

Алгоритмы уточнения модели
прибрежного рельефа по
результатам воздушного лазерного
сканирования и аэрофотосъемки

А.Е. Хмельнов, А.С. Гаченко

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

08.12.2002

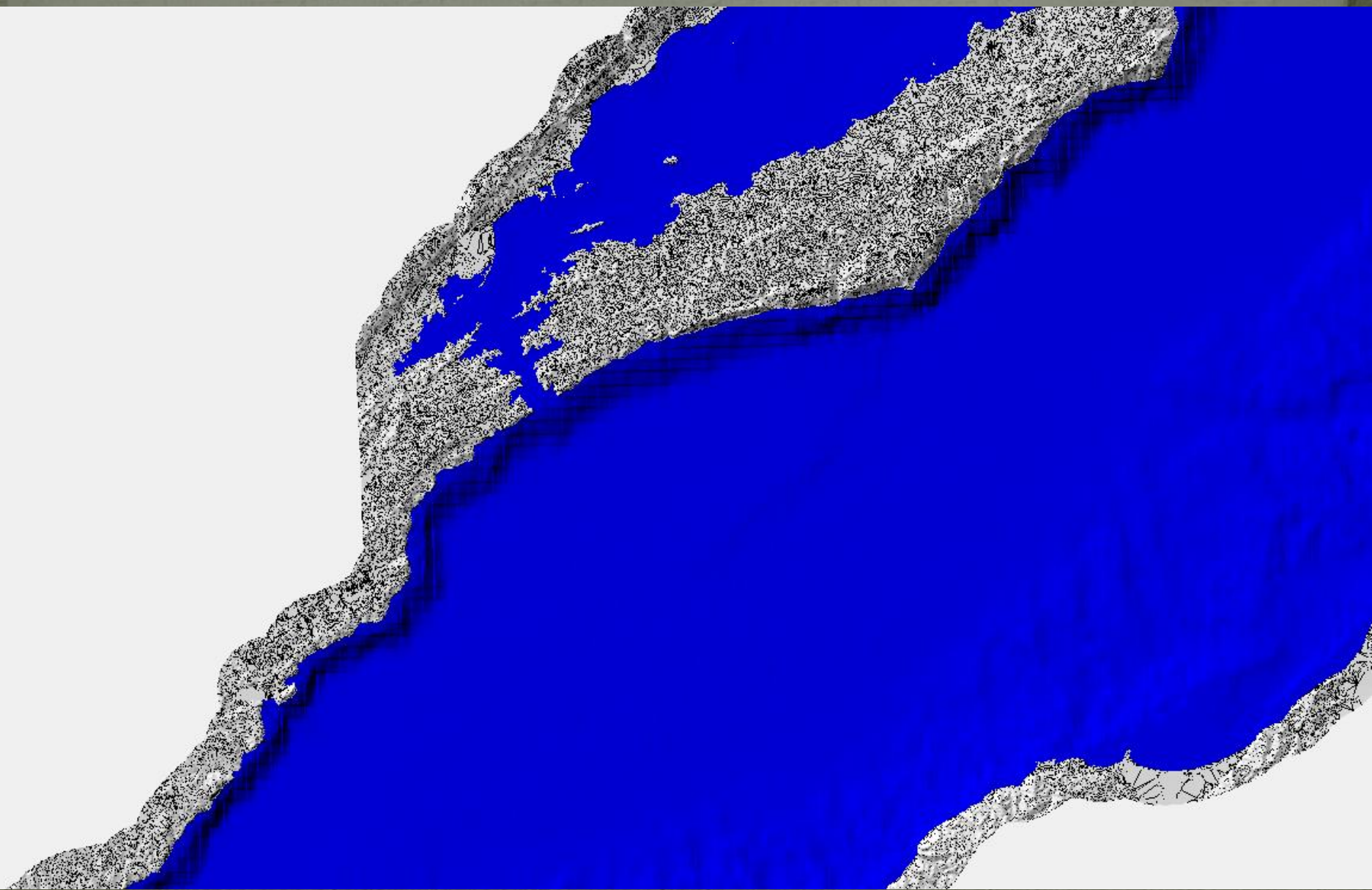
Постановка задачи

- Ранее получена модель рельефа по топооснове 1:50000, данным о подводном рельефе озера Байкал, а также лоции реки Ангара (далее – *априорная модель рельефа*)
- В априорной модели по Байкалу 5,5 миллионов точек
- Требуется уточнить модель рельефа на отдельных участках прибрежных территорий озера Байкал, Иркутского водохранилища и нижнего бьефа Иркутской ГЭС
- Участки выбраны с учётом априорной модели рельефа
- Всего было обработано более 60 участков

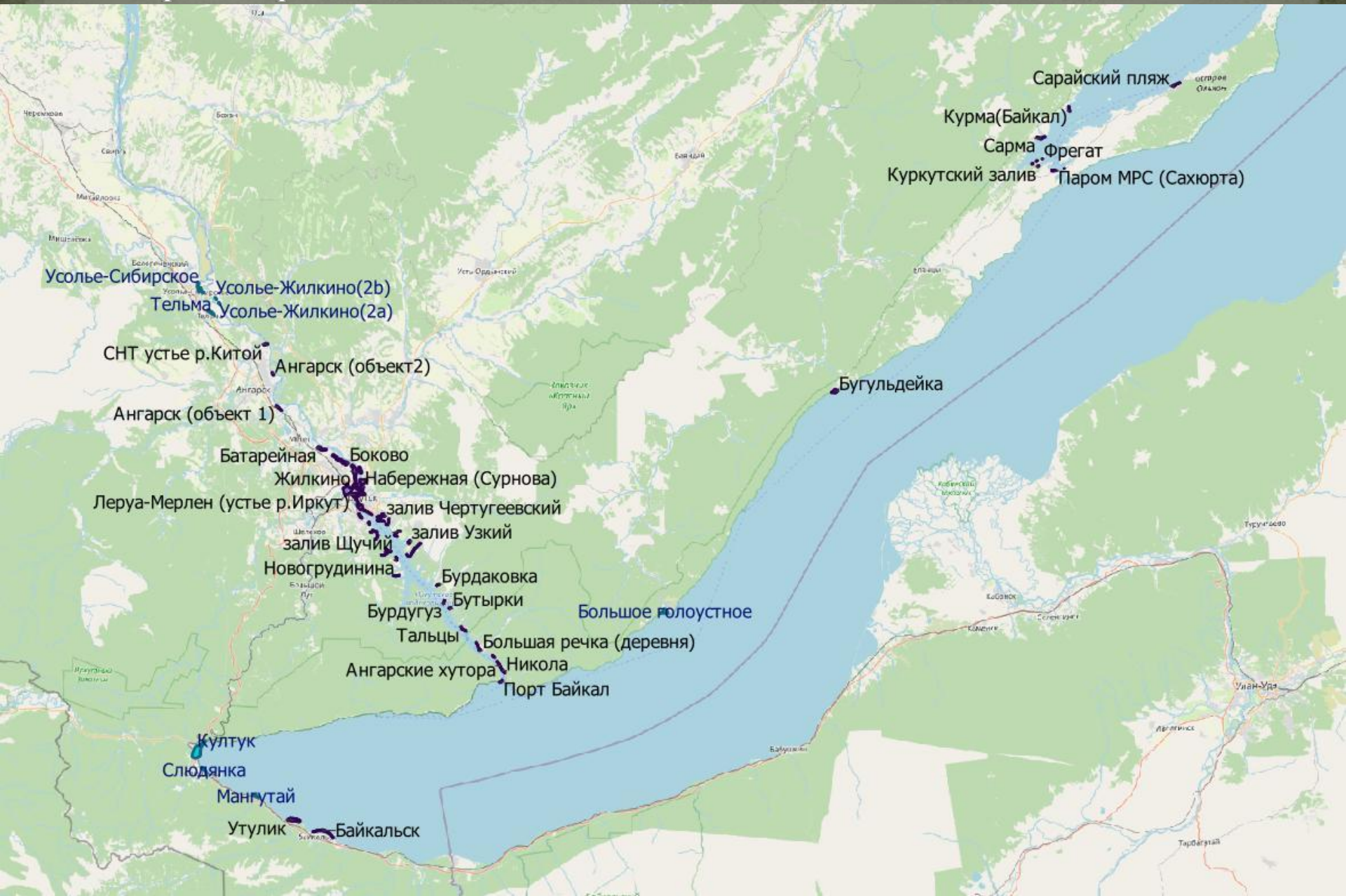
Априорная модель рельефа в нижнем бьефе Иркутской ГЭС



Совмещённая модель рельефа Байкала



Сформирован список территорий, для которых требуется уточнение модели рельефа



Уточнение моделей рельефа

Использовано два источника информации:

- Архивные данные воздушного лазерного сканирования (ВЛС) – около 50 участков
- Съёмка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – около 10 участков
- Требуется совместить эту информацию с априорными данными для получения уточнённой модели.

Данные ВЛС

- получены в виде облаков точек – текстовых файлов, содержащих большие количества точек (бóльшая часть участков содержит несколько миллионов, есть участок с 37 миллионами точек)
- непосредственное включение таких данных в итоговую модель рельефа сильно увеличит её объём и сделает неудобным практическое использование
- детализация такой модели рельефа будет чрезмерной для рассматриваемой задачи
- требуется упростить и сгладить эти модели рельефа

Облако точек ВЛС в текстовом файле

```
381989.680 3335495.720 426.010
381989.930 3335495.830 426.050
381989.750 3335495.860 426.020
381991.070 3335495.820 426.210
381990.820 3335495.700 426.170
381990.580 3335495.580 426.120
381990.320 3335495.470 426.100
381989.830 3335495.230 425.990
381989.990 3335494.900 426.000
381990.230 3335495.010 426.060
381990.480 3335495.130 426.100
381990.740 3335495.250 426.140
381990.980 3335495.360 426.150
381991.230 3335495.470 426.190
381991.480 3335495.590 426.210
381991.730 3335495.700 426.240
381991.970 3335495.820 426.240
381989.920 3335495.500 426.000
381990.180 3335495.610 426.080
```

...

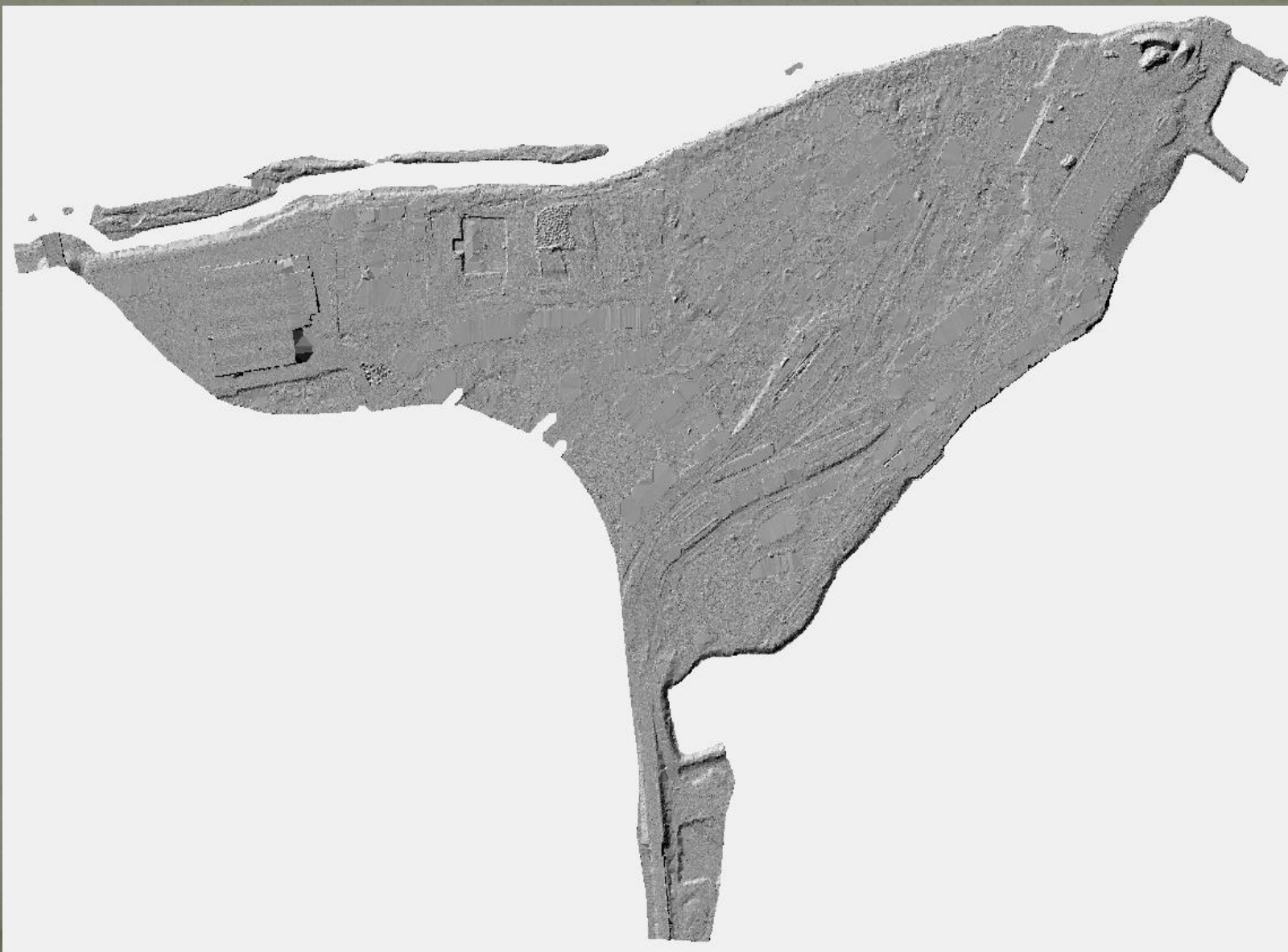
Пример результатов лазерного сканирования



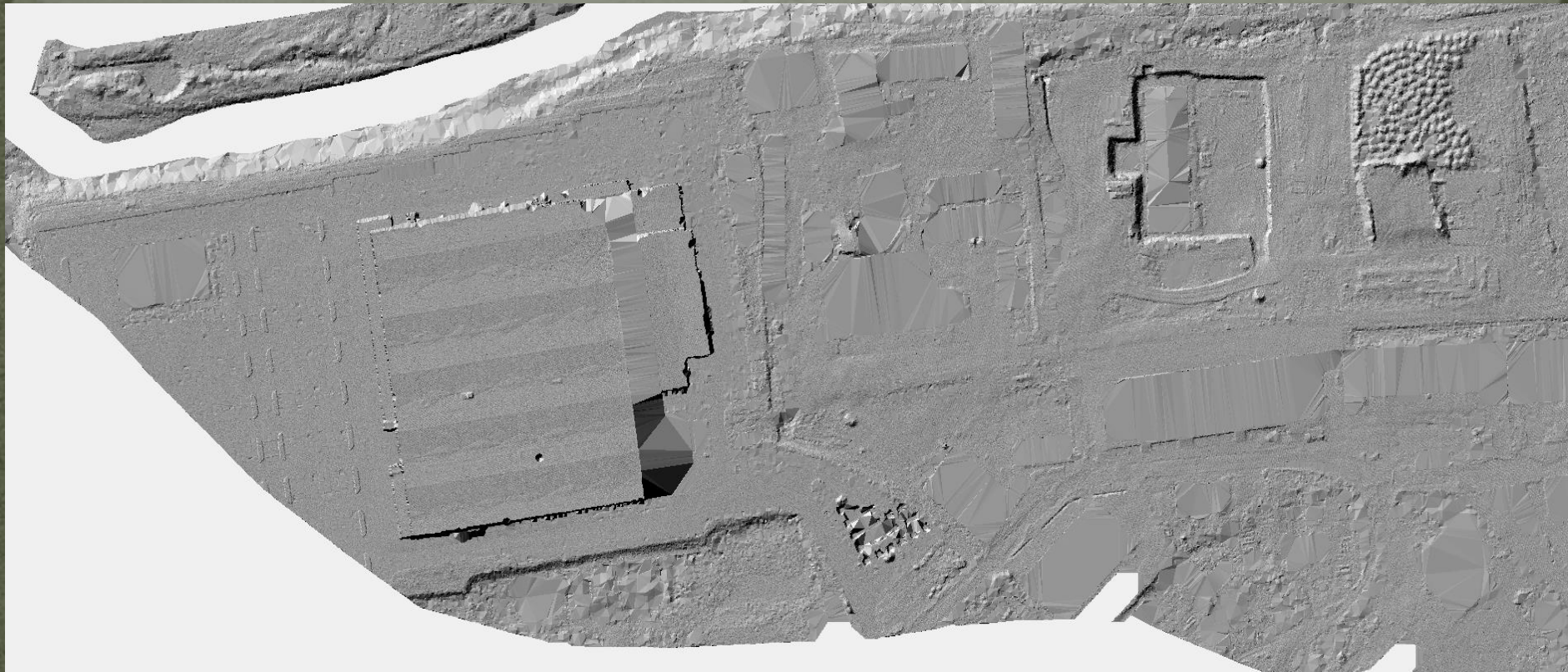
Использование триангуляций

- Для работы с облаками точек были использованы алгоритмы построения триангуляций Делоне и триангуляций Делоне с ограничениями, реализованные в программе TINSmith, разработанной в ИДСТУ СО РАН.
- После построения триангуляции к ней был применён алгоритм поиска незаполненных треугольников, при работе которого внешние треугольники, имеющие внешнее ребро длиннее заданного порога, последовательно помечаются, как вспомогательные.
- Такая фильтрация треугольников впоследствии влияет на результаты растеризации: все точки, попадающие во вспомогательные треугольники, получают значение «Нет данных».

Триангуляция, построенная по всем точкам для участка в районе Иркутского моста (4.5 млн. точек)



Увеличенный фрагмент триангуляции. Видны «островки» на парковке, особенности конструкции крыши, следы удаления объектов (например, зданий и машин).



Растреризация

- Растреризация триангуляционной модели с шагом 20 см/пиксель
- Сглаживание растра с использованием гауссовского фильтра. Алгоритм гауссовской фильтрации пришлось доработать, чтобы он корректно игнорировал значения «нет данных»
- После гауссовской фильтрации разрешение растра было уменьшено до 1 м/пиксель
- Непосредственно по сглаженному растру могут быть построены изолинии, которые позволяют определить, какие объекты будут подвержены затоплению при соответствующем уровне воды
- Для озёра Байкал и Иркутского водохранилища этот уровень задаётся явно, а для нижнего бьефа требуются расчёты по гидравлической модели, связывающей расходы воды с уровнем на конкретных участках

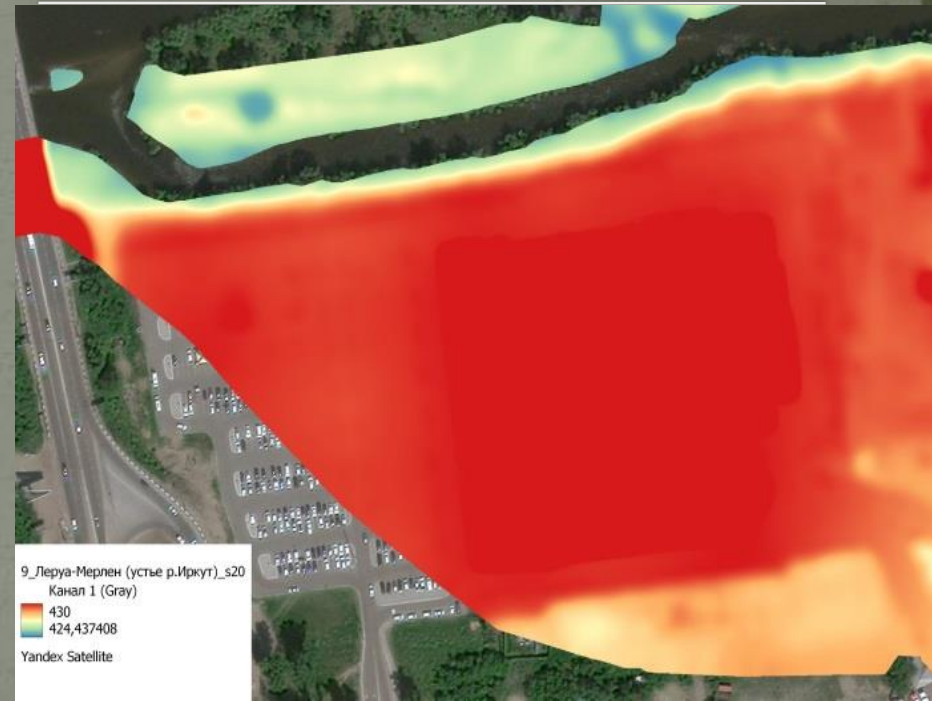
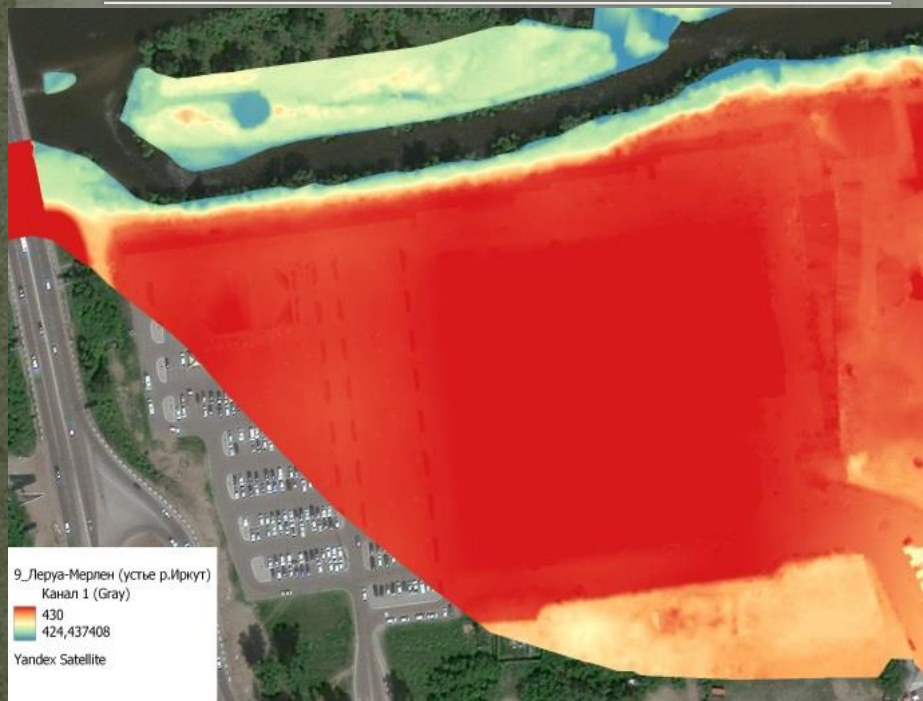
Полученная растровая модель рельефа для участка в районе Иркутского моста на фоне Яндекс спутник. Разрешение – 20см/пиксель

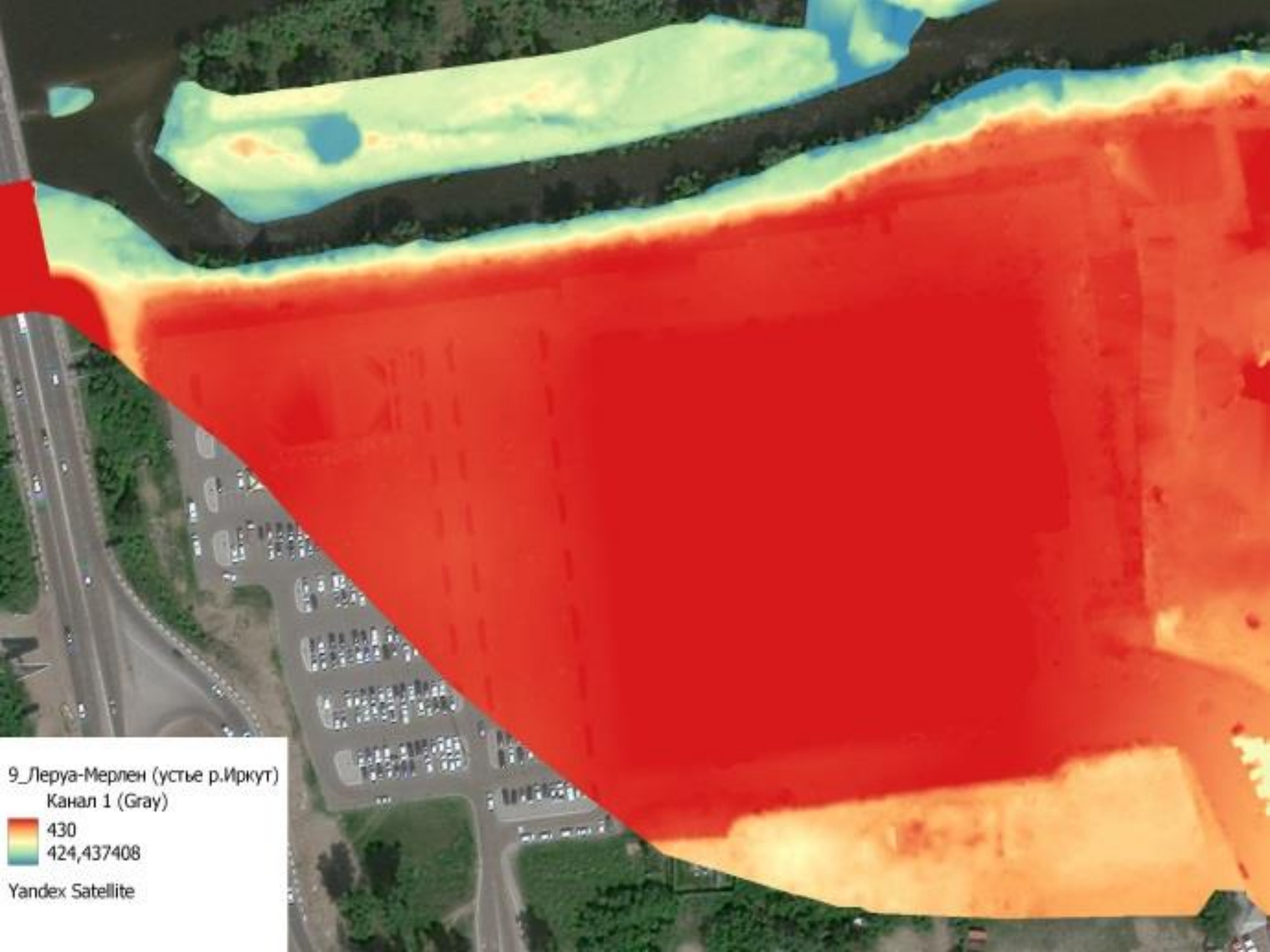


Фрагмент растровой модели

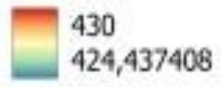
а) до сглаживания

б) после сглаживания
с $\sigma = 20$ пикселей = 4 м

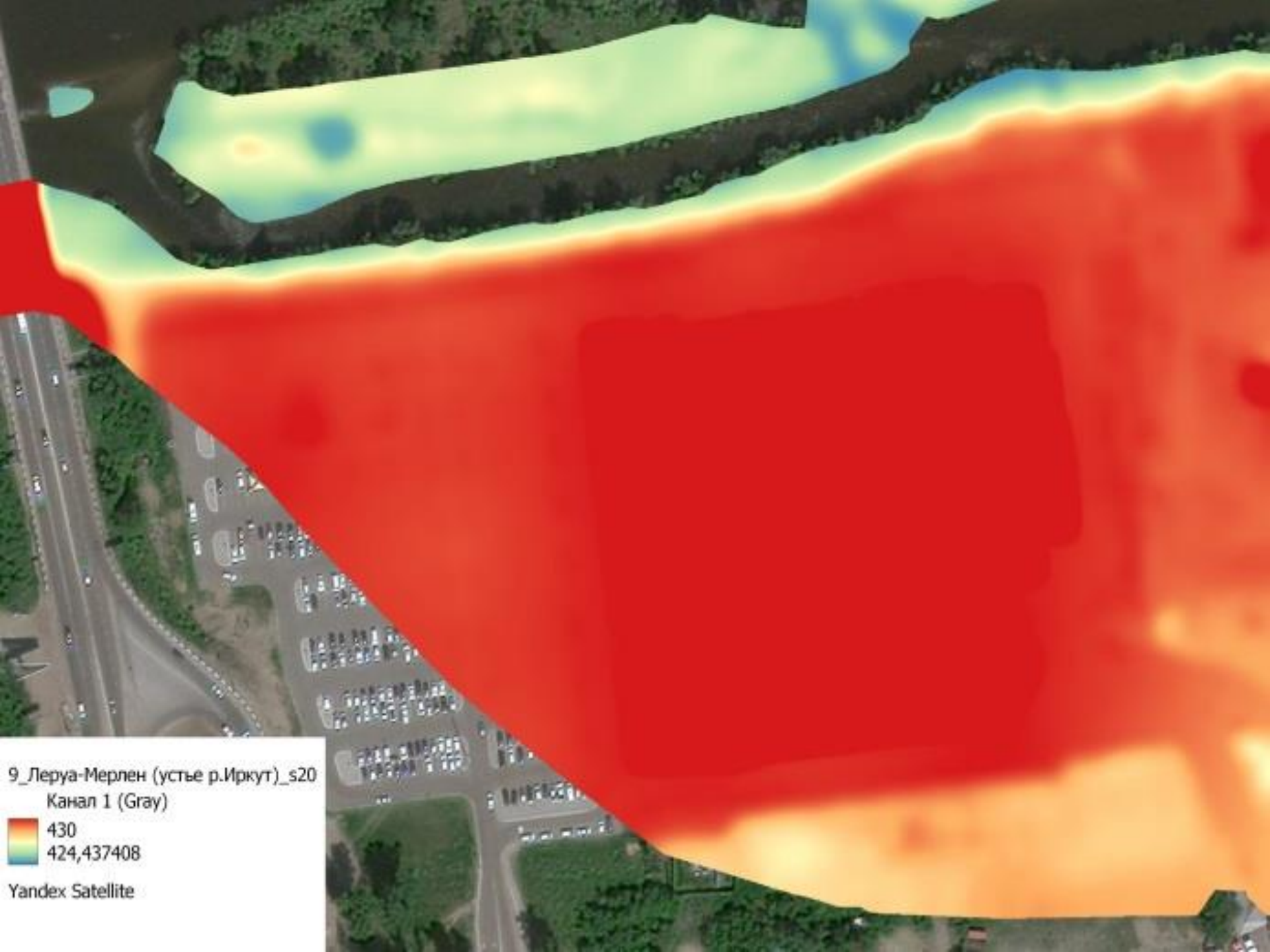




9_Леруа-Мерлен (устье р.Иркут)
Канал 1 (Gray)

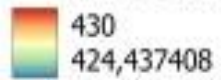


Yandex Satellite



9_Леруа-Мерлен (устье р.Иркут)_s20

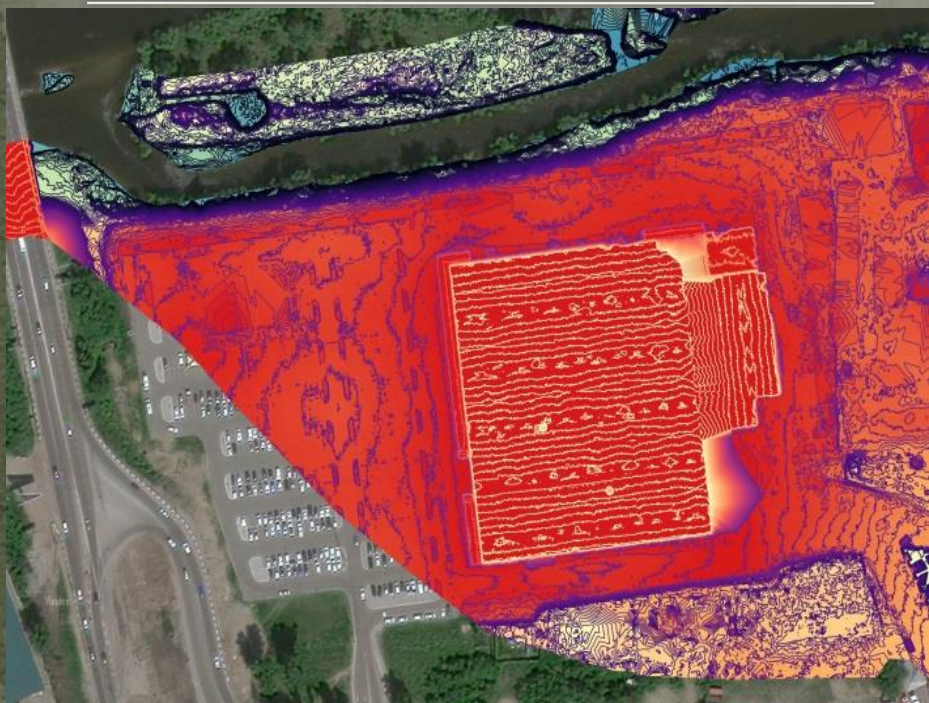
Канал 1 (Gray)



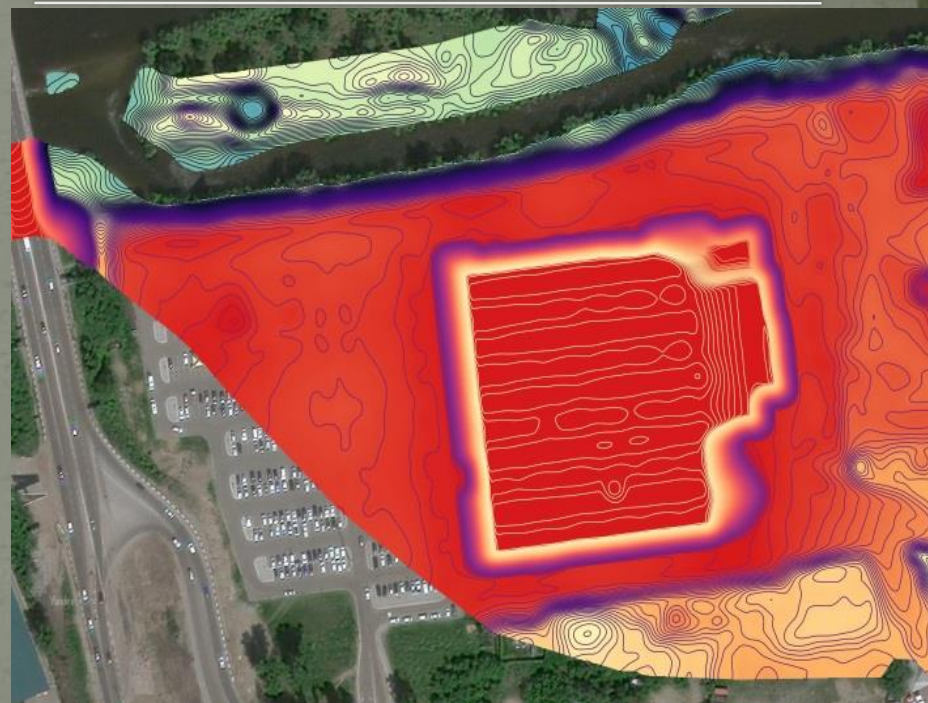
Yandex Satellite

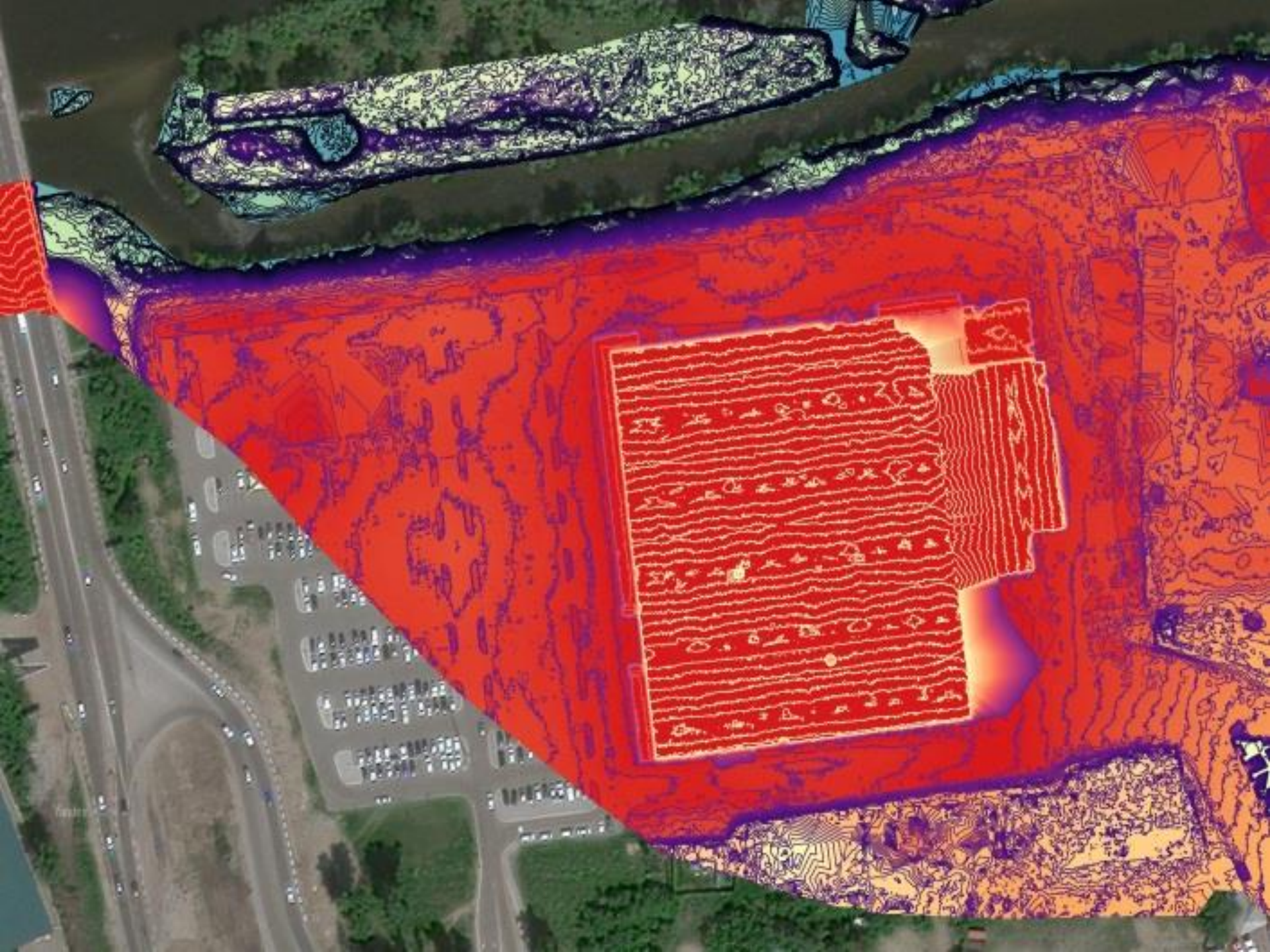
Изолинии, построенные с шагом 0,1 м по растровой модели

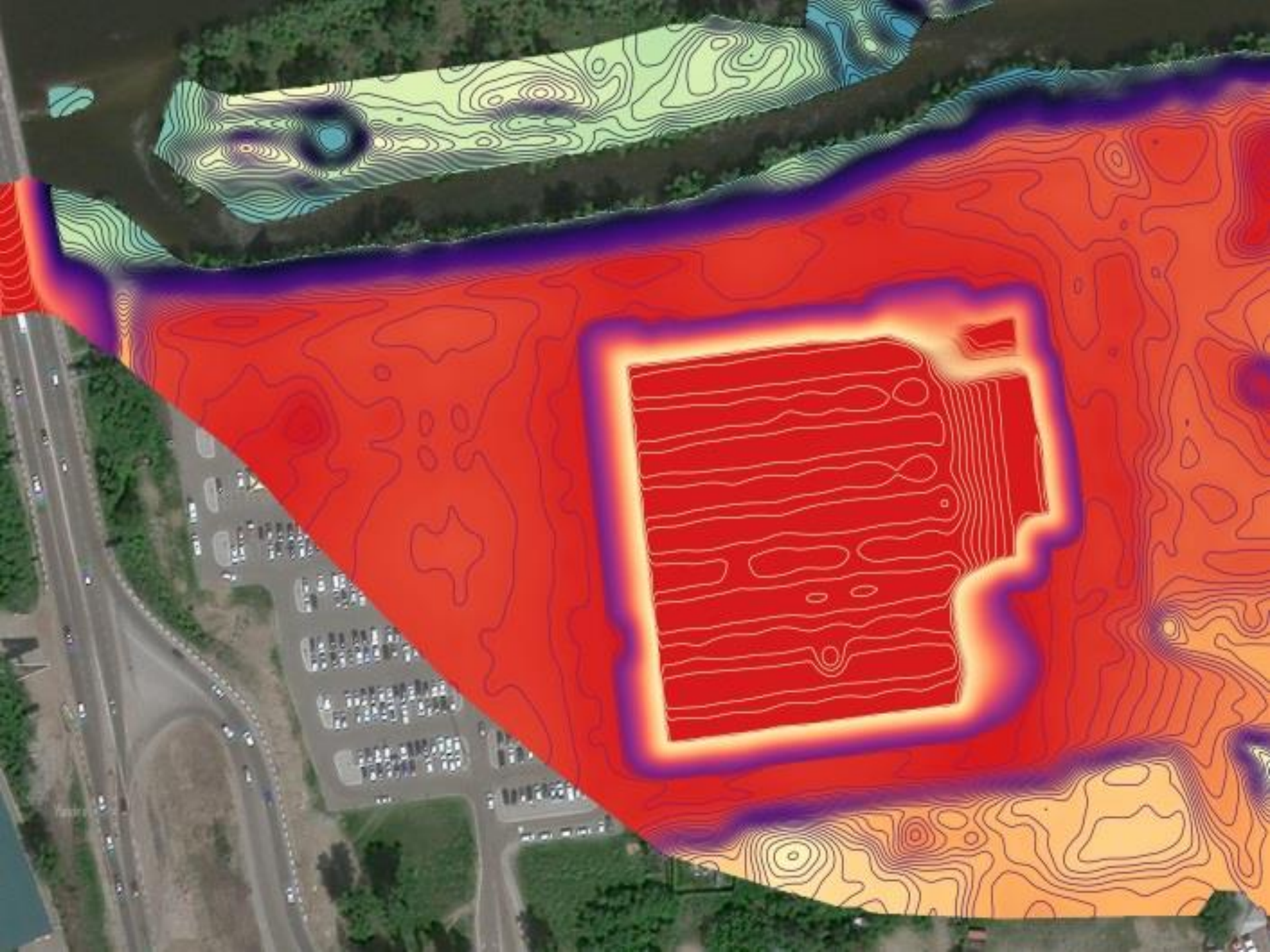
а) до сглаживания



б) после сглаживания с $\sigma = 20$ пикселей = 4 м



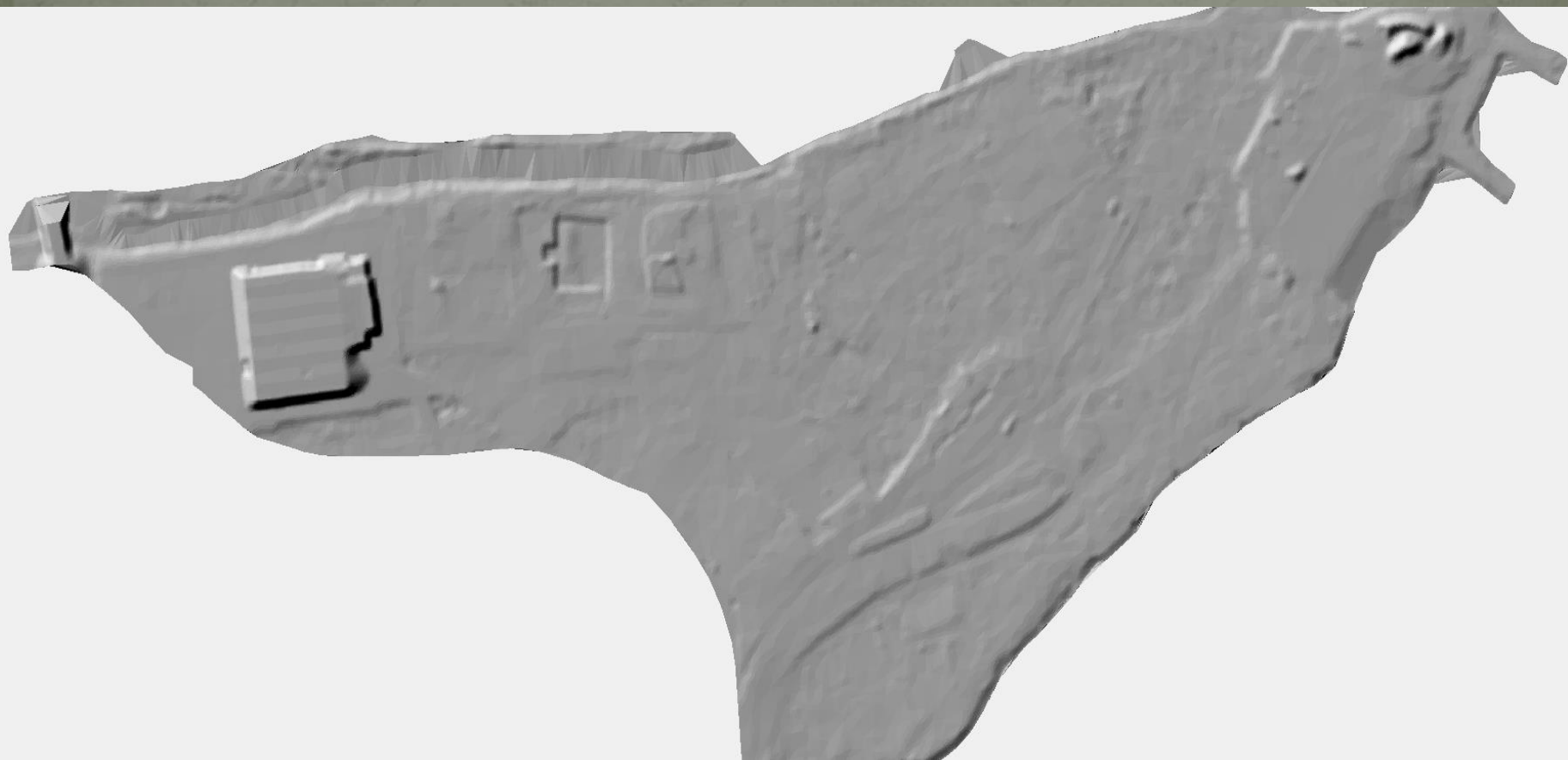




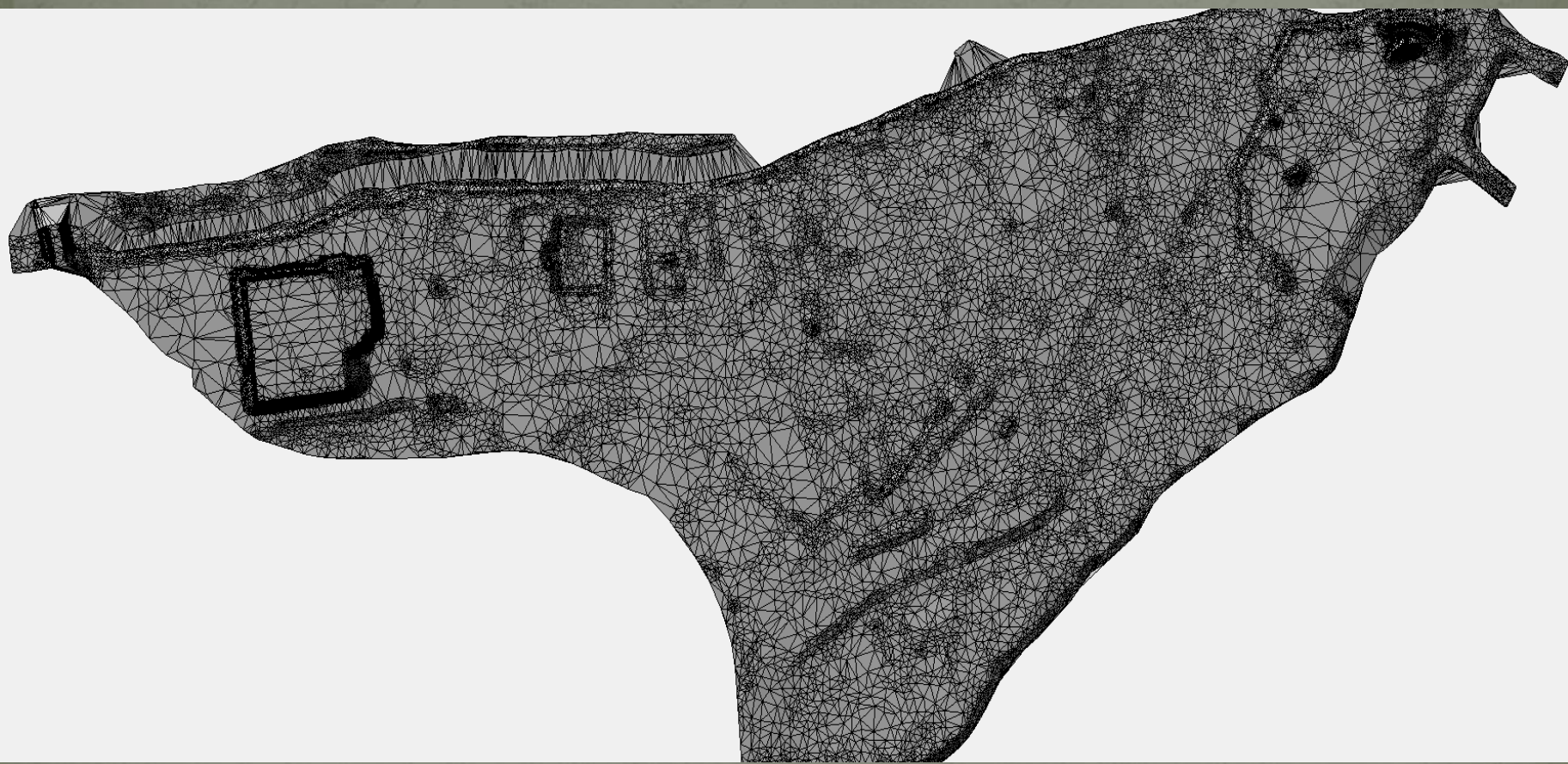
Получение упрощённой триангуляции

- для включения в общую модель рельефа необходимо получить упрощённые модели отснятых участков
- используем алгоритм построения триангуляции по растру с фильтрацией точек, который позволяет получить аппроксимацию модели рельефа с заданной точностью (вход - сглаженный растр с разрешением 1м/пиксель; точность аппроксимации 5 см)
- для рассматриваемого участка упрощённая триангуляция содержит 26467 точек, при этом изначально в модели было 4510582 точки.

Упрощённая триангуляция

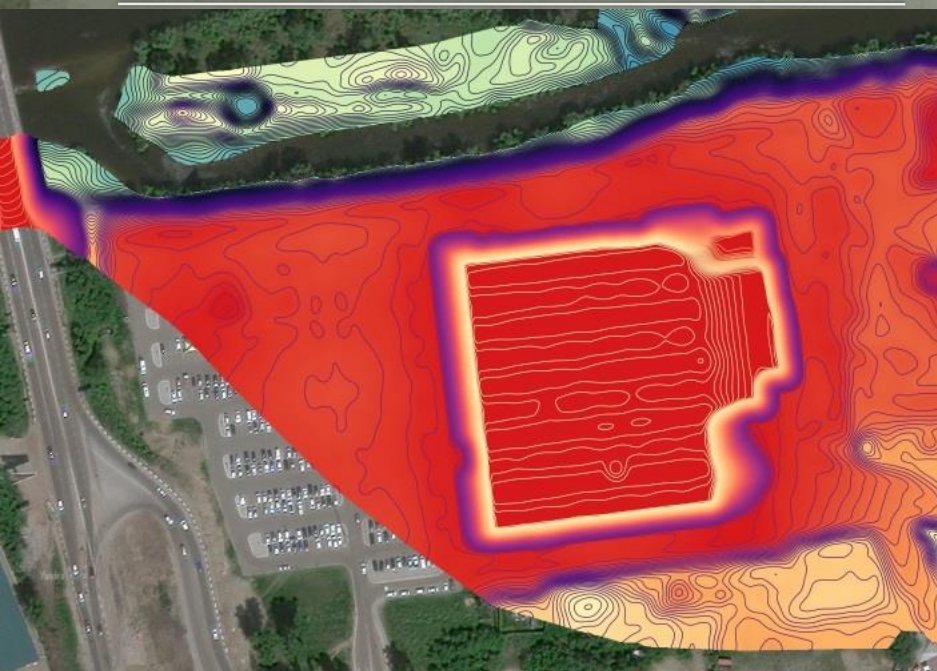


Упрощённая триангуляция

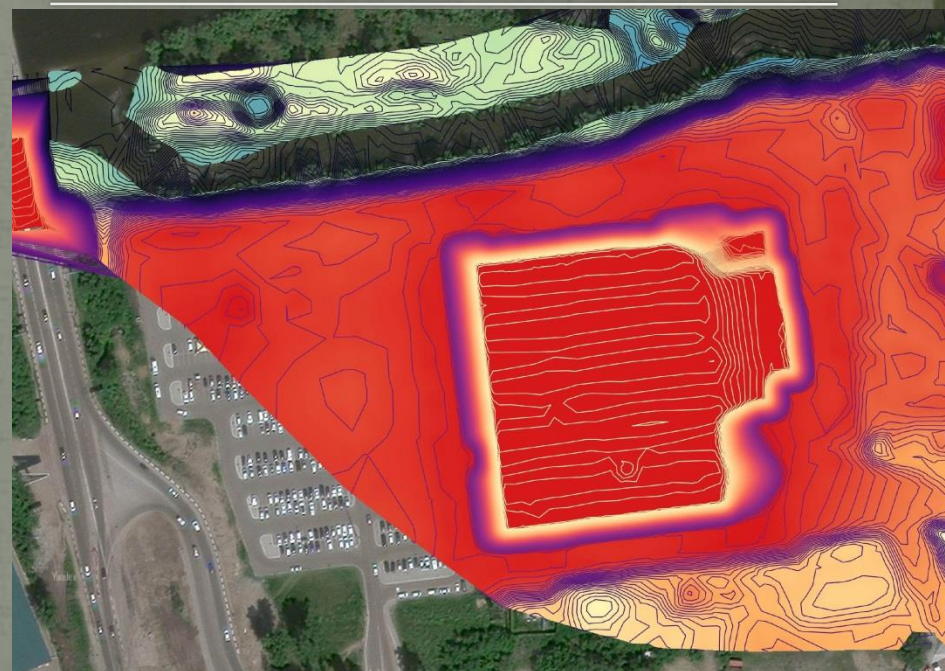


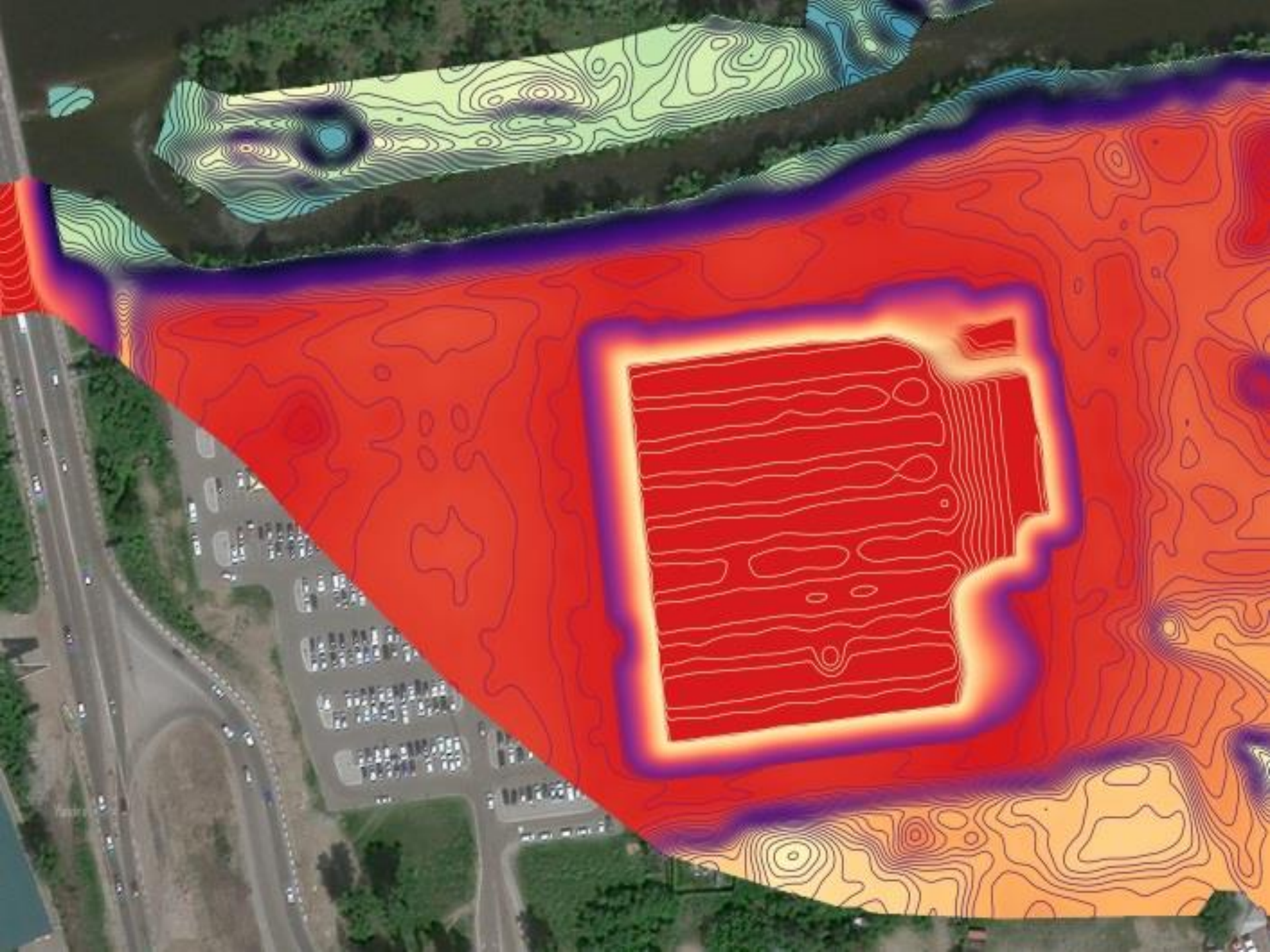
Сравнение изолиний, построенные с шагом 0,1 м

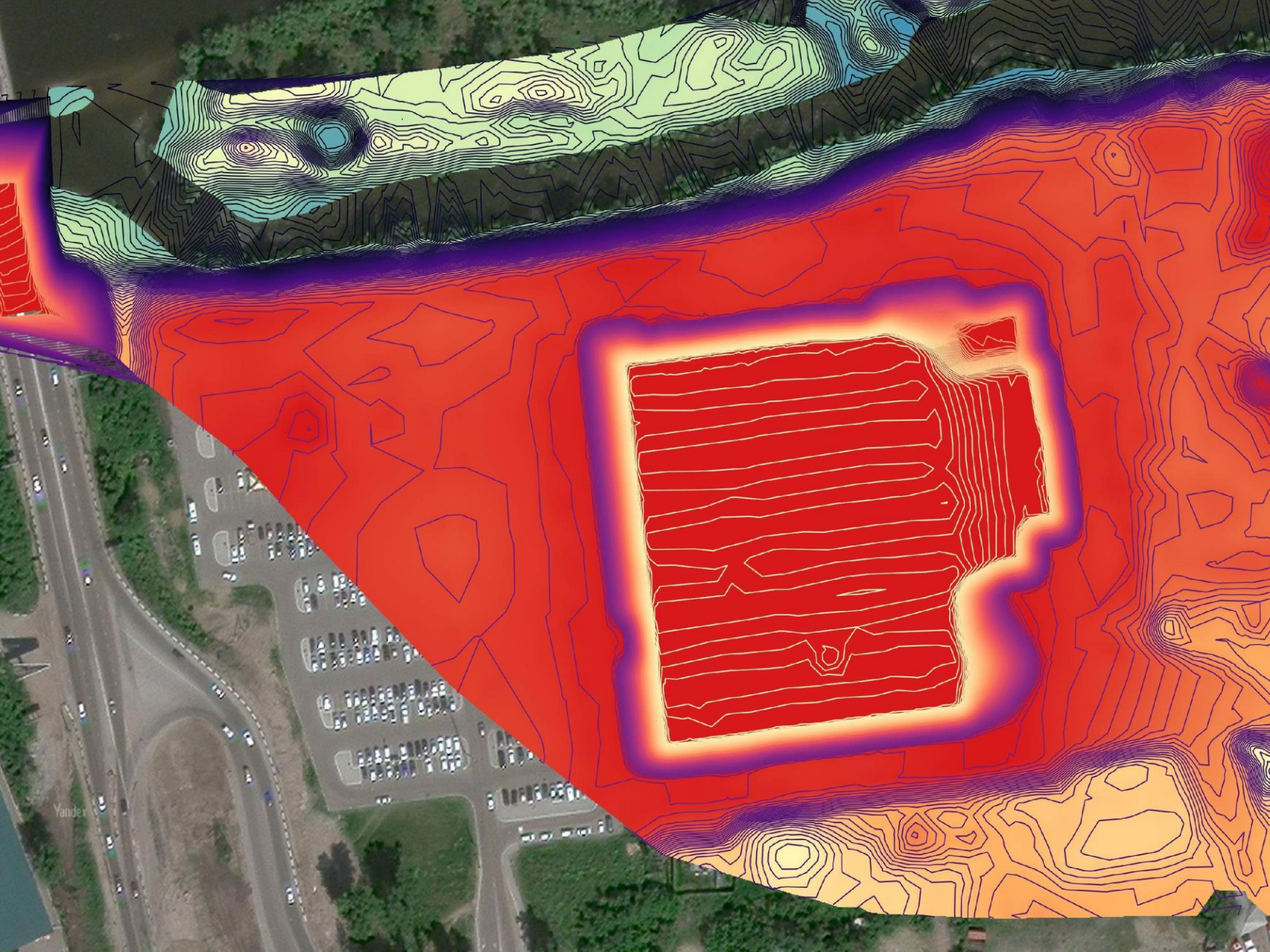
а) по сглаженной
растровой модели



б) по упрощённой
триангуляции





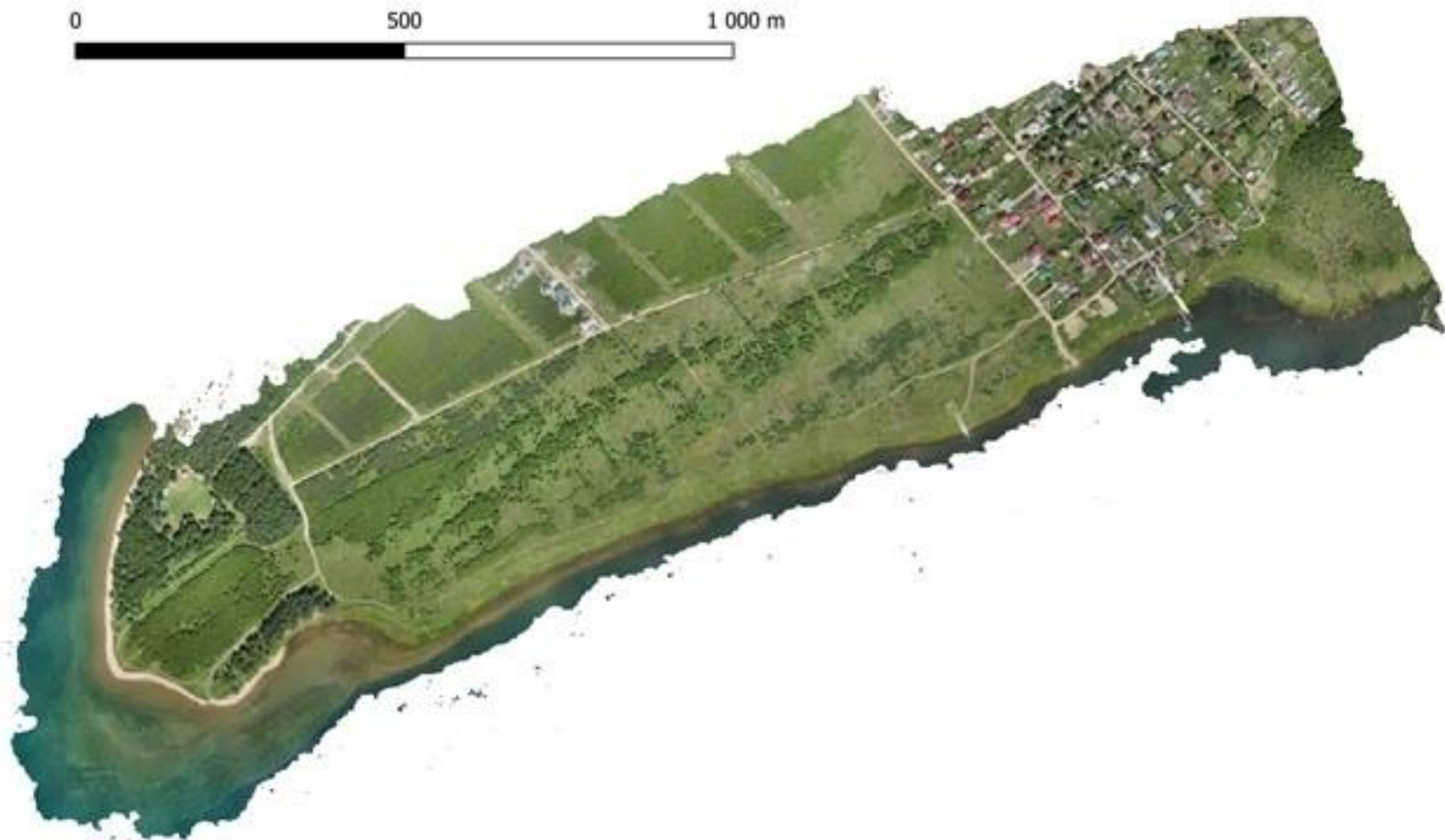


Yandex

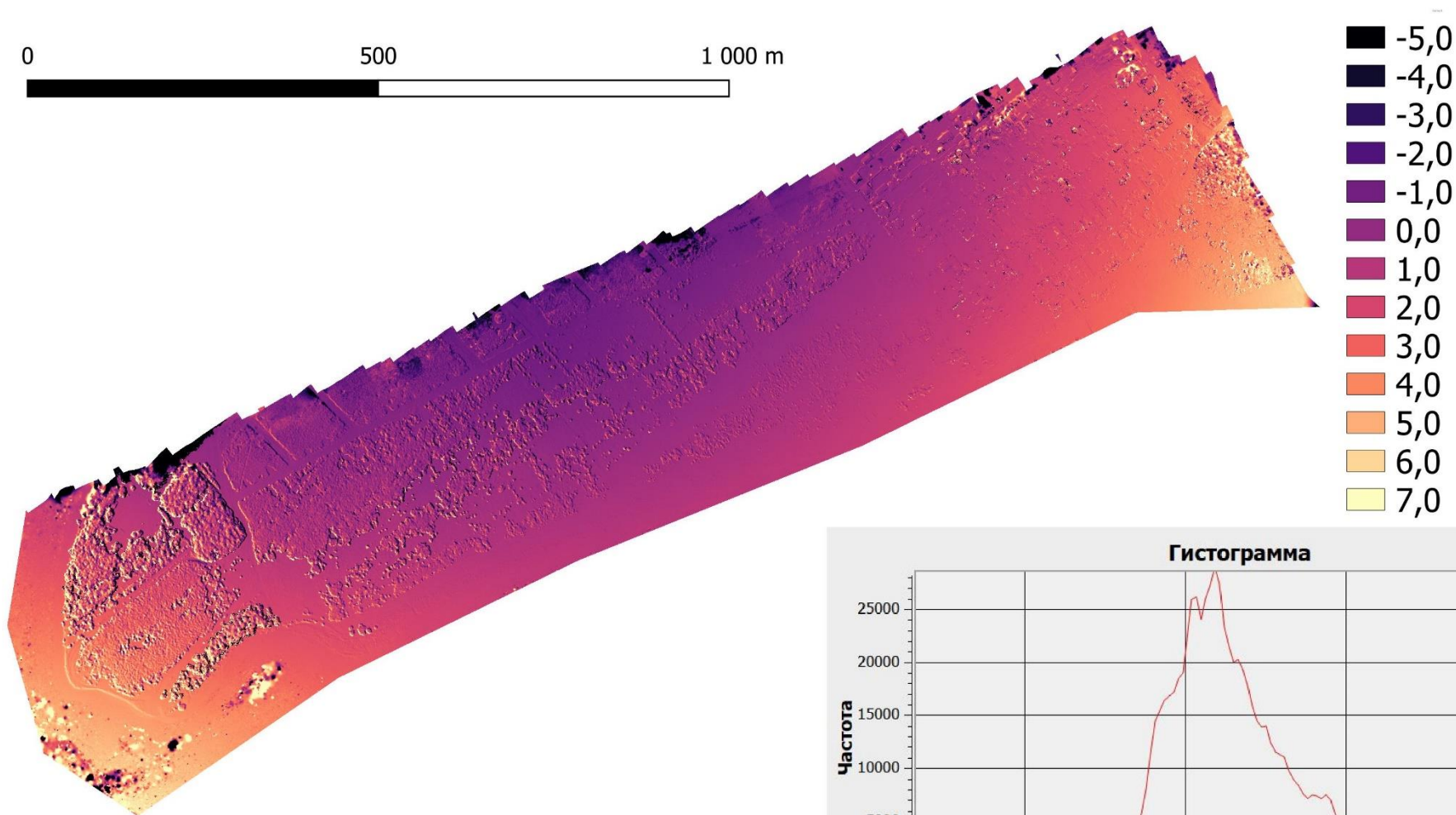
Обработка съёмки БПЛА

- Фотограмметрическая обработка съёмки с БПЛА может дать растровую модель рельефа (это не использовалось)
- создаётся плотное облако точек (сотни миллионов точек на небольшой участок)
- В Agisoft Metashape прореживание с шагом 0.8м (в 10 раз больше исходной плотности точек) оставляет уже несколько миллионов точек.
- В Agisoft Metashape реализована классификация точек рельефа по углу наклона треугольников. После применения этого алгоритма с параметрами по умолчанию (15° наклона) получаем в основном точки рельефа
- Далее применяем тот же подход, что и для данных ВЛС

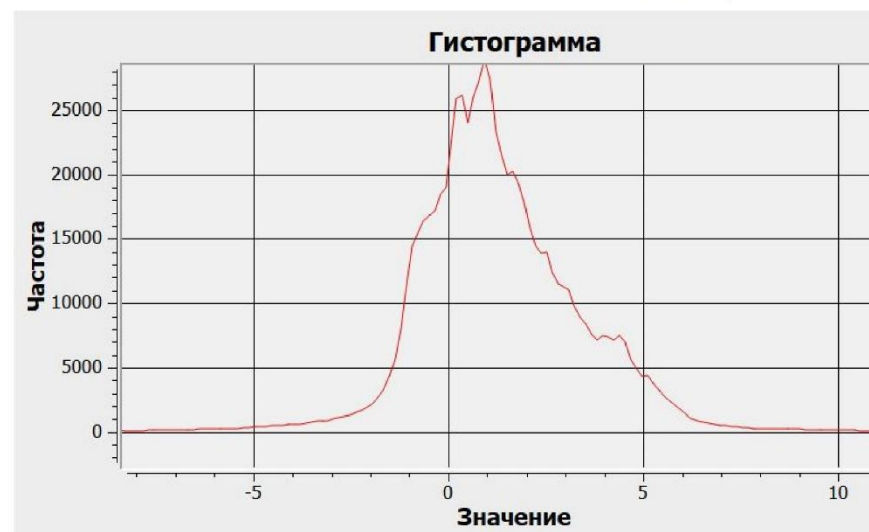
Ортофотоплан фрагмента местности в районе
Иркутского водохранилища, съёмка БПЛА с высоты
220 м



Разность ЦМР для полётов на высотах 150м и 220м и её гистограмма






Среднее: 1.28
Дисперсия: 2.57



Геодезическая привязка



Маркеры	▲	Ошибка, восточное (м)	Ошибка, северное (м)	Ошибка, высота (м)	Ошибка (м)
<input type="checkbox"/>  ор60		-0.002669	-0.060695	0.392824	0.397494
<input type="checkbox"/>  ор61		0.108058	-0.108782	0.043022	0.159251
<input type="checkbox"/>  pp1156					
Общая ошибка					
Опорные точки		0.118742	0.094157	0.197576	0.249001
Контрольные точки		13.507688	7.077148	1.634620	15.336741

Примеры ортофотопланов снятых территорий



Култук



Большое Голоустное

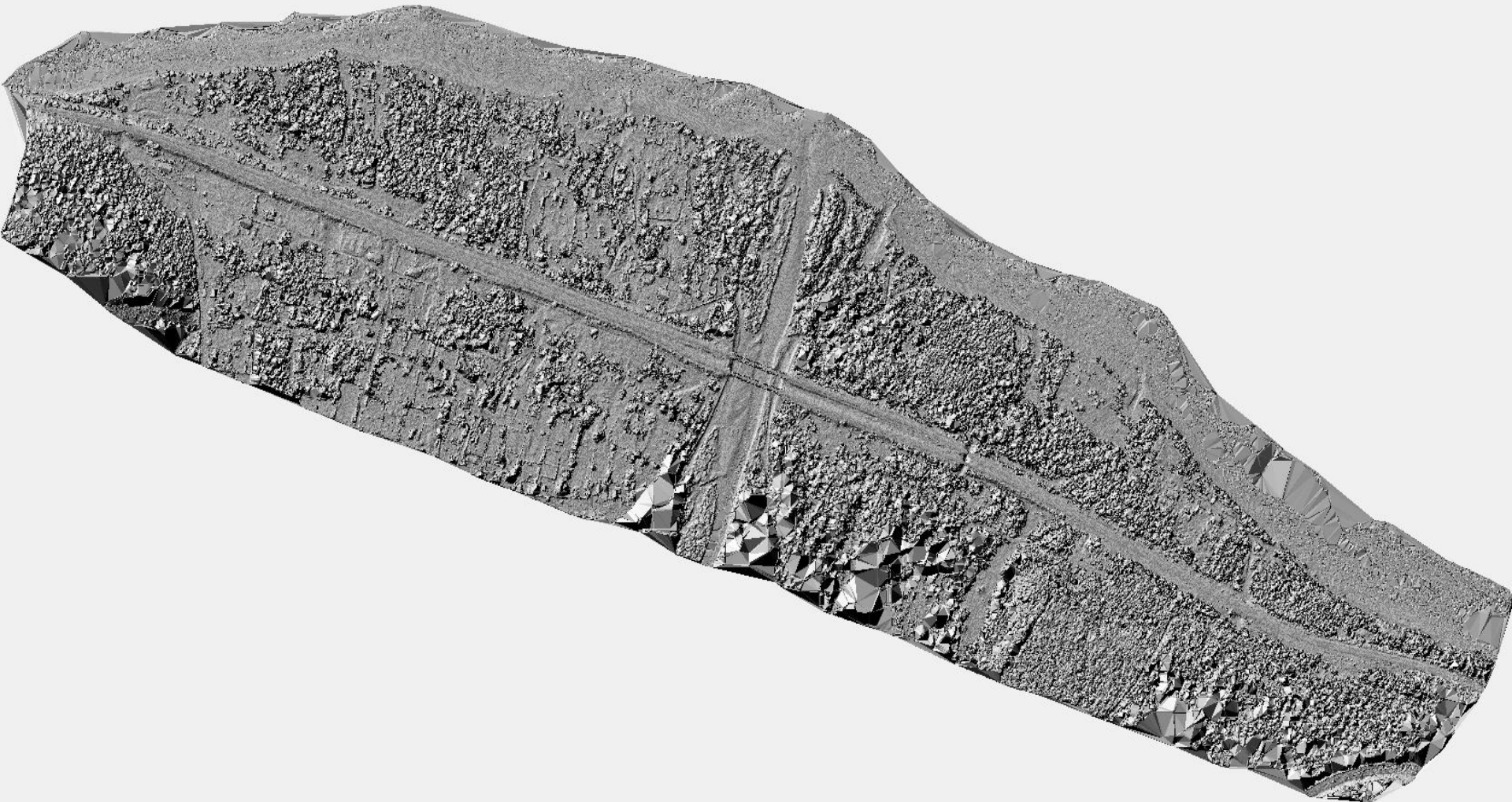


Мангутай

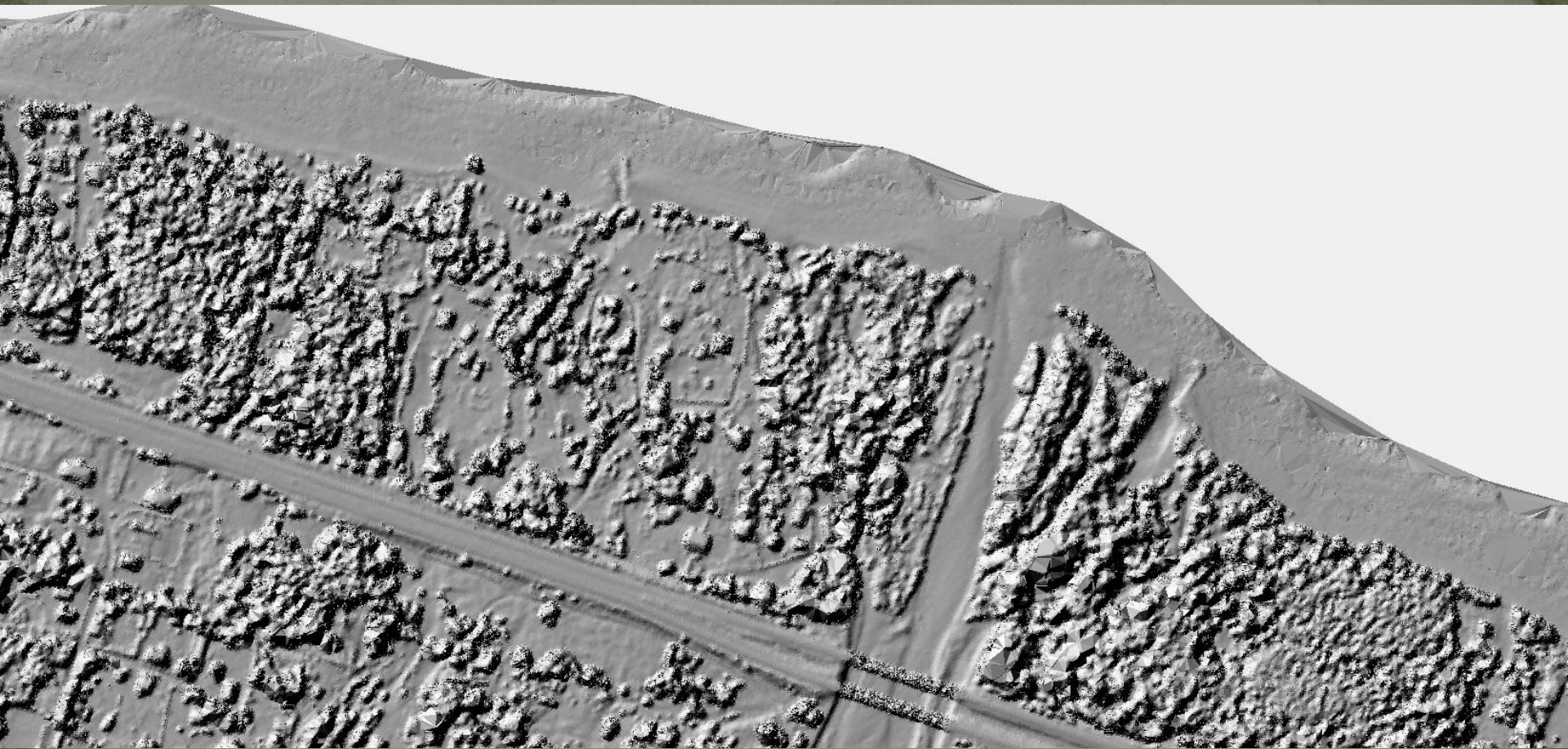


Усолье-Сибирское

Триангуляция по плотному облаку точек

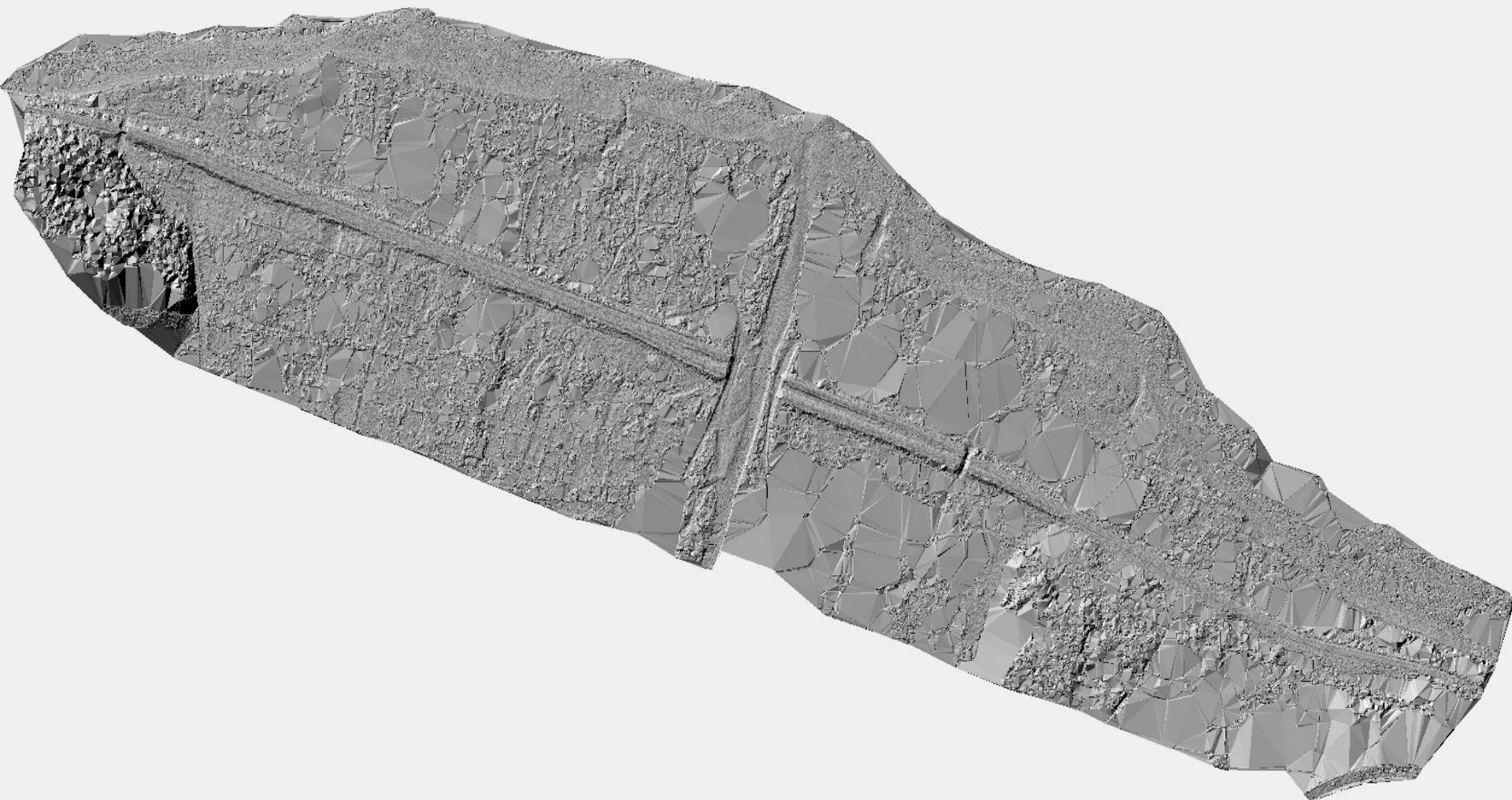


Фрагмент триангуляции ЦМР

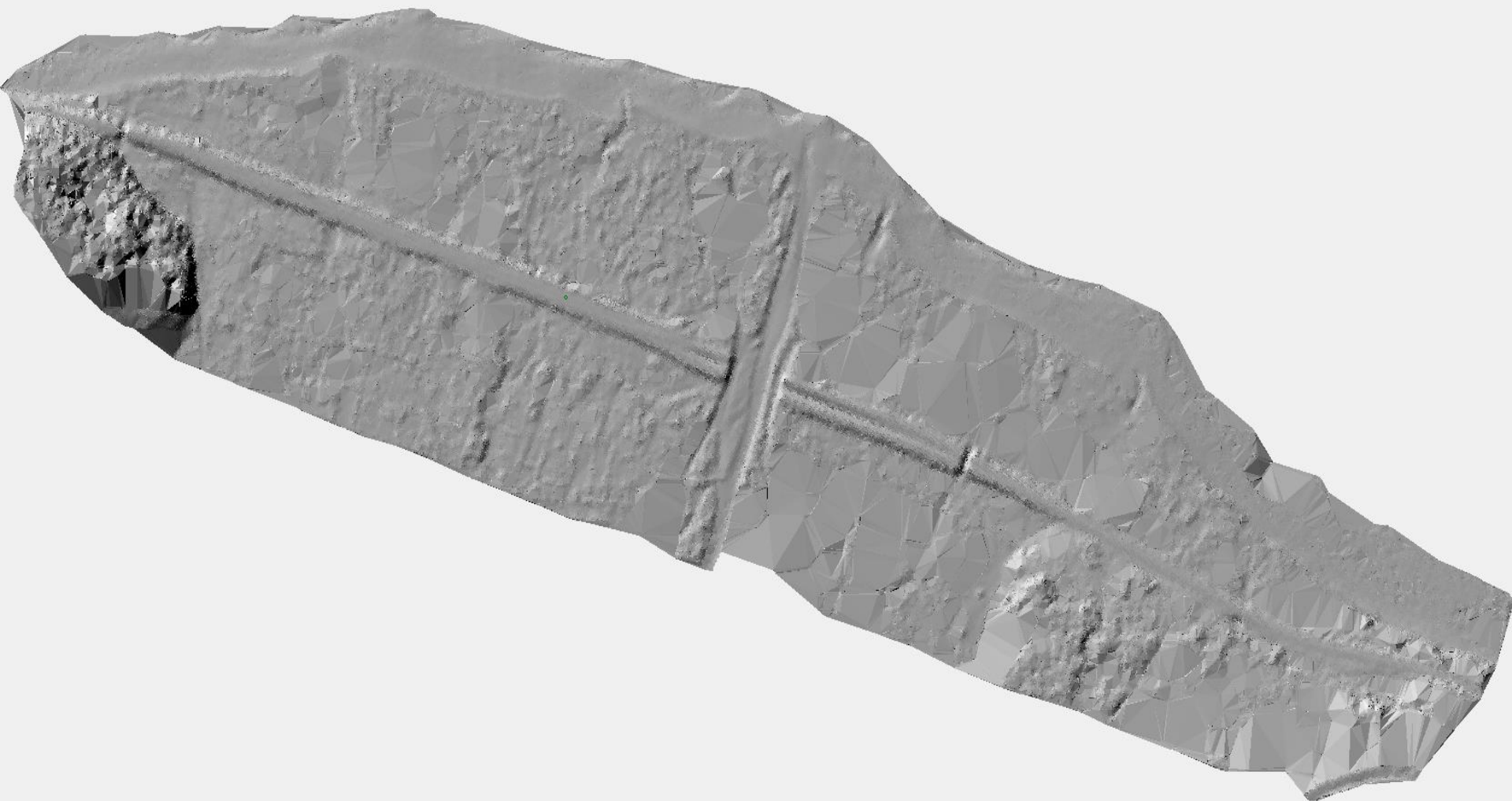


Мангутай

После фильтрации рельефа

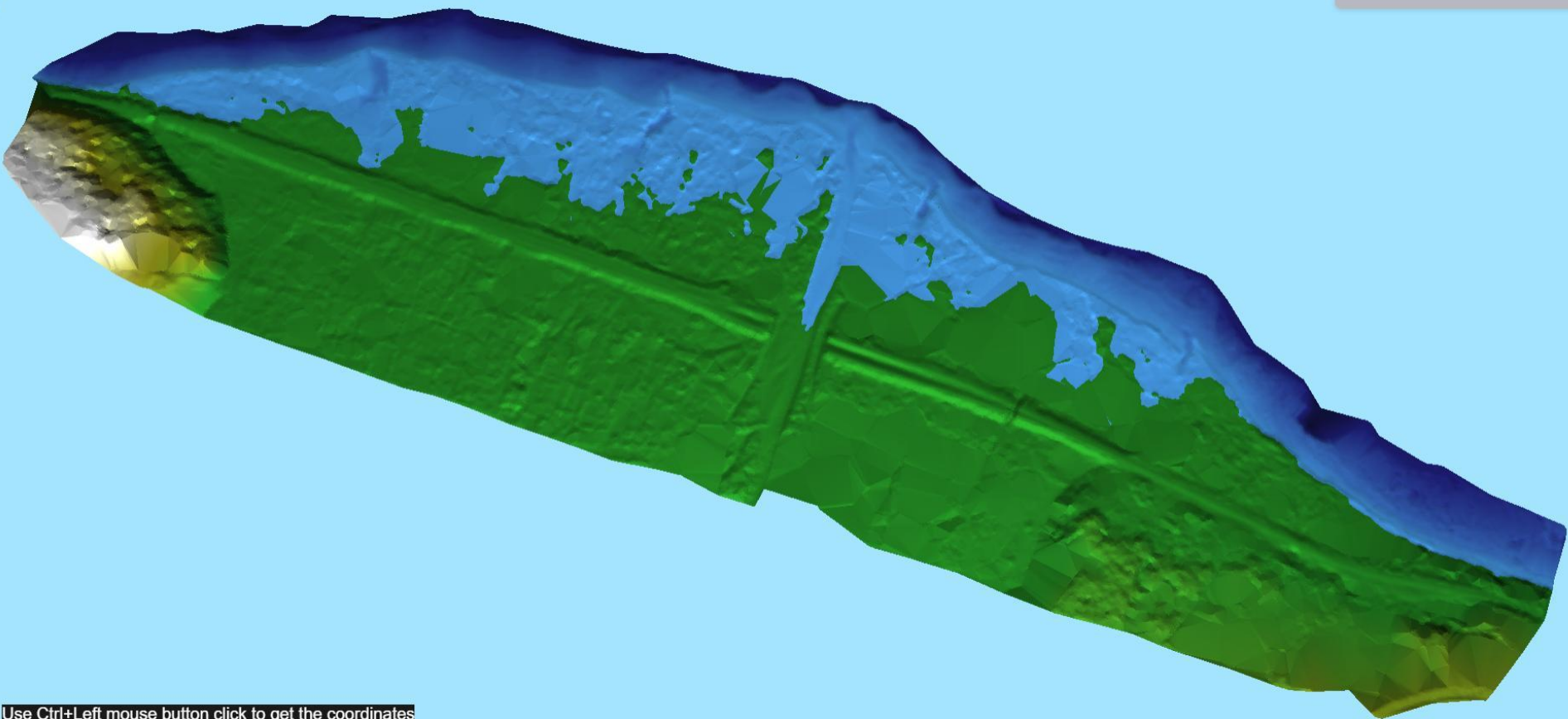


Результат сглаживания



Затопление до 458м БС на сглаженной ЦМР

Parameters



Use Ctrl+Left mouse button click to get the coordinates

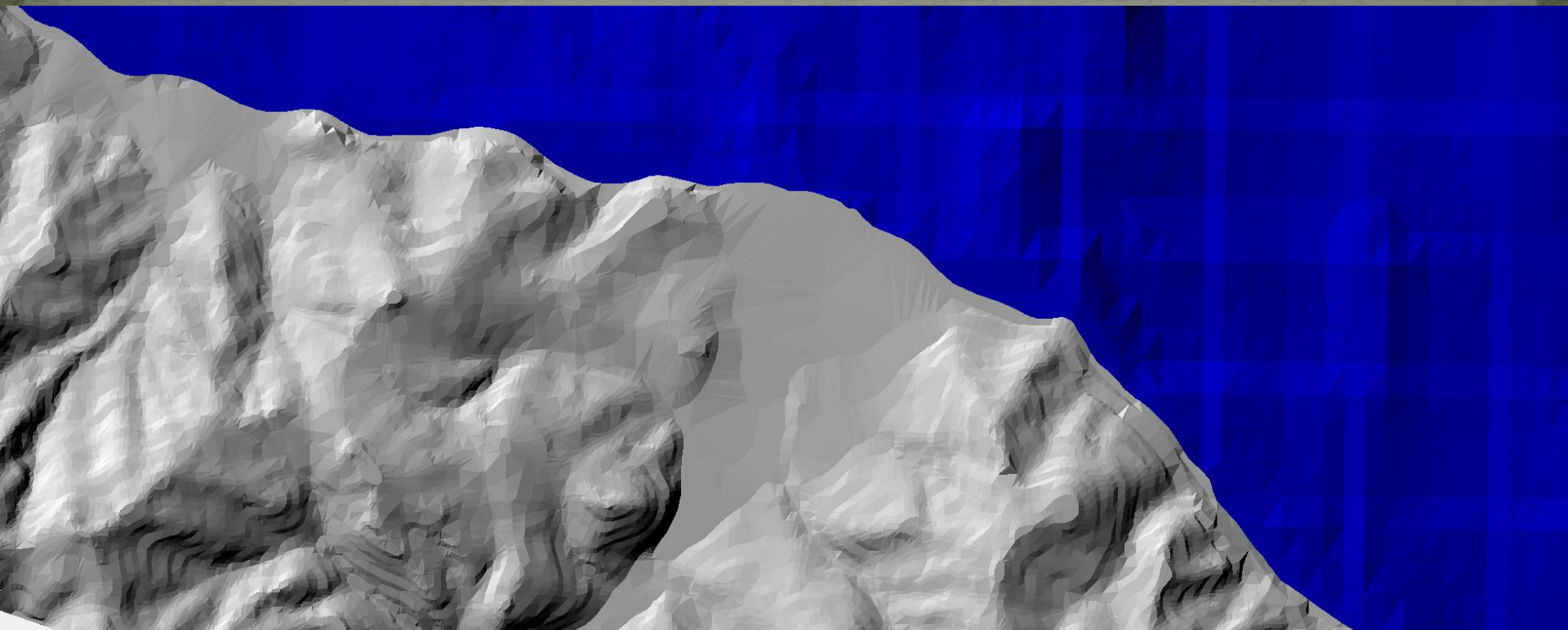
Построение итоговой модели рельефа

- Используем алгоритм замены фрагмента триангуляции
- Применяем его ко всем уточняемым участкам
- Для применения к большому числу участков используем пакетный режим в утилите TrgCmd

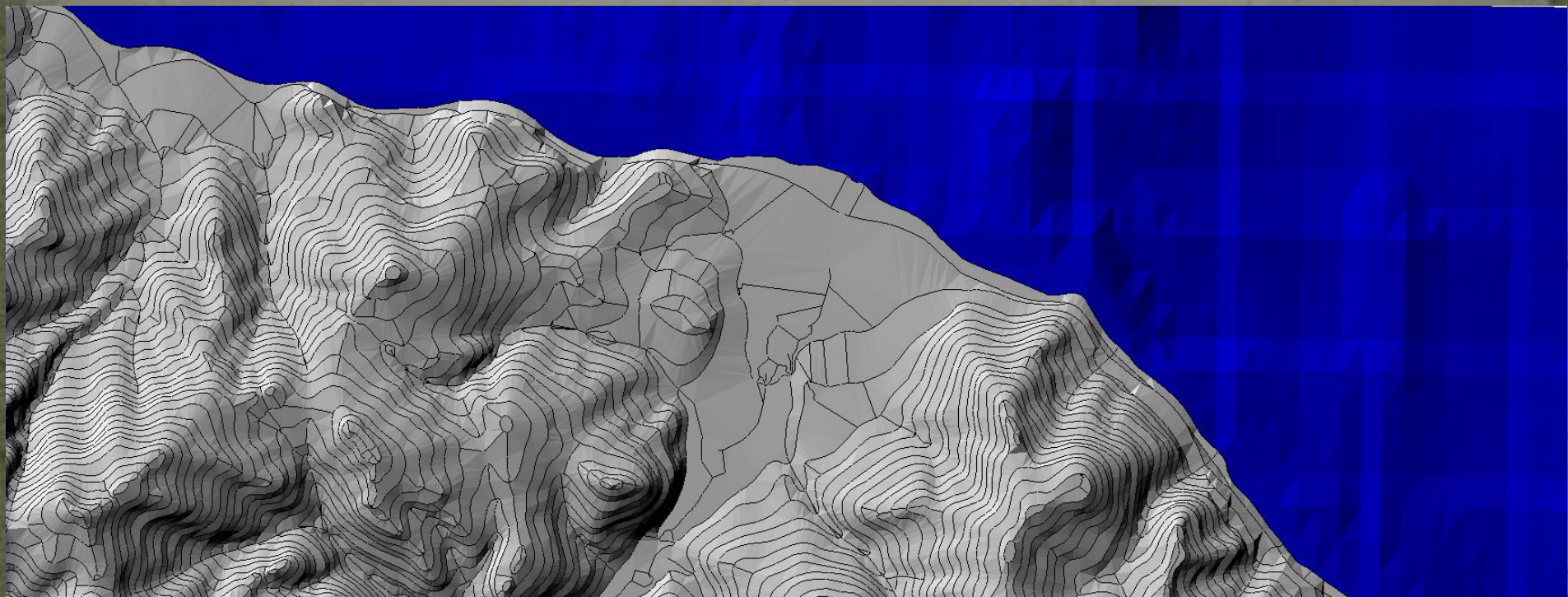
Пример командной строки TrgCmd:

```
TrgCmd.exe Set -ny ; ImportTextPoints "%~1" "y '/' ' x '/' ' z" ^  
"-PF:.\MSK38_3a.prj" ; HideBig 10 ; Save "%FN%.trg" ; Rasterize "%FN%.tif" ^  
-sx:0.2 -sy:0.2 "-PF:.\СК95.prj"
```

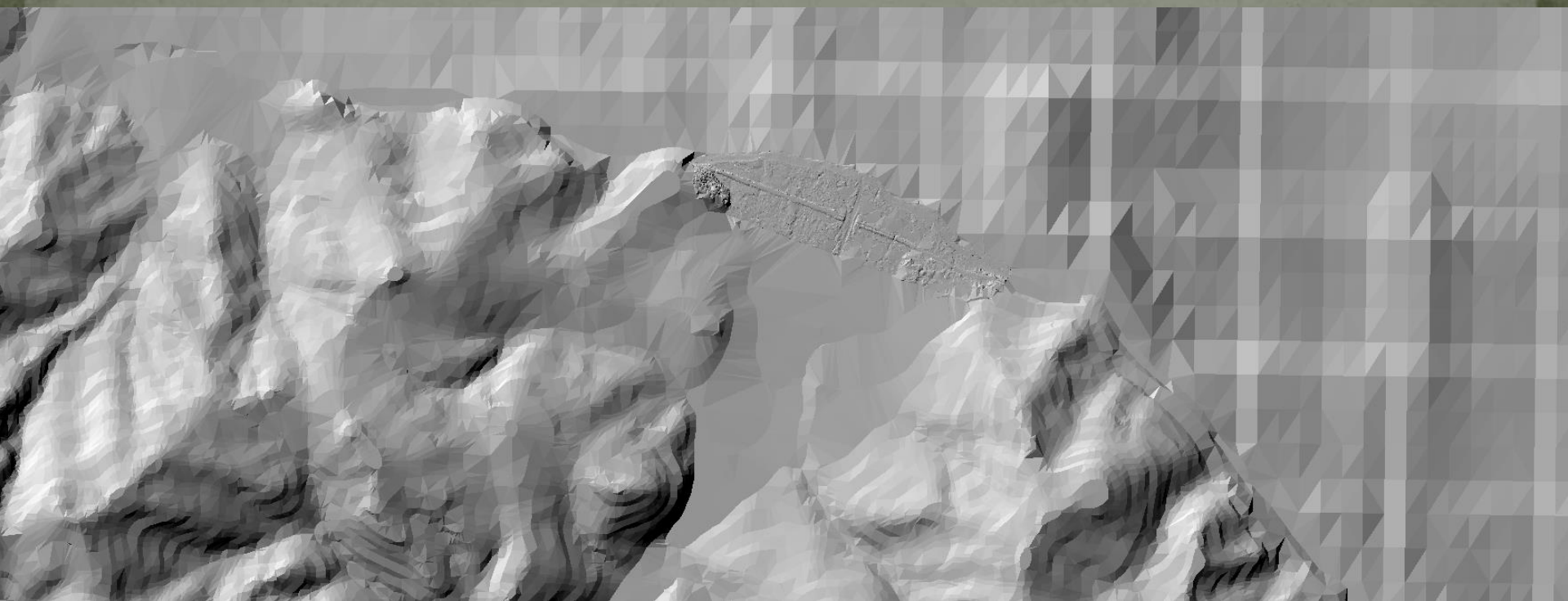
Мангутай – априорная совмещённая модель



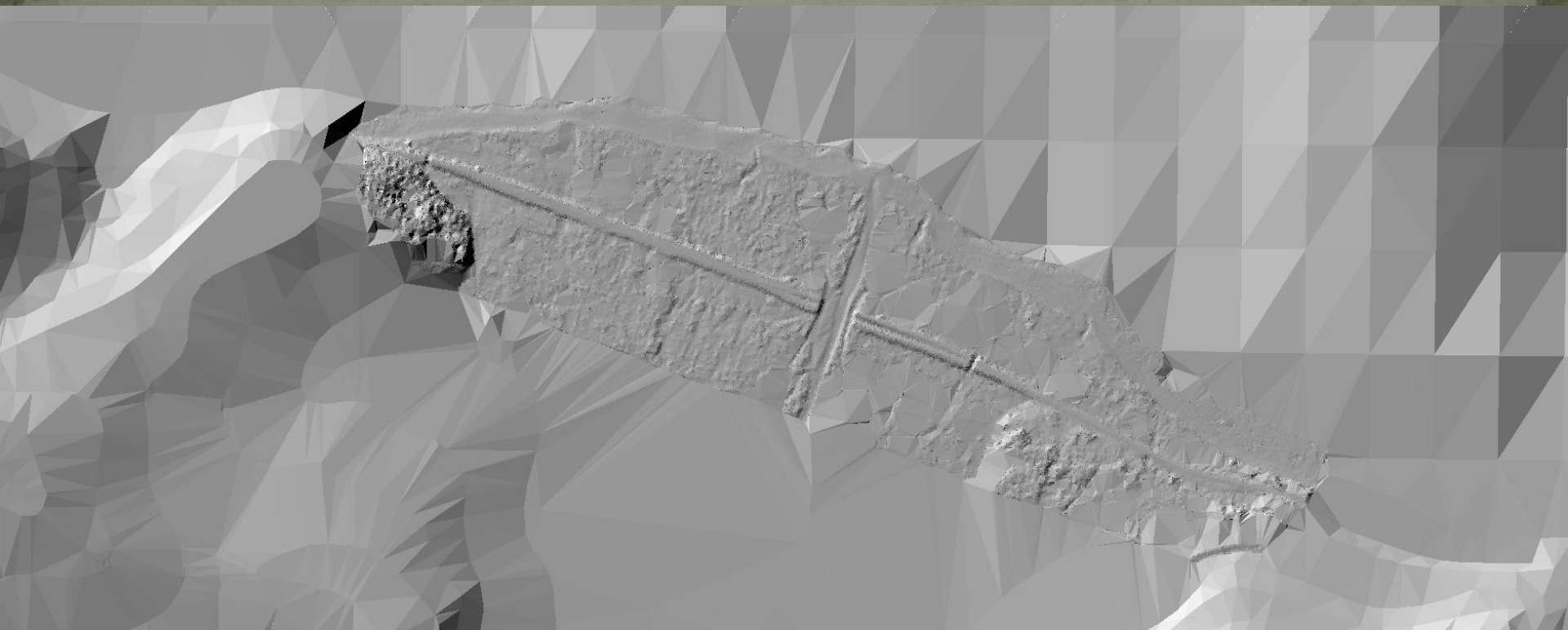
Мангута́й – фрагмент модели рельефа



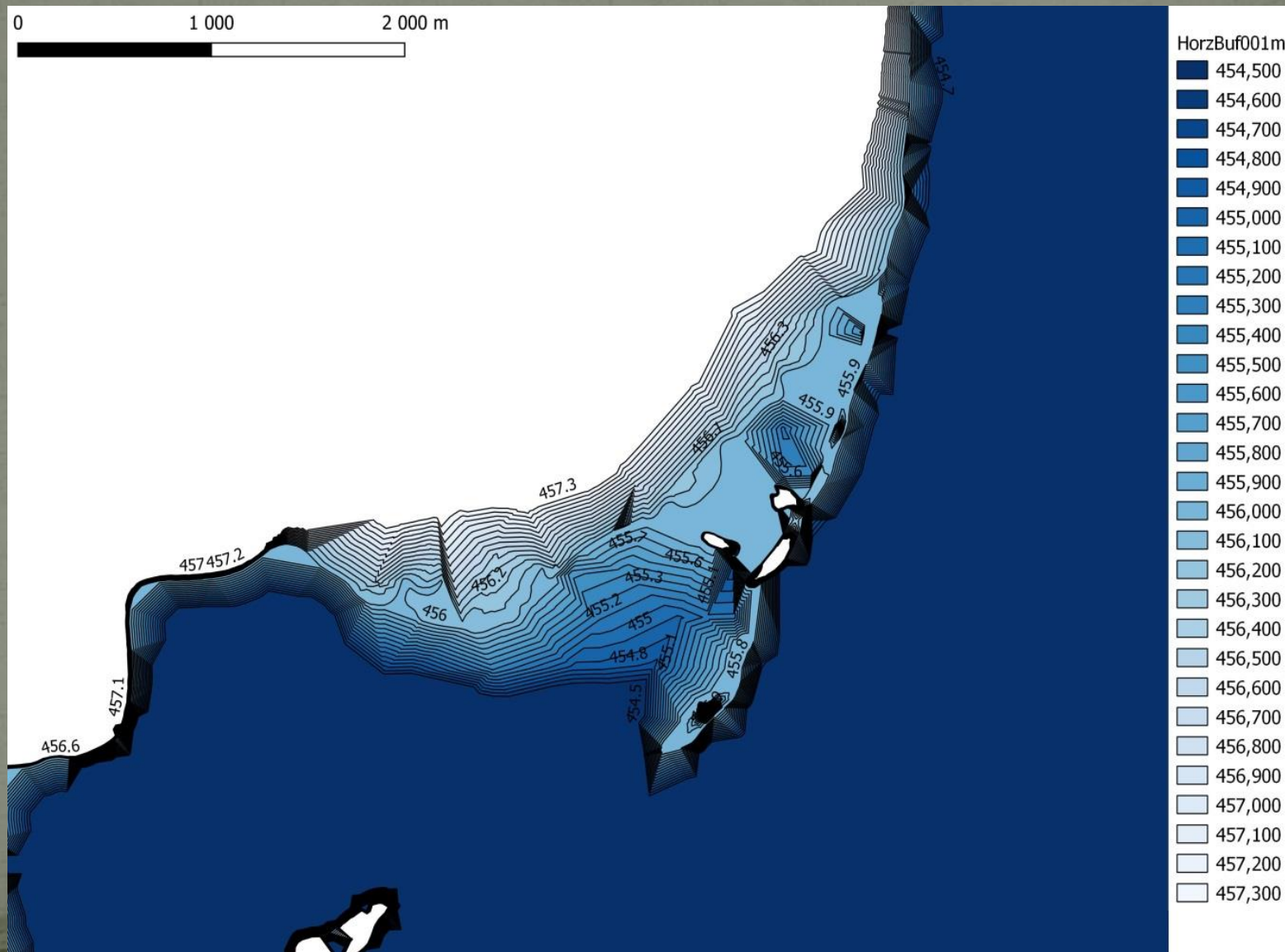
Замена фрагмента с результатами съёмки с БПЛА



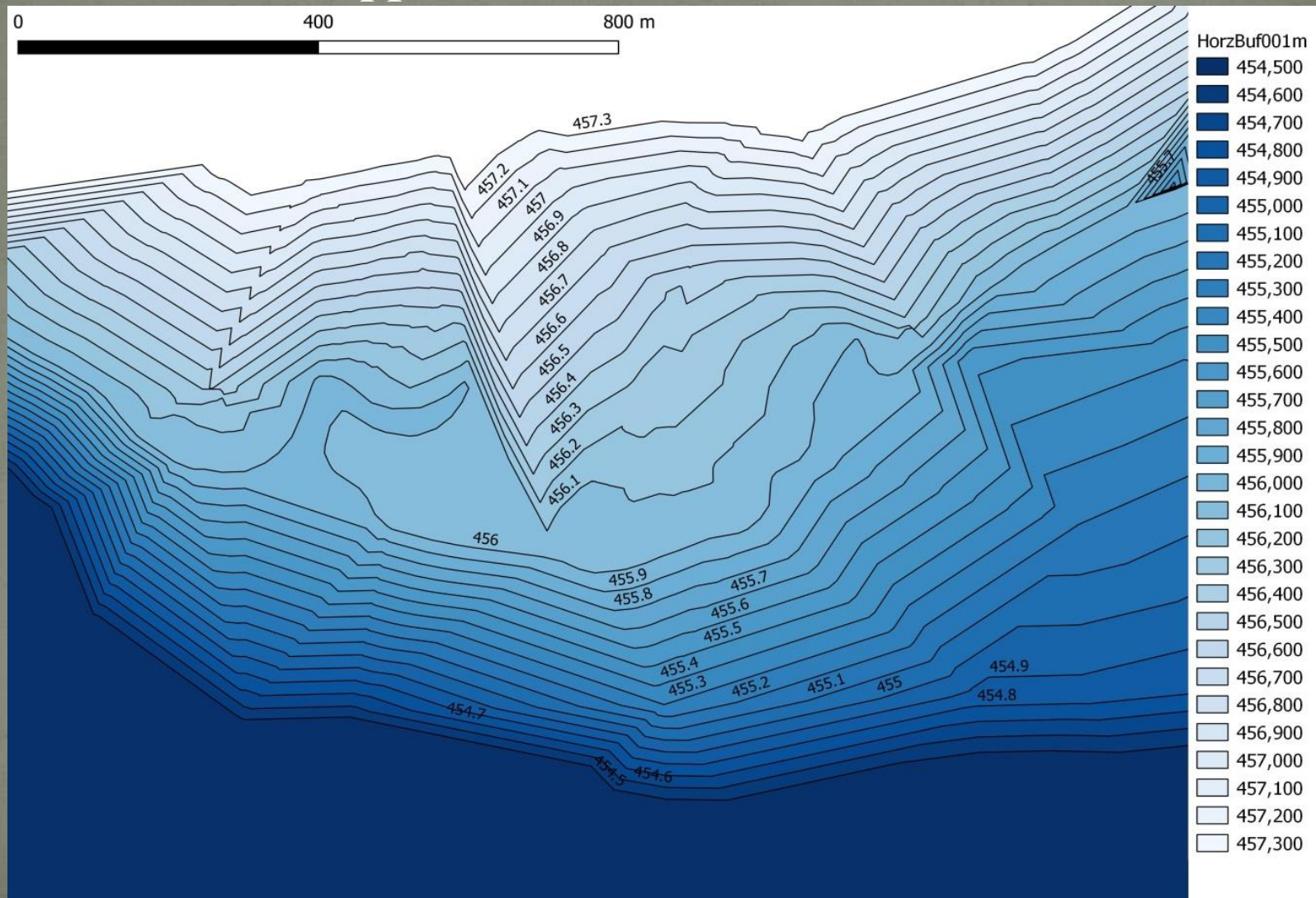
Увеличенный фрагмент



Площадные объекты, описывающие водную поверхность при различных уровнях воды



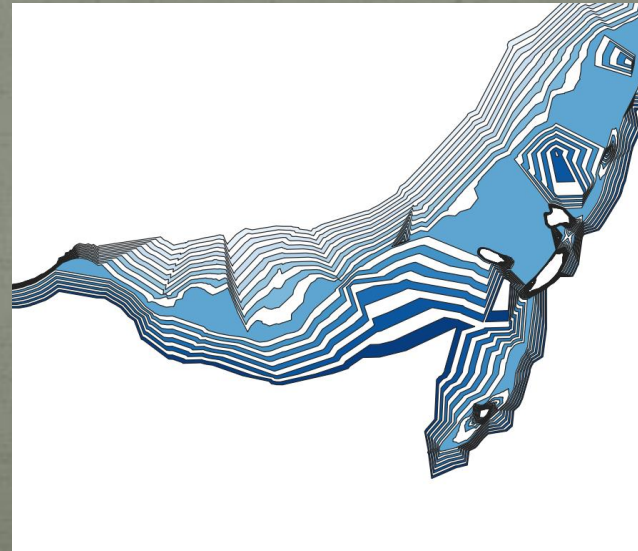
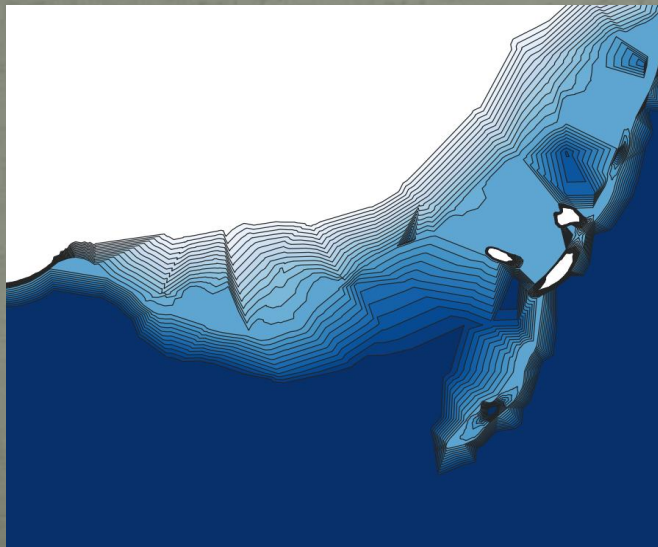
Площадные объекты, описывающие водную поверхность при различных уровнях воды (увеличенный фрагмент)



Пересечение исследуемых участков с объектами, описывающими водную поверхность при различных уровнях ВОДЫ



Разностные площадные изолинии



Уточнение фрагментов модели
рельефа по результатам
воздушного лазерного
сканирования и аэрофотосъёмки

А.Е. Хмельнов, А.С. Гаченко

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

08.12.2002

Совмещение зон затопления с космоснимков и расчётных

