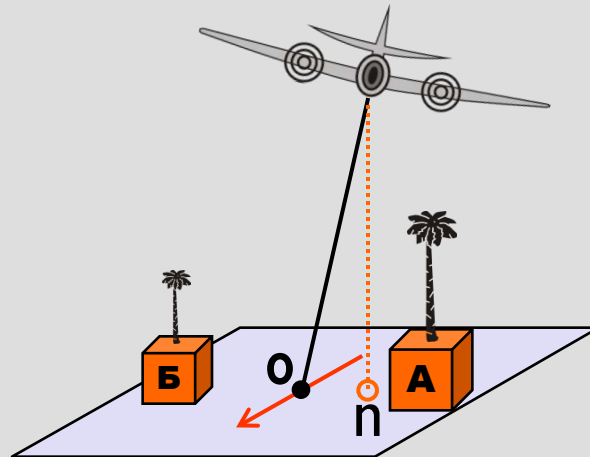
Тангаж – вращение самолета вокруг поперечной оси, самолет изменяет угол наклона к горизонту: то вверх, то вниз ("ныряет" и "выныривает")



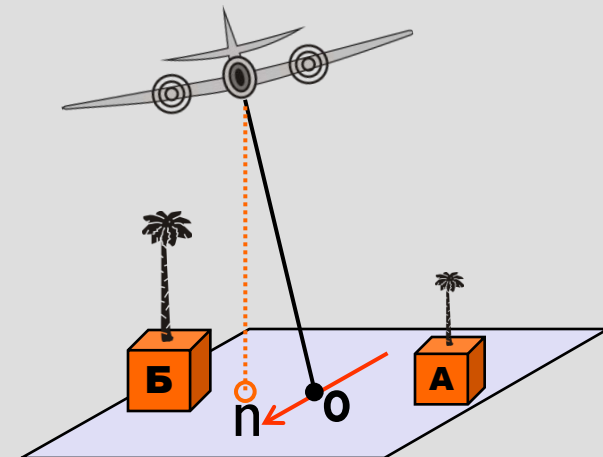
При **крене** самолет качается относительно продольной оси (качает крыльями). При левом крене центральная точка "уходит" вправо от точки надира, из-за чего масштаб части АФС, расположенной справа по лёту, становится мельче. При правом крене всё наоборот.



Масштаб объектов А и Б одинаков



Масштаб объекта Б мельче, чем масштаб объекта А



Масштаб объекта Б крупнее, чем масштаб объекта А

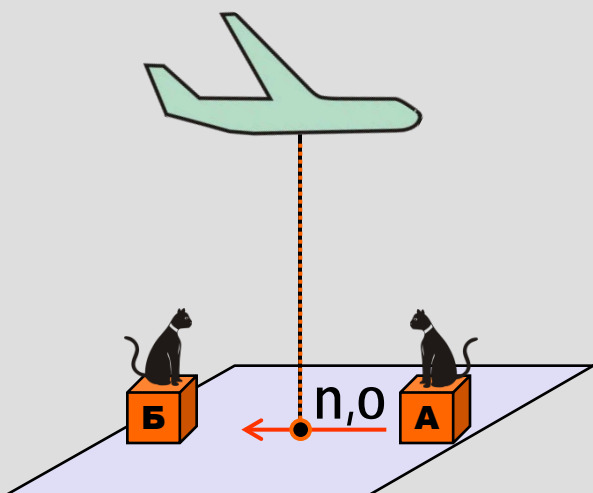
При **рыскании** изменяется угол между продольной осью самолета и направлением полета. Это не приводит к дополнительным искажениям масштаба, в пределах одного снимка, **однако**, **во-первых**, зона перекрытия становится трапециевидной, что затрудняет дальнейшую интерпретацию, а **во-вторых**, изменяется размер перекрытия между залетами, вплоть до образования "штанов".

При **тангаже** самолет либо задирает нос (**кабрирование**), либо опускает его (**пикирование**).

При пикировании центральная точка "уходит" назад от точки надира, из-за чего масштаб части АФС, расположенной по ходу полета, становится крупнее.

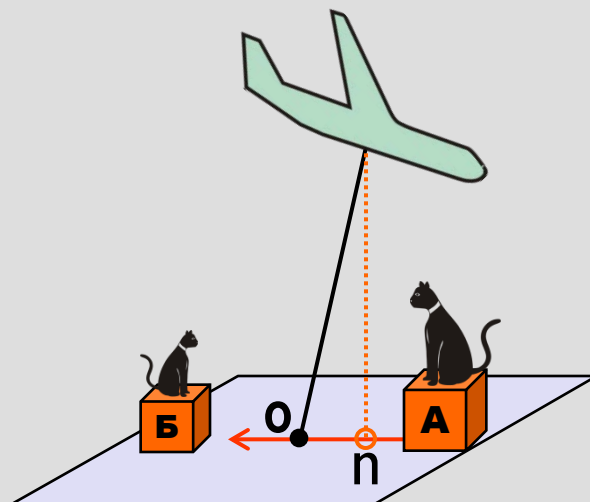
При кабрировании центральная точка "уходит" вперед от точки надира, из-за чего масштаб части АФС, расположенной по ходу полета, становится мельче.

Горизонтальный полет



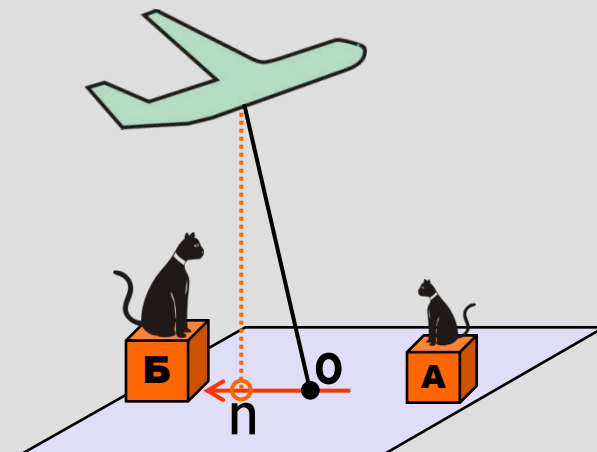
Масштаб объектов
А и Б одинаков

Пикирование



Масштаб объекта Б
мельче, чем
масштаб объекта А

Кабрирование



Масштаб объекта Б
крупнее, чем
масштаб объекта А

3. Искажения, связанные с рельефом

При фотографировании территории с расчлененным рельефом, разные точки находятся на меняющемся расстоянии от центра проекции, что приводит к искажению изображения по сравнению с плановой проекцией.

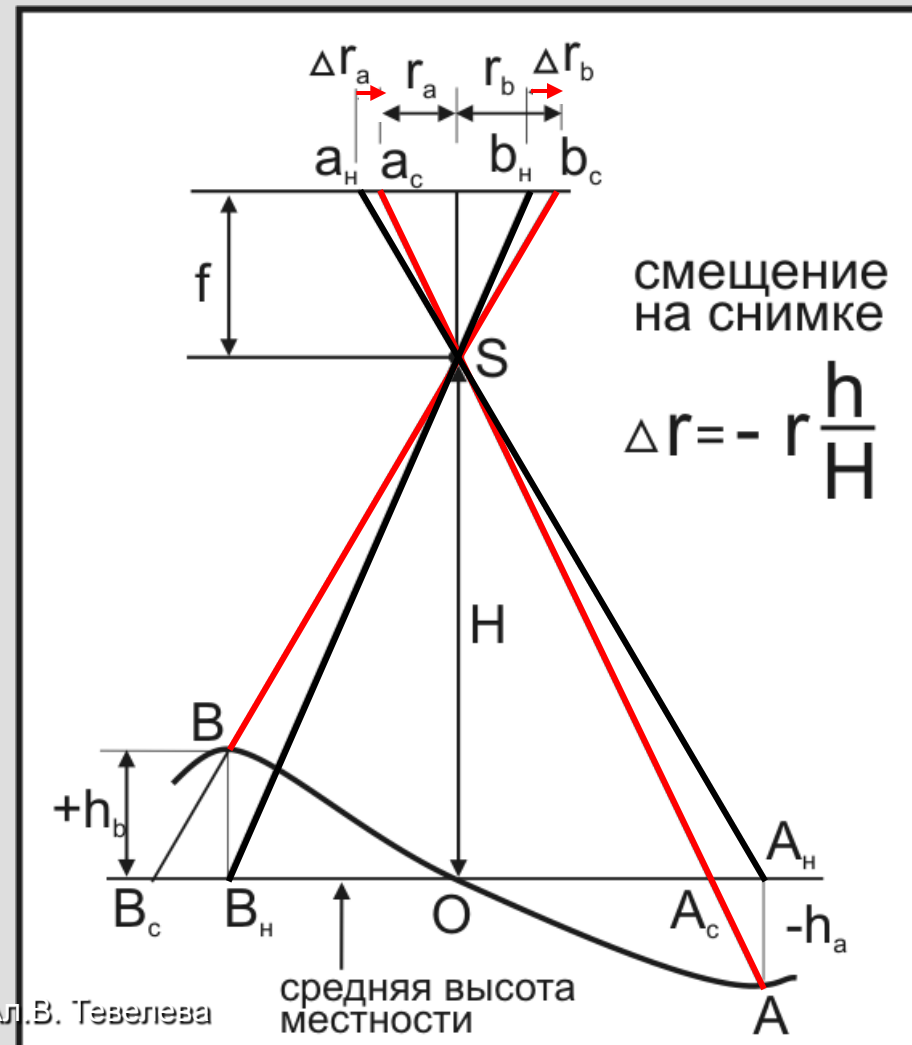
Точки, находящиеся на возвышенностях, на снимке **"отодвигаются"** дальше от главной точки снимка, а находящиеся в понижениях – **"приближаются"** к ней. При этом, естественно, искажается и масштаб: объекты на возвышенностях выглядят крупнее, объекты в низинах – мельче.

r – расстояние от контрольной точки до главной точки снимка,

H – средняя высота съемки над местностью,

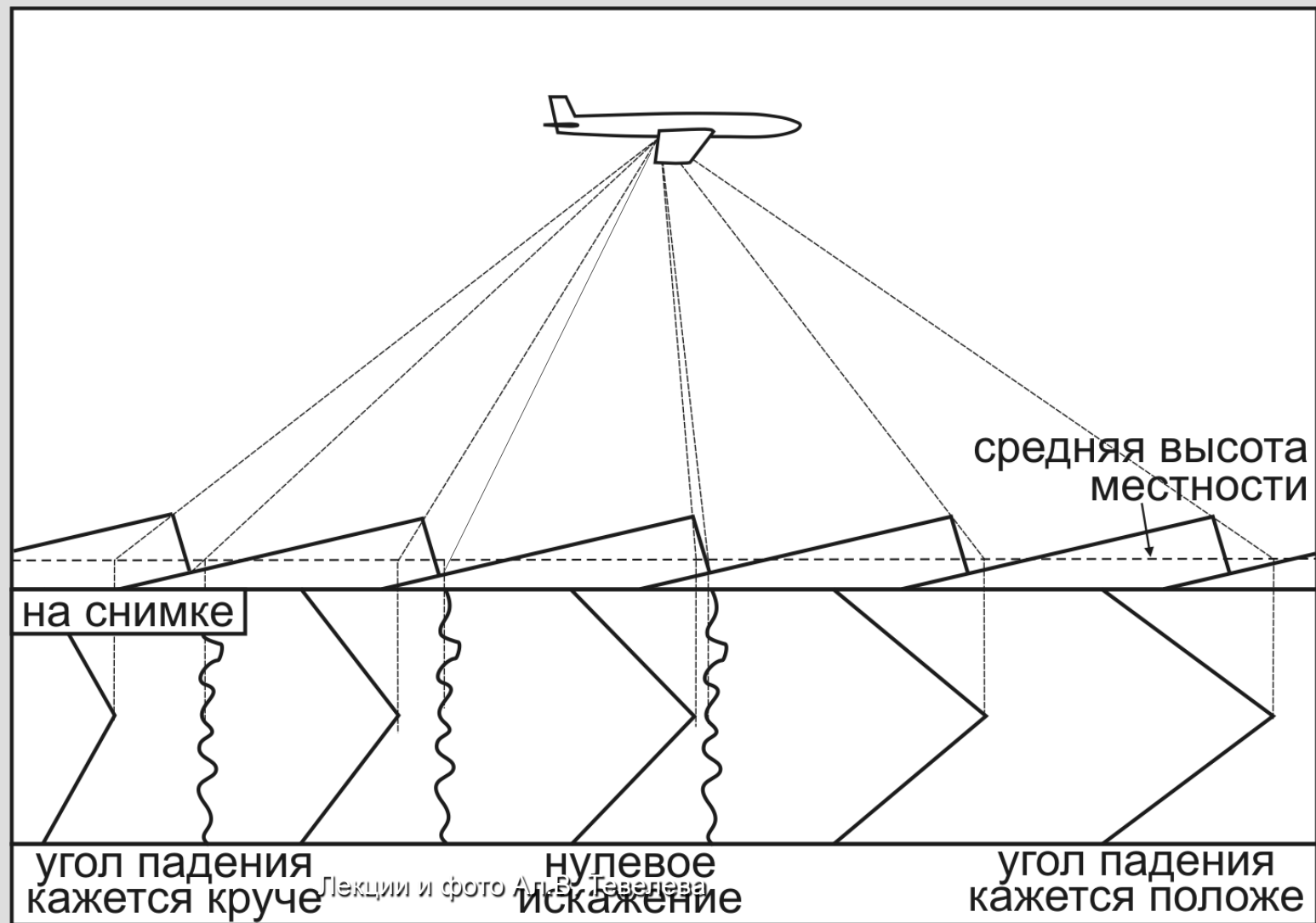
$\pm h$ – превышение контрольной точки над средней высотой местности.

Δr – смещение изображения контрольной точки на АФС относительно ее положения на средней высоте местности,



Одним из следствий искажения за рельеф является эффект визуального изменения углов падения слоев.

Склоны, обращенные к главной точке снимка, получаются шире, а от главной точки – уже. При этом "меняется" форма пластовых фигур.



Получение стереоскопического эффекта

Стереоскопический эффект – объемное видение взаимного расположения объектов – получается из-за того, что каждый из двух глаз видит взаимное расположение объектов под своим углом зрения.



левый



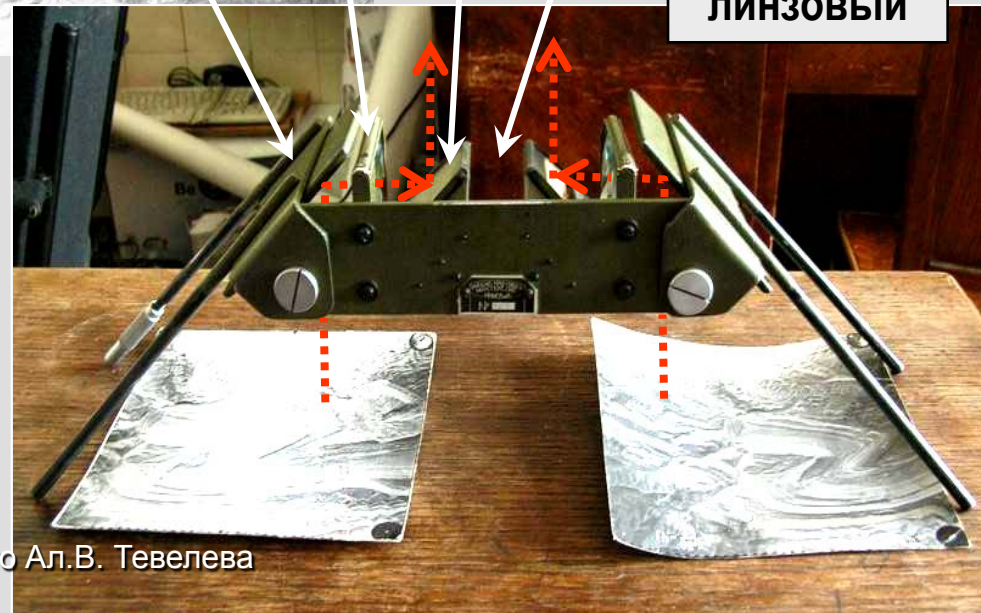
правый

Мозг обрабатывает информацию, создавая общую объемную картину. Важно, что при этом зрачки находятся в постоянном движении, и эта объемная картина непрерывно корректируется.

Из-за взаимного перекрытия, на двух соседних снимках будет изображен один участок местности, снятый с двух разных точек. Если создать такие условия, при которых каждый глаз будет видеть только одно из изображений, то мозг обработает эту информацию, создавая объемную картину рельефа территории.



Задачу разделения изображений (левый глаз видит только левый снимок, а правый глаз – только правый) решает **стереоскоп**:
1 – большое зеркало; 2 – линза;
3 – малое зеркало; 4 – место для носа



Искажение вертикального масштаба объемного изображения

Объемная модель, наблюдаемая в стереоскопе, обычно имеет искаженный вертикальный масштаб, как правило она более контрастная, чем сама местность (то есть, вертикальный масштаб кажется сильно преувеличенным по отношению к горизонтальному).

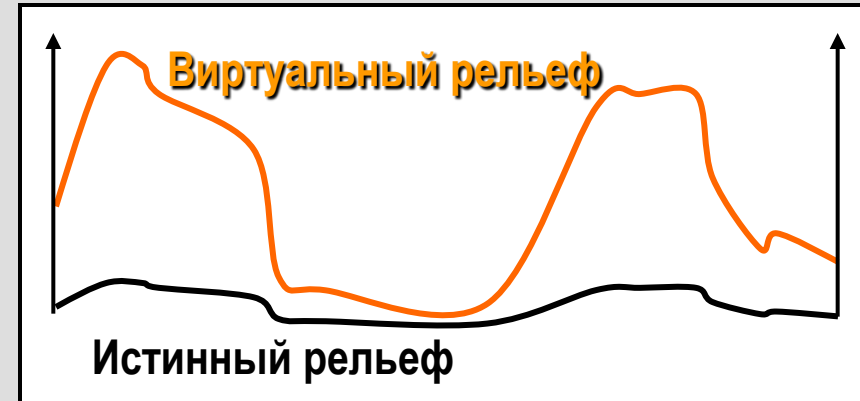
Что реально влияет на коэффициент пластичности АФС?

Степень искажения контрастности рельефа –

коэффициент пластичности АФС:

$$C = \left(\overset{\text{const}}{\rho} / f \right) \times \left(\overset{\text{const}}{b_{\text{сн}}} / \overset{\text{const}}{b_{\text{гл}}} \right), \text{ где}$$

ρ – расстояние лучшего видения (~250 мм),
 f – фокусное расстояние камеры,
 $b_{\text{сн}}$ – базис снимка, $b_{\text{гл}}$ – глазной базис (расстояние между зрачками – 60-70 мм).



Фактически коэффициент пластичности АФС зависит только от фокусного расстояния камеры. При работе на равнинной местности контрастность рельефа на АФС лучше увеличить, чтобы подчеркнуть его морфологию, поэтому применяют **короткофокусные** объективы. При работе в горной местности, где рельеф и так контрастен, применяют **длиннофокусные** объективы.

Как выдержать более или менее одинаковый масштаб при съемке равнинной и горной местности в одной серии залетов?

Задачи использования МАКС в геологии

1. Предварительное ознакомление с территорией работ.
2. Ориентирование в полевых условиях:
 - на снимках местность отражена подробнее и точнее, чем на карте;
 - на снимках легко определить те же ориентиры, что есть на карте и местности (привязать снимки к карте и местности).
3. Дешифрирование АФС – *геологическая интерпретация аэрофотоснимков* – выявление информации о геологическом строении местности, изображенной на снимке. Обычно делится на несколько стадий:
 - **предварительное** (на базе первичной геологической модели);
 - **опережающее маршрутное** (на базе предварительного дешифрирования и непрерывно меняющейся в ходе маршрута модели);
 - **завершающее маршрутное** (на базе полной маршрутной информации об участке съёмки);
 - **окончательное** (на базе полной информации о районе съёмки).
4. Количественная интерпретация аэрофотоснимков (АФС) – инструментальная обработка снимков с установлением по ним абсолютных отметок точек поверхности, элементов залегания слоев, мощностей слоев и т.д. Производится с помощью специальных приборов (стереокомпараторов и пр.).

Геологическое дешифрирование АФС

Факторы, влияющие на дешифрируемость снимков:

- 1. Физические свойства пород.** Лучшая дешифрируемость – если территория сложена породами с сильно различающимися физическими свойствами (цвет, прочность, слоистость, трещиноватость и т.д.).
- 2. Растительность.** Ее влияние неоднозначно.
 - 2.1. Густая (обычно лесная) растительность маскирует геологические структуры.
 - 2.2. Разреженная растительность (травянистая, кустарниковая), наоборот, часто связана с мелкими особенностями рельефа, составом и обводненностью пород, поэтому часто подчеркивает геологическую структуру.
- 3. Наличие рыхлых отложений.** При широком распространении и существенной мощности, они маскируют строение более древних комплексов. Вместе с тем, разнообразные типы четвертичных отложений, как правило, хорошо дешифрируются.
- 4. Деятельность человека** нарушает связь микрорельефа и фототона земной поверхности с геологическим строением.

NB! Для грамотного геологического дешифрирования АФС надо иметь в голове грамотную геологическую модель!

Дешифровочные признаки

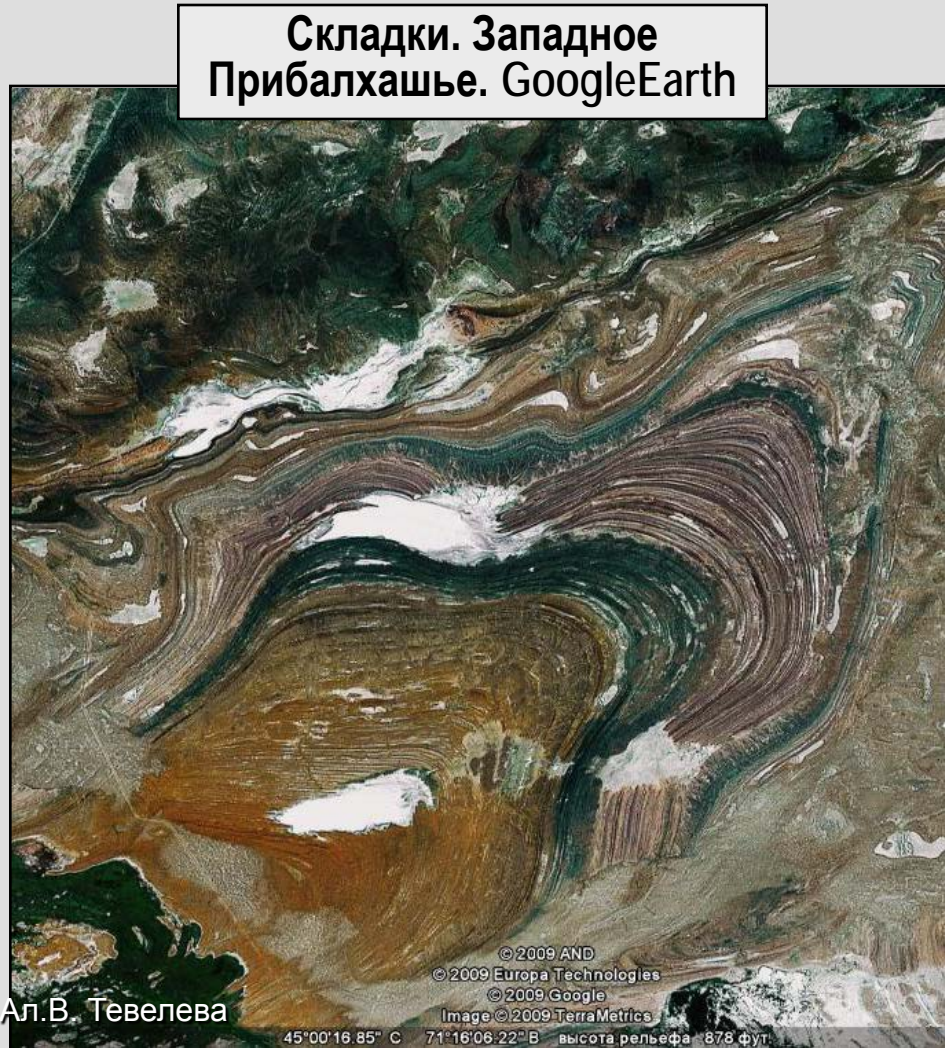
Дешифровочные признаки – особенности фототона, позволяющие идентифицировать геологические и другие объекты на поверхности Земли.

Прямые признаки:

1. Цвет (фототон) горных пород. По фототону можно идентифицировать состав пород при наличии хорошей предварительной информации. Обычно светлый фототон имеют известняки и другие карбонатные породы, а также граниты, темный – глинистые породы, основные магматические породы. Оттенки зависят от особенностей состава.

ВВ! В районах с расчлененным рельефом фототон зависит не только от цвета пород, но и от экспозиции склона, на котором эти породы выходят! Тень очень просто можно принять за темный фототон самих пород!

Лекции и фото Ал.В. Тевелева

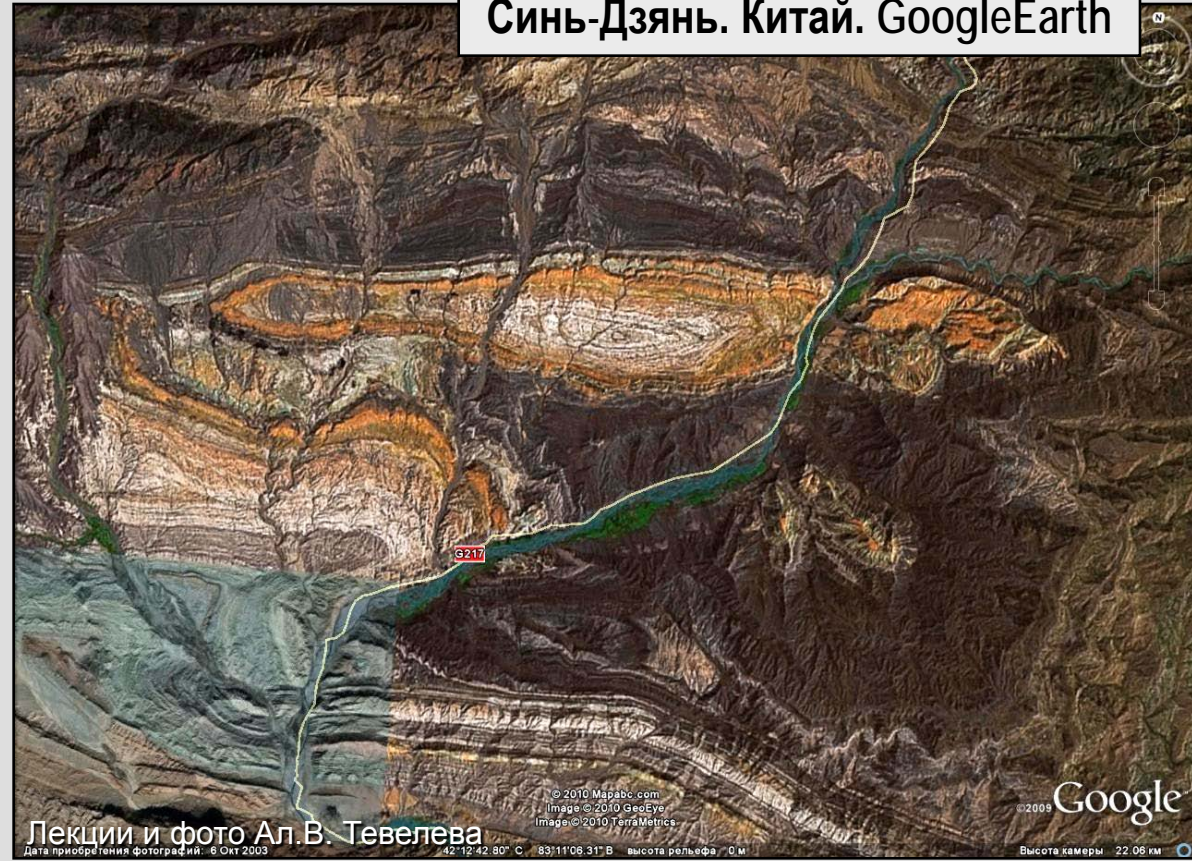


2. Форма объектов.

Многие геологические объекты идентифицируются по характерной морфологии (например, складки, дайки, астроблемы и т.д.)



Складки. АФС из учебной коллекции



Складки. Северный Тарим. Синь-Дзянь. Китай. GoogleEarth



**Аризонский кратер. США.
Плановый КС. GoogleEarth**

Image USDA Farm Service Agency
фий: 6 Июнь 2007 35°01'37.85" С 111°01'23.99" З высота рельефа 1566 м Высота ка



**Аризонский кратер. США.
Перспективный АФС.
Википедия**

Вулкан Анатахан, Марианский архипелаг. GoogleEarth



Лавовые поля и мелкие кратеры о-ва св. Барталомео Галапагосы. GoogleEarth

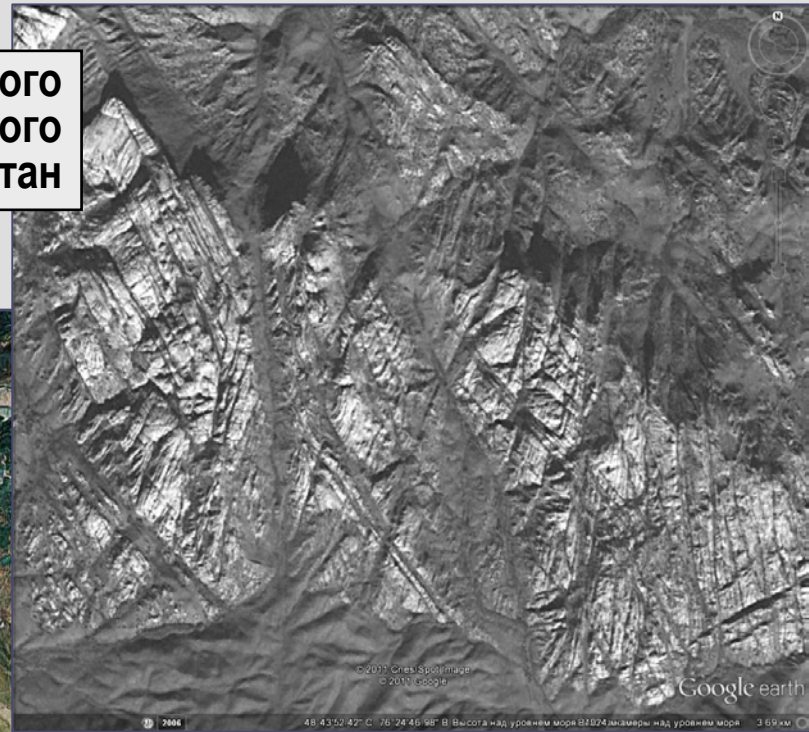


Лекции и фото Ал.В. Тевелева

3. Характерные рисунки земной поверхности –

некоторые геологические объекты можно идентифицировать по характерным рисункам земной поверхности на АФС. Например, массивы гранитов часто имеют характерный сетчатый рисунок на АФС за счет хорошо развитой регулярной сети трещин, карбонатные комплексы иногда опознаются по характерному рисунку карстового рельефа с мелкими бессточными западинами, обычно закономерно расположенными.

Сетчатый рисунок серого фототона гранитного массива Карагаш. Казахстан



Сетчатый рисунок цветного фототона гранитного массива Ортау. Казахстан. GoogleEarth



Лекции и фото Ал.В. Тевелева

Косвенные признаки:

- 1. Геоморфологические признаки** обусловлены, главным образом, сопротивлением пород к разрушению и способу разрушения. По легко разрушающимся породам образуются понижения и сглаженные формы рельефа, по прочным – поднятия, обрывы, скалы.
- 2. Растительность** и типы почв. На густоту и тип растительности влияет обводненность горных пород и/или элювиальных отложений, по ним образовавшимся. Зависят от свойств пород: состава, пористости, трещиноватости, устойчивости к выветриванию и т.д.
- 3. Следы антропогенного воздействия** (строительные объекты, поля, карьеры, отвалы и т.д.) чаще затрудняют дешифрирование, но иногда и способствуют идентификации геологических объектов.

Брахискладка. Восточный Загрос. Иран. GoogleEarth

По фототонам пласты практически не различаются, но геоморфологически выражены очень хорошо, поэтому дешифровать необходимо только под стереоскопом, т.е. работать со **стереомоделью!**

С какой стороны светит солнце?

В какое время суток лучше снимать такие объекты?

Крыло брахискладки. Западная Сахара. GoogleEarth

Лекции и фото Ал.В. Тевелева

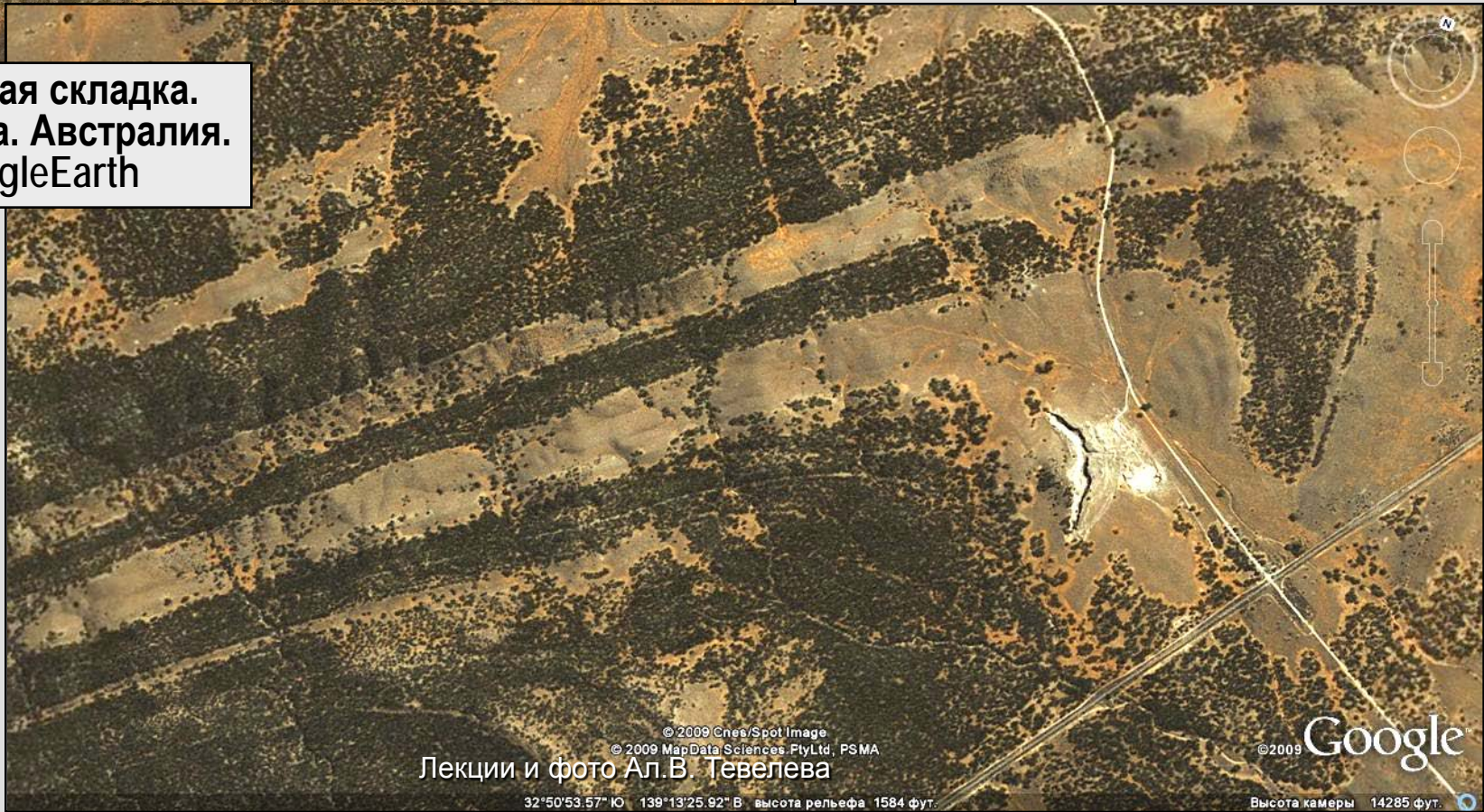
31°44'31.86" С 1°40'22.61" З

Высота камеры 7.21 км

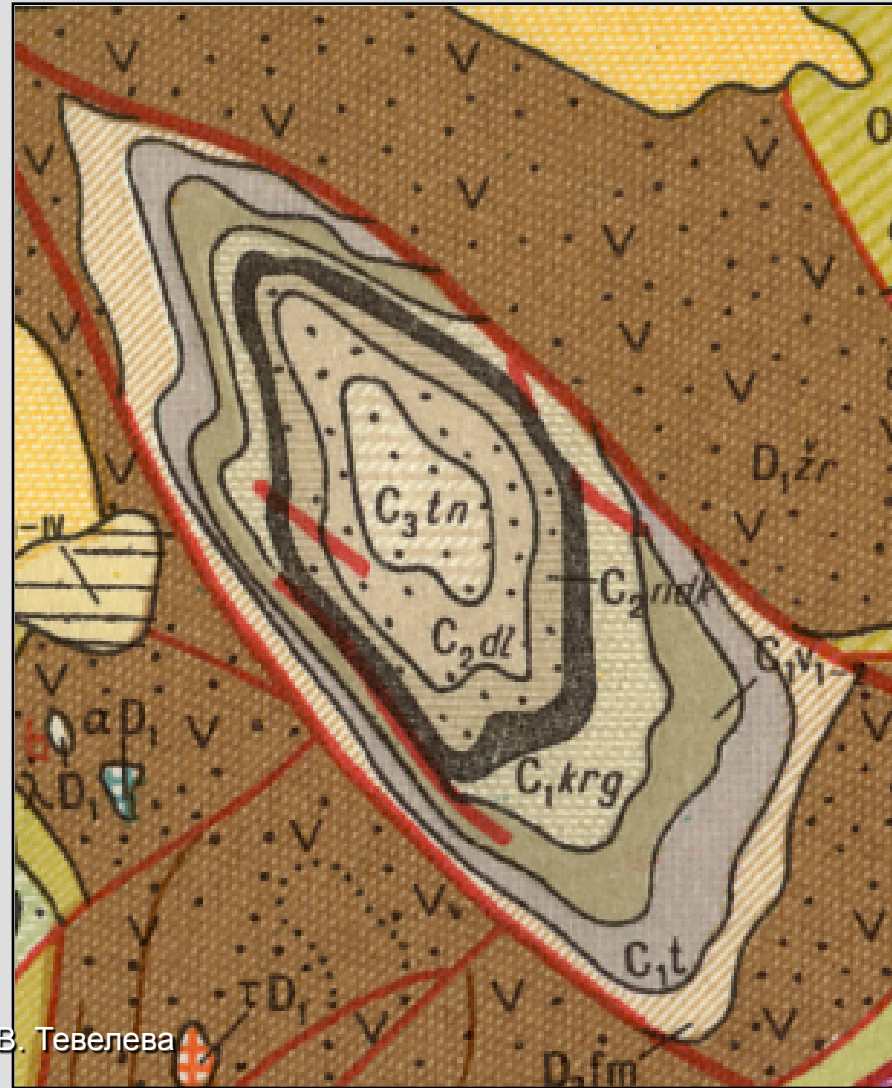


Слоистость опознается только по растительности, которая развита на определенных слоях. Один из слоев на замыкании складки разрабатывается карьером

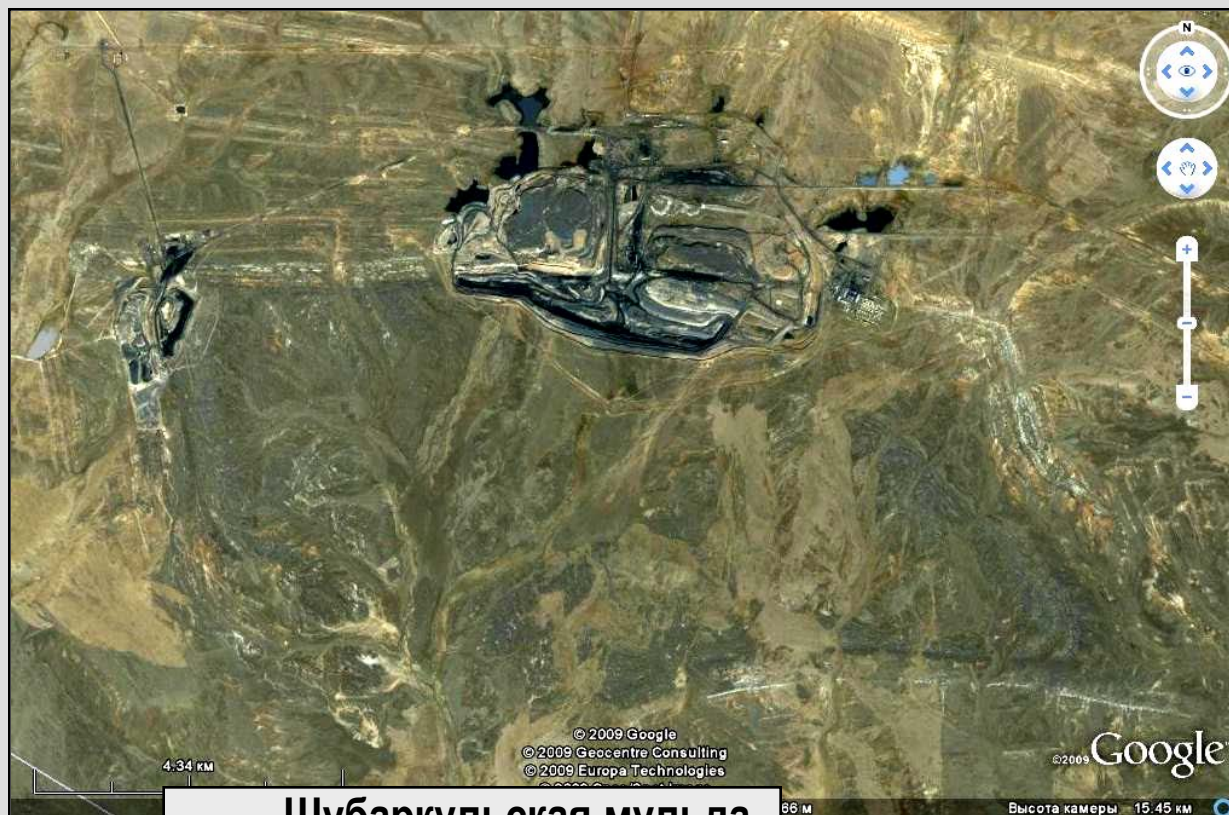
**Линейная складка.
Аделаида. Австралия.
GoogleEarth**



Экибастузская мульда.
Казахстан. Месторождение
каменного угля. GoogleEarth

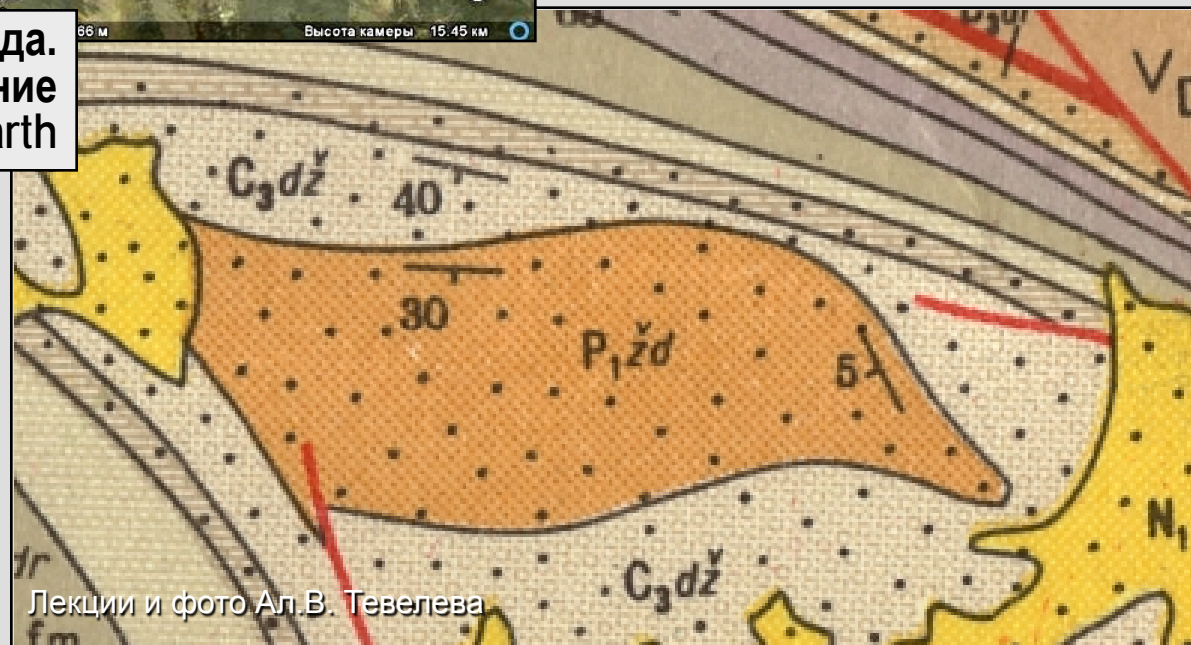


Брахискладка с пластами каменного угля и карьерами, вскрывающими эти пласты. Сама складка дешифрируется с трудом, но карьеры точно показывают **выходы пластов угля**.



Сундучная брахискладка с пластом каменного угля и карьерами, вскрывающими этот пласт. Сама складка дешифрируется с трудом, но карьеры точно показывают выходы пласта каменного угля.

Шубаркульская мульда.
Казахстан. Месторождение
каменного угля. GoogleEarth



Как определить по снимкам, в какую сторону летел самолет?

Определите базис АФС размером 18×18 см

Определите базис АФС размером 30×30 см

Определите крен и тангаж самолета (качественно) по положению на АФС точки надира (n) и главной точки (o)

Есть ли шанс увидеть стереоэффект, если взять два снимка не подряд, а через один?

