

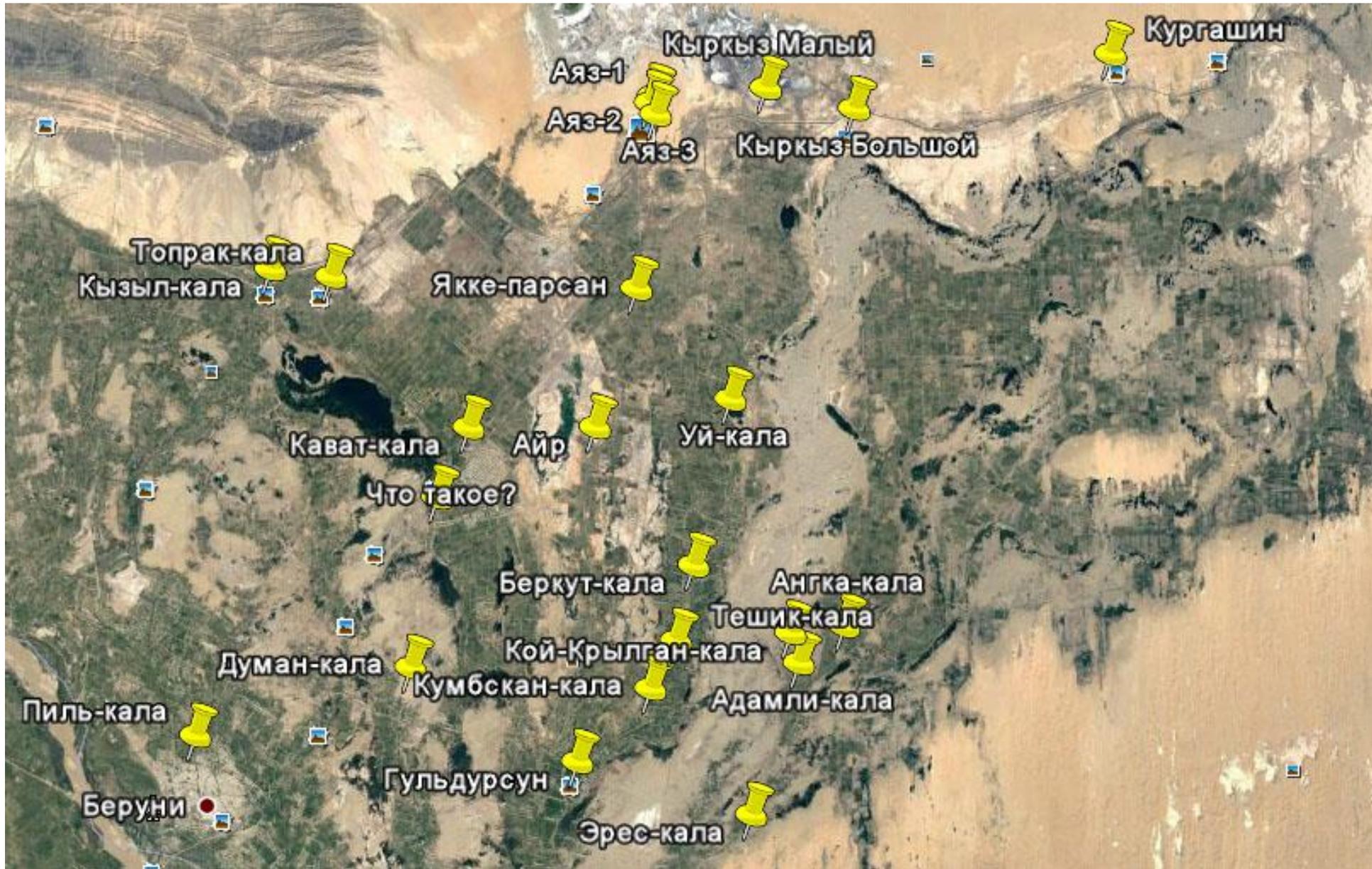
# Задача получения геоинформации на основе обработки спутниковых СНИМКОВ

Болелов С.Б., Колганова Г.Ю., Никифоров М.Г., Семикопенко Г.П.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ № 19-09-00040 А

IV международная конференция  
«Археология и геринформатика»  
21 - 23 мая 2019

# Сохранившиеся до наших дней памятники правобережного Хорезма



# Проблема исходных данных для создания

## археологических ГИС на примере Южн. Приаралья

В настоящее время многие археологические памятники, исследованные в период с 1937 по 1991 гг. просто не существуют.

Причины:

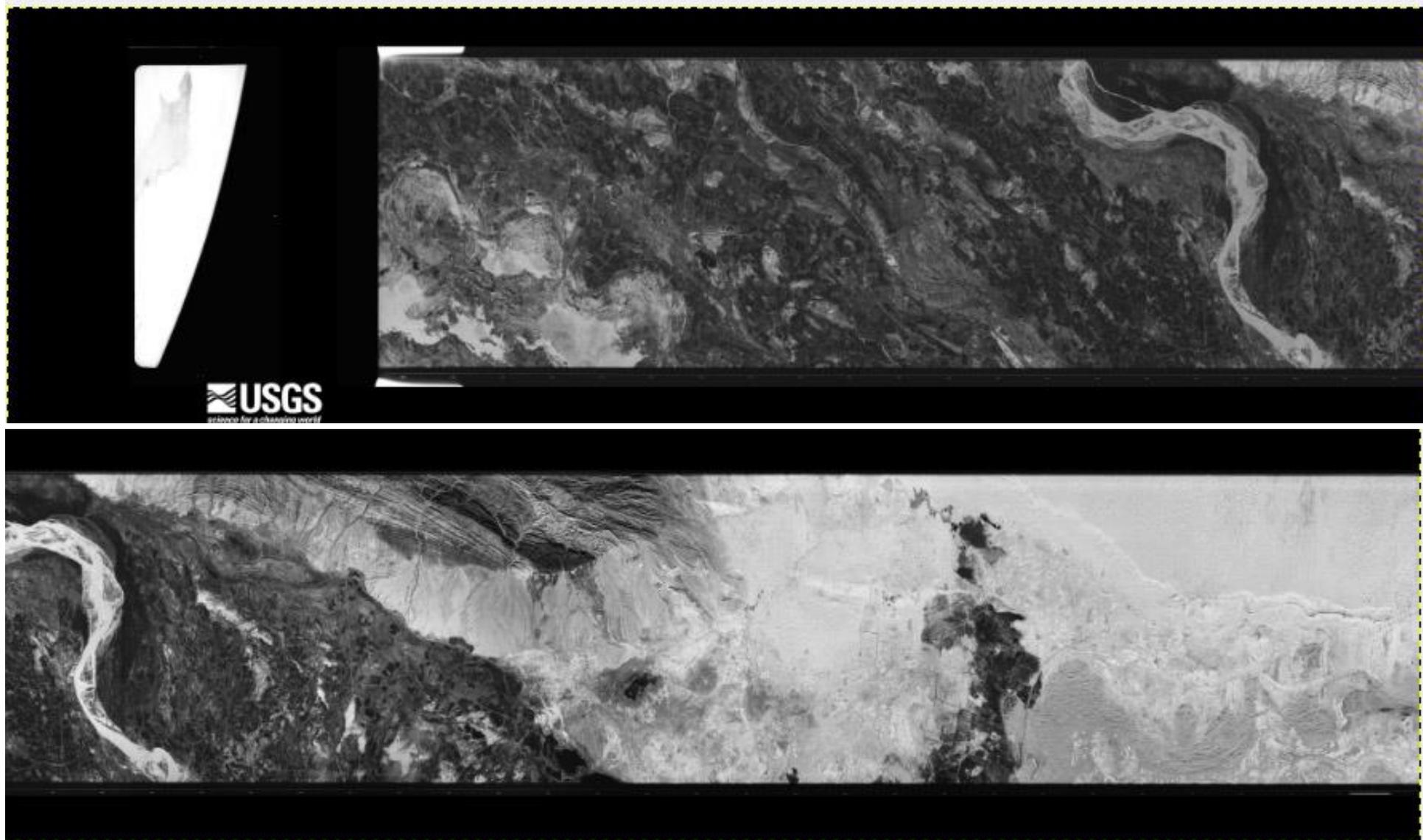
1. мелиорация и освоение земель;
2. сооружение гидроузлов с изменением русла Амударьи;
3. поднятие уровня грунтовых вод, что разрушает сырцовый кирпич

При этом, ряд менее значимых памятников не был исследован вообще.

Выход – данные сайта **USGS** (United State Geological Society).

Использование рассекреченных спутниковых снимков с американских спутников-шпионов, следивших за территорией СССР позволяет решать всевозможные задачи, связанные с мониторингом территории. Снимки разного качества доступны начиная с 1965 года.

# Как выглядит полоса полета спутника?

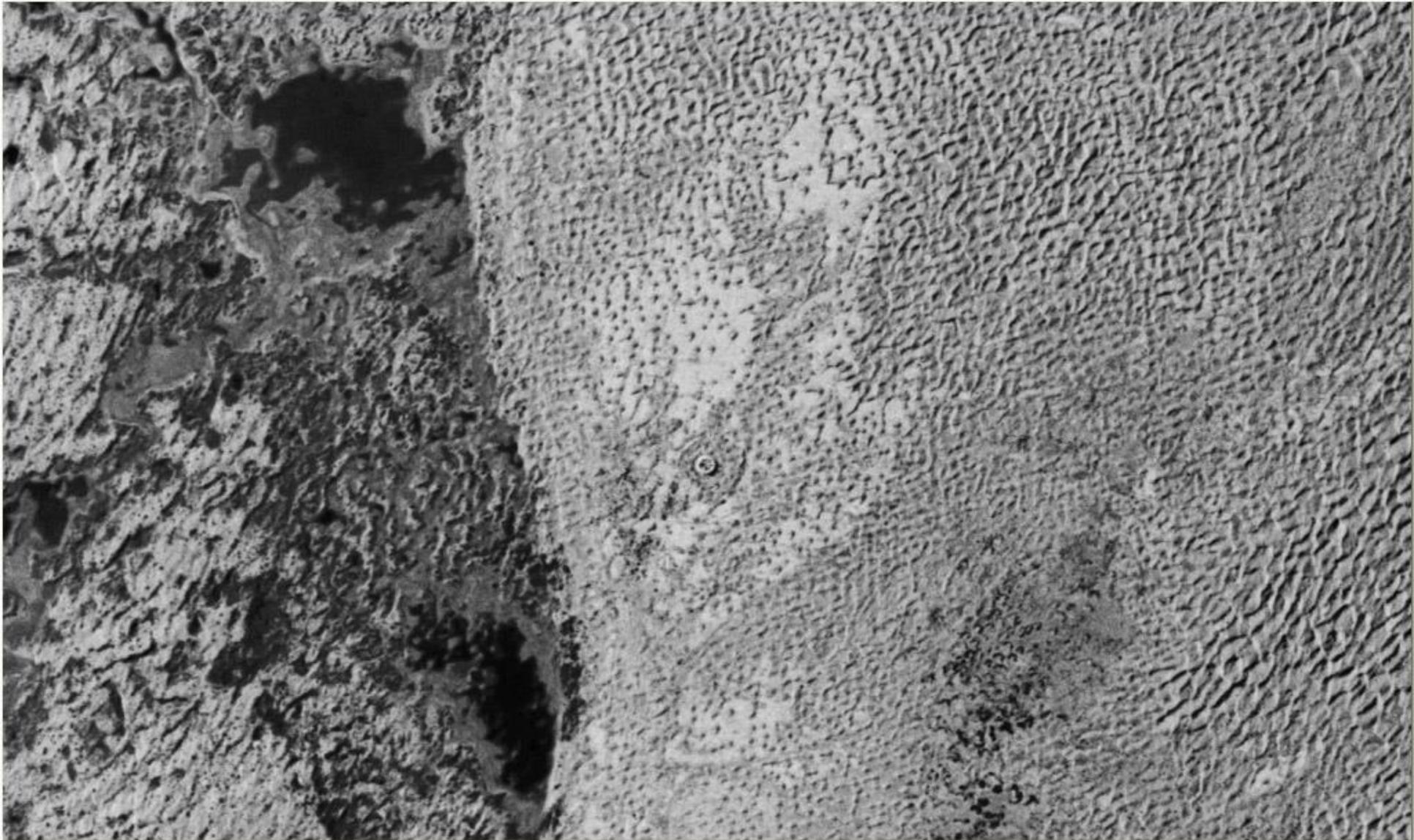


Четыре перекрывающихся фрагмента размером 90 км \* 20 км

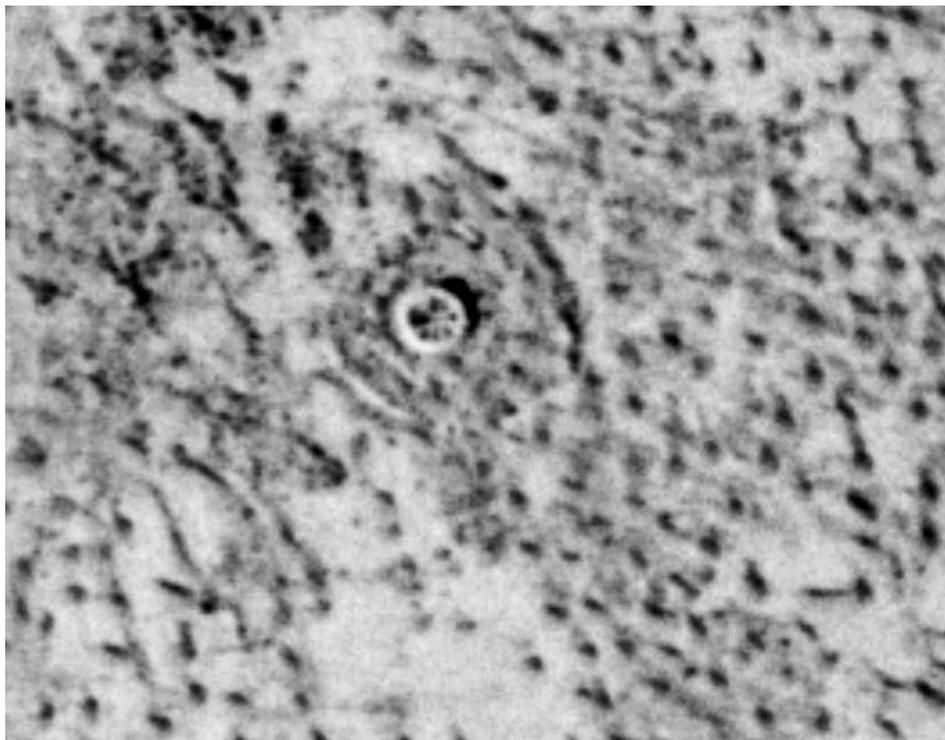
# Окрестности памятника Кой-Крылган-кала из программы Google Earth 2016 года



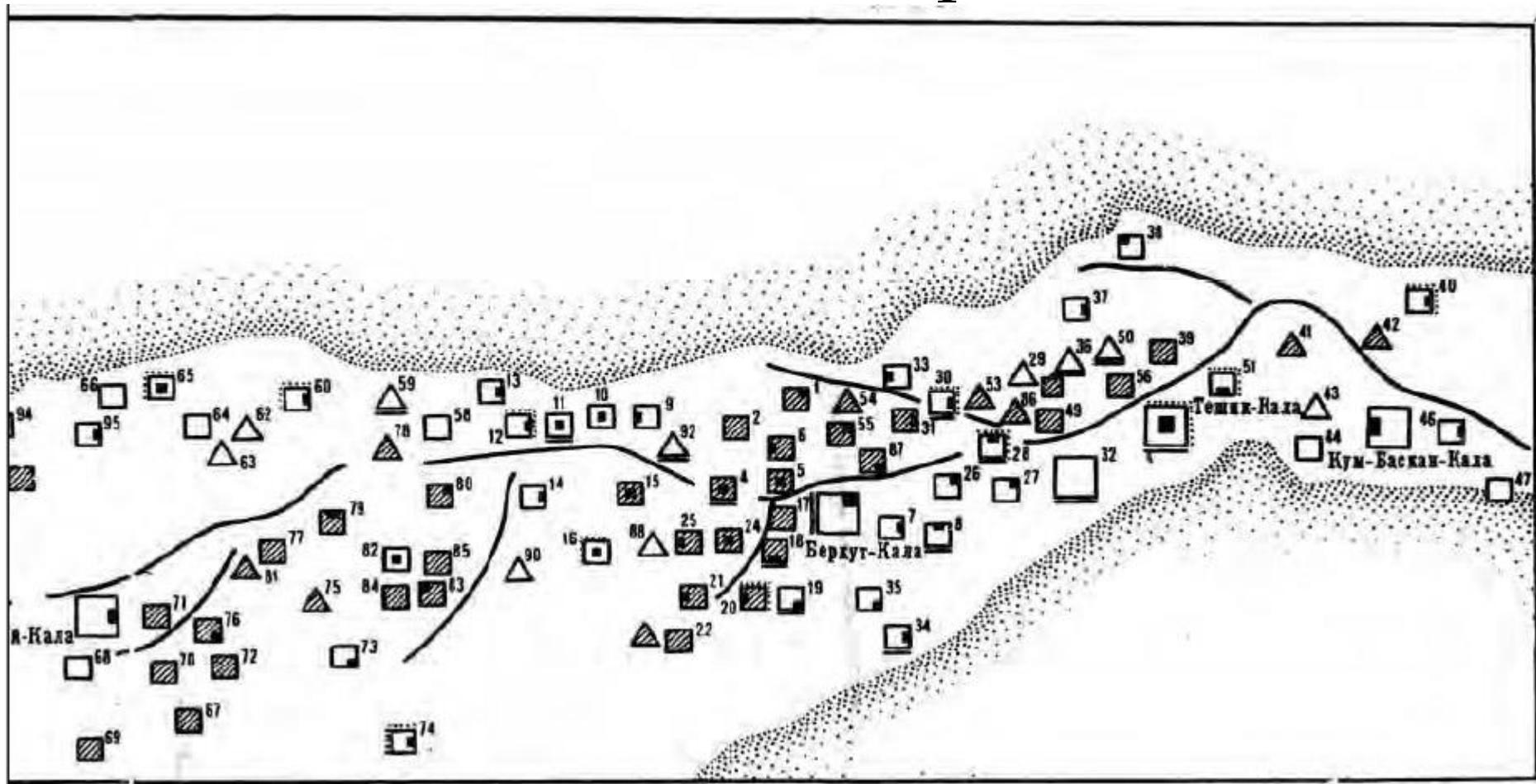
Окрестности памятника Кой-Крылган-кала на  
спутниковом снимке 25 июля 1969 года



# Памятник Кой-Крылган-кала на спутниковых снимках 1969 и 2016 года

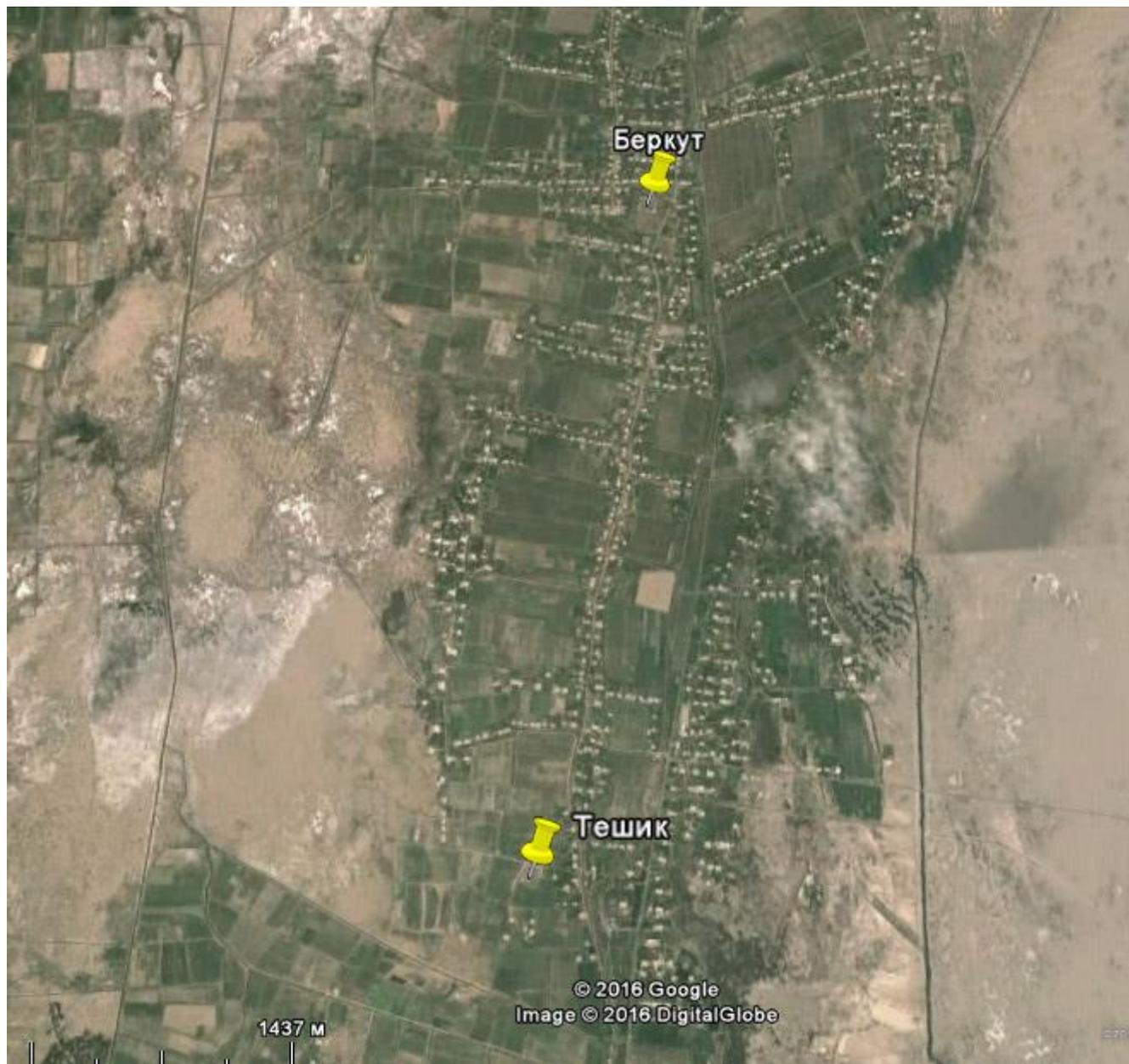


# Схема Беркут-калининского оазиса по данным Е.Е. Неразик



На схеме указаны особенности архитектуры памятников.

# Современный вид Беркут-калининского оазиса



# Геоданные, которые можно получить с помощью обработки спутниковых снимков

Количественная информация (дает математическая обработка):

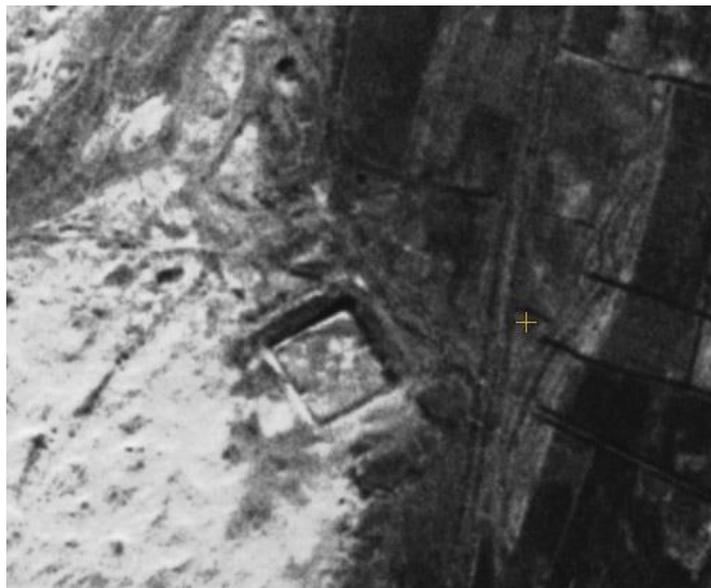
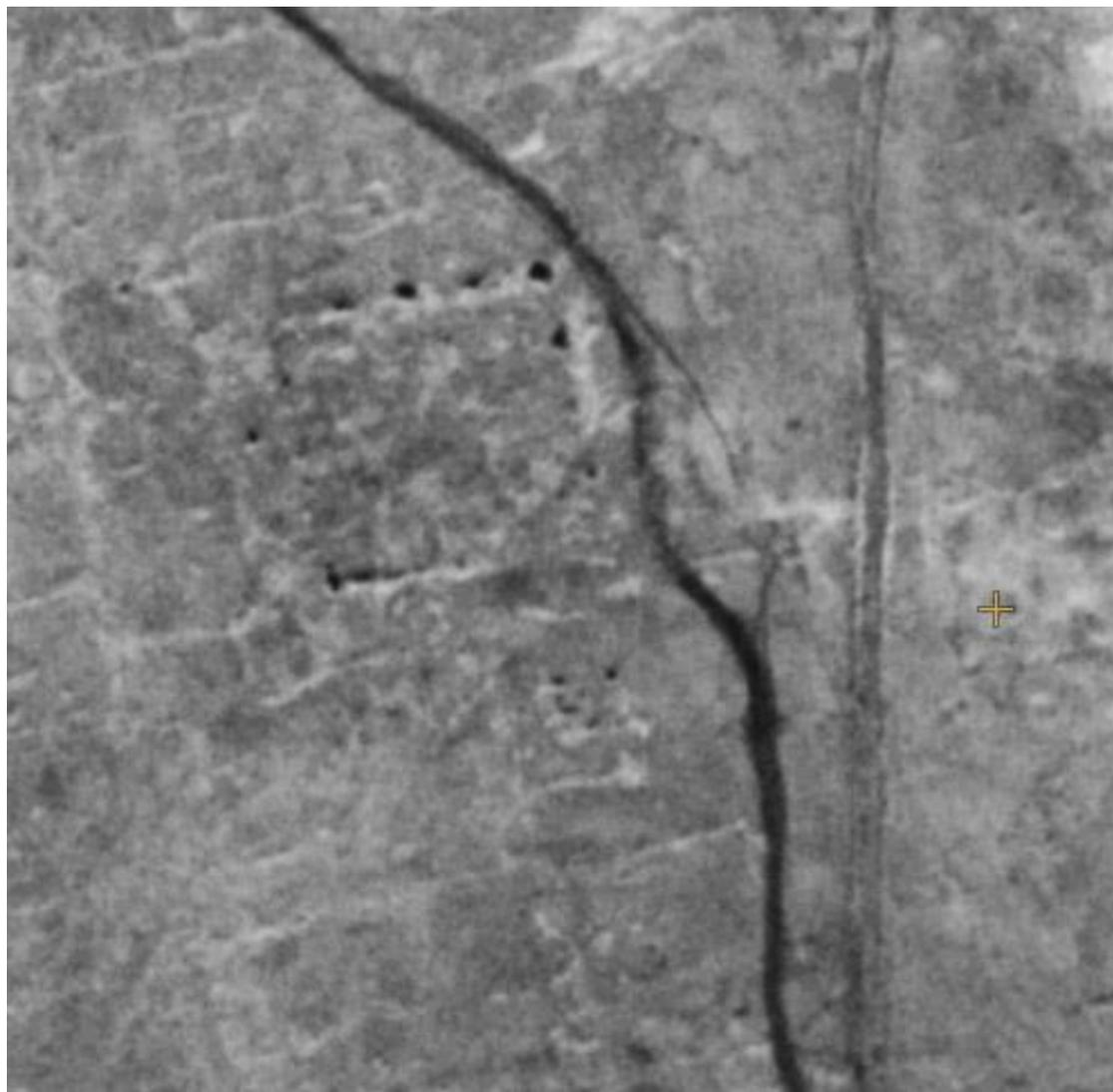
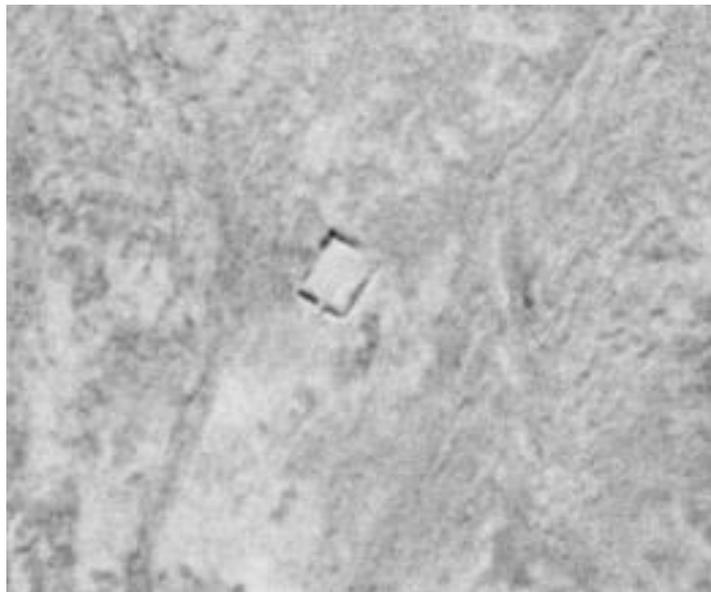
1. Определение **высокоточных** географических координат памятника по спутниковым снимкам. (С археологическими картами оазисов проблема).
2. Определение геометрических размеров.
3. Определение пространственной ориентации памятника.

Качественная информация:

1. Особенности конструкции и фортификации.
2. Ирригационные сооружения возле памятника.

Дополнительная цель - обнаружение «новых» памятников (далеко не все памятники были исследованы и **даже** описаны.)

# Неизвестные памятники Н-3 (л.в.), Н-4 и Н-5 (н.л.)



# Неизвестный памятник Н-8



Расположен в 600 м к юго-западу от Аяз-3, возле канала.

# Неизвестный памятник Н-9



Находится в 450 м к востоку от Кызыл-калы.

# Задача определения географических координат

## Список опорных памятников для снимка DS1108

№	Название	X	Y	$\lambda$	$\phi$	Примечание
1	Атсыз	25237	8500	61.12589	41.93795	Донжон
2	Аяз-1	22262	4424	61.02803	42.01473	Башня на С-З углу
3	Аяз-2	22210	4605	61.02727	42.01055	Южн. выступ
4	Аяз-3	22255	4832	61.02928	42.00578	С-З угол
5	Кургашин	32955	5244	61.32198	42.03507	С-В угол
6	Кош-Парсан	17083	8659	60.89888	41.90330	С-З угол
7	КЫЗЫЛ-кала	13301	6748	60.78429	41.93057	Северный угол
8	Кыркыз – Б.	26794	5468	61.15599	42.00858	Башня на С-З углу
9	Кыркыз – М.	24893	4715	61.10115	42.01775	Южный выступ
10	Топрак	14652	7025	60.82397	41.92982	Башня на С-В углу
11	Якке-Парсан	21330	8586	61.01822	41.92120	С-З угол

# Поиск функции преобразования координат

При данных параметрах задачи кривизной Земли можно пренебречь и вести поиск функции преобразования  $(\lambda, \varphi) \Leftrightarrow (X, Y)$  в виде аффинного преобразования координат:

$$X_C(\lambda, \varphi) = a_0 + a_1 \cdot \lambda + a_2 \cdot \varphi$$

$$Y_C(\lambda, \varphi) = a_3 + a_4 \cdot \lambda + a_5 \cdot \varphi$$

Задача – определить неизвестные коэффициенты модели.

$$X_C = -2389553 + 35257.04 \cdot \lambda + 6193.12 \cdot \varphi$$

$$Y_C = 1536667 + 6020.70 \cdot \lambda - 45214.74 \cdot \varphi$$

Найдем невязки  $\Delta X, \Delta Y$  для опорных памятников с известными растровыми координатами.

$$\Delta X = X_C - X \quad \Delta Y = Y_C - Y$$

$X_C, Y_C$  – вычисленные координаты

$X, Y$  – измеренные растровые координаты

# Проверка точности оценки растровых координат по опорным памятникам снимка DS1108-2218DF018с

№	Название	$X_c$	$Y_c$	$\Delta X$	$\Delta Y$
1	Атсыз	25291	8473	54	-27
2	Аяз-1	22316	4413	54	-11
3	Аяз-2	22264	4597	54	-8
4	Аяз-3	22305	4825	50	-7
5	Кургашин	32806	5263	-149	19
6	Кош-Парсан	17073	8673	-10	14
7	Кызыл-кала	13201	6751	-100	3
8	Кыркыз – Б.	26790	5461	-4	-7
9	Кыркыз – М.	24913	4716	20	1
10	Топрак	14596	7023	-56	-2
11	Якке-Парсан	21391	8583	61	-3

# Причины ошибок

1. Координаты, выдаваемые программой GE не точны, поскольку на снимке, как правило, сфотографирована не под спутниковая область. То же самое замечание касается и растрового изображения.



## Кызыл-кала.

На фото, стены должны выглядеть отвесно, а не под наклоном.

Именно на этом памятнике одна из самых больших погрешность оценки.

2. Погрешность, возникающая при сканировании фотопленки. (Она может прижиматься с разной силой, что приводит к искажению растрового изображения).

3. Влияние aberrаций объектива и т.д.

# Адаптивный алгоритм

Основная идея: влияние на результат каждого опорного памятника необходимо «взвесить». Чем ближе, опорный памятник к заданной точке, тем больше его вес, и наоборот.

Введем вес  $j$ -го опорного памятника: 
$$\omega_j = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{d_j}$$

$d_j$  – расстояние в пикселях от выбранного объекта до опорного памятника  $j$ .

$\sum_{i=1}^n d_i$  – сумма расстояний от выбранного объекта до все остальных опорных памятников.

*Что если опорный памятник и выбранный объект находятся совсем рядом?*

Это значит, что в уравнения регрессии целиком определяются этим объектом, что очень плохо. Следовательно, нужно определить некое критическое расстояние  $d_{min}$  начиная с которого влияние опорного памятника на результат не изменяется.

*Как правильно выбрать  $d_{min}$  и посчитать вес?*

# Схема адаптивного алгоритма

1. Задаем возможный диапазон  $d_{\min}$  от 250 до 15000 пикселей, шаг перебора  $step=250$  пикселей и построим расчетную сетку, по которой  $d_{\min}$  пробегает этот диапазон.

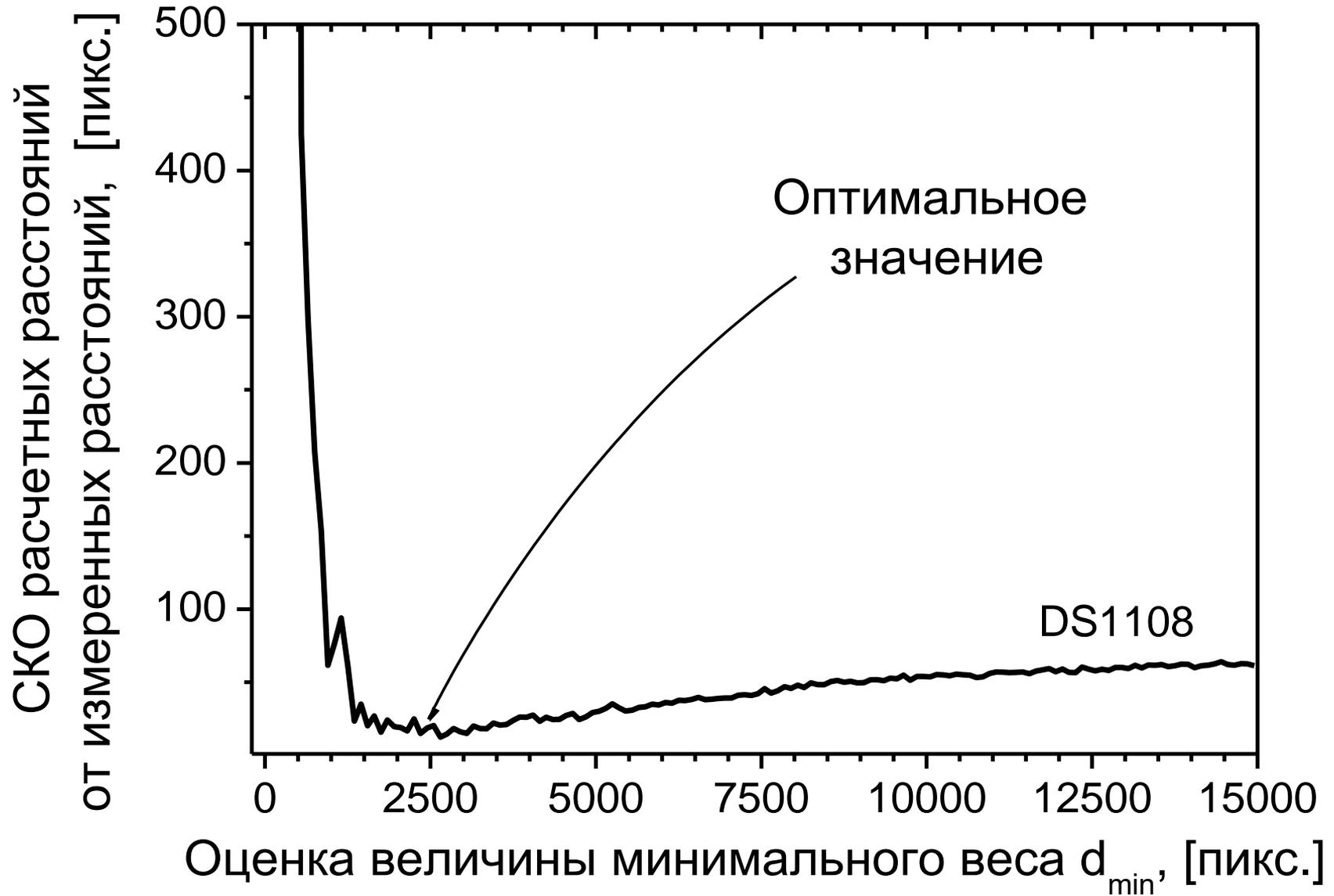
2. В каждом узле сетки (т.е. для каждого значения  $d_{\min}$ ) вычислим веса  $\omega_j$ , определим коэффициенты аффинного преобразования  $a_0, a_1 \dots a_5$  и зная географические координаты опорного памятника  $(\varphi, \lambda)$  найдем его растровые координаты  $(X_C^\omega, Y_C^\omega)$ .

3. Вычислим для каждой точки отклонение расчетных координат от реальных по формуле 
$$d = \sqrt{(X_C^\omega - X)^2 + (Y_C^\omega - Y)^2}$$

4. Имея множество опорных точек, определим усредненное значение отклонения по многим памятникам, в результате чего получим функцию  $\sigma_d(d_{\min})$ .

5. Анализируя зависимость  $\sigma_d(d_{\min})$  найдем оптимальное значение  $d_{\min}$ .

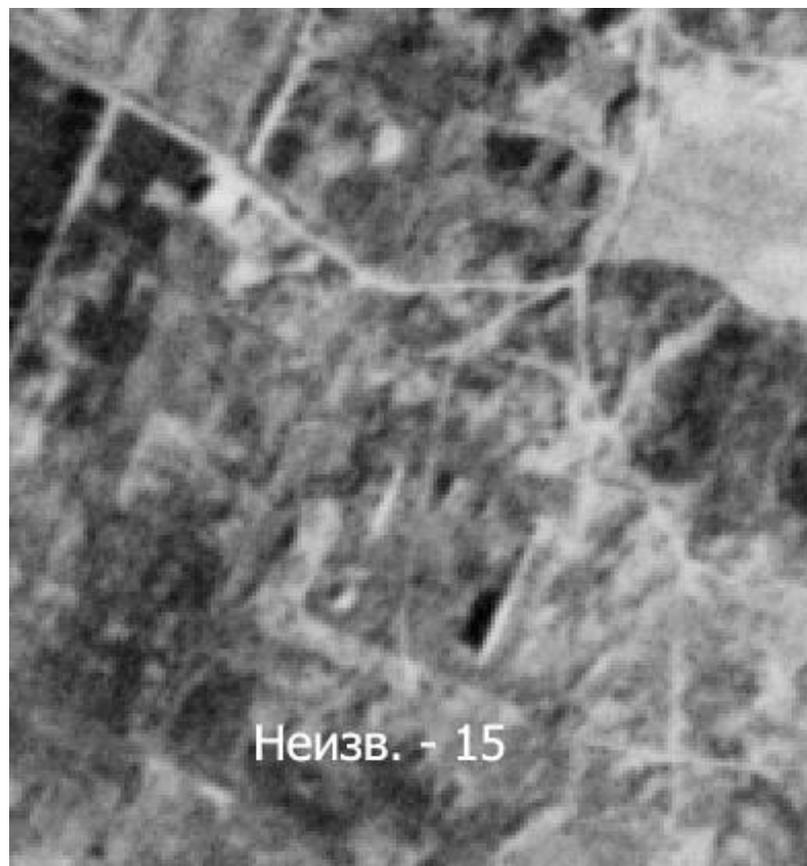
# Поиск оптимального значения



# Сравнение алгоритмов

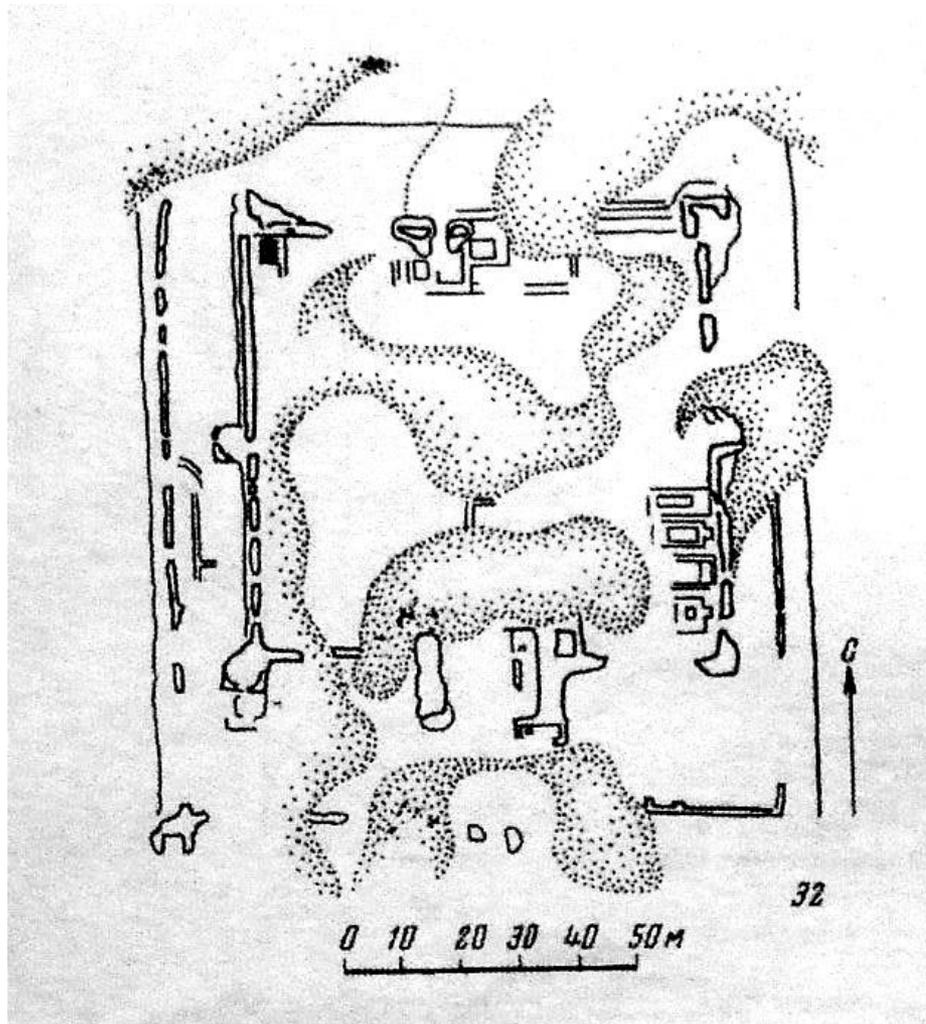
№	Название	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X^{\omega}$	$\Delta Y^{\omega}$
1	Атсыз	54	-27	-1	-10
2	Аяз-1	54	-11	2	-1
3	Аяз-2	54	-8	33	5
4	Аяз-3	50	-7	-9	1
5	Кургашин	-149	19	-19	1
6	Кош-Парсан	-10	14	0	10
7	Кызыл-кала	-100	3	-31	5
8	Кыргыз – Б.	-4	-7	-27	-6
9	Кыргыз – М.	20	1	-9	9
10	Топрак	-56	-2	0	-6
11	Якке-Парсан	61	-3	13	0
Средние [пикс.]		$-2 \pm 71$	$-3 \pm 12$	$-4 \pm 18$	$0.7 \pm 6.3$

# Неизвестный памятник Н-15= замок 32



Окрестность Тешик-калы.

# Замок 32 и неизвестный памятник Н-15



Размеры: 80м x 80м  
Ориентация:  $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$



Размеры: 83м x 83м  
Ориентация:  $5^{\circ}$ ;  $95^{\circ}$

Спасибо за внимание!

