

**МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ ПО ПРОГНОЗНОМУ
МОДЕЛИРОВАНИЮ НАПОЛНЕНИЯ
И ПРОРЫВА МОРЕННЫХ ОЗЕР**

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СБОР И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДАННЫХ.....	4
2. БАТИМЕТРИЧЕСКАЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА.....	13
3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	17
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ПРОРЫВА.....	23
4.1 Метод прорыва дамбы.	23
4.2 Метод моделирования на основе расчета гидрографа прорыва.....	48

Прогнозное моделирование позволяет заранее оценить потенциальные риски и разработать меры для их снижения и с помощью математических моделей и современных методов анализа данных, таких как цифровая батиметрия и гидрологическое моделирование, можно определить вероятные сценарии развития событий.

Модель включает в себя оценку объема воды, которая может попасть в озеро из различных источников — осадков, таяния снега и ледников, — а также возможные пути выхода воды в случае разрушения морены. Таким образом, моделирование дает возможность своевременно разрабатывать стратегии по укреплению природных барьеров, установке систем мониторинга и оповещения, а также проведению профилактических мероприятий для предотвращения катастроф.

Ключевой участок апробации моделирования - Большое Алматинское озеро (далее - БАО).

Под воздействием климатических факторов, таких как таяние ледников, сильные дожди или тепловые волны, уровень воды в таких озерах может резко повышаться, создавая угрозу прорыва дамбы. Последствия таких прорывов могут быть катастрофическими, вызывая наводнения, которые способны разрушить инфраструктуру, нанести ущерб сельскохозяйственным угодьям и привести к человеческим жертвам.

Методика включает следующие этапы работ:

1. Сбор и цифровизация гидрометеорологических данных с метеостанций и гидропостов бассейна объекта. Эти данные о погодных условиях, осадках и уровнях водотоков стали основой для дальнейшего моделирования.

2. Батиметрическая и аэрофотосъемка. Проводится съемка ложа БАО, на основании которых создается цифровая модель рельефа дна озера. Это позволило точно рассчитать объем озера и учесть изменения рельефа в прогнозах.

3. Гидрологические расчеты. Рассчитаны водохозяйственный баланс озера и прогнозный гидрограф, который отражает возможные колебания уровня воды в зависимости от сезонных факторов.

4. Моделирование риска прорыва. Применяются цифровые модели рельефа SRTM (с разрешением 30 м) и ALOS (с разрешением 12,5 м), которые интегрируются с данными топографической съемки и результатами батиметрии (10 м на пиксель). Это позволяеь более точно моделировать рельеф и риски, связанные с прорывом озера.

1. СБОР И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Для сбора и систематизации данных используются ряд форм для свода данных в единую базу.

Методология сбора данных в электронные формы. Сбор данных и наблюдения за гидрометеорологическими факторами проводятся в водосборном бассейне на традиционных метеостанциях 8 раз в сутки, а также на полуавтоматических станциях и полностью автоматических станциях с необходимым набором датчиков. На гидрологических постах измерения проводятся 2 раза в сутки уровень воды, в период паводка 4 раза в сутки, а также расход воды 4 раза в месяц.

При наличии автоматических средств измерений гидрометеорологические данные поступают в режиме онлайн и/или через заданные интервалы времени (10 мин, 0,5 ч, 1 ч и т.д. в зависимости от задач).

При создании сети мониторинга селевой опасности следует учитывать физико-климатические условия региона, вертикальную зональность, локальный характер ливневых осадков в горах.

Количество и расположение постов наблюдений определяются таким образом, чтобы наблюдениями была охвачена зона высот 800–3700 м над уровнем моря и в область мониторинга были включены бассейны основных селеопасных рек.

Собранные данные по атмосферным осадкам состоят из определения:

1) количества выпавших осадков – высоты слоя воды (в миллиметрах), образовавшегося на горизонтальной поверхности от выпавшего дождя, растаявшего снега, крупы, града за определенный период времени при отсутствии стока, просачивания и испарения;

2) интенсивности дождя – количества осадков, выпавших за единицу времени (10 мин), вычисляется в мм/мин с точностью до 0,01 мм/мин;

3) вида атмосферных осадков, времени выпадения (начало и конец).

Гидрологические данные отражают следующую информацию:

- уровень воды в различные периоды;
- расходы воды в тех или иных условиях;
- характеристики ледового режима;
- температурные колебания.

Анализ гидрологических данных позволяет определить колебания количественных и качественных характеристик озер с течением времени под воздействием климатических и географических факторов.

Далее в Методике представлены электронные формы всех таблиц, использованных при сборе гидрометеорологических данных на БАО.

Таблица 1. «Метеорологические данные на территории водосбора»

[illegible]

Таблица 2. «Гидрологические данные рек по расходу воды. Площадь водосбора в кв.км.

[illegible]

Таблица 4. «Средние и характерные уровни воды в реке.

[illegible]

Таким образом, на основе использования 5 таблиц будут сформированы, собраны и систематизированы гидрометеорологические данные за многолетний период по данным стационарных постов Казгидромет.

В результате выполненной работы отраслевыми экспертами будут решены следующие задачи:

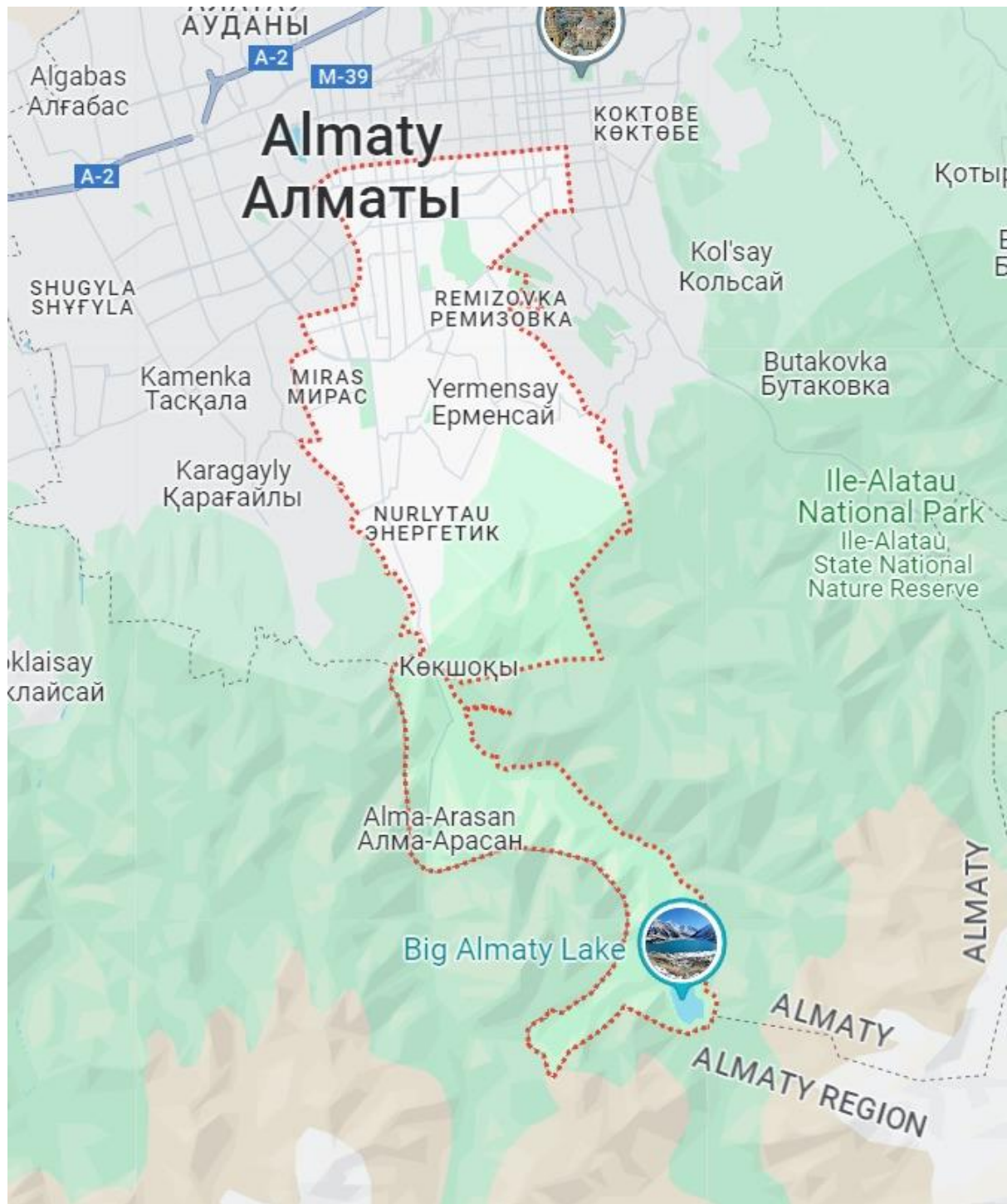
- собраны исходные данные за многолетний период по гидропостам и метеостанциям объекта;
- проведена систематизация и перевод в цифровой формат исходных данных за многолетний период;
- восстановлены отсутствующие статистические гидро и метеоданные;
- выполнен корреляционный анализ исходных данных;
- дана оценка репрезентативности и качества исходных данных и оформление статистических многолетних данных в свод в разрезе метеостанций и гидропостов.

В итоге данный перечень состоит из следующих форм:

- Таблица 1. «Метеорологические данные»;
- Таблица 2. «Гидрологические данные, Площадь водосбора в кв.км.
- Таблица 3. «Гидрологические данные, расчетные параметры
- Таблица 4. «Средние и характерные расходы воды. Форма Б - для рек с неустойчивым ледоставом»;
- Таблица 5. «Ведомость отметок реперов, координаты и нули постов ГП».

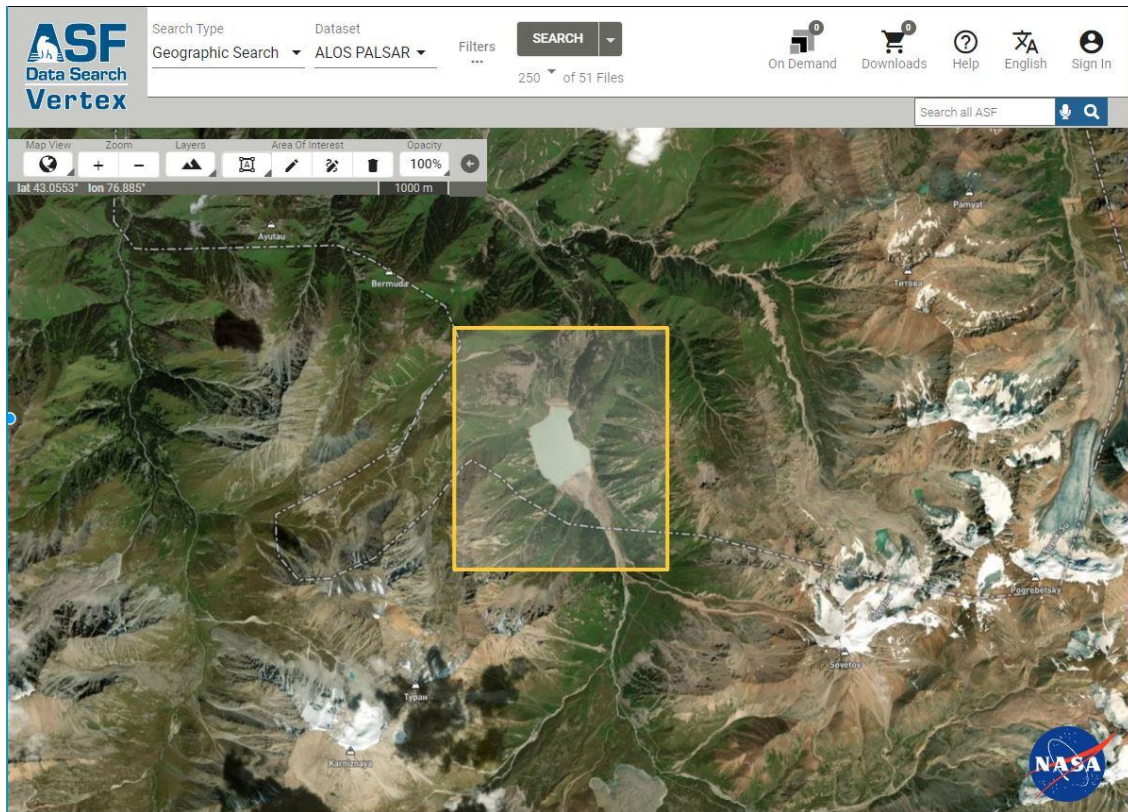
Данные электронные формы использованы при проведении работ на пилотной территории в БАО.

Осуществляется сбор геопространственных данных. Для этого определяется зона интереса объекта исследования.

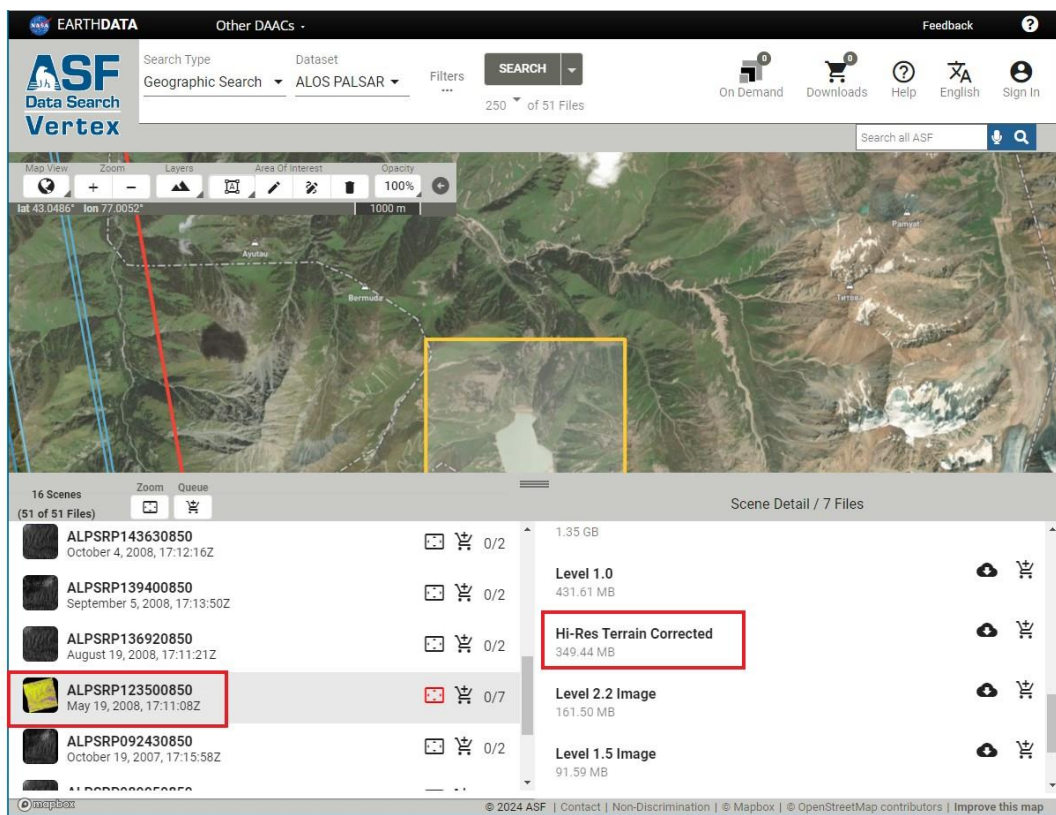


1 Сайт для скачивания ЦМР 12,5 м

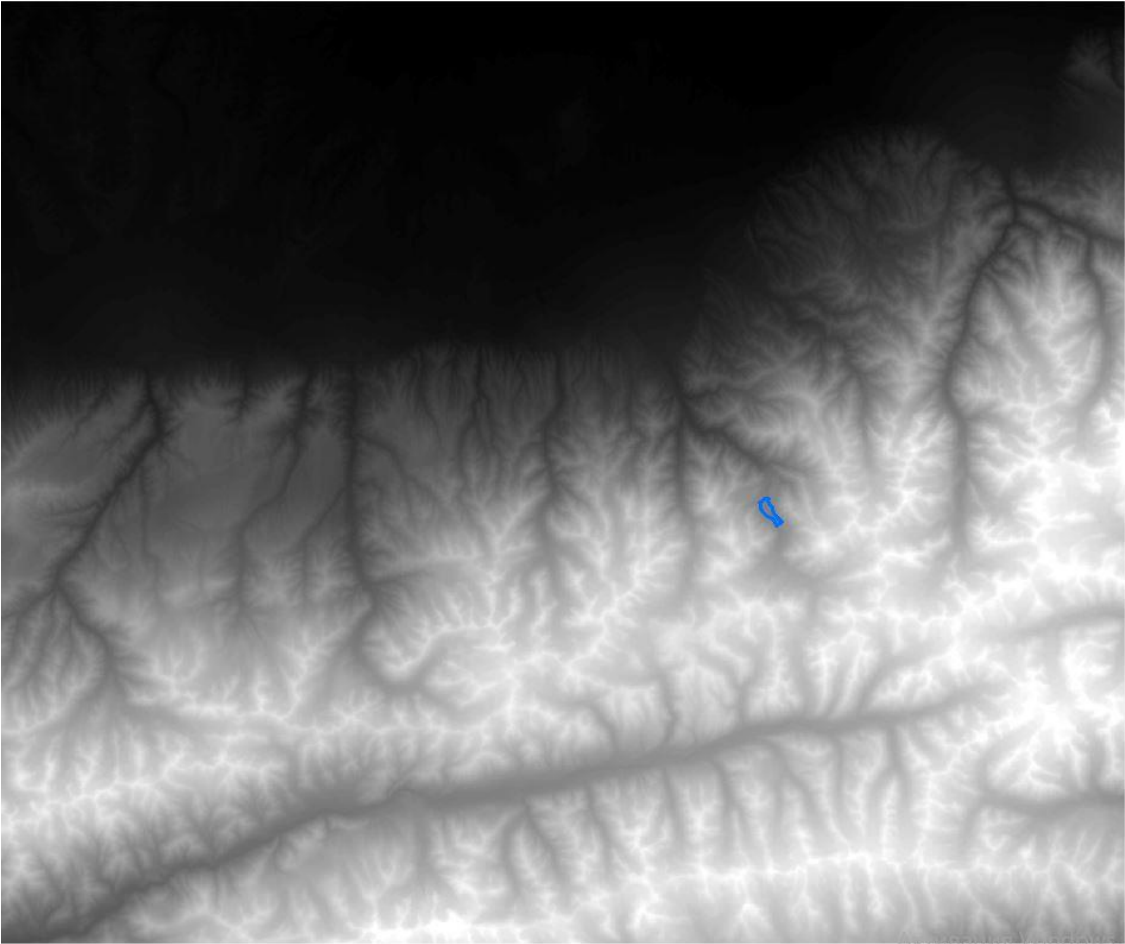
<https://search.asf.alaska.edu/>



2 Выбор сцены, содержащей ЦМР Высокого разрешения (High Resolution Terrain Corrected)



3 Ложе БАО на фоне ЦМР в ArcGIS



4 Свойства ЦМР

Свойства слоя

ОбщиеИсточникКлючевые МетаданныеЭкстентОтображениеСимволыВремя

Свойство	Значение
Информация о растре	
Столбцы и строки	6665, 5588
Число каналов	1
Размер ячейки (X, Y)	12.5, 12.5
Размер без сжатия	71.04 MB
Формат	TIFF
Тип источника	Общий
Тип пиксела	целое число со знаком
Глубина пиксела	16 Бит

Источник данных

Тип данных:Файл растра
Папка:D:\MCHS\2024\BAO_Almaty\DEM\AP_08572_FBD_F0850_RT1\
Растр:AP_08572_FBD_F0850_RT1.dem.tif

Установить источник данных

ОКОтменаПрименить

2. БАТИМЕТРИЧЕСКАЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА

1. Аэрофотосъемка и батиметрическая съемка
2. Камеральная обработка данных полевых работ и обследований БАО;

Виды работ:

1. Сбор, систематизация исходных данных и камеральная обработка данных полевых съемочно-картографических, батиметрических работ и обследований БАО.
2. Адаптация цифровой модели рельефа (далее - ЦМР) дна моренного озера БАО на основе батиметрической съемки.
3. Расчет объема озера БАО по данным батиметрической съемки.
4. Составление схем, карт, моделей моренного озера БАО по итогам батиметрической съемки для размножения в печатной (полиграфической или компьютерной) форме и векторном формате.

Рекомендуется использовать следующие материально технические ресурсы:

- эхолот (для проведения батиметрической съемки) – 1 шт;
- ГНСС приемник S-max Geo (для съемки объектов ГТСИ и батиметрической съемки) (далее ГНСС) – 2 шт;
- Подписка RTK для ГНСС приемников (для съемки объектов ГТСИ и батиметрической съемки) – 2 шт;
- Моторная лодка (для батиметрической съемки) – 1 шт;
- Ноутбук Asus ROG STRIX G513Q (для составления миссий и управления эхолотом, для камеральной обработки измерений и планирования работ) – 1 шт;
- ПО Leica GeoOffice Combined (далее LGO);
- ПО AutoCad Civil 3D (для составления продольных профилей);
- ПО CHCNAV AutoPlanner (для составления гидрометрический миссий и управления эхолотом);

- ПО CHCNAV HydroSurvey (для обработки эхограмм и получения конечных координат и высот пикетов рельефа дна);
- ПО QGIS (для планирования работ);
- ПО SasPlanet (для планирования работ и анализа ситуации по данным общедоступных космических снимков);
- Квадрокоптер DJI Mavic Mini (для аэрофотосъемки и обследования и фотографической съемки ложа и дельты моренного озера) – 1 шт;
- Мобильные телефоны (для фотосъемки обследуемых объектов и ориентирования на местности) – 3 шт;
- Автомобиль – 1 шт.

Полевые работы включают следующие подвиды работ:

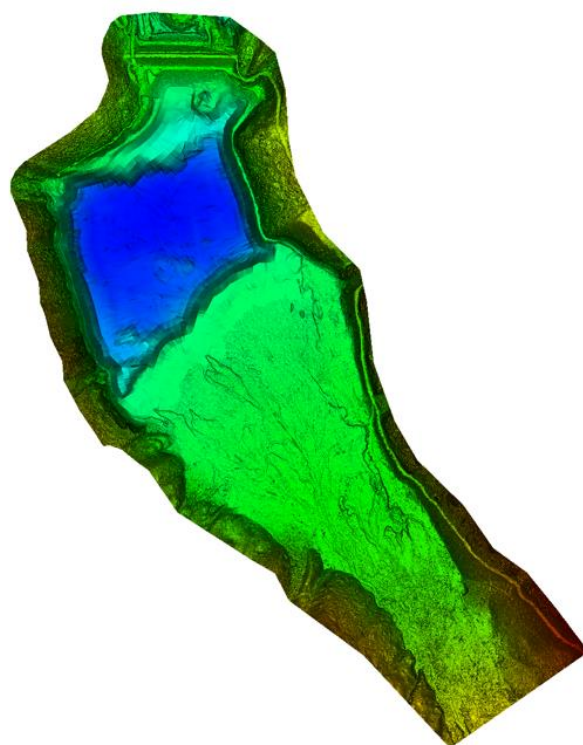
- Обследование и рекогносцировка местности (визуально с объездом на местности, а также облет с квадрокоптером);
- Установка и привязка ГНСС базовой станции (при необходимости);
- Батиметрическая съемка;
- Выгрузка материалов полевых измерений на рабочий компьютер;
- Обработка спутниковых наблюдений в ПО LGO на опорных ГНСС базовых станциях (при необходимости);

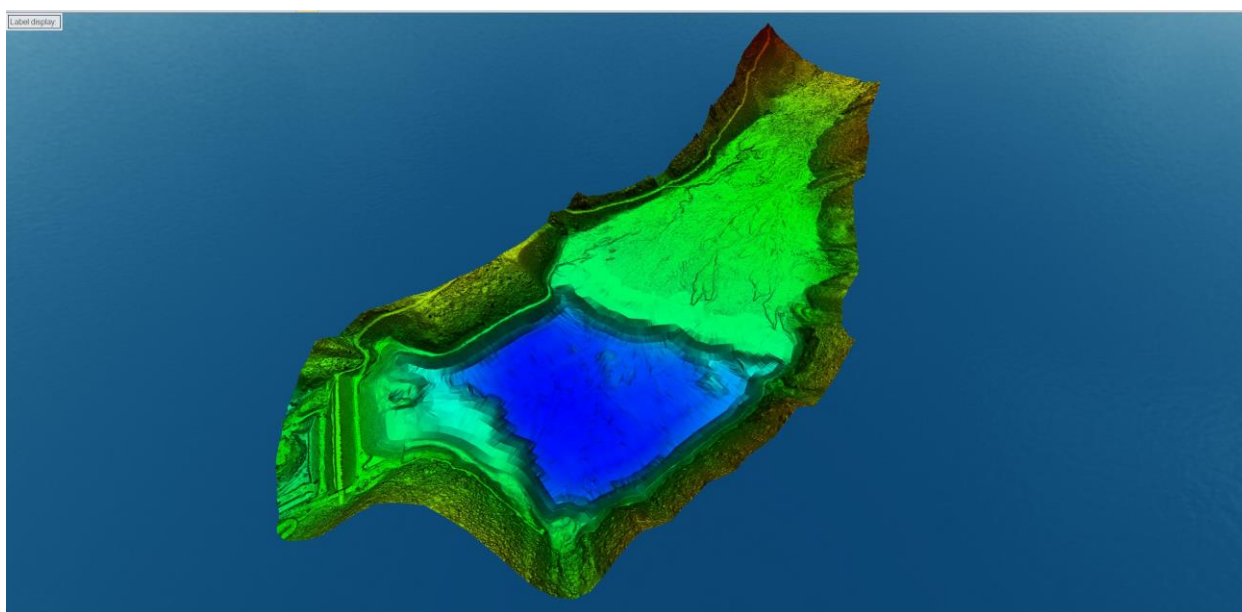
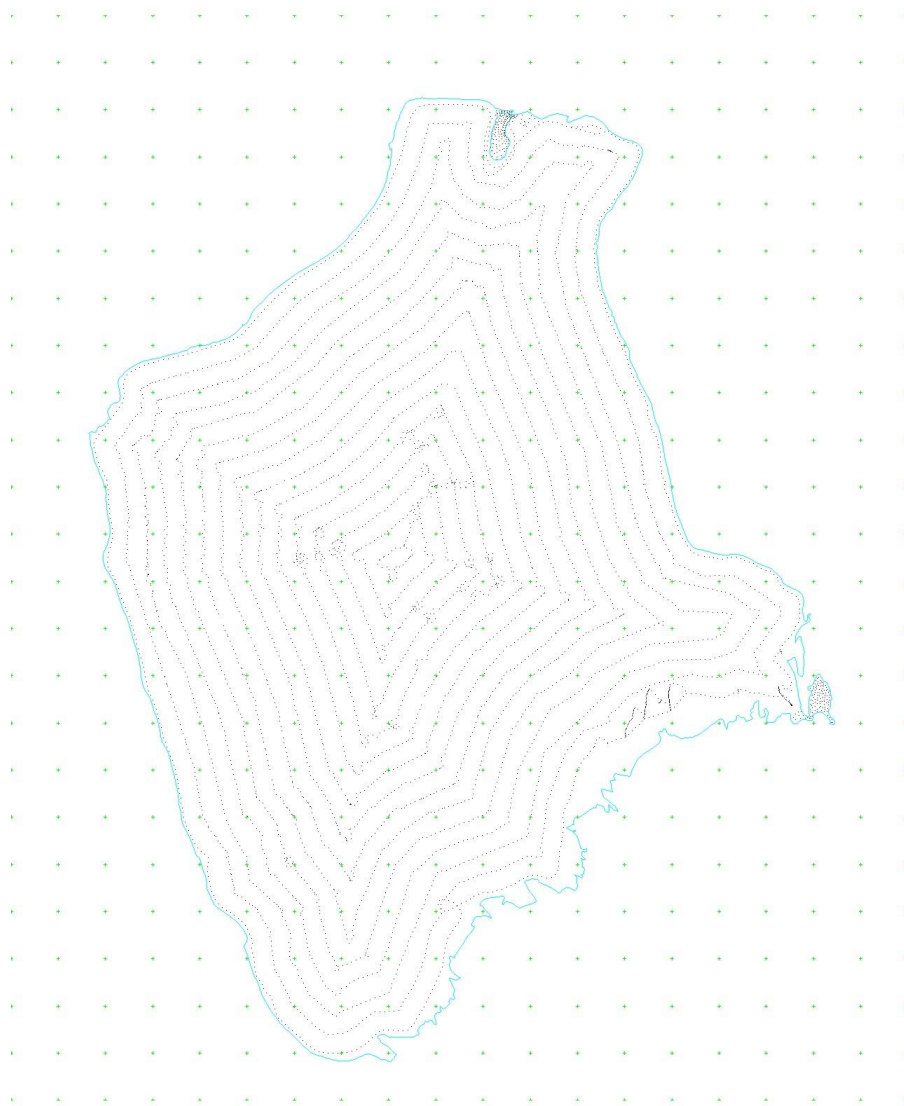
— Вычисление координат базовых станций в системе координат UTM 42N (ECEF ITRF 2014) и высот относительно модели геоида EGM 2008 с использованием ПО LGO;

Камеральная обработка результатов аэрофотосъемки и батиметрической съемки состоят из следующих видов работ:

- Обработка результатов аэрофотосъемки и вычисление координат и высот в СК UTM 42N (ECEF ITRF 2014) и высот относительно модели геоида EGM 2008 с использованием ПО HydroSurvey;

- Обработка результатов батиметрической съемки и вычисление координат и высот промеров глубин в СК UTM 42N (ECEF ITRF 2014) и высот относительно модели геоида EGM 2008 с использованием ПО HydroSurvey;
- Построение цифровой модели рельефа дна моренного озера БАО и дельты реки в ПО AutoCad Civil 3D.
- Контроль точности;
- Передача материалов в формате CSV и DWG.
- По результатам проведенных работ получены следующие материалы:
- поперечные профили ложа моренного озера;
- Координаты и высоты съемочных пикетов рельефа дна по профилям.
- Координаты и высоты съемочных пикетов рельефа дна в продольном направлении;
- фотографии берегов ложа озера, водного зеркала и дельты.





3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Моделирование движения волны прорыва по долине и селевых потоков, которые образуются при прорывах горных озёр, подпруженных моренными дамбами осуществлен с использованием гидродинамических моделей, в которых гидрограф прорывного паводка чаще всего задается схематически или рассчитывается по упрощенным формулам, не учитывающим процесс разрушения плотины. Отметим также, что в горах для мониторинга опасных явлений, связанных с формированием прорывных паводков, важным вопросом помимо расчётов их характеристик является обнаружение потенциально прорывоопасных озёр. Имеющаяся на сегодняшний день классификация стадий развития озёр не включает гидролого-морфометрические характеристики водоёмов, что затрудняет выявление озёр с нарастающими объёмами воды. Именно поэтому выявление специфических особенностей уровня режима каждой стадии в условиях слабой гидрологической изученности горных территорий позволит снизить степень информационной неопределенности.

Формулы для расчёта объёма озера получены на основе морфометрических характеристик высокогорного озера БАО и имеют следующий вид:

$$V_1 = a_1 H_{max} + b_1 F + c_1, \quad (1.1)$$

$$V_2 = a_2 H_{mean} + b_2 F + c_2, \quad (1.2)$$

где V – объём озера, млн м³;

H_{max} и H_{mean} – соответственно максимальная и средняя глубины озера, м;

F – площадь озера, км²;

a_1 , b_1 , c_1 – коэффициенты, приведённые в (Коновалов, 2009), определяются в зависимости от величины площади озера.

Определение максимальной глубины с использованием данных дистанционного зондирования Земли осуществляется на основе положений, что: максимальная глубина расположена вблизи середины озера, продольный вертикальный профиль глубины озера от его начала и до подпруживающей плотины может быть аппроксимирован полуэллипсом, вписанным в прямоугольный треугольник.

Расчёт максимальной глубины озера выполняется согласно выражению:

$$H_{\max} = \frac{L}{2} \frac{1}{\operatorname{tg}(\operatorname{arctg}(L/H_2))} \quad (1.3)$$

где L – длина озера, м;

H_2 – разница между абсолютной высотой уреза воды у плотины и нижней отметкой плотины, м.

Определение максимального расхода прорывного паводка выполнялось по формуле (Costa, 1985):

$$Q_{\max} = 3.8(\Delta Z V)^{0.61}, \quad (1.4)$$

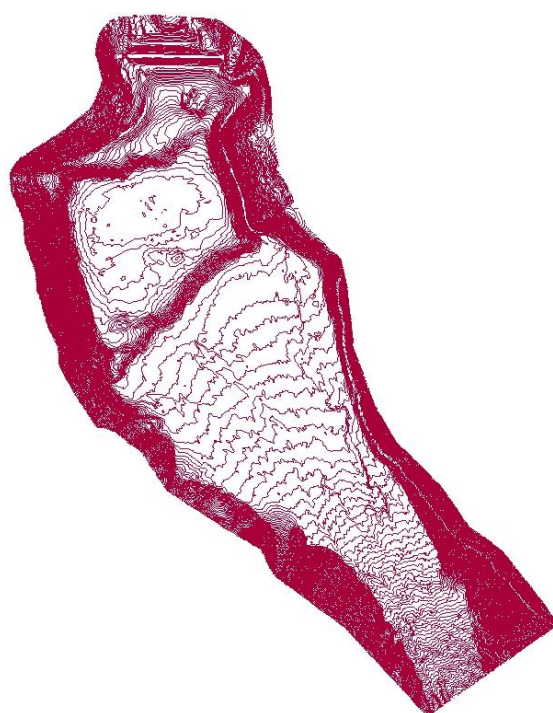
где ΔZ – высота плотины; V – объём озера.

Кривая зависимости создавалась с помощью инструментов геообработки ArcGIS

Входными данными были ЦМР ложа БАО созданная с использованием АФС и глубиномера (эхолота).



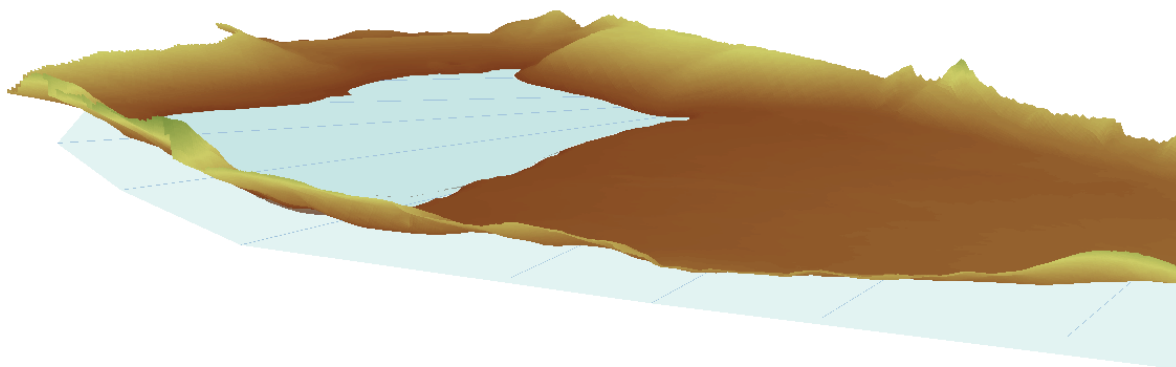
Горизонтالي



На эту территорию были созданы створы

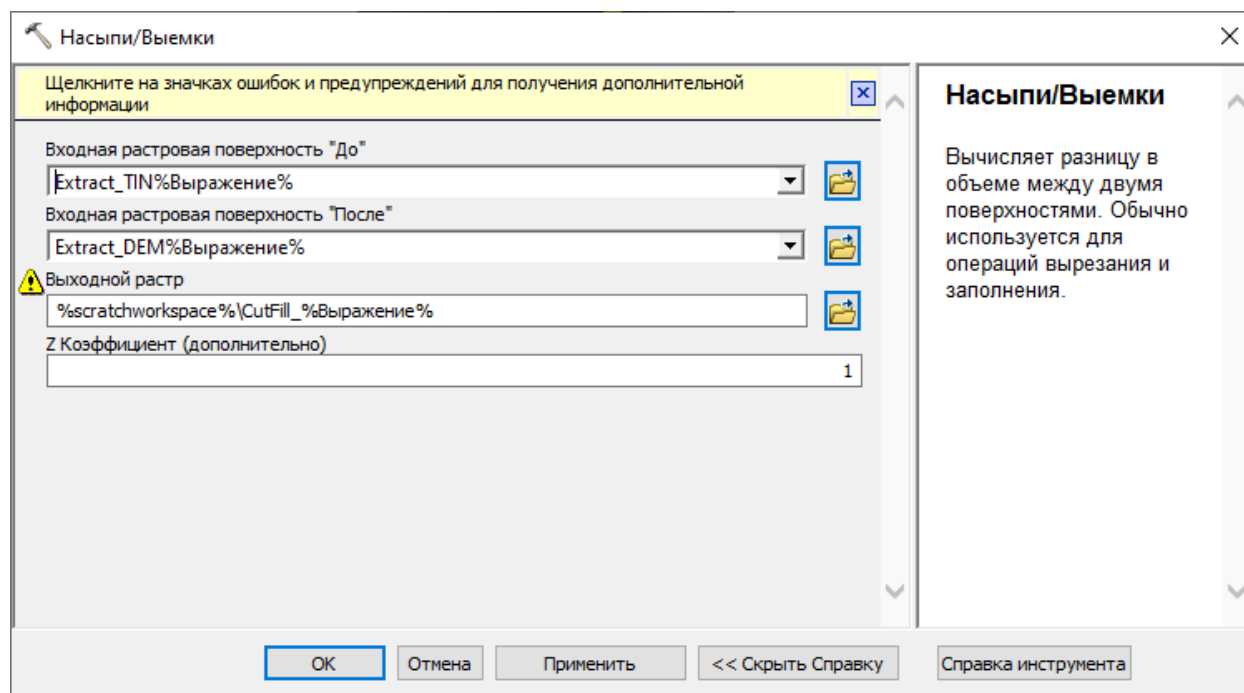


В атрибуты этих створов вносилась отметка и строился TIN, который являлся поверхностью пересекающей ЦМР.



На снимке видно как плоскость с заданной отметкой пересекает ЦМР

Далее использовался инструмент геообработки (Насыпи/Выемки) который позволяет вычислить разницу между двумя ЦМР и подсчитать объем этой разницы и площадь водного зеркала.



На основе полученных данных была построена кривая объёмов озера (рис. 1-3), которая использовалась в качестве входной информации для математического моделирования риска прорыва моренного озера БАО.

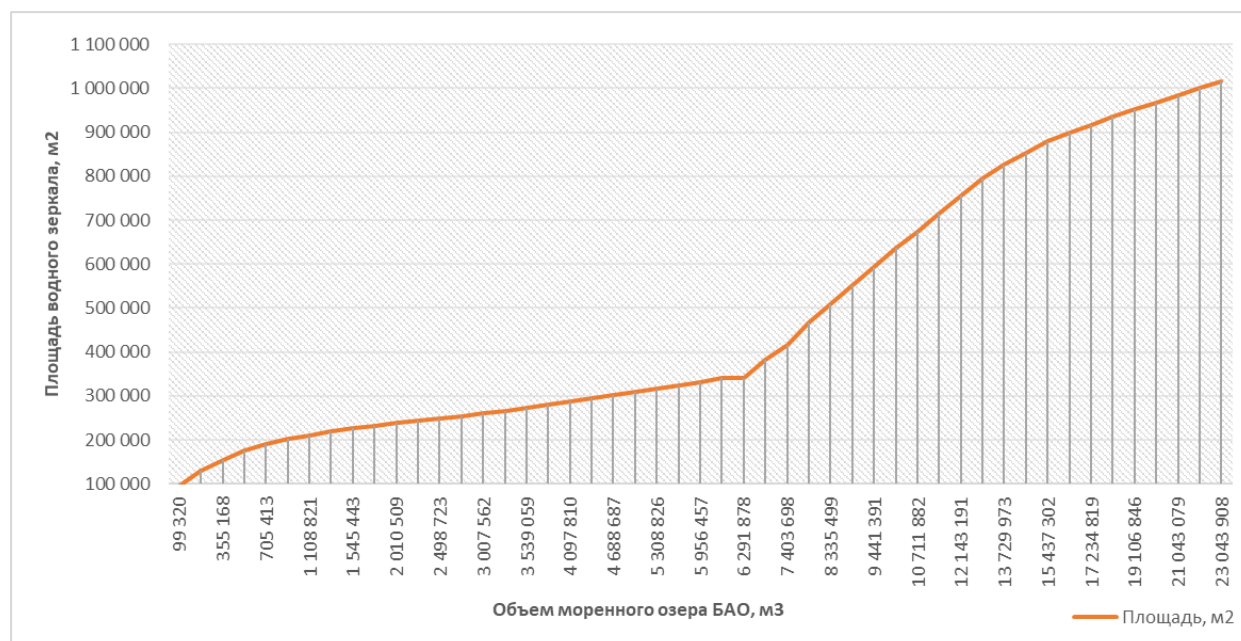


Рисунок 1. Расчет объема озера БАО

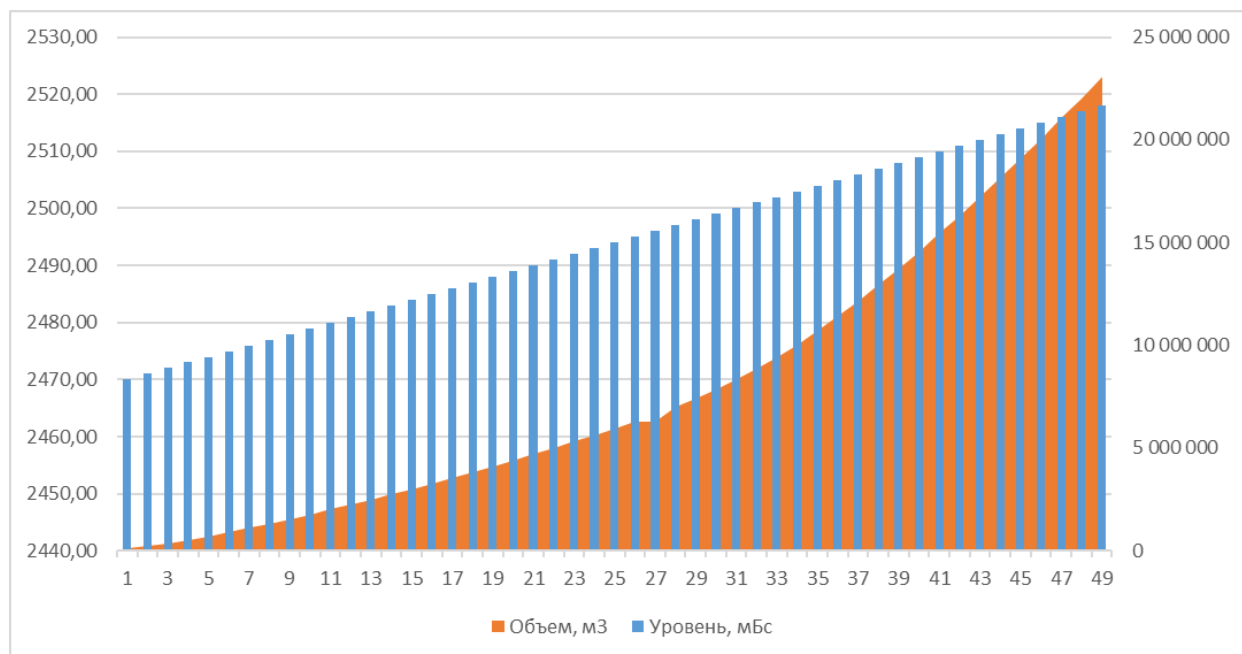


Рисунок 2. Кривые зависимостей объема от уровня воды в озере БАО по данным наземной съемки и данных ДЗЗ

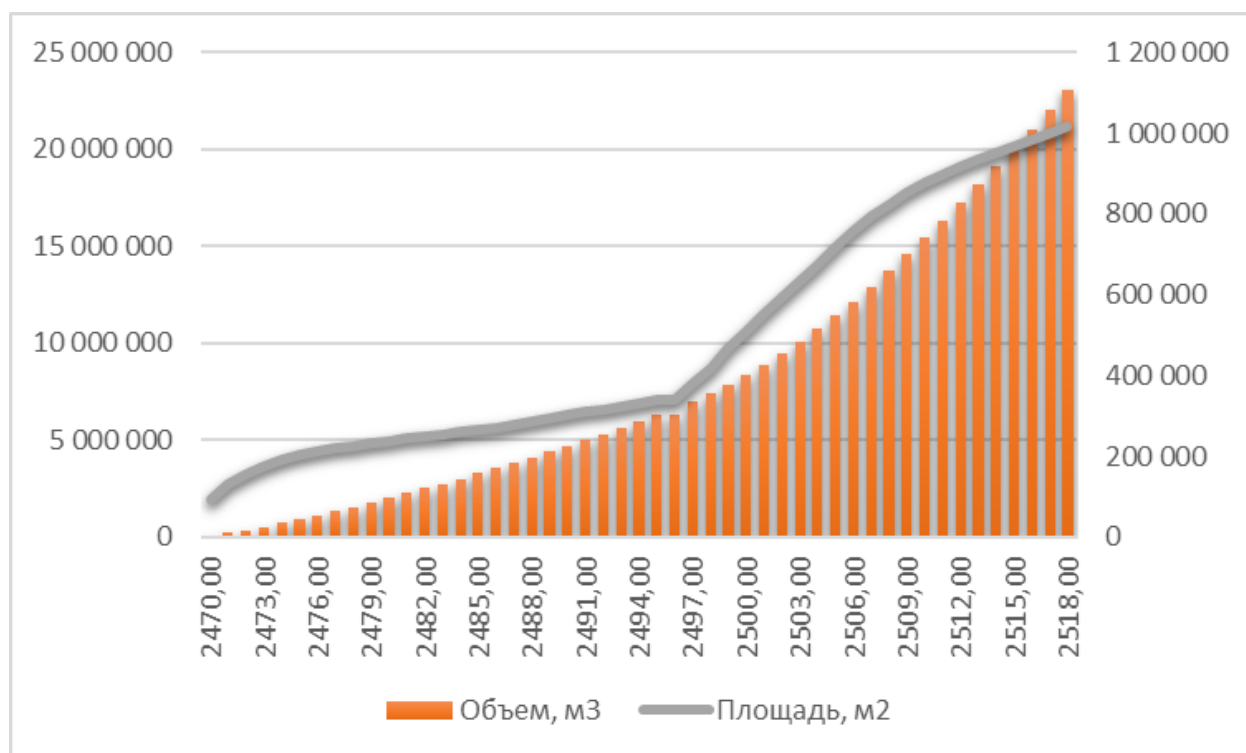
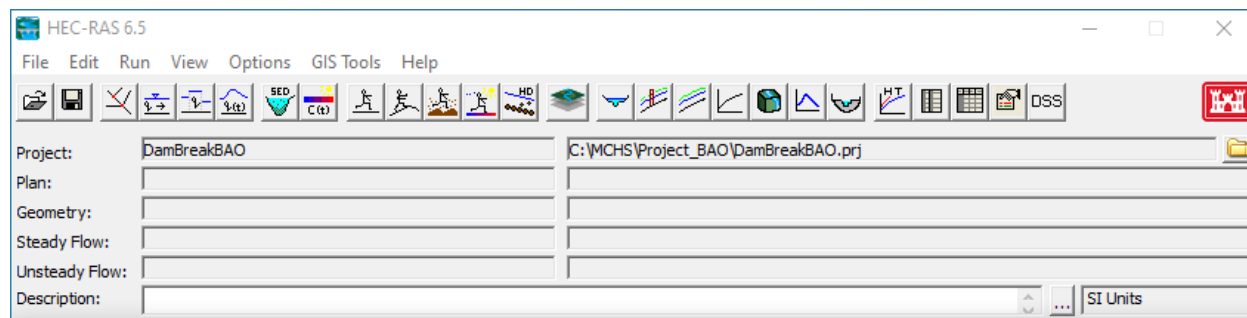


Рисунок 3. Кривые зависимостей объема от площади водного зеркала в озере БАО по данным полевых исследований и данных дистанционного зондирования

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ПРОРЫВА

4.1 Метод прорыва дамбы.

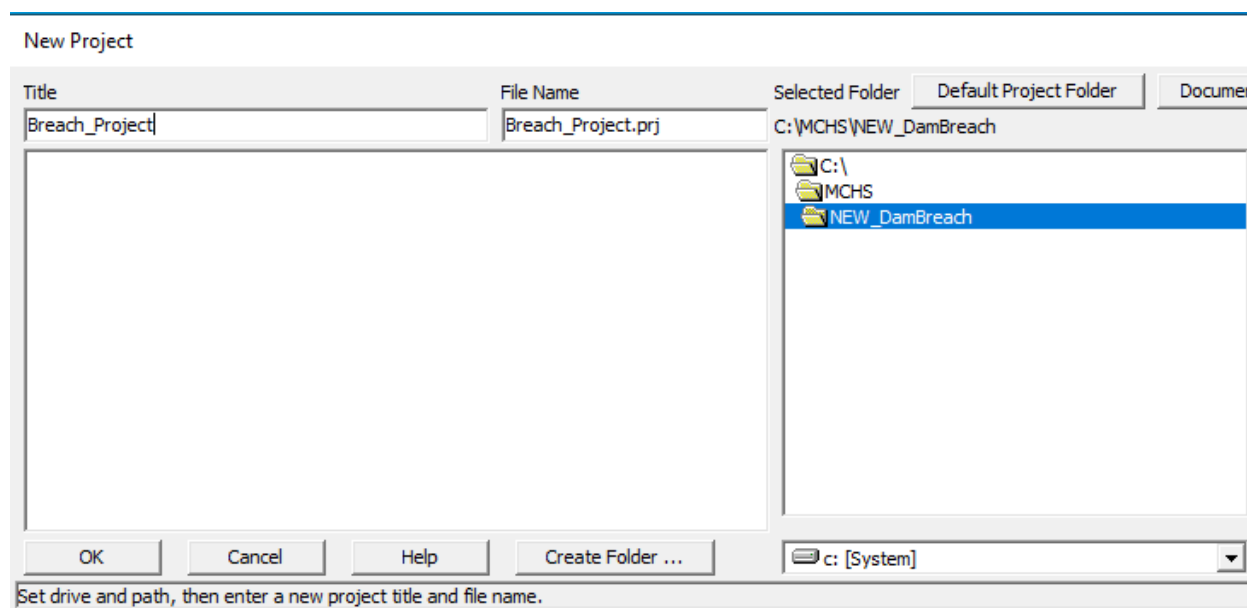
1. Расчеты проводились в ПО HEC-RAS



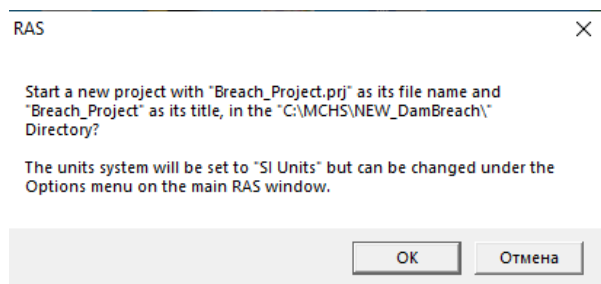
Для начала необходимо создать новый проект и сохранить его в отдельной папке где будут храниться все наши данные.

Для заходим в меню **File->New Project**

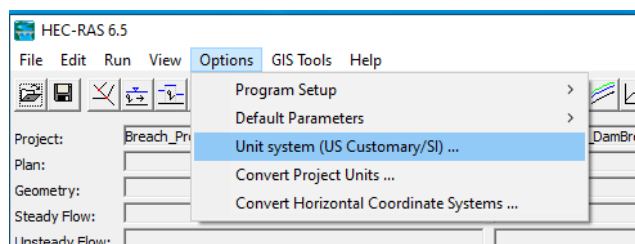
Создаем папку и присваиваем имя проекту



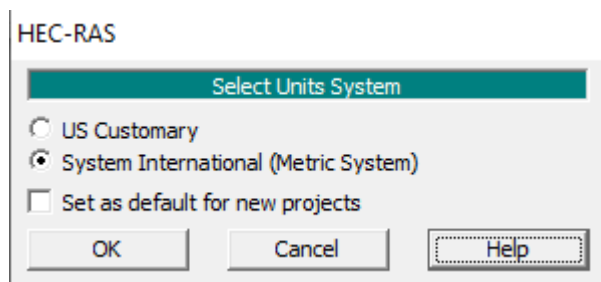
В открывшемся если видим систему координат **“SI Units”** нажимаем **OK**



Если нет то заходим в меню **Option->Unit systems(US Customary/SI)**



Выбираем метрическую систему координат



2. Далее создаем ЦМР Terrain. ЦМР можно создавать на основе нескольких файлов.

Мы создавали её на основе DEM Alos с разрешением 12,5 метров, ЦМР ложа БАО с разрешением 1 метр на основе батиметрической съемки и съемки с БПЛА.

New Terrain Layer

Set SRS ...

Input Terrain Files (3 files)

Filename	Projection	Cell Size	Rounding	Info
DEM_1m_from_5m_grid.tif	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 43N",GEOGCS[...	1	None	i
AusayDamb.tif	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 43N",GEOGCS[...	1	None	i
AP_plus_37m.tif	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 43N",GEOGCS[...	12.5	None	i

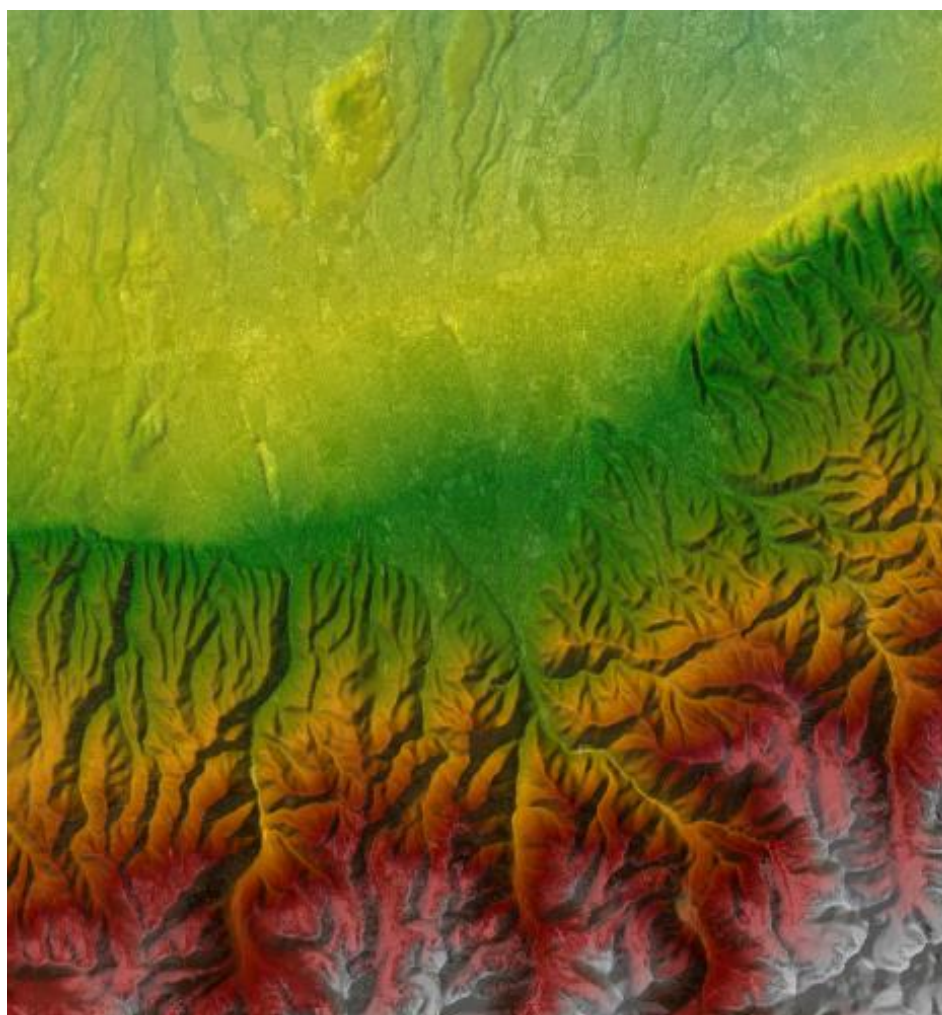
Output Terrain File

Rounding (Precision): 1/128 ☒ Create Stitches ☐ Merge Inputs to Single Raster

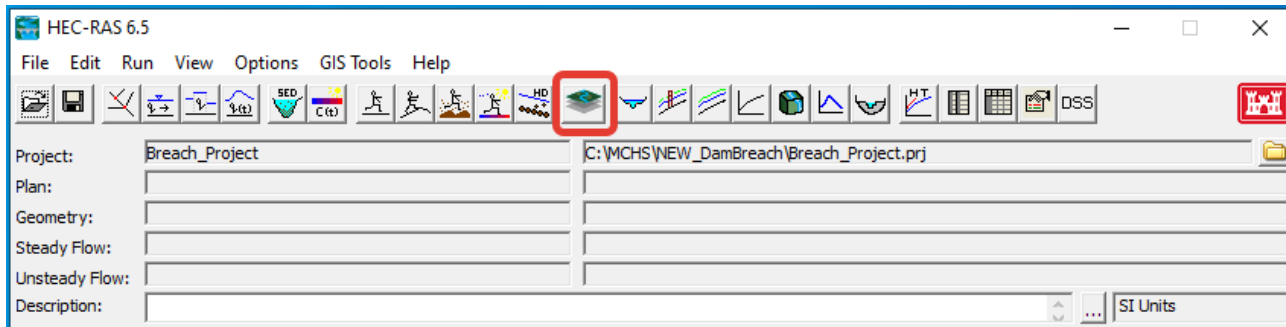
Vertical Conversion: Use Input File (Default)

Filename: C:\MCHS\Project_BAO\Terrain\Terrain.hdf

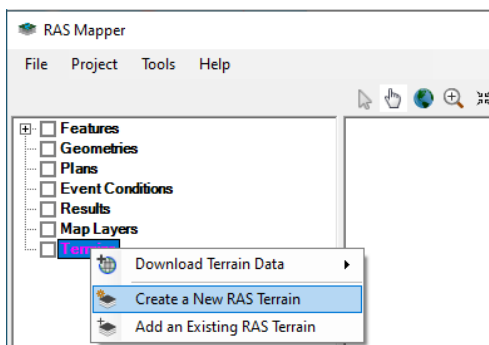
Create Cancel



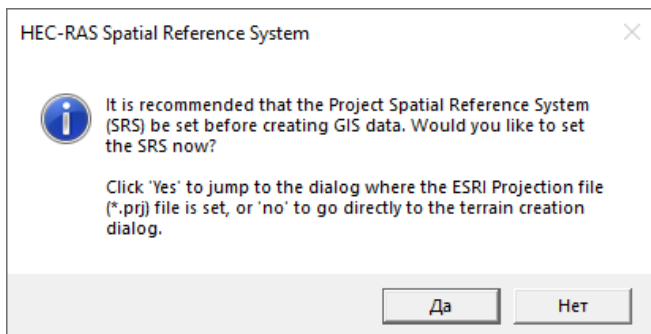
Для этого открываем RAS Mapper



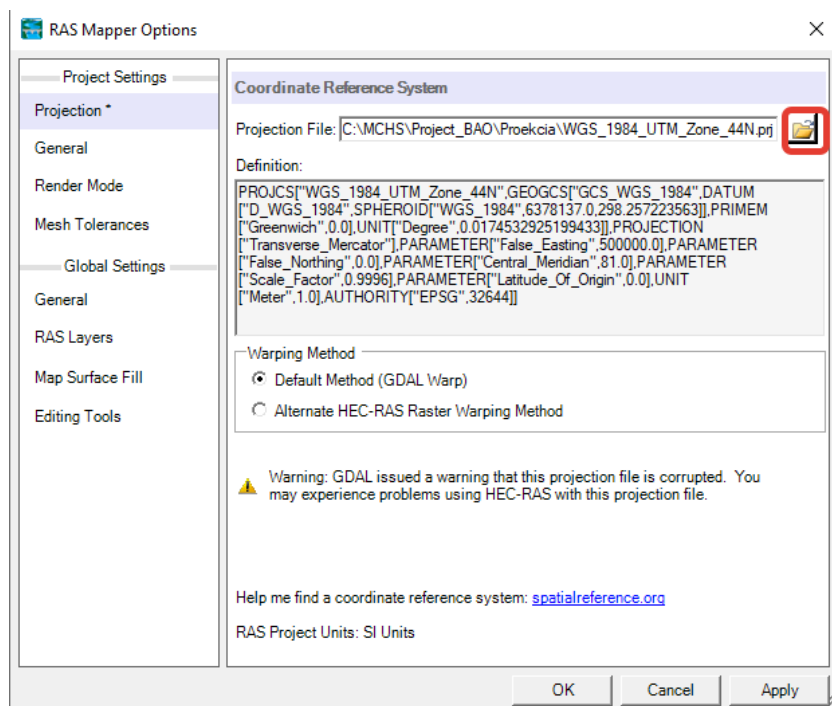
Кликаем правой кнопкой на **Terrain->Create** a New RAS Terrain



Программа предложит выбрать систему координат

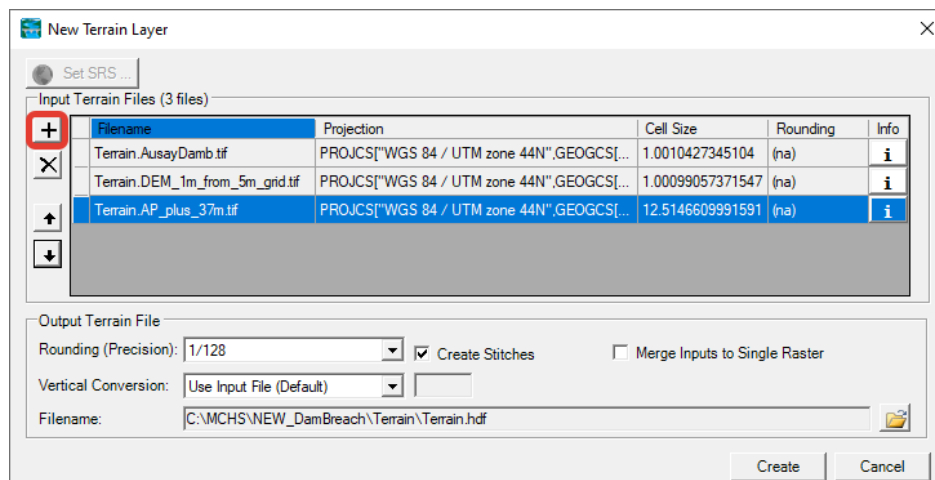


Нажимаем **Да**

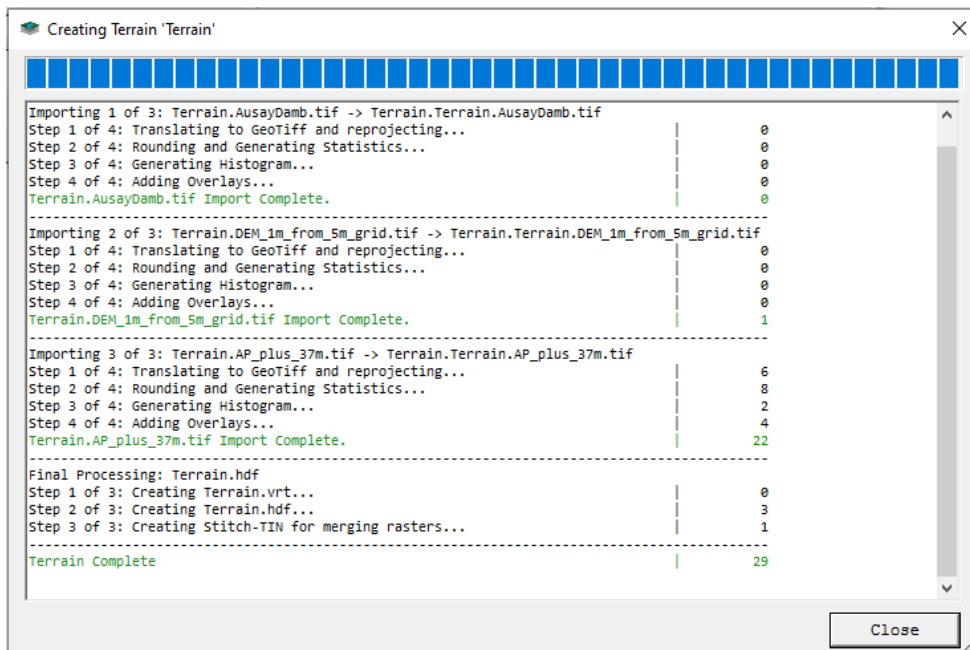
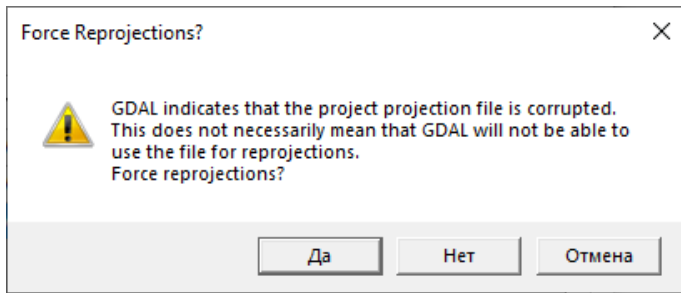


Нажимаем на кнопку проводника, выбираем файл проекции и нажимаем **OK**

В следующем окне через кнопку «+» добавляем необходимые файлы

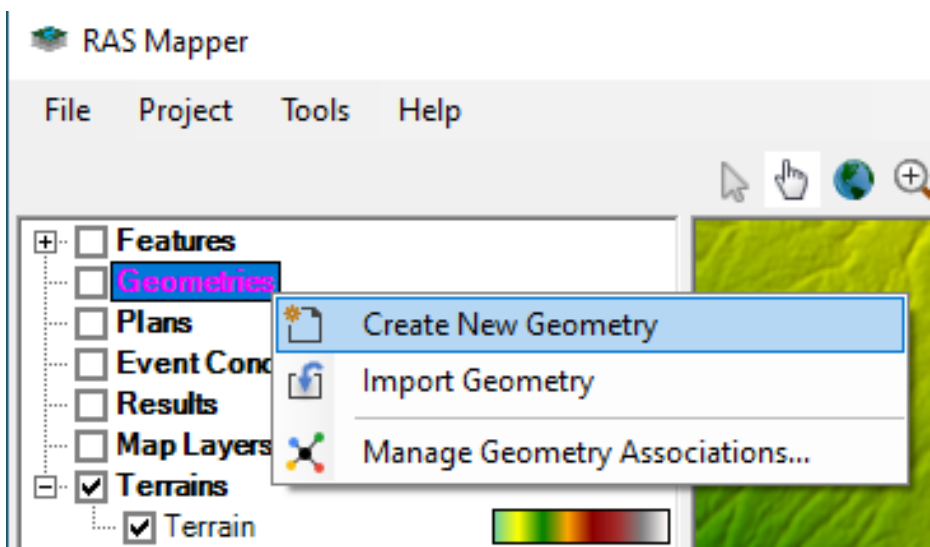


Если файлы находятся в разных системах координат программа предложит пере проецировать их в ранее выбранную нами систему координат, нажимаем **OK**

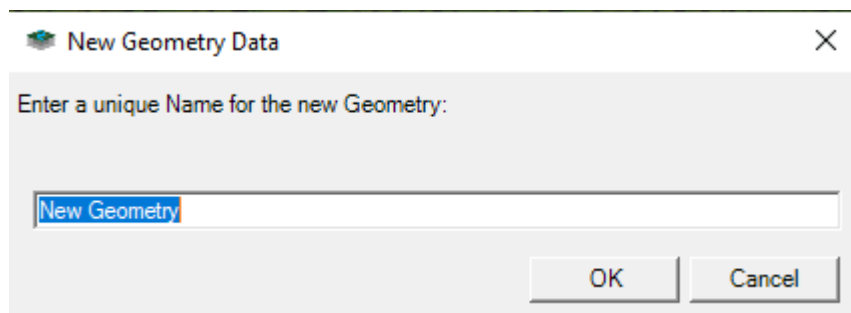


После окончания создания ЦМР переходи к созданию геометрии.

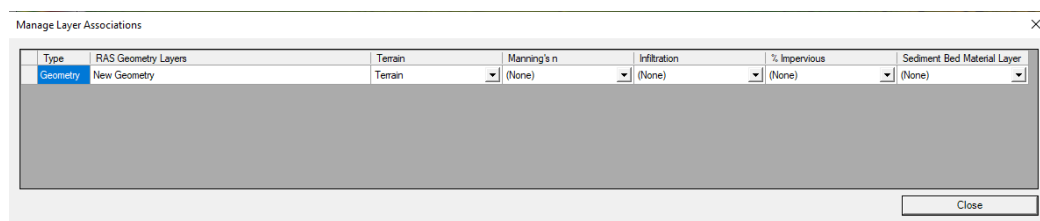
3. Кликаем правой кнопкой на **Geometries->Create New Geometry**



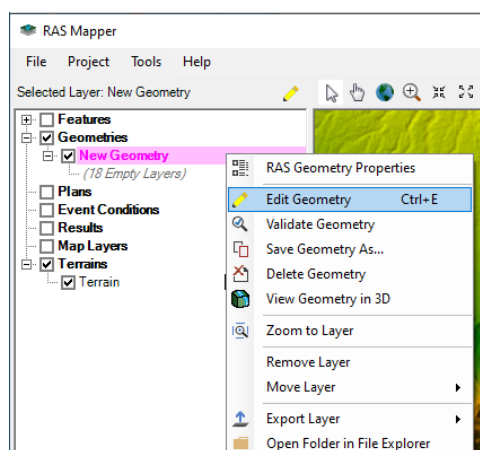
Присваиваем имя



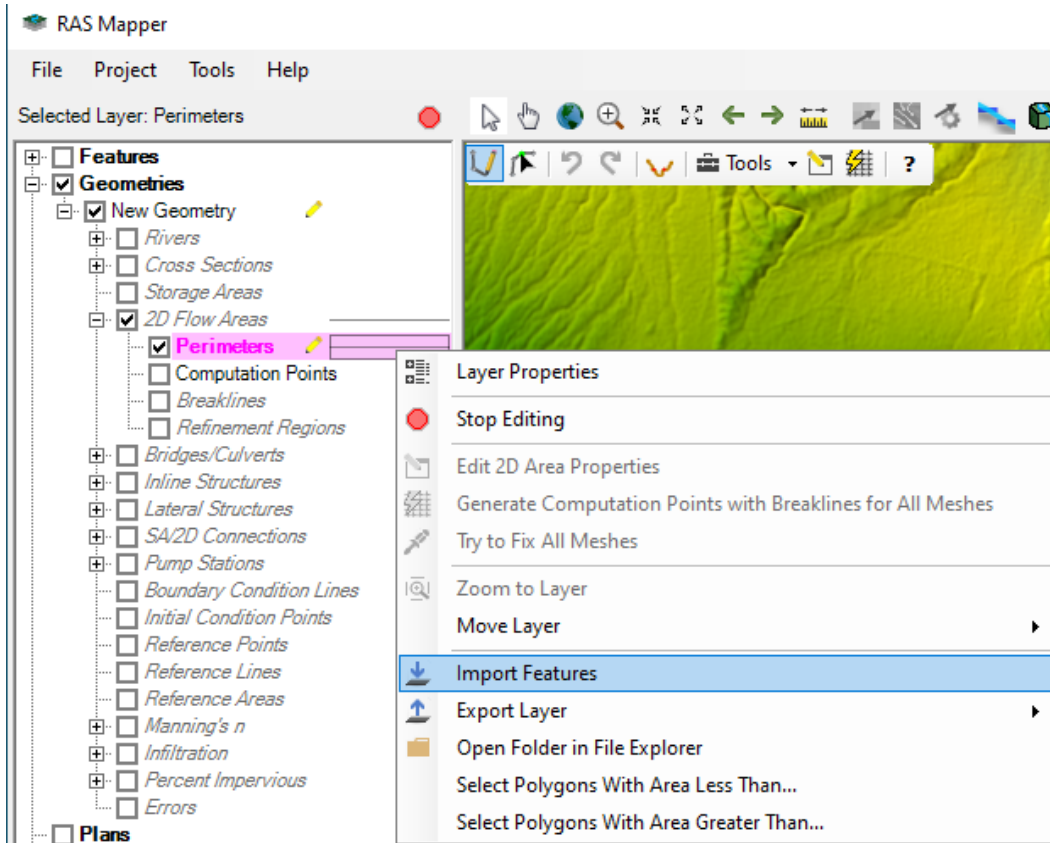
Убеждаемся что геометрия связана с нашей ЦМР



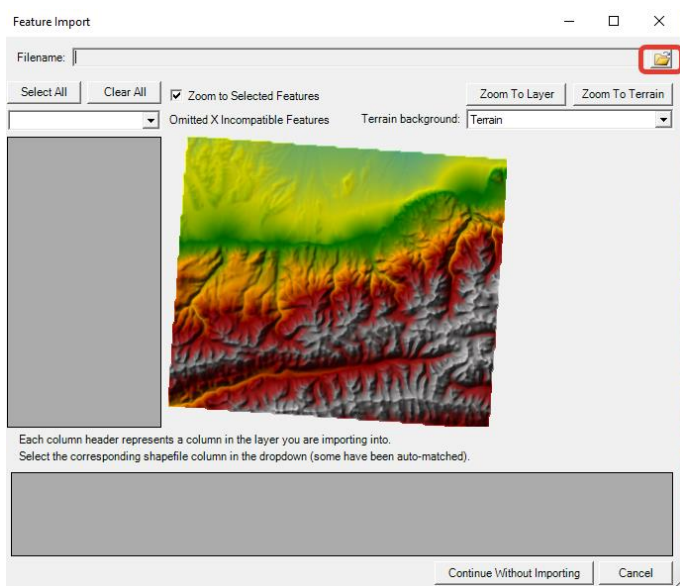
Кликаем на ней правой кнопкой и выбираем **Edit Geometry**

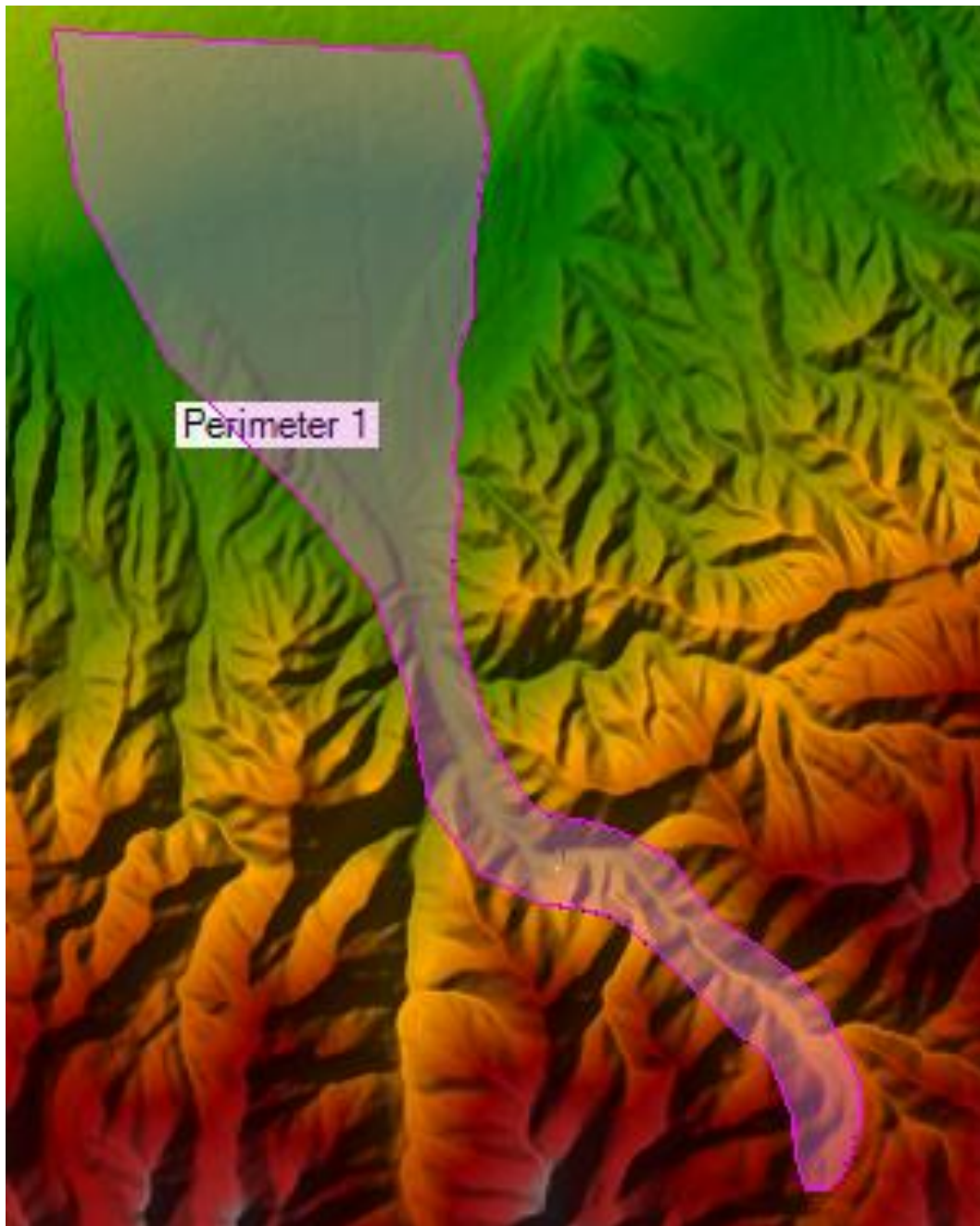


Далее создаем периметр предполагаемого затопления с ячейками стока, для расчета движения волны. Это можно сделать двумя способами нарисовать непосредственно в программе или загрузит уже созданный SHP файл. Мы загрузим готовый с помощью опции **Import Features**

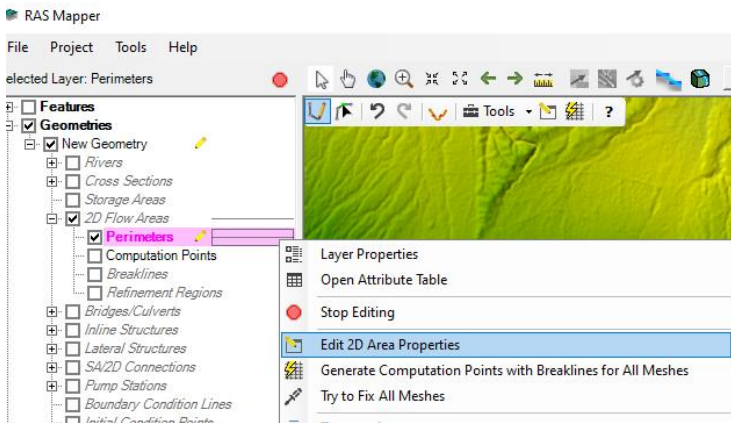


Выберем необходимый файл и нажмем **Import**

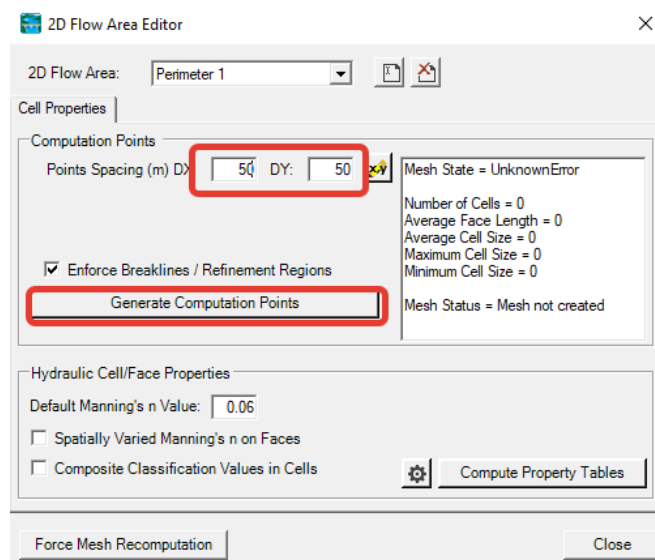




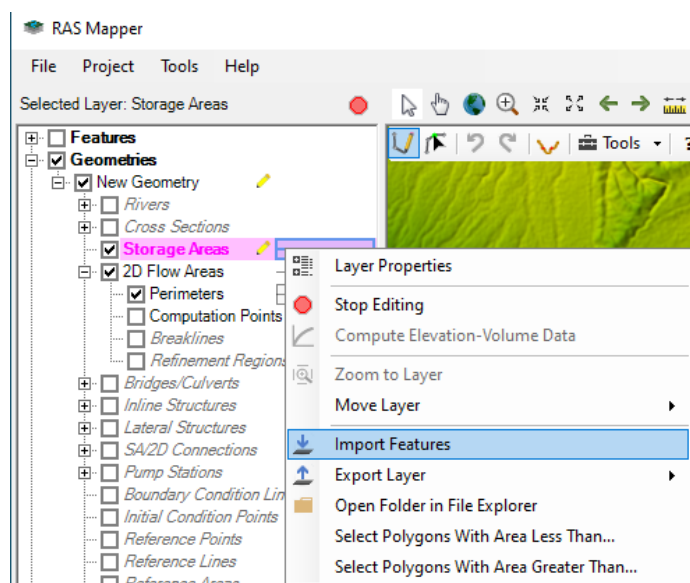
Далее настроим его параметры



В новом окне выставим размер ячейки и нажмем **Generate Computation Point** и закроем окно

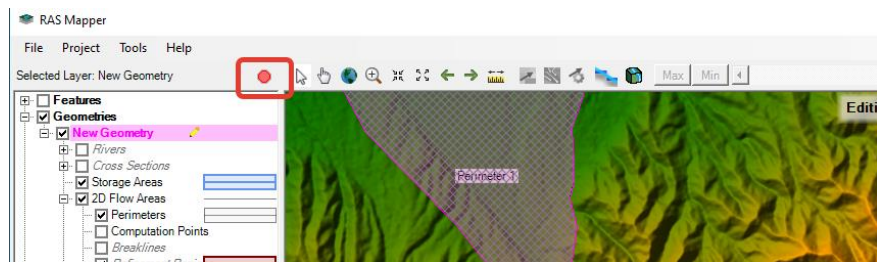


Далее таким же образом, через импорт создадим наше водохранилище

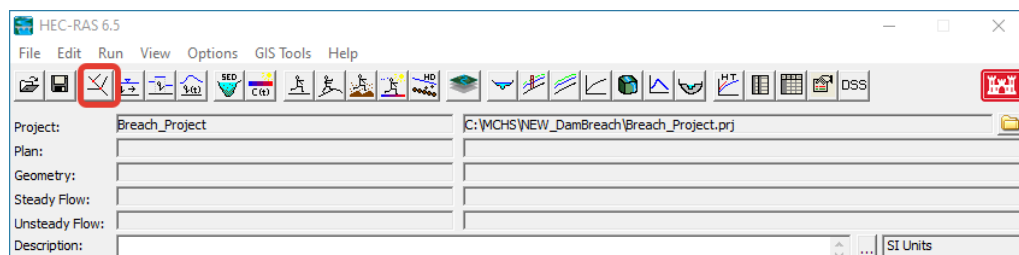


Убедимся что оба наших элемента присутствуют на карте.

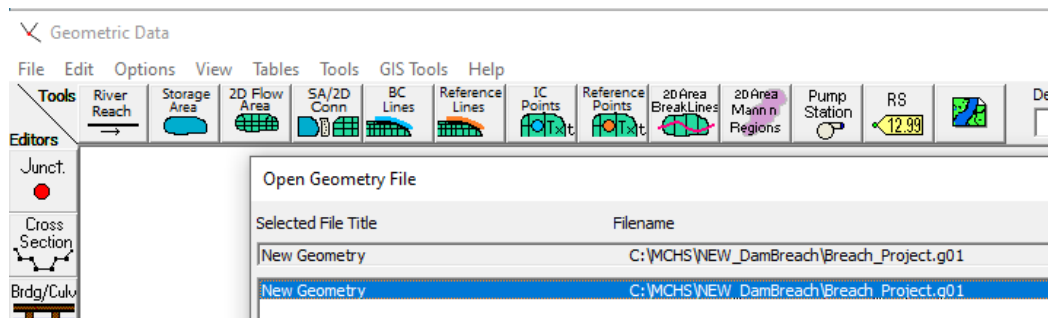
Завершив редактирование, сохраним RAS Mapper через **File->Save** и закроем его.

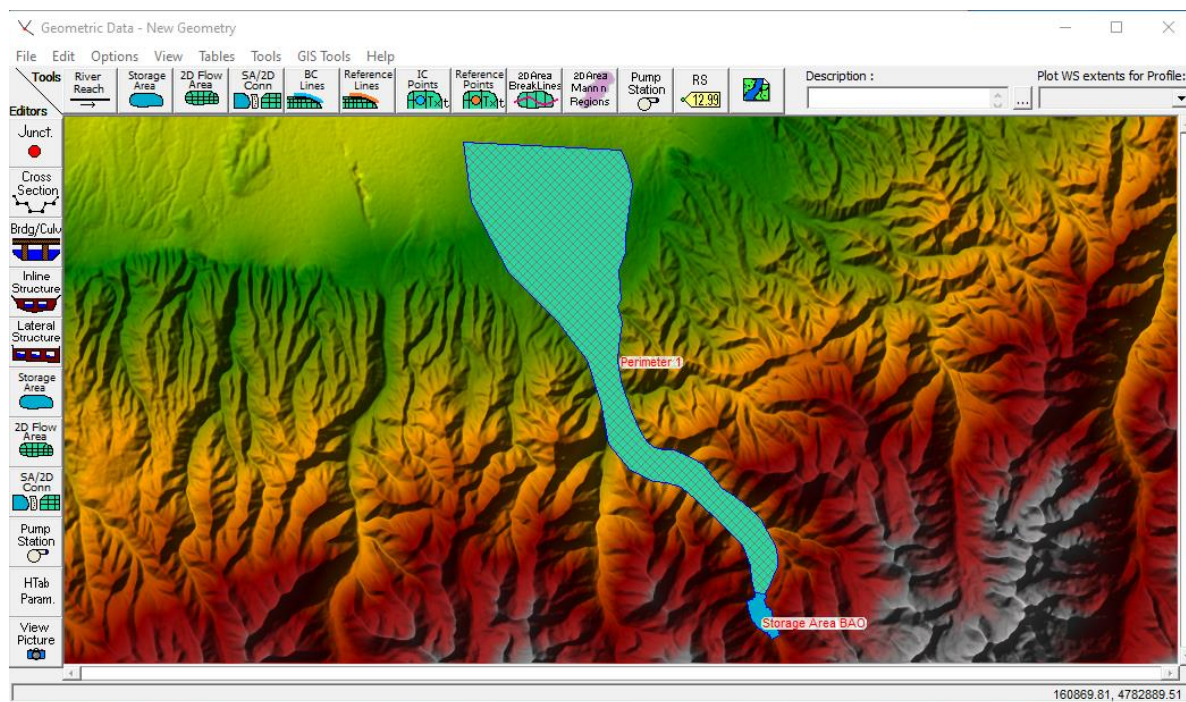


4. Далее открываем редактор геометрии HEC-RAS

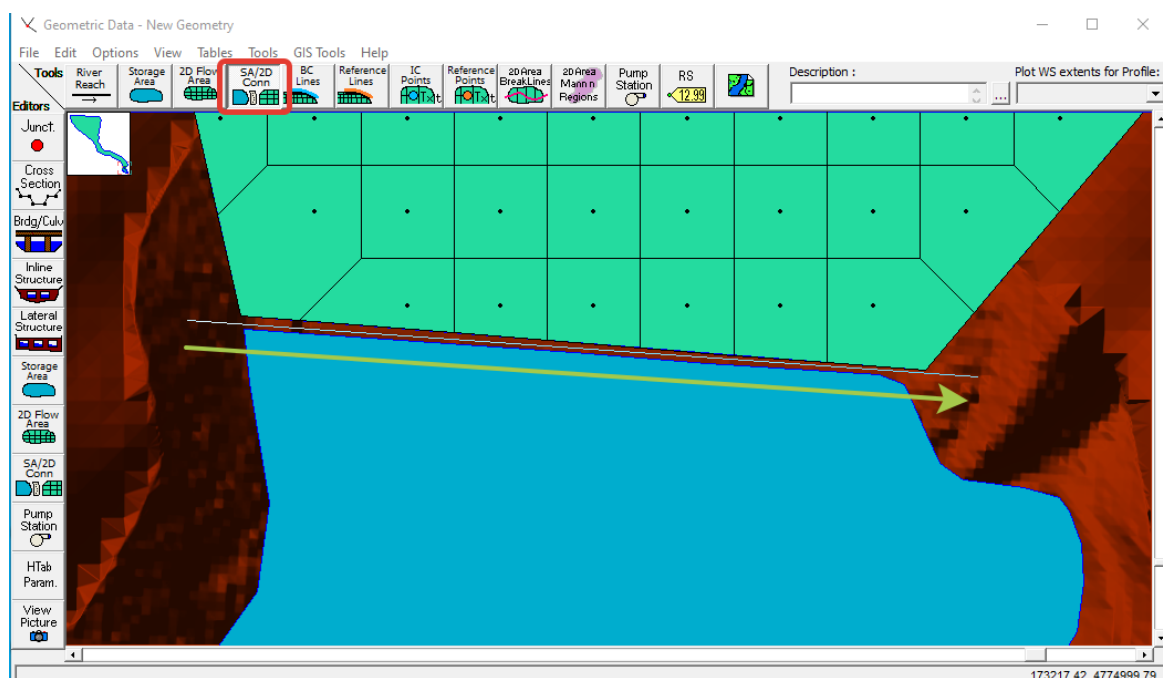


В меню **File->Open** Geometry Data выбираем нашу геометрию

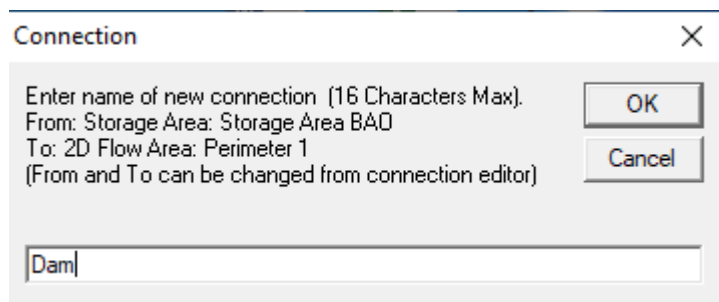




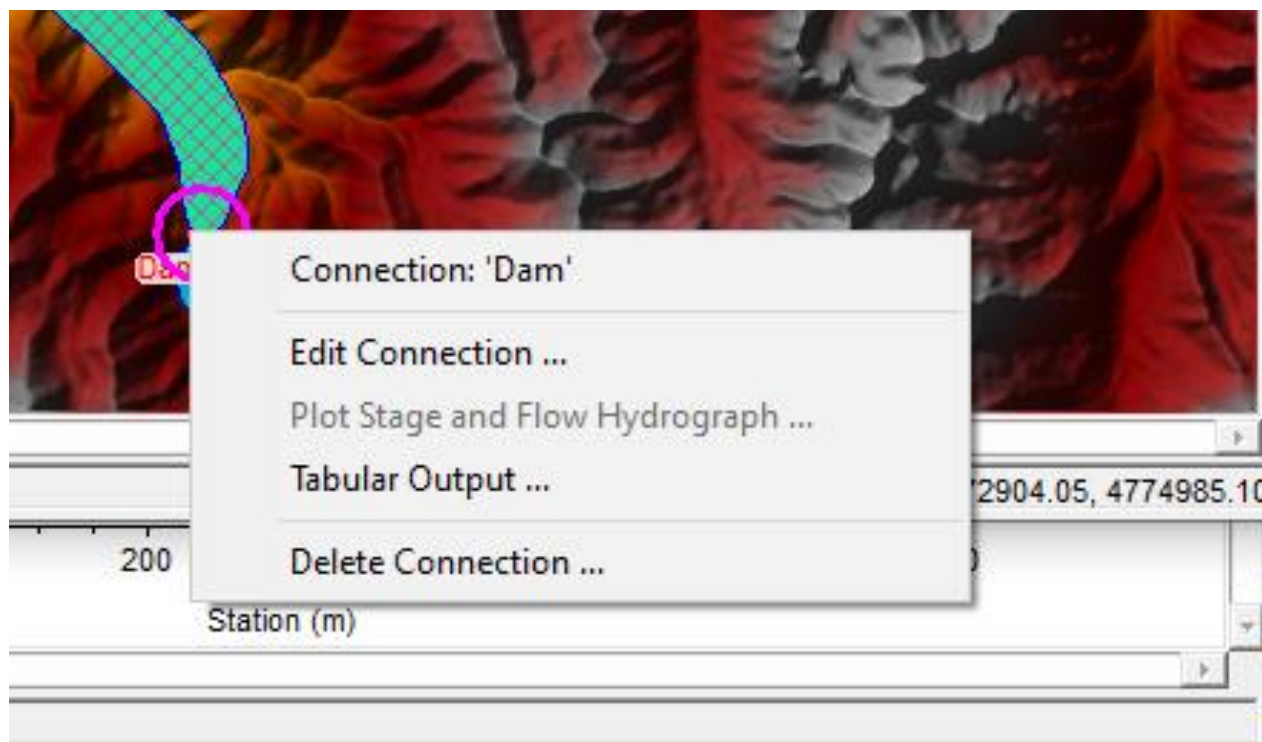
Далее необходимо приблизить к области нашей дамбы и нарисовать ее с помощью инструмента **SA/2D Conn**. Не забывая что рисовать необходимо слева на право по течению реки.



Дадим ей имя

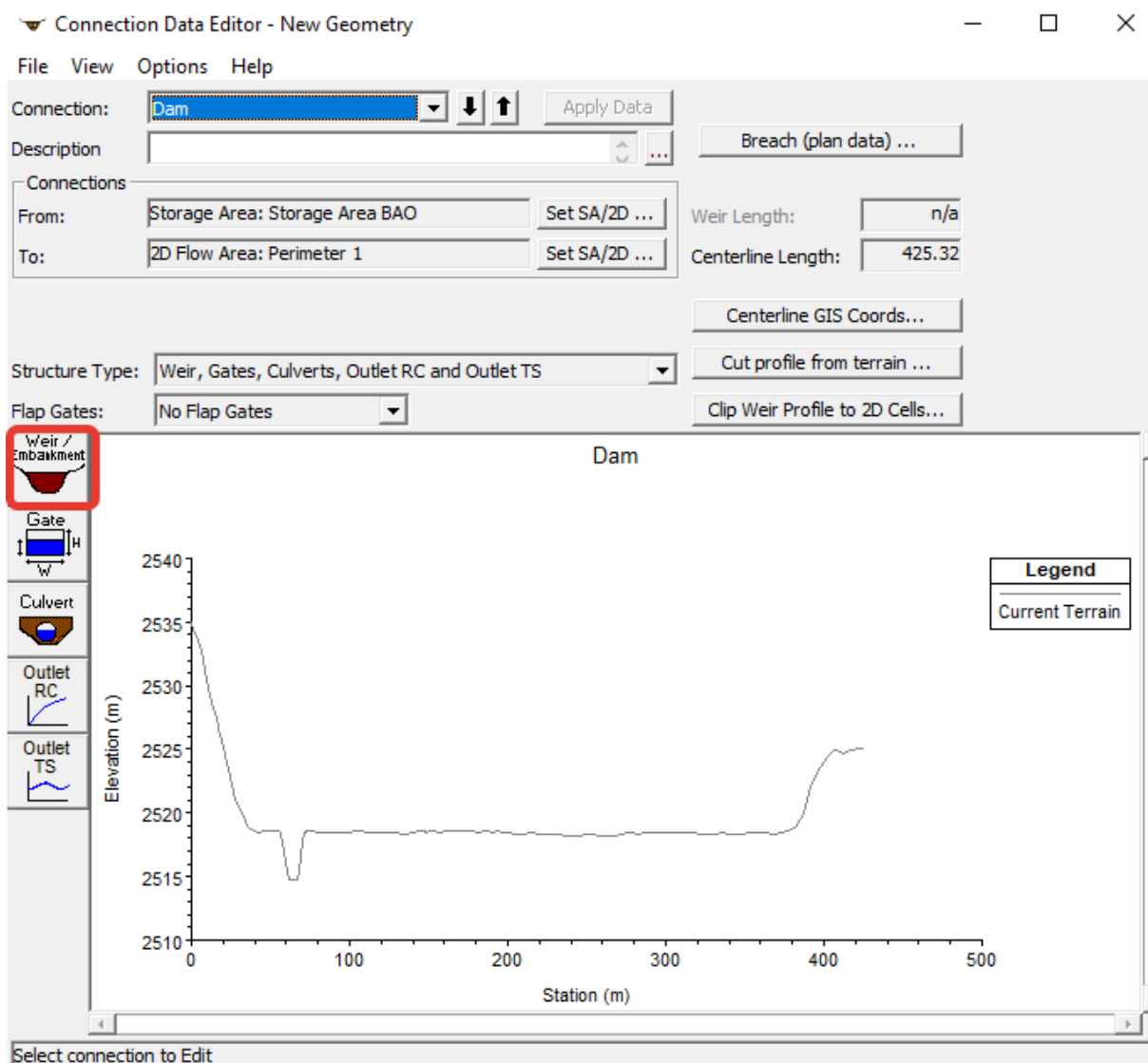


5. Далее выберем нашу дамбу на карте в Редакторе геометрии и выберем Edit Connection



В открывшемся окне мы увидим поперечный профиль дамбы, созданный на основе ЦМР.

Выбираем кнопку Weir/Embakment и приступаем созданию нашей дамбы



Заполняем поле Weir Width, это ширина верхнего основания дамбы в нашем случае это 10 метров

Мы знаем что отметка верхнего основания нашей дамбы это 2518,8 м вносим её в поле Elevation, длина нашей дамбы равна 425,32 метра, поэтому в строку 1 вбиваем - 0 а в строку 2 - 425,32. Это расстояние мы берем из поля Centerline Length предыдущего окна.

Storage Area Connection Weir Data

Weir Data

Weir Width:

Weir Computations:

Standard Weir Equation Parameters

Weir Coefficient (Cd)

Weir Crest Shape:

HW Connections ...

TW Connections ...

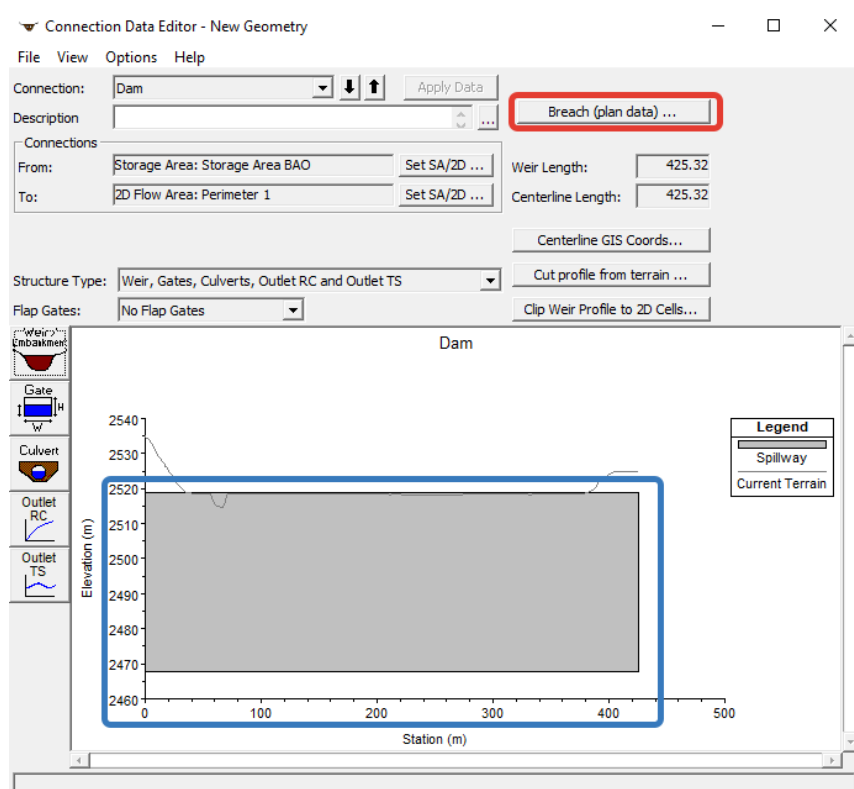
Embankment Station/Elevation Table

Insert Row Delete Row Filter...

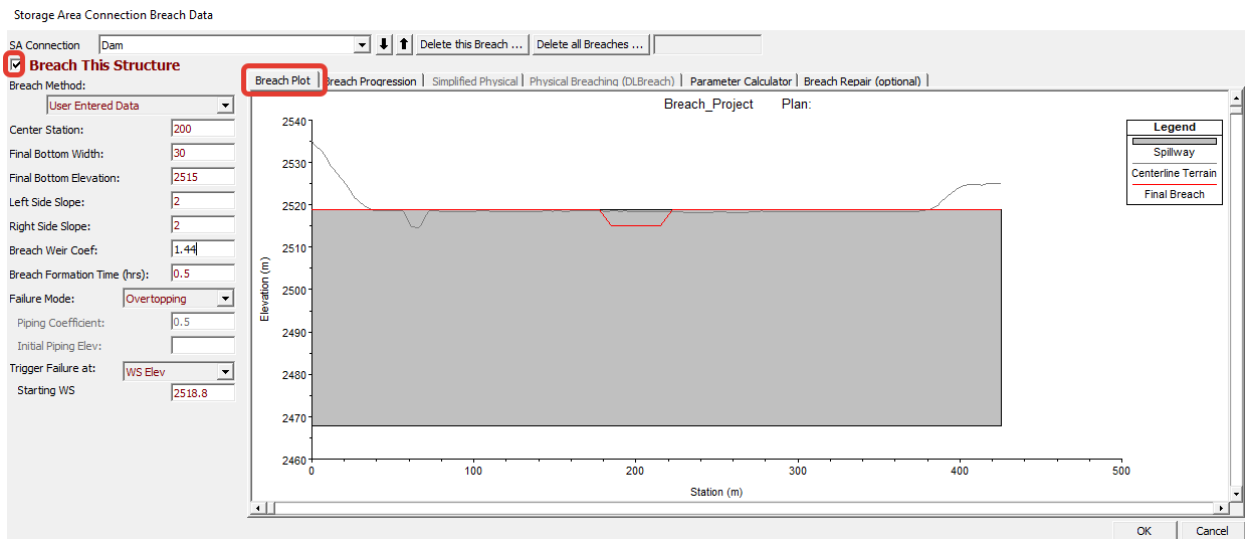
	Station	Elevation
1	0	2518.8
2	425.32	2518.8
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		

OK Cancel

Нажимаем ОК. И видим, что в окне профиля появился серый прямоугольник, это и есть тело нашей дамбы.



Далее нажимаем кнопку Breach (plan data), и переходим к созданию нашей бреши.



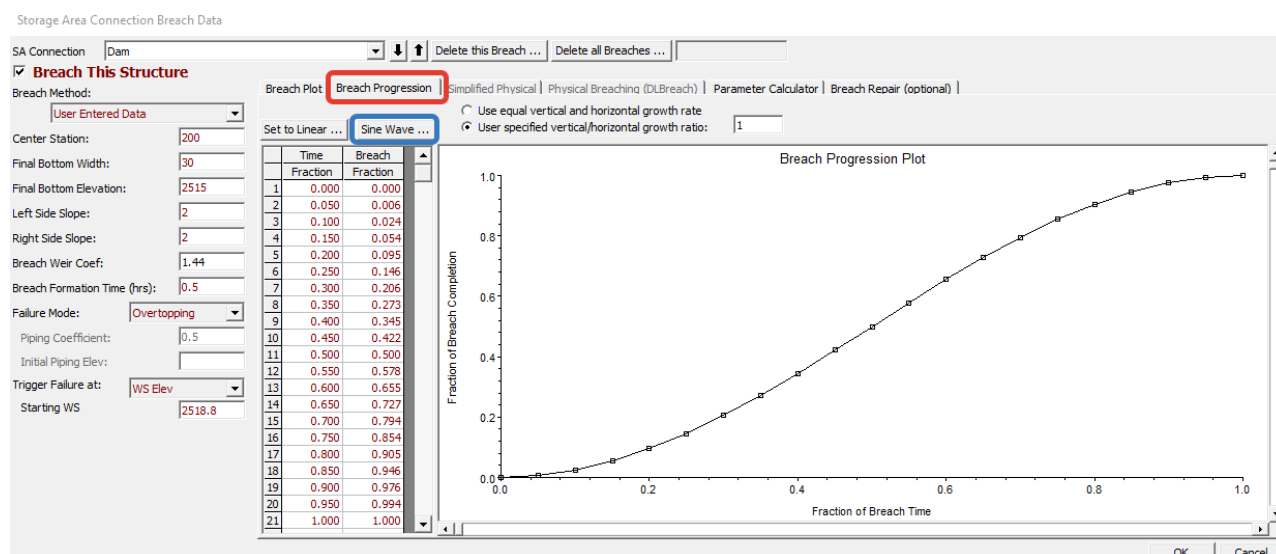
Для начала **обязательно** поставим галочку в поле **Breach This Structure/Прорыв этой конструкции**

И перейдем к заполнению параметров нашей бреши

Наименование	Перевод	Пояснение
Center Station	Центральная станция	Отметка оси бреши
Final Botton Width	Конечная ширина дна	Ширина нижней части бреши
Left Side Slope	Левый боковой откос	Коэффициент наклона левого откоса
Right Side Slope	Правый боковой откос	Коэффициент наклона правого откоса
Breach weir Coef	Коэффициент водослива прорыва	Используем значения по умолчанию

Failure Mode	Режим отказа	Есть два варианта прорыва Overtopping/Перелив и Piping/Трубопровод . Мы используем Перелив
Trigger Failure at:	Начало отказа при:	Выбираем опцию WS Elev/Начальная отметка поверхности
Breach Formation time	Время формирования прорыва	Значение вариативно для разных сценариев.

Переходим на следившую вкладку **Breach Progression/Прогресс прорыва**
По умолчанию будет использоваться опция Set to Linear/Линейный график прорыва. Но по мнению разработчиков и экспертов в этой области **Sine Wave/Синусоидная волна**



Также в программу уже заложены алгоритмы разрушения дамбы в зависимости от её конструкции и состояния. Для этого необходимо перейти на вкладку **Parameter Calculator** внести необходимые параметры и метод

расчета. Можно попробовать все варианты и посмотреть разницу в результатах.

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: Dam

↓ ↑ Delete this Breach ... Delete all Breaches ...

☒ Breach This Structure

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 200

Final Bottom Width: 30

Final Bottom Elevation: 2515

Left Side Slope: 2

Right Side Slope: 2

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 0.5

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 2518.8

Top of Dam Elevation (m): 2518.8

Breach Bottom Elevation (m): 2515

Pool Elevation at Failure (m): 2518.8

Pool Volume at Failure (1000 m3): 23060

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 1.5

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Concrete-faced dam

Dam Erodibility: Medium

Breach Plot | Breach Progression | Simplified Physical | Physical Breaching (DLBreach) | Parameter Calculator | Breach Repair (optional)

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	340	0.5	0.66	Select
Frøhlich (1995)	69	1.4	6.10	Select
Frøhlich (2008)	80	1	7.08	Select
Von Thun & Gillete	62	0.5	0.33	Select
Xu & Zhang	42	0.28	3.75 *	Select

... Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion

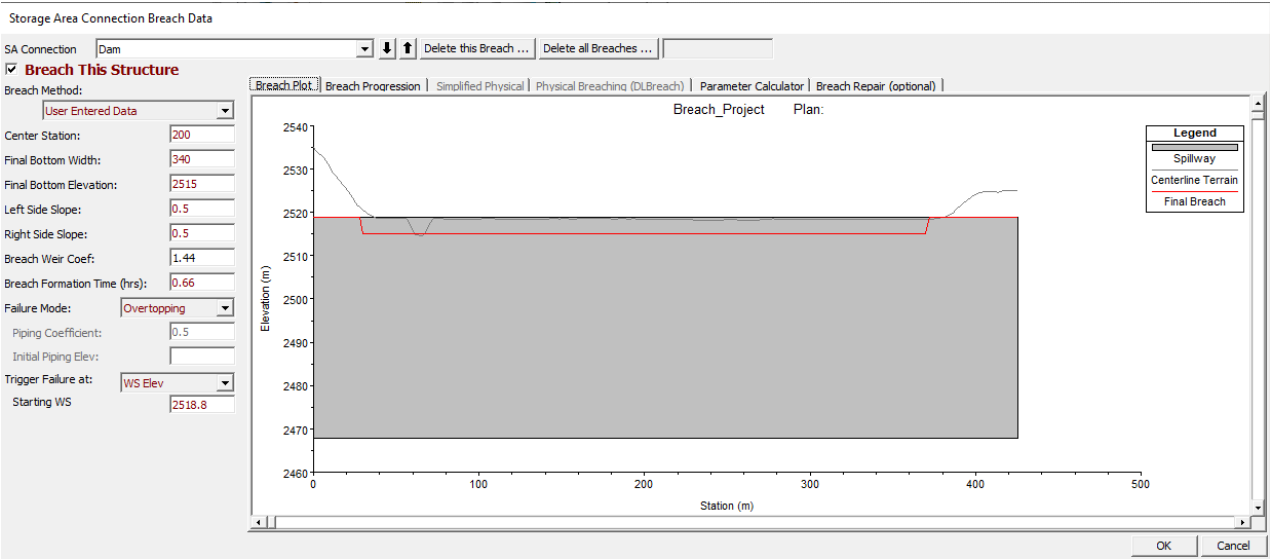
OK

Cancel

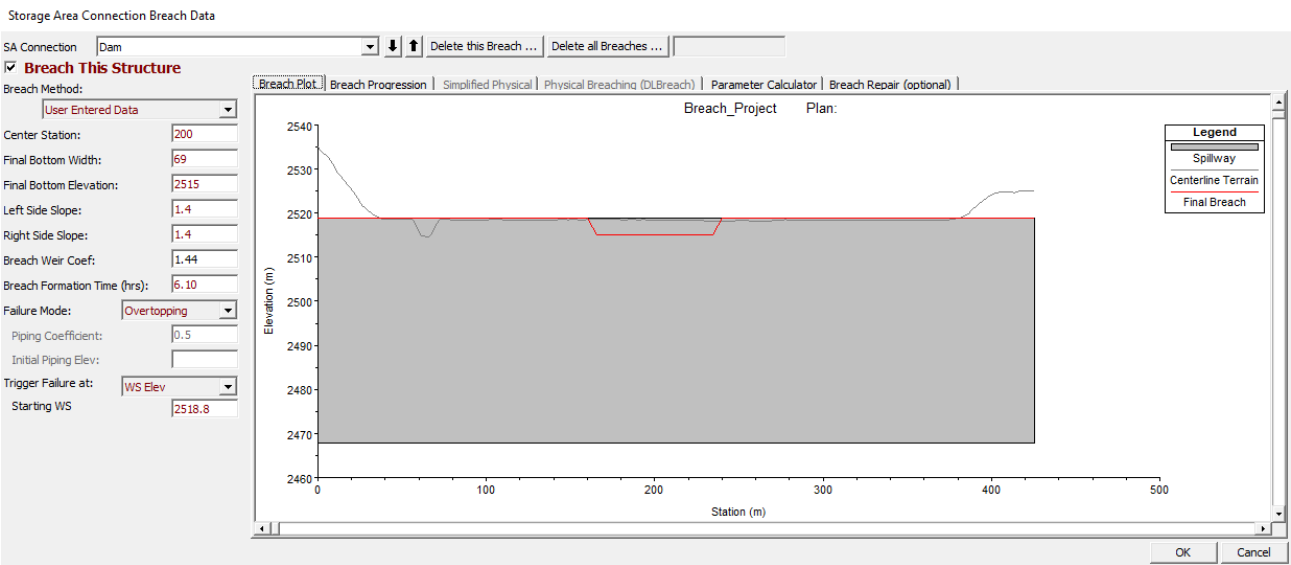
Наименование	Перевод
Top of Dam Elevation	Высота верхней части плотины
Pool Elevation at Failure	Высота бассейна при прорыве
Breach Botton Elevation	Высота дна прорыва
Pool Volume at Failure (1000 м3)	Объем бассейна при прорыве (1000 м3)
Earth Fill Tupe	Земляной насыпной тип
Non-homogeneous or Rock fill	Неоднородный или каменный насыпной тип
Fine homogeneous	Мелкооднородный тип
Dam Tupe	Тип плотины
Concrete-faced dam	Бетонное покрытие плотины
Homogeneous/zoned-fill dam	Однородная/зонально-насыпная плотина
Dam Erobility	Эродированность плотины

При это обратите внимание что при выборе разных методов будут меняться параметры нашей бреши, в соответствии с выбранным методом.

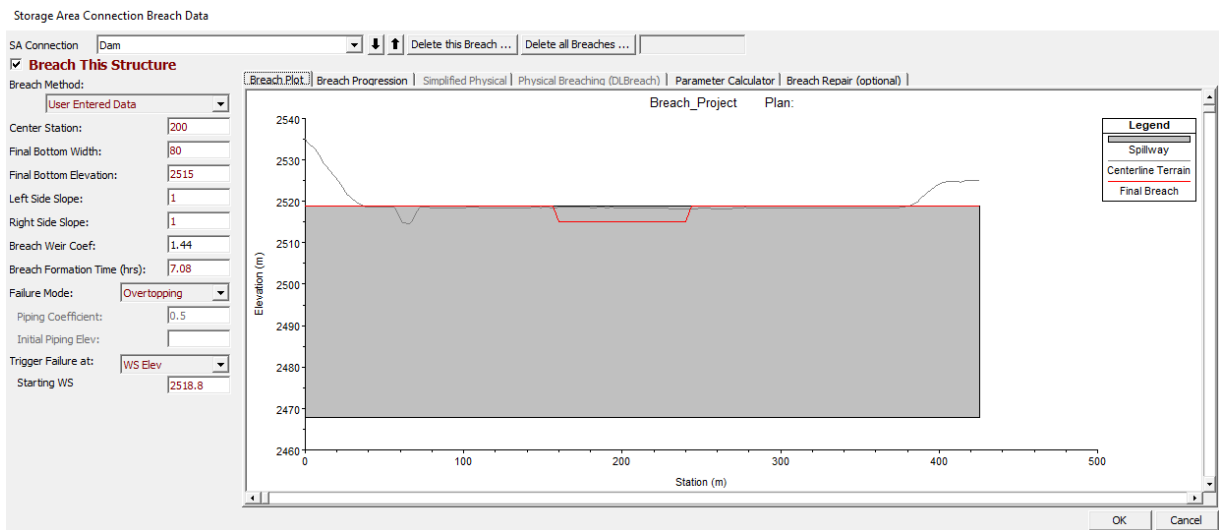
MacDonald et al



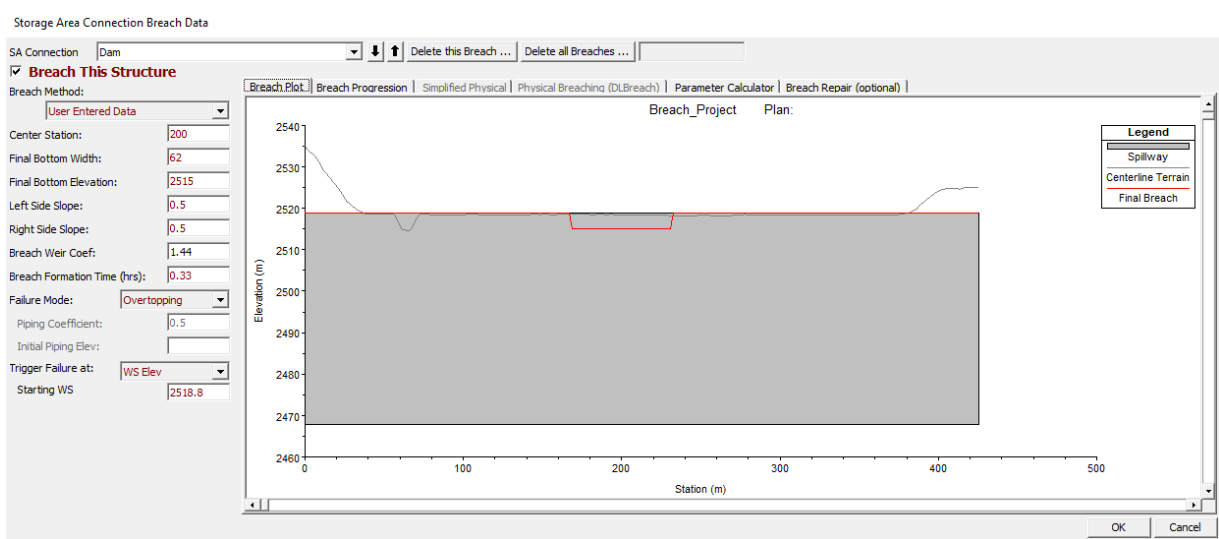
Froehlich (1995)



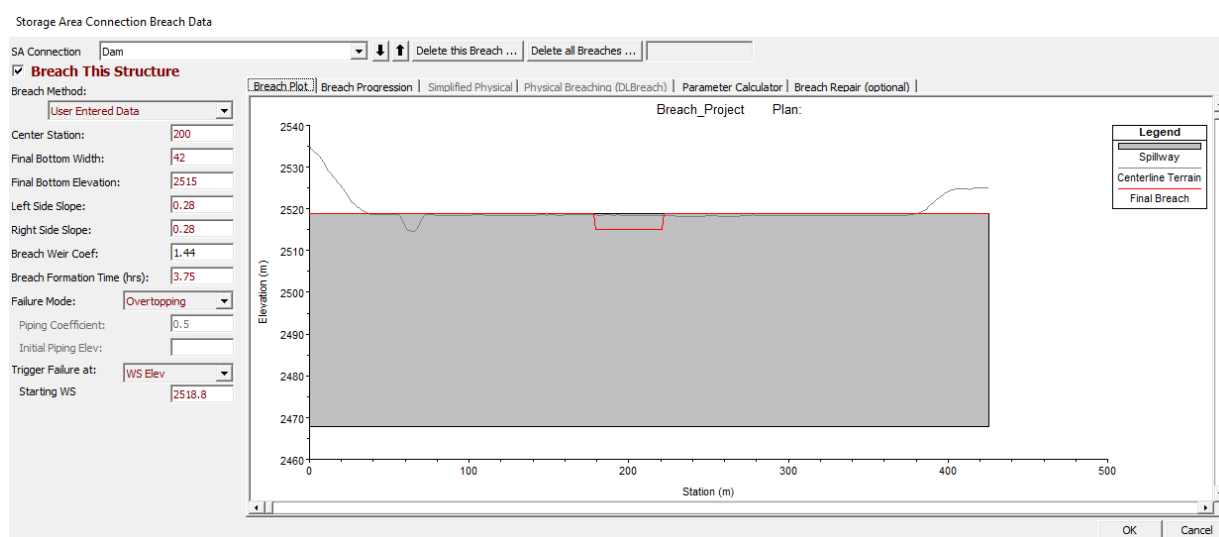
Froehlich (2008)



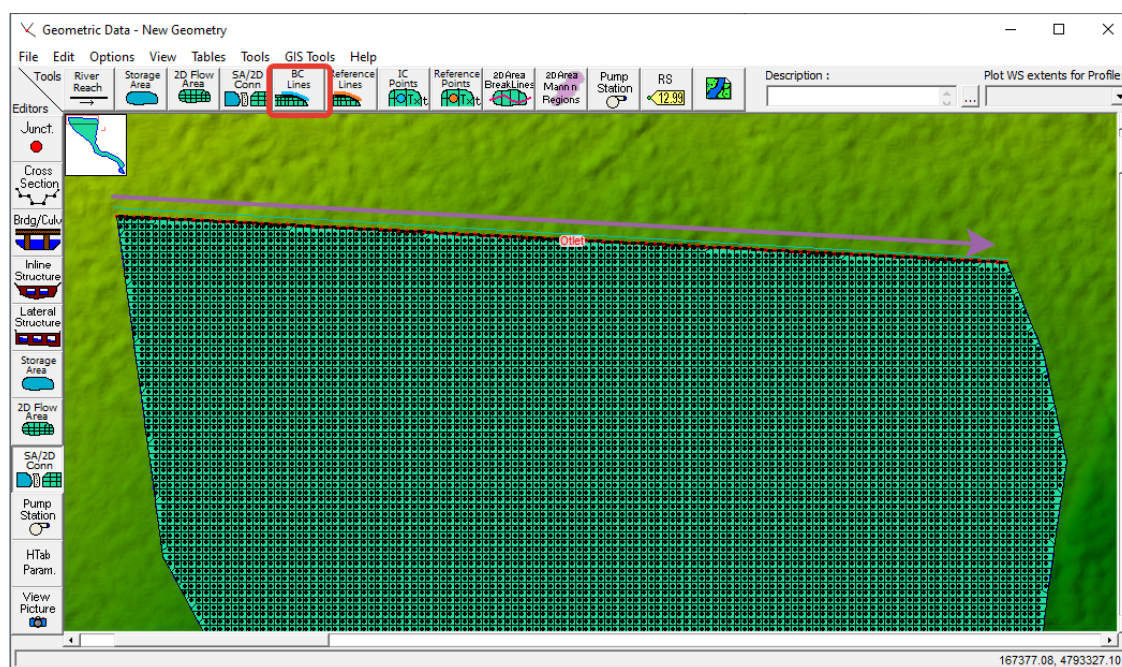
Von Thun & Gillete



Xu & Zhang



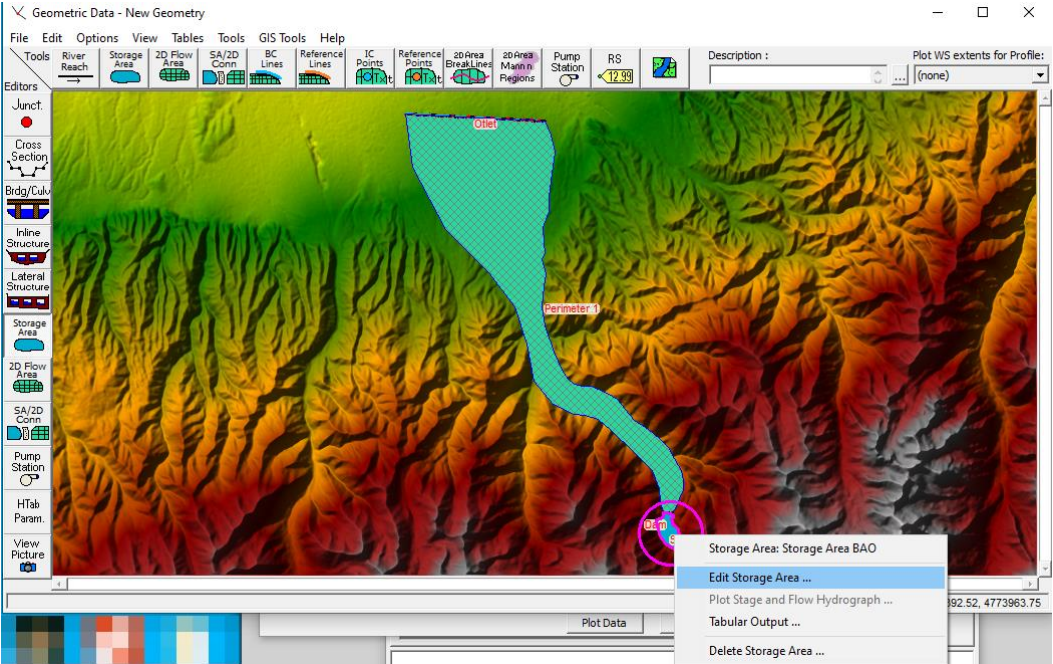
6. Далее программе необходимо задать граничные условия. Для открываем редактор геометрии и с помощью кнопки **BC Lines** добавим граничное условие ниже по течению нашего зоны интересов **2D Flow Area**



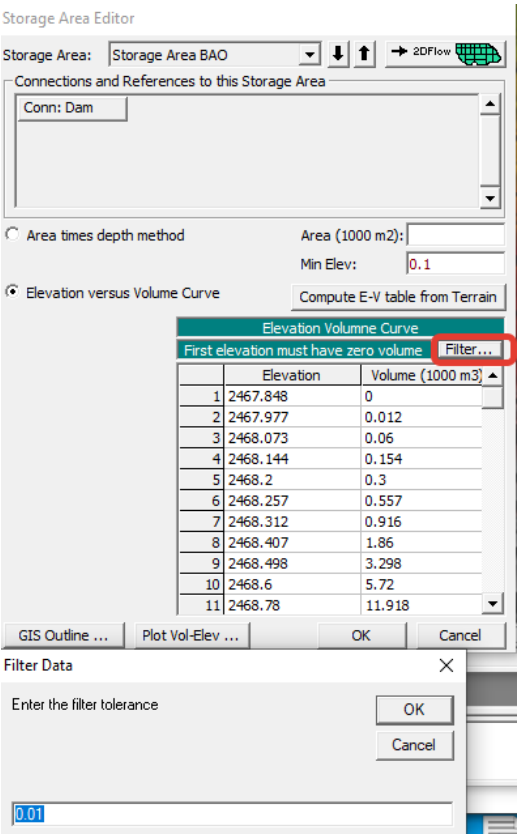
Присваиваем имя и нажимаем **OK**

Сохраняем нашу геометрию и выходим из нее.

Также в окне геометрии выберем наш резервуар и нажмем кнопку **Edit Storage Area**

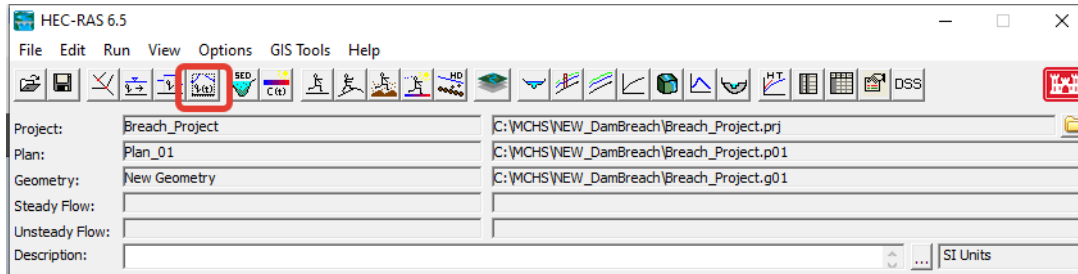


В новом окне нажмем кнопку Filter и введем значение 0.01. Так как количество записей не должно превышать 100 записей.

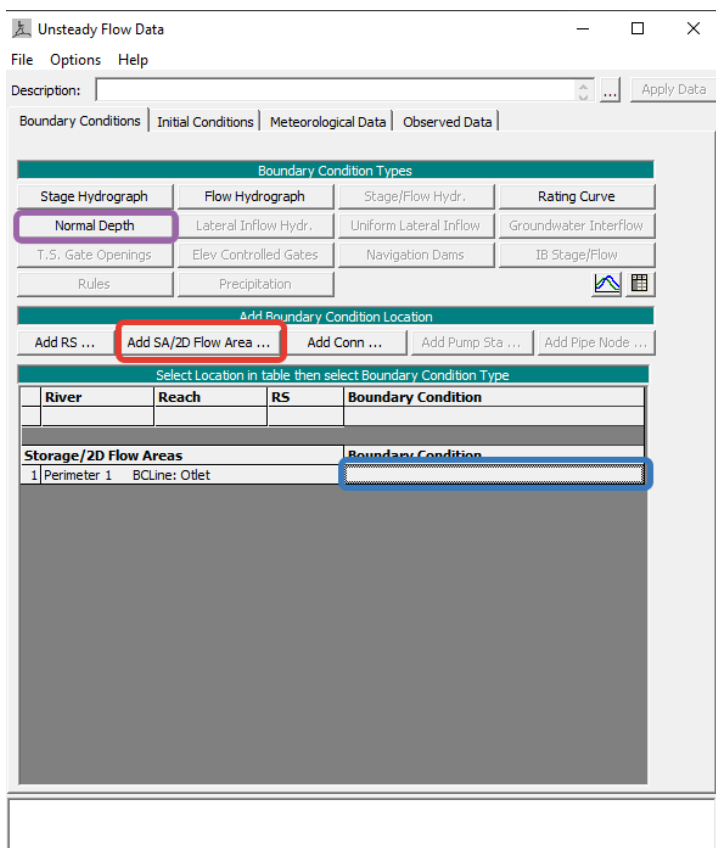


7. Далее приступаем созданию гидрографа.

Выбираем кнопку **View/Edit Unsteady Flow Data**



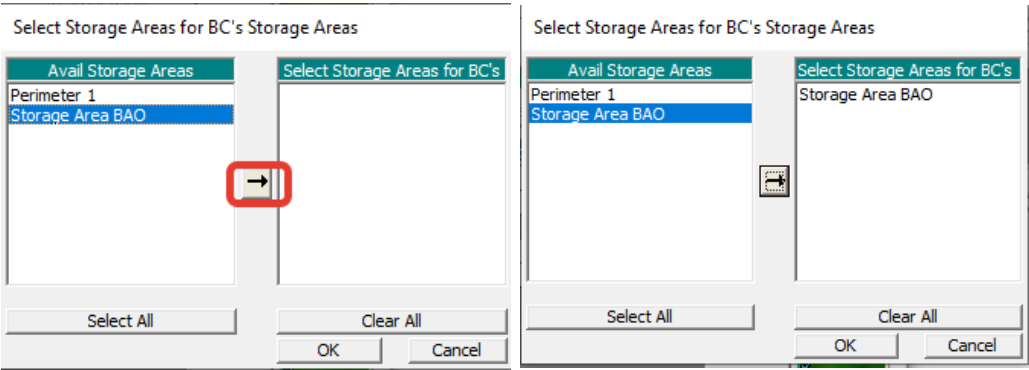
Откроется окно **Unsteady Flow Data** выбираем поле Boundary Condition нажимаем кнопку **Normal Depth**



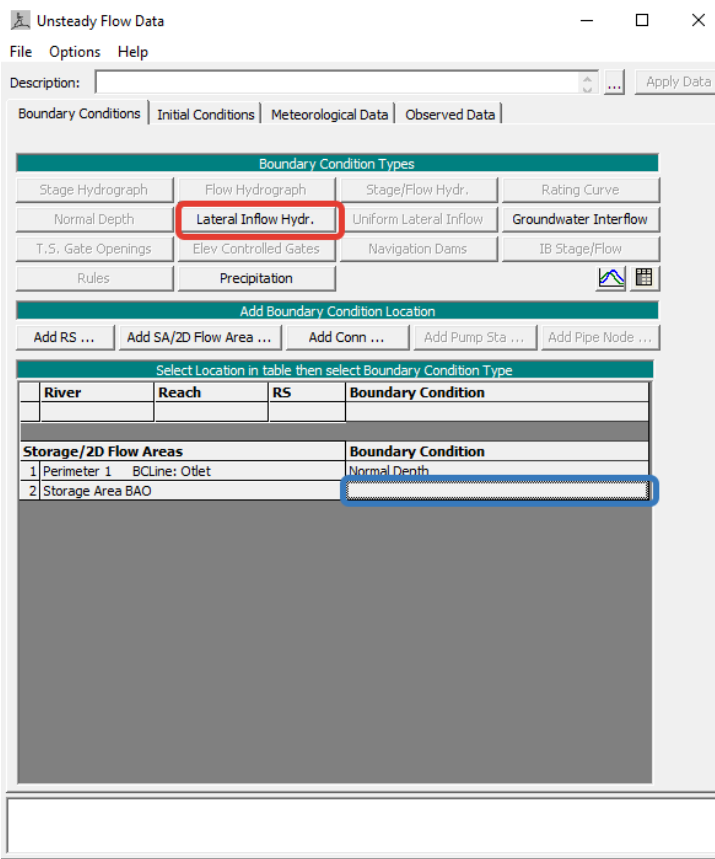
В открывшемся окне вводим **0.01**, нажимаем ОК

Далее нажимаем на кнопку **Add SA/2D Flow Area**

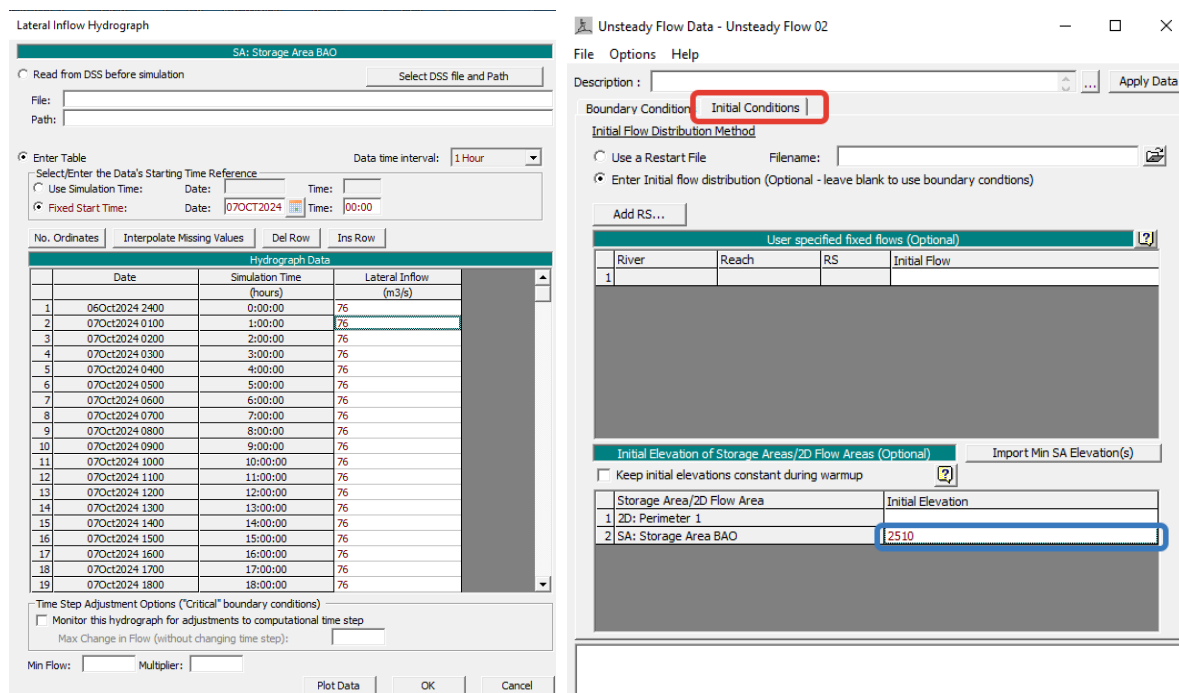
Выбираем наш резервуар и с помощью стрелки добавляем его. Нажимаем ОК



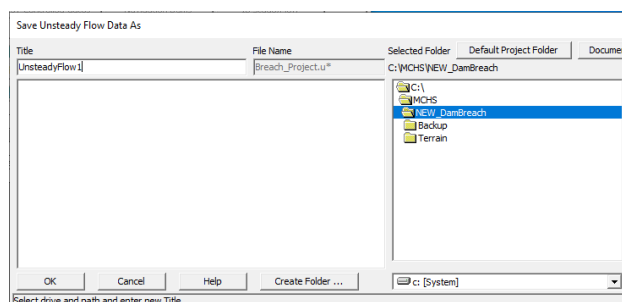
Выбираем поле напротив Storage Area BAO и нажимаем кнопку **Lateral Inflow Hydr.**



Это будет наш гидрограф отвечающий за наполнение водохранилища. Его предоставят гидрологи.



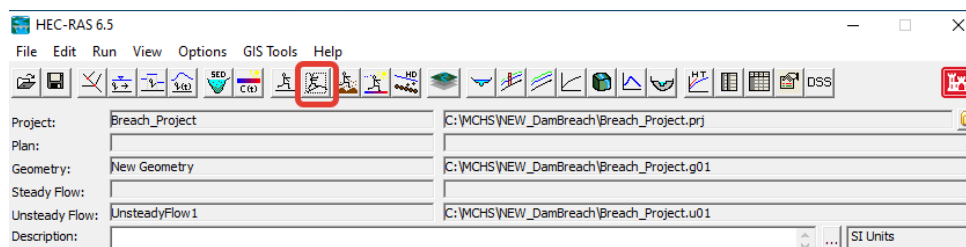
Заполним его. На вкладке **Initial Conditions** необходимо ввести уровень воды в водохранилище на начало расчетов.



Сохраняем его.

8. Приступаем к созданию нашего плана моделирования.

Нажимаем кнопку **Unsteady Flow Analysis**



А открывшемся окне выставляем необходимые галочки.

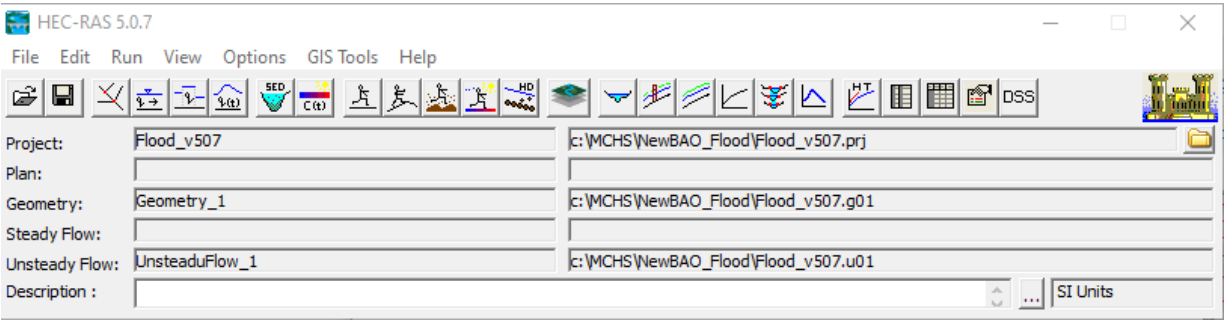
Устанавливаем время начала и окончания симуляции и интервалы расчетов.

И нажимаем кнопку **Compute**

После окончания расчета результат можно посмотреть в окне RAS Mapper.

4.2 Метод моделирования на основе расчета гидрографа прорыва.

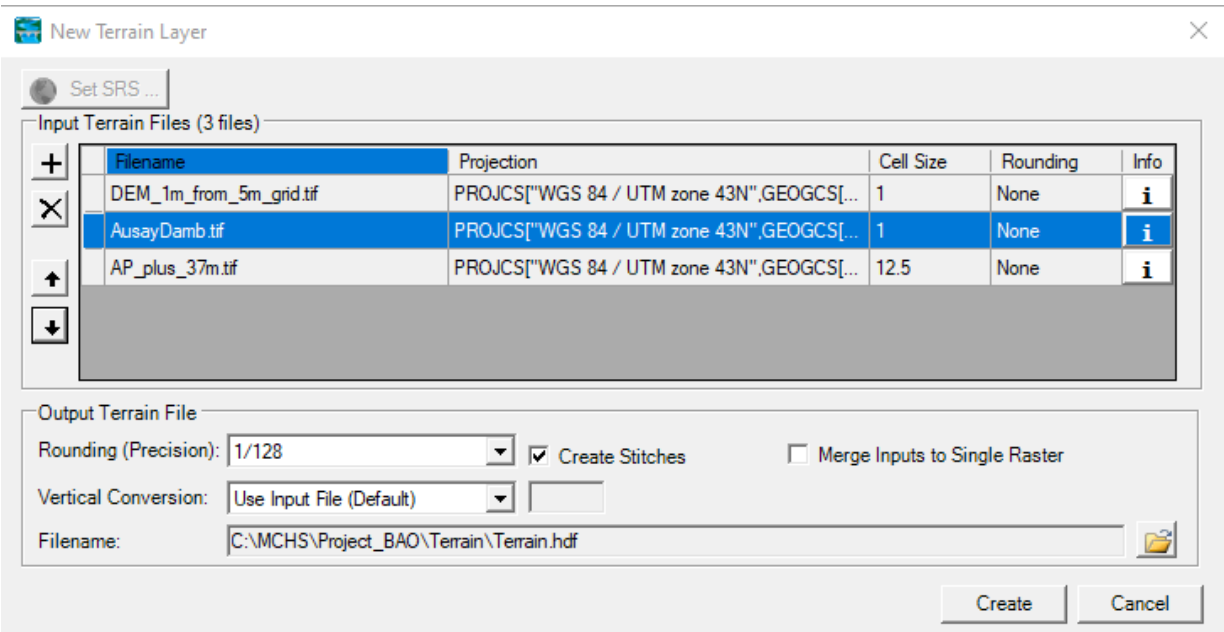
9. Расчеты проводились в ПО HEC-RAS

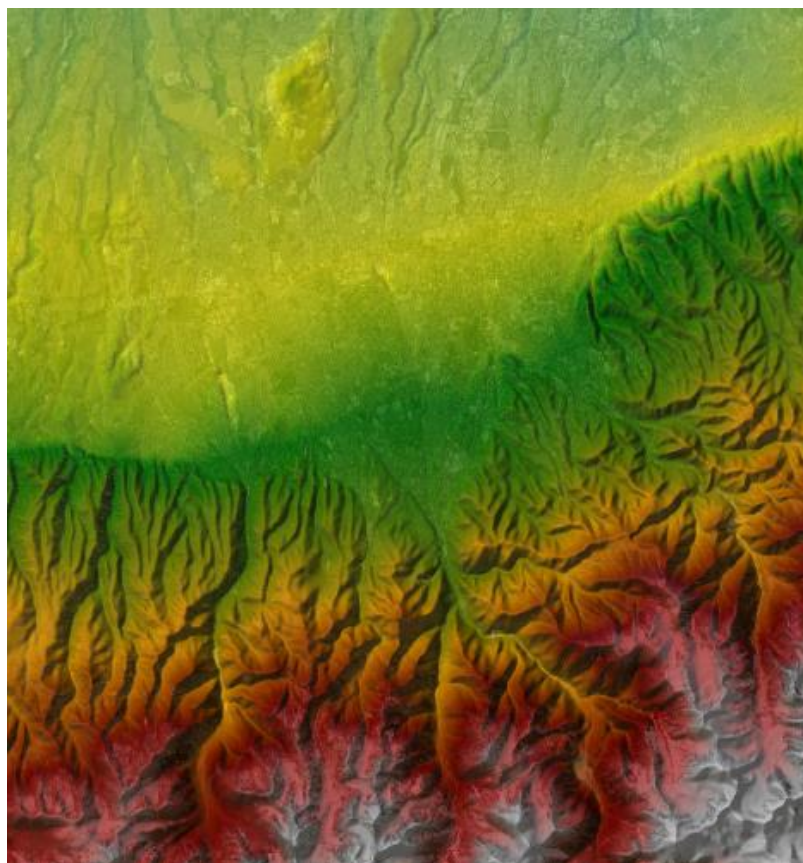


Создали новый проект моделирования наводнений

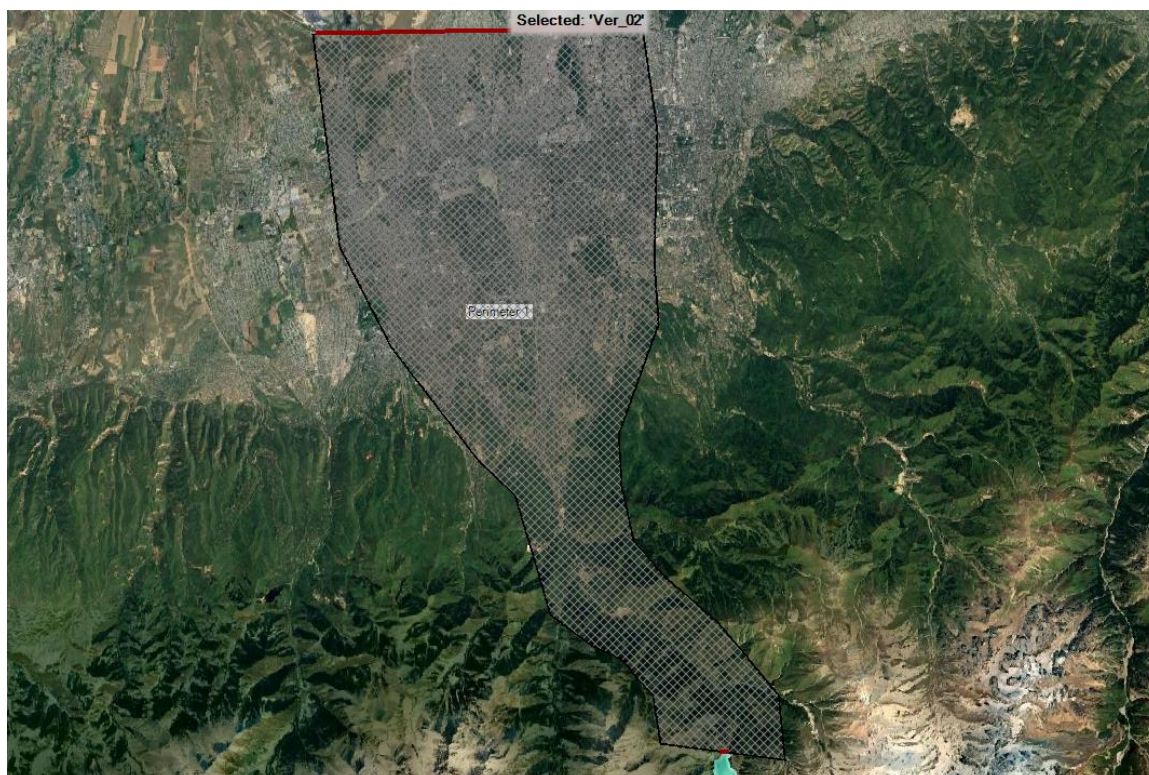
10. Для начала также создали ЦМР Terrain

Мы создавали её на основе DEM Alos с разрешением 12,5 метров, ЦМР лежа БАО с разрешением 1 метр на основе батиметрической съемки и съемки с БПЛА.

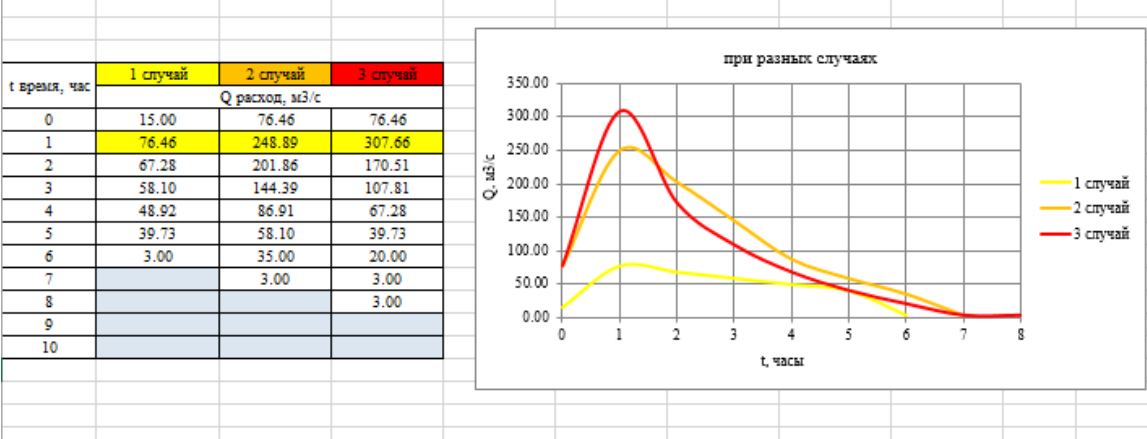




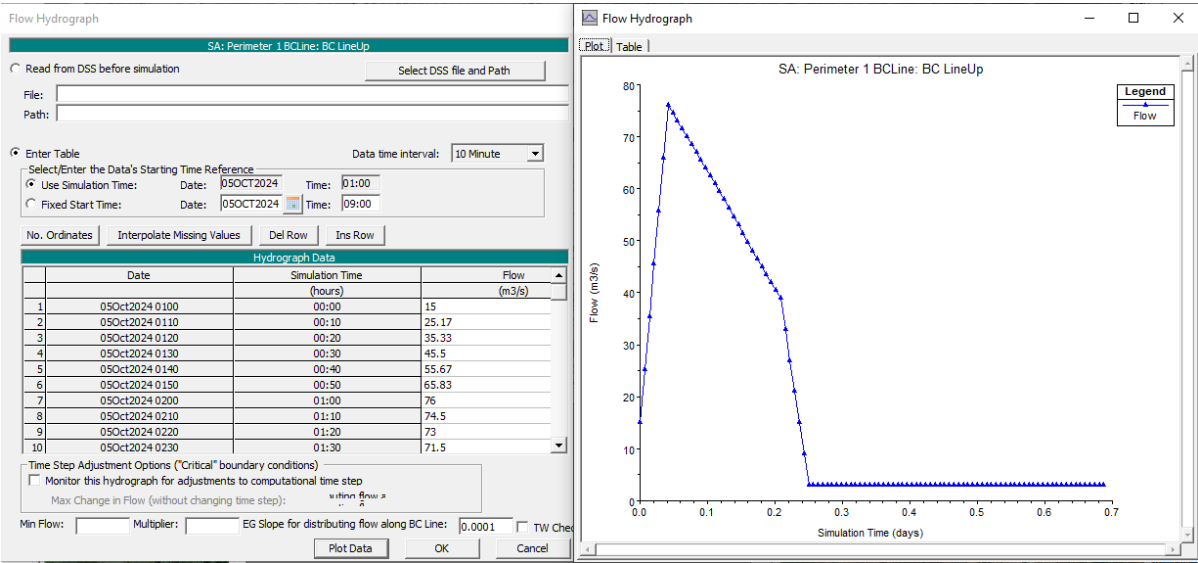
11. Далее создали 2D Flow Areas с ячейками стока.



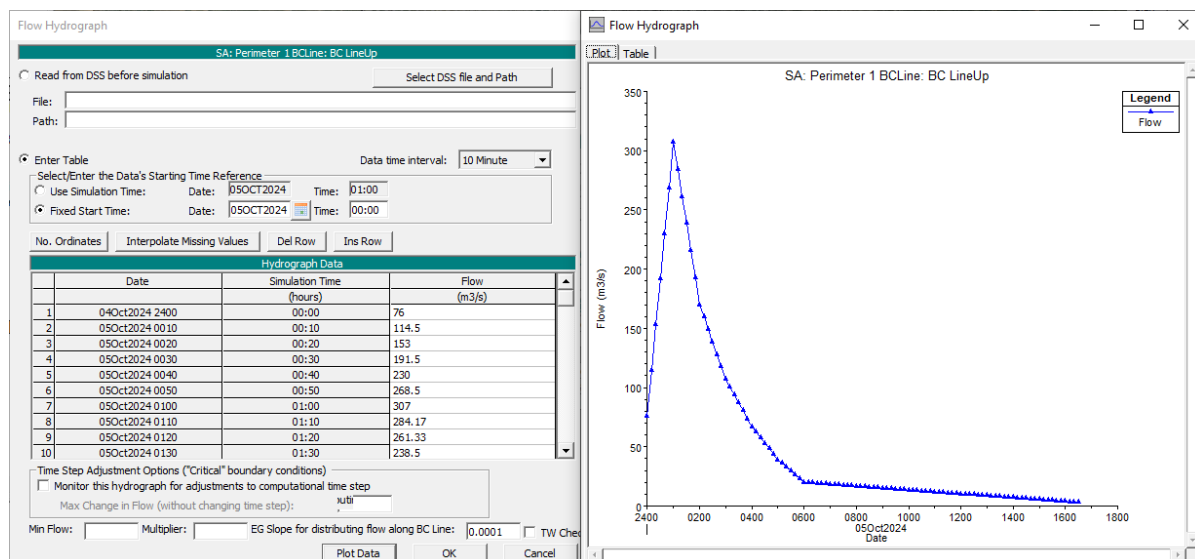
12. Отличие этого метода от предыдущего заключается в том что входными данными для моделирования служили рассчитанные гидрологами данные о объеме сброса при различных сценариях разрушения дамбы в результате землетрясения.



13. Эти данные были внесены в программу



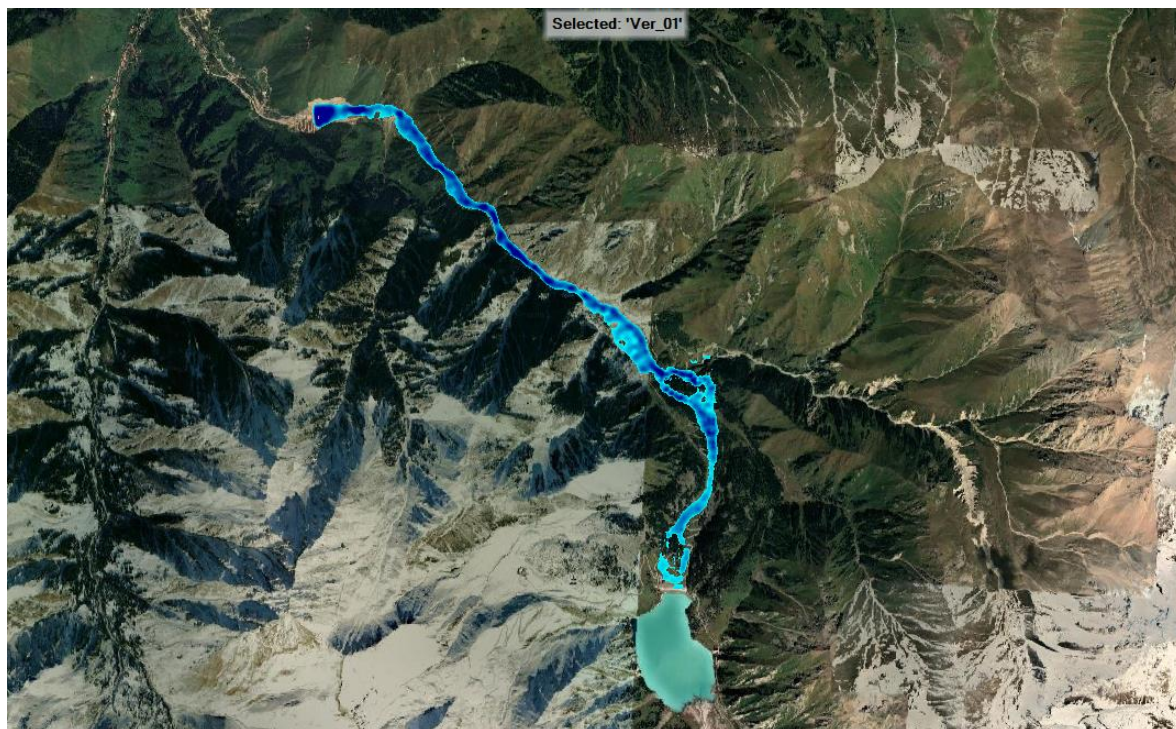
1 вариант – частичное разрушение дамбы



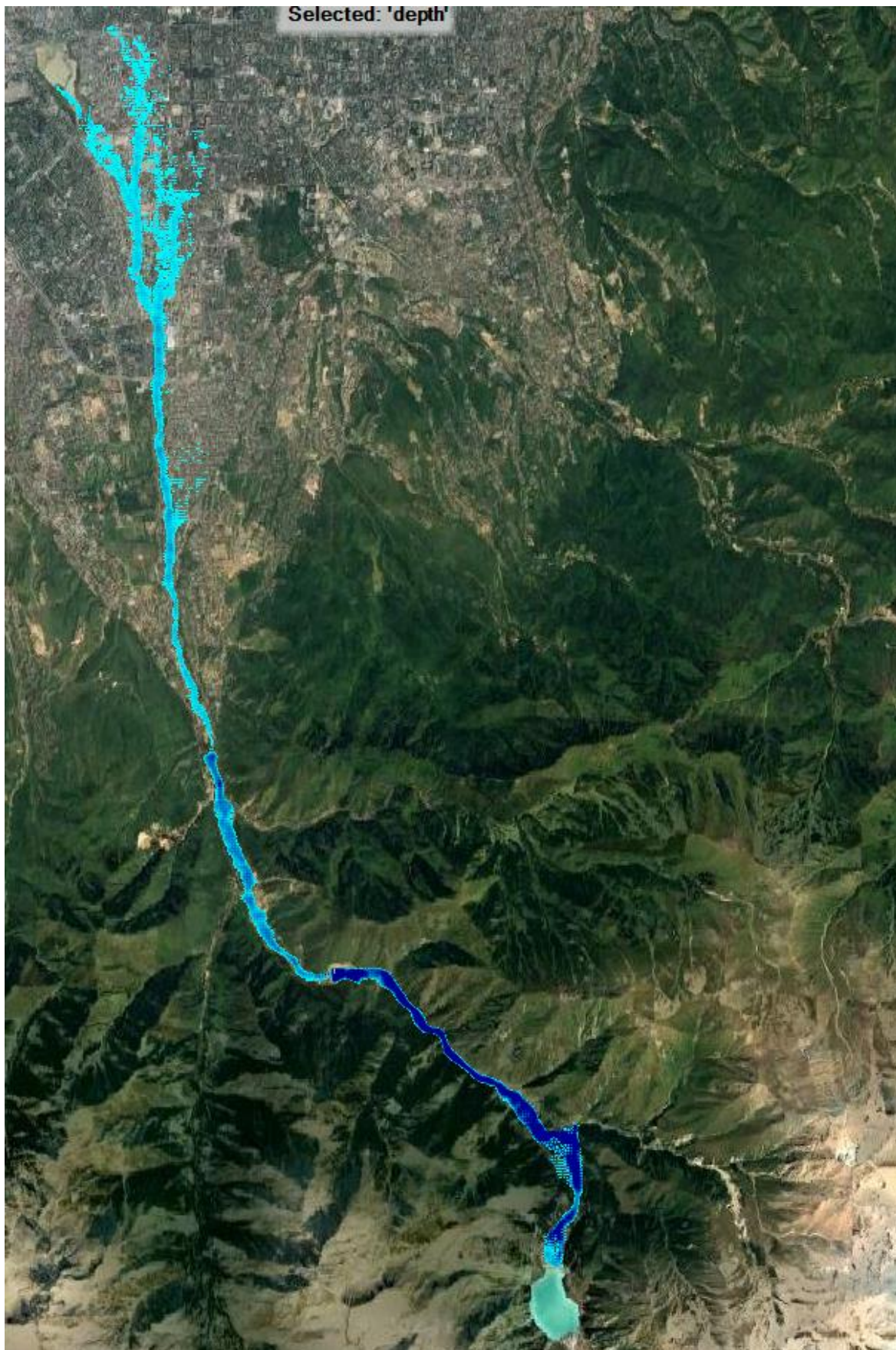
2 вариант – полное разрушение дамбы

14. Далее был произведен расчет зоны затопления по обоим сценариям

В первом случае полученный результат показал, что дамба Аюсай справилась с последствиями разрушения и остановила водный поток.



Во втором же случая объем воды был настолько огромным что хоть дамба Аюсай и Большая Алматинская дамба, частично задержали поток воды она все равно дошла до города



Как видно из рисунка после каждой из дамб высота волны значительно снижается.