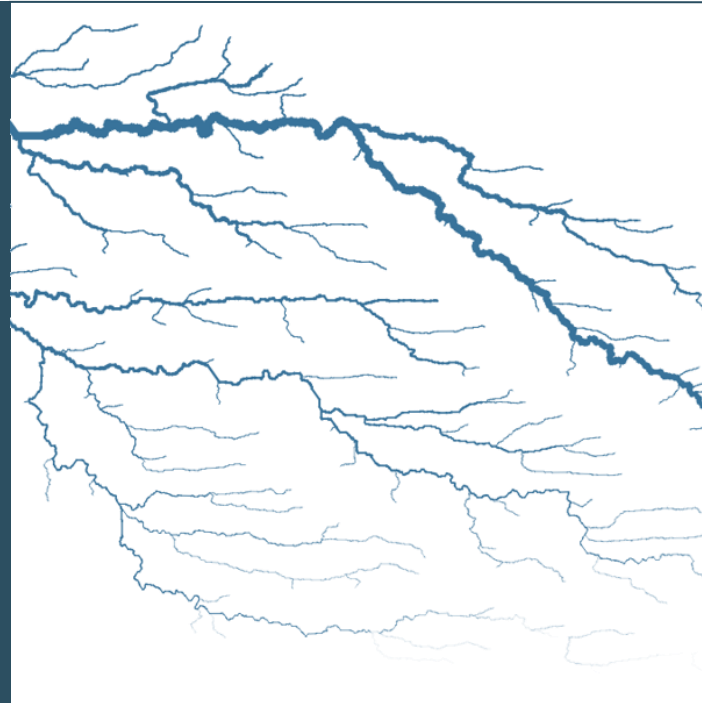


# ИЗМЕРЕНИЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРКТИЧЕСКИХ РЕК ПО ВЕКТОРНЫМ МОДЕЛЯМ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

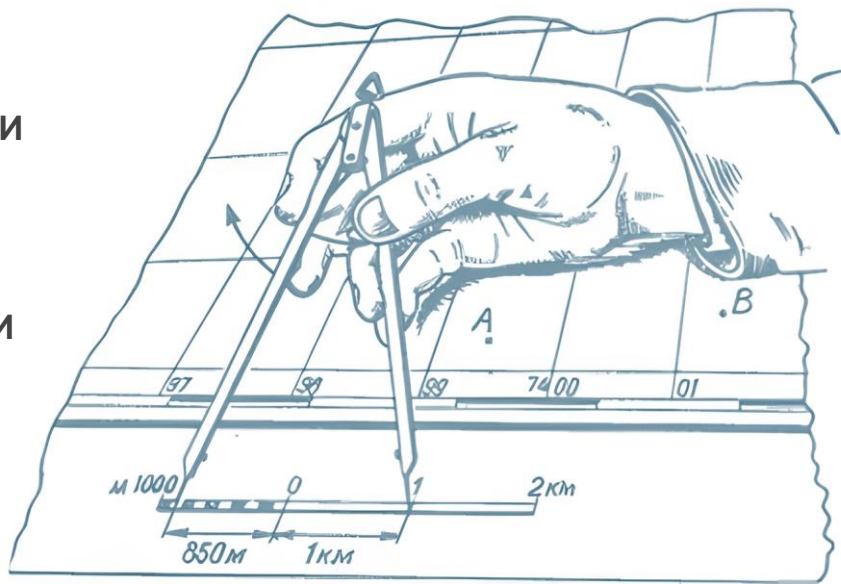
Игнатенко Дарья Алексеевна, Кочетова Алиса Валерьевна  
Санкт-Петербургский государственный университет

канд. физ.-мат. наук, доцент  
Якимова Ольга Павловна  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова



# Введение

- Измерением объектов гидрографии интересовались издавна.
- Гидрографические характеристики измерялись по топографическим картам.



Гидрографические характеристики - совокупность морфометрических и морфологических характеристик водных объектов и их водосборов, дающих представление о характере, форме, размерах и протяженности водных объектов [Р 52.08.874 - 2018].

# Введение

- Когда измерения по картам стали довольно точными, развитие получили геоинформационные системы.
- Новая проблема - корректность реализации автоматизированных **измерений** гидрографических характеристик **в ГИС**.



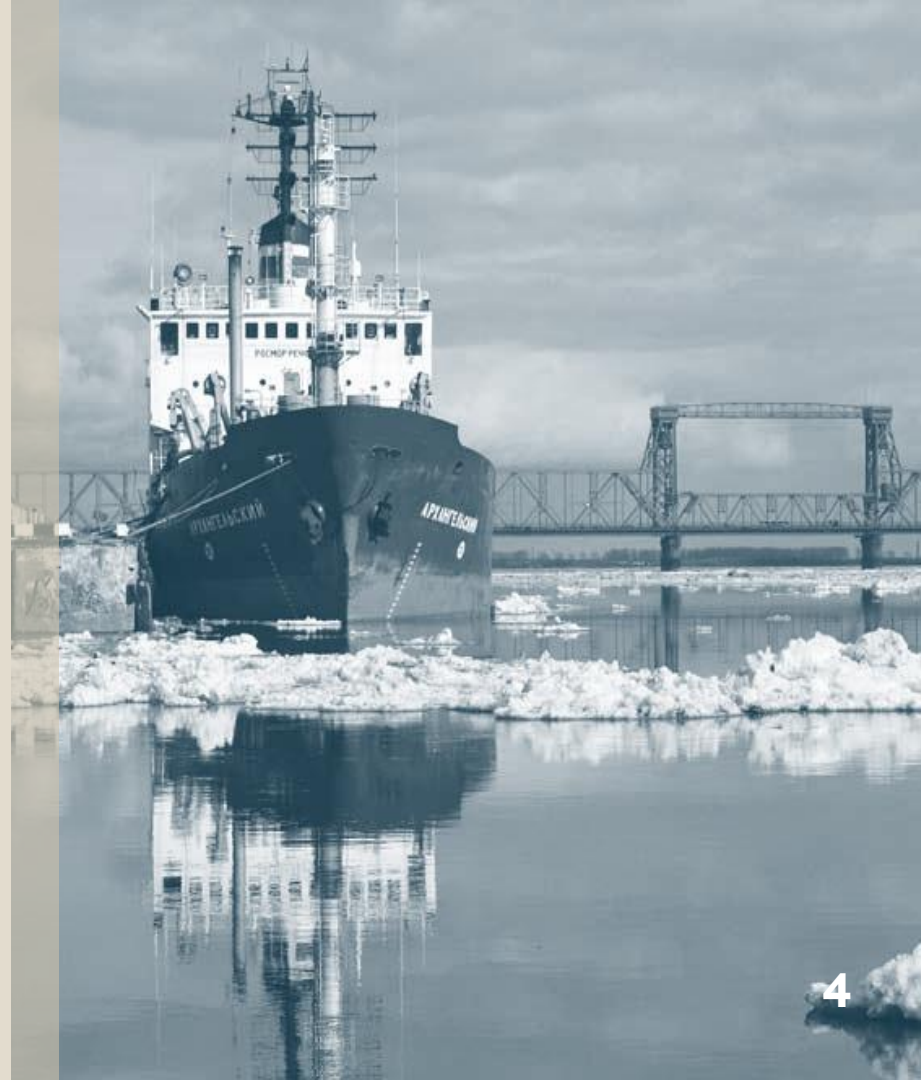
## Совместный проект по исследованию арктических водных систем

Санкт-Петербургский государственный университет:

- кафедра геоэкологии;
- кафедра гидрологии суши;
- кафедра картографии и геоинформатики (геоинформационное сопровождение).

Ярославский государственный университет:

- кафедра компьютерной безопасности и математических методов обработки информации (математико-информационное сопровождение).

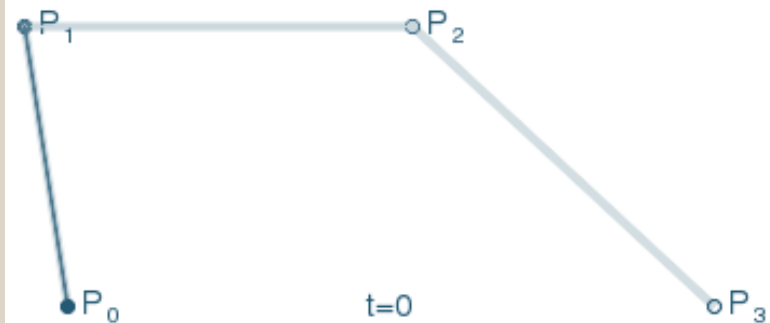


# Задачи:

1. Измерение гидрографических характеристик (на примере длин извилистых линий);
2. Корректное *отображение* гидрографии.

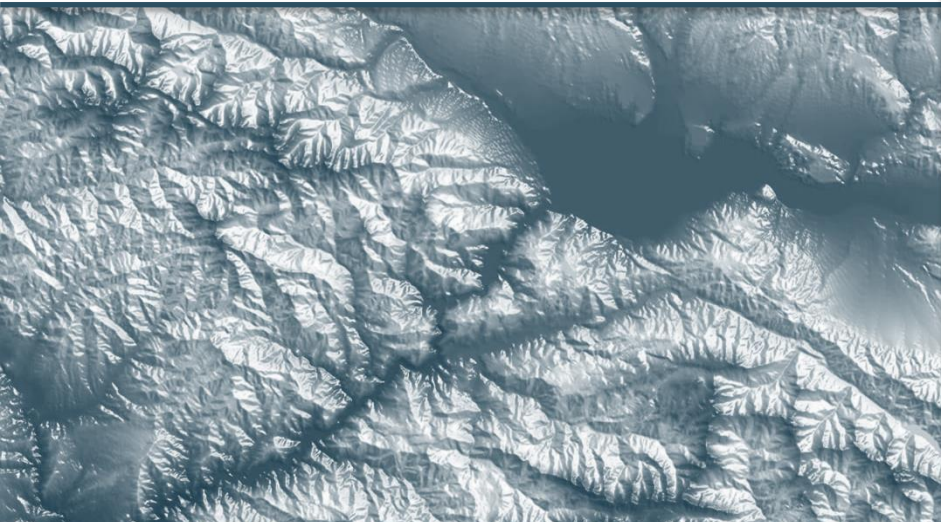
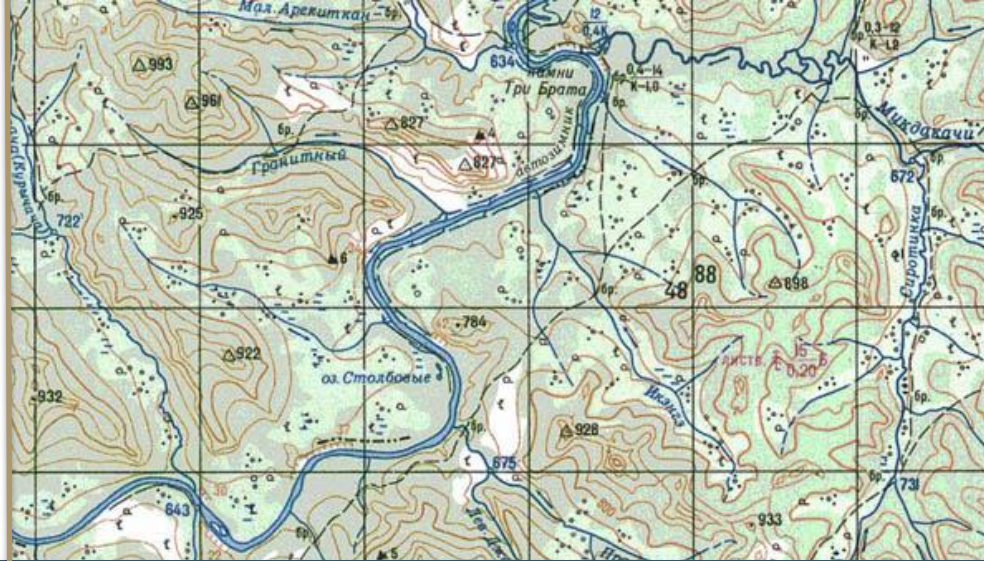
Вытекающая из них проблема – получение *исходных* материалов.

Исследование проводилось на примере реки  
Северная Двина



# 1) Получение исходных материалов

- Выделение по цифровой модели рельефа (ЦМР);
- Оцифровка по топографическим картам и данным ДЗЗ.



Глобальные ЦМР (не соответствующие СТО ГГИ 52.08.48–2020):

1. GTOPO30 (USGS, США)
2. SRTM (NGA, NASA, США)
3. MERIT DEM (Dai Yamazaki&Co, Япония)
4. ASTER GDEM (METI, Япония, NASA, США)
5. ALOS AW3D (Daichi (ALOS), Япония) **6**

# 1) Получение исходных материалов

## ЦМР среднего разрешения



Ошибка в измерении длины в одинаковой проекции +36 км.



## 1) Получение исходных материалов

ArcticDEM – это совместная инициатива, проект Национального агентства геопространственной разведки (NGA) и Национального научного фонда (NSF) США по созданию ЦМР высокого пространственного разрешения ( $\approx 2$  м).





# 1) Получение исходных материалов

## ArcticDEM и будущее проекта

Проблемы выделения водотоков по ArcticDEM:

- Значительный по размеру объём данных;
- Недоступность для стандартного ПК;
- Отсутствие алгоритмов обработки, их неправильная работа;
- Трудность оценки заявленного пространственного разрешения ЦМР, её точности;
- Потеря данных в ЦМР;
- Трудность оценки полученных результатов моделирования водотоков и др.



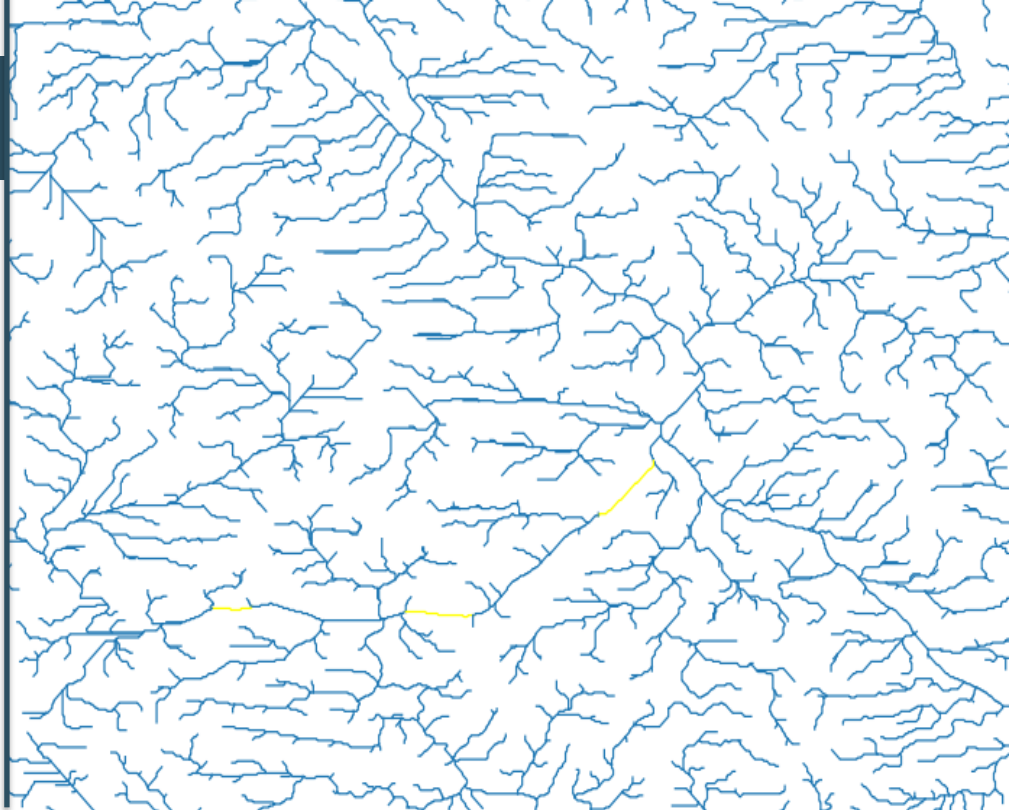
Google Earth Engine

Уникальная облачная онлайн-платформа для быстрой работы с большим количеством пространственных данных.

# 1) Получение исходных материалов

## Недостатки готовых основ:

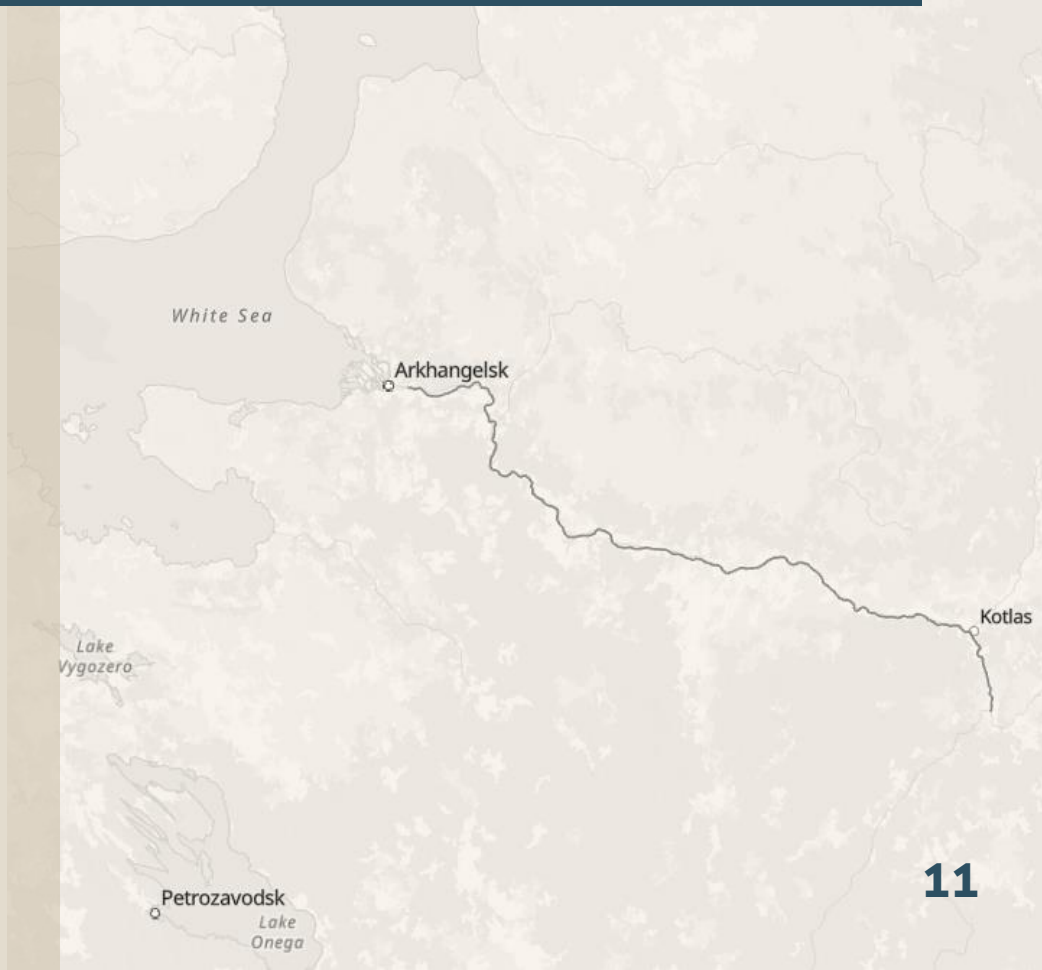
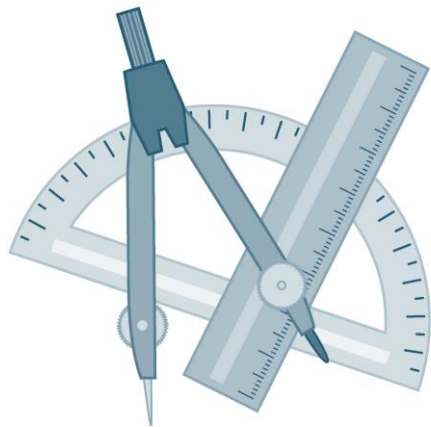
- Фрагментарность;
- Водоток - не единый объект;
- Отсутствие названий водотоков;
- Возможное отсутствие или неполнота информации об исходных материалах;
- Топологические ошибки и др.

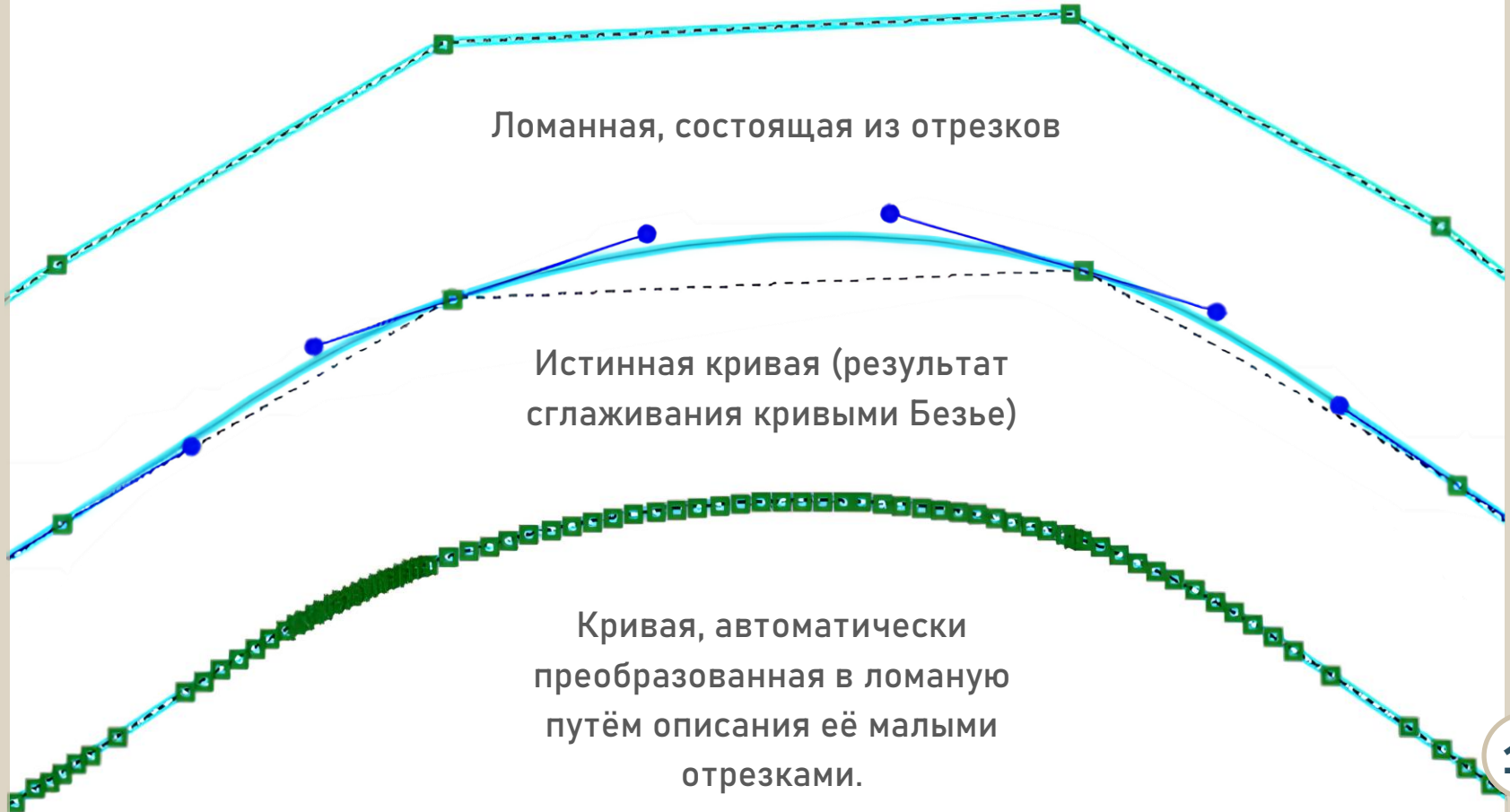


	HYRIV_ID	NEXT_DOWN	MAIN_RIV	LENGTH_KM	DIST_DN_KM	DIST_UP_KM	CATCH_SKM	UPLAND_SKM
1	20123469	20121327	20096688	17.91	239.5	412.7	83.11	33934.0
2	20127284	20127721	20096688	6.73	329.8	192.5	32.52	33136.6
3	20127587	20127508	20096688	10.93	292.0	360.2	84.79	33153.9

## 2) Измерение гидрографических характеристик

Длина исследуемого участка  
р. Северная Двина от устья  
р. Юг до места впадения  
р. Уйма по данным Перечня  
водных путей РФ составляет  
**664 км**





## 2) Измерение гидрографических характеристик

Таблица 2. Длины в различных картографических проекциях, м

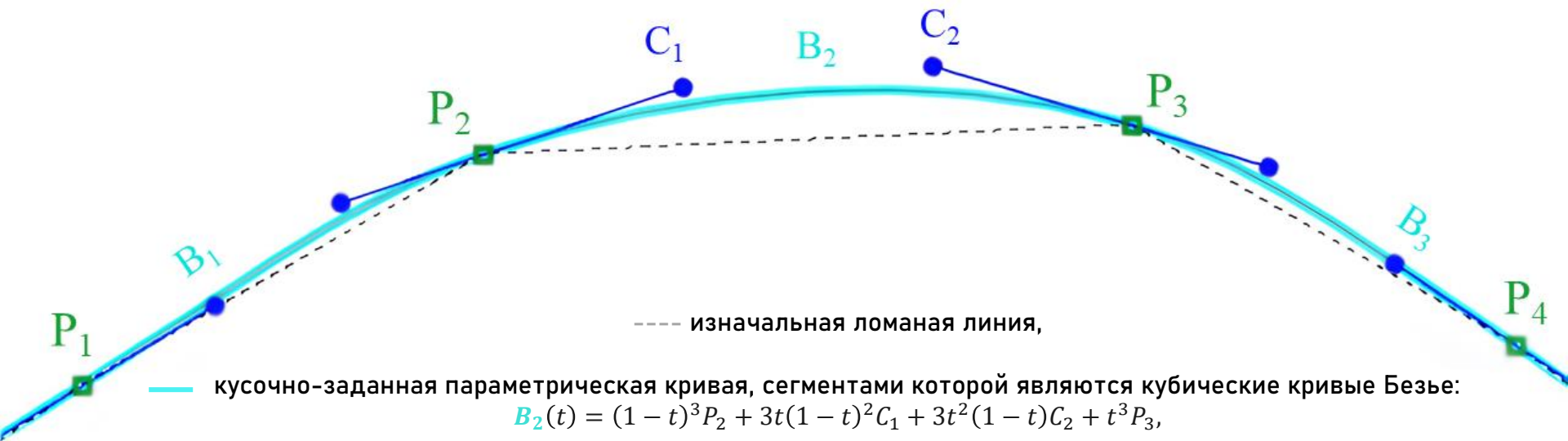
Название проекции	Ломаная линия	Кривая линия	Кривая линия, преобразованная в ломаную
Europe Equidistant Conic	664 737	666 882	666 880
Equidistant Conic (world)	664 181	666 325	666 322
WGS 1984 UTM Zone 37N	664 026	666 170	666 167
Pulkovo 1942 3 Degree GK Zone 14	663 871	666 014	666 011

Таблица 3. Геодезические длины, м

Сфероид	Датум	Ломаная линия	Кривая линия	Кривая линия, преобразованная в ломаную
International 1924	European 1950	663 697	665 229	665 837
WGS 1984	WGS 1984	663 696	665 226	665 835
Krasovsky 1940	Pulkovo 1942	663 696	665 226	665 836

## 2) Измерение гидрографических характеристик

### Сглаживание ломаной линии различными кривыми Безье



$t$  – параметр, принадлежащий  $[0;1]$ ,

$P_i$  – вершины ломаной и концевые точки  $\in B_{1-3}$ ,

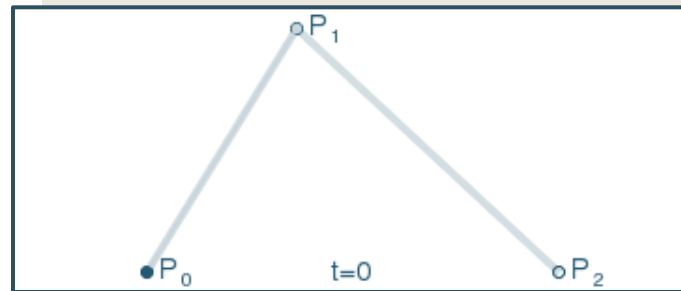
$C_j$  – промежуточные контрольные точки  $\notin B_{1-3}$ .

## 2) Измерение гидрографических характеристик

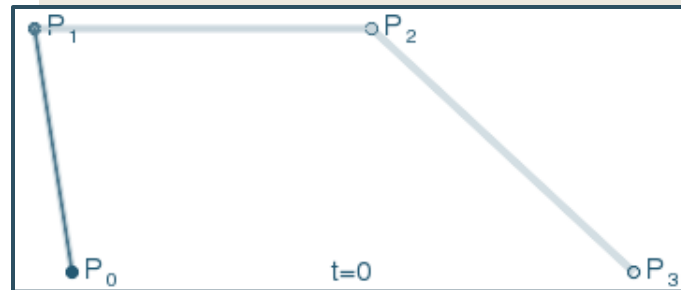
### Кривые Безье

Интеграл, определяющий длину кубической кривой Безье, **не имеет решения** в замкнутой форме для кубических кривых Безье, поэтому такие кривые **аппроксимируют** различными способами при измерении.

А квадратичные кривые Безье в ГИС не реализованы. Расчёт их длины возможен, но не является целесообразным.



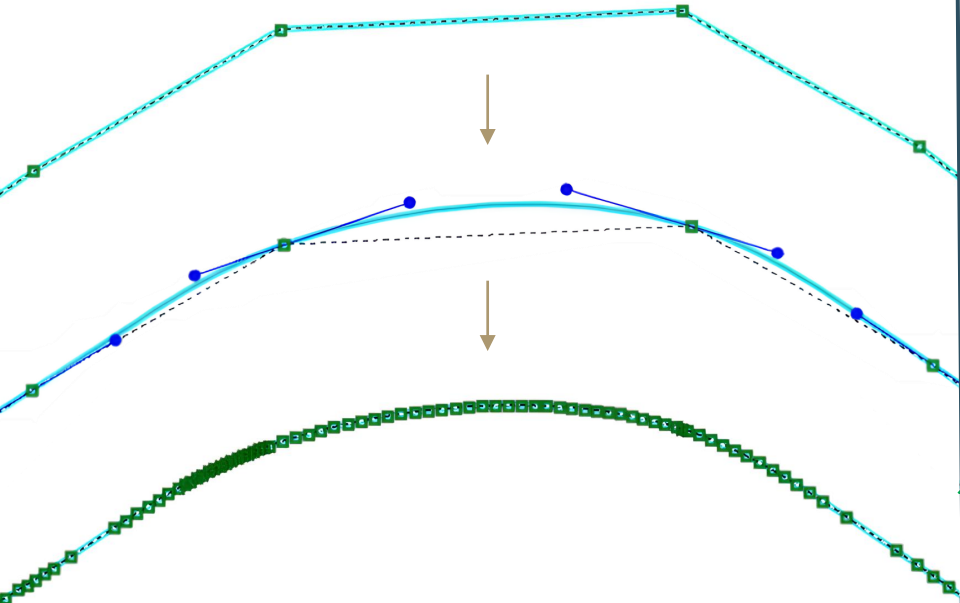
Квадратичная кривая Безье



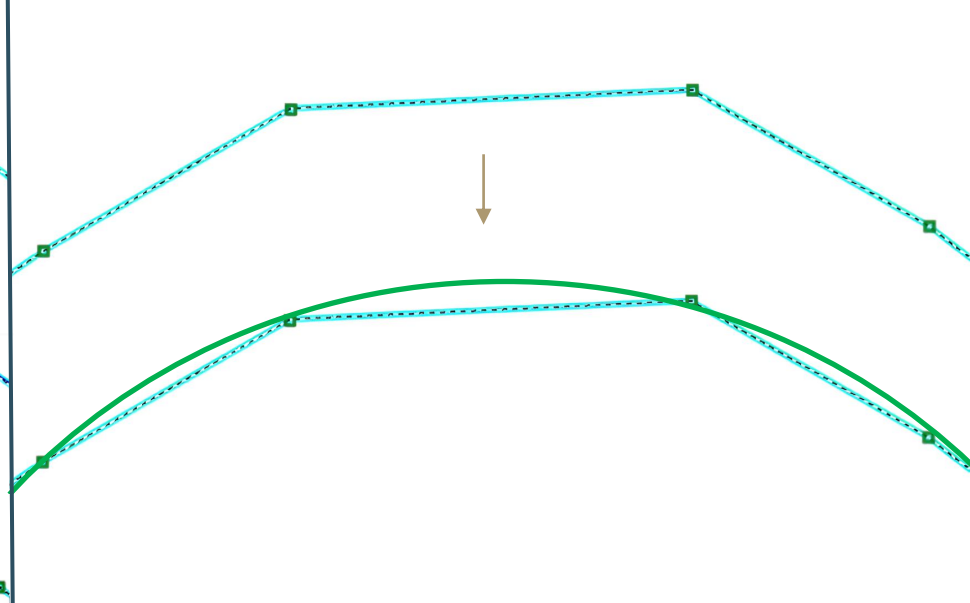
Кубическая кривая Безье

## 2) Измерение гидрографических характеристик

### Измерение длин извилистых линий



Сглаживание кривыми в ГИС



Подсчёт длин дуг окружностей



## 2) Измерение гидрографических характеристик

### Измерение длин извилистых линий

Вычисление расстояния через обратную функцию гаверсинуса:

$$d = 2r \arcsin \sqrt{\sin^2 \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin^2 \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}}$$

$$d = 664\,059 \text{ м}$$

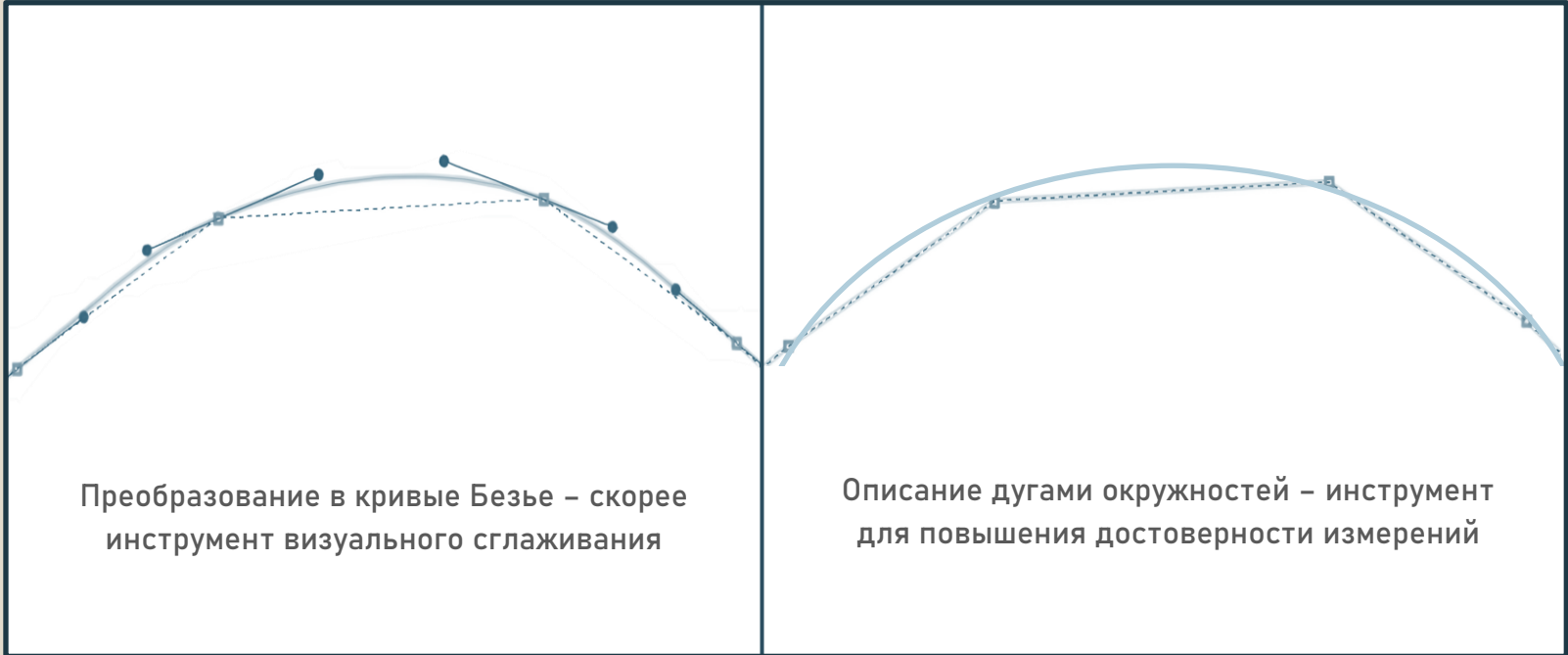
Формула гаверсинуса определяет расстояние по большой окружности между двумя точками на сфере с учетом их долготы и широты.



Программный код на GitHub

## 2) Измерение гидрографических характеристик

### Выводы



### 3) Корректное отображение гидрографии



Без учёта иерархии и направления



Учитывается иерархия, но не направление



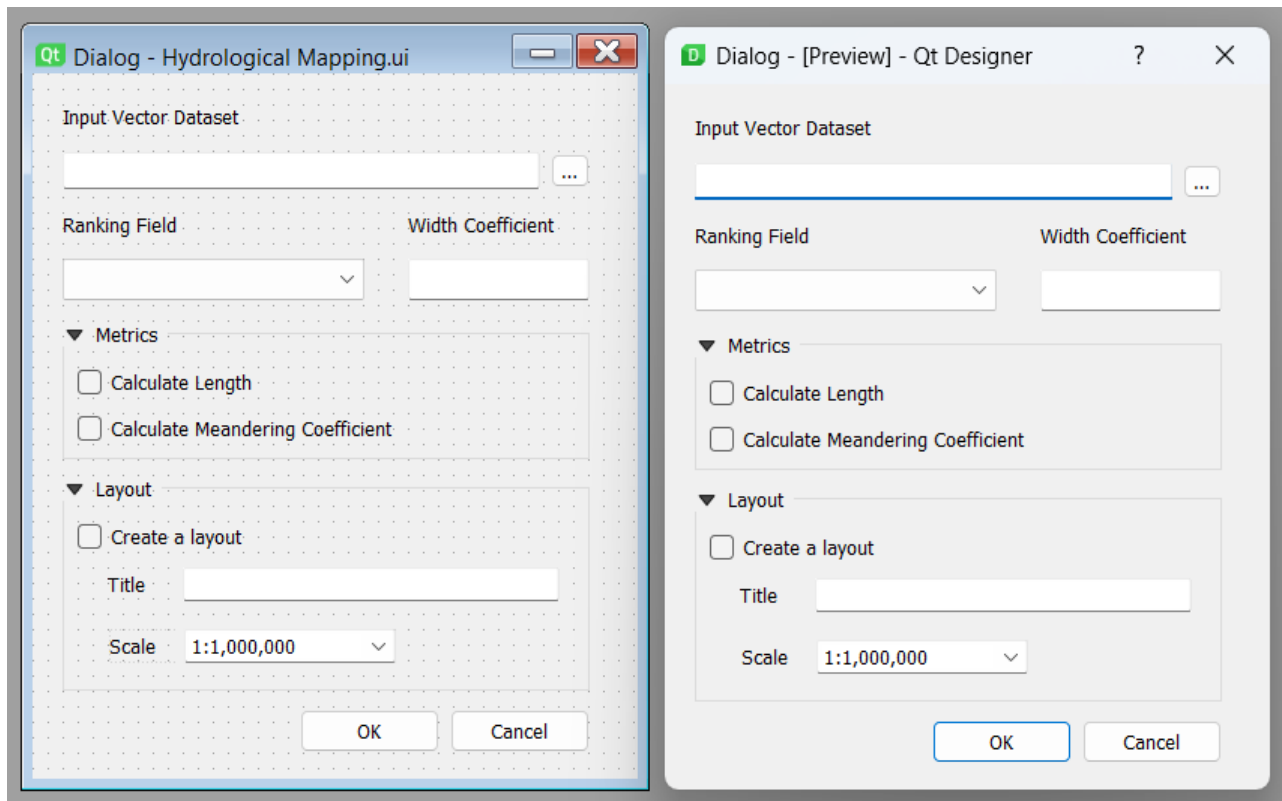
С учётом иерархии и направления

$$(n-order+1) * (geom\_part\_num/geom\_part\_count) * \log_{10}(length) * k$$

где  $n$  – максимальный порядок притока,  
 $order$  – порядок водотока,  
 $geom\_part\_num$  – номер сегмента водотока,

$geom\_part\_count$  – общее количество сегментов,  
 $length$  – длина водотока,  
 $k$  – итеративный коэффициент

### 3) Корректное отображение гидрографии



Макет и превью пользовательского интерфейса модуля «Hydrological Mapping»

### 3) Корректное отображение гидрографии

#### Автоматизированное определение порядка водотоков

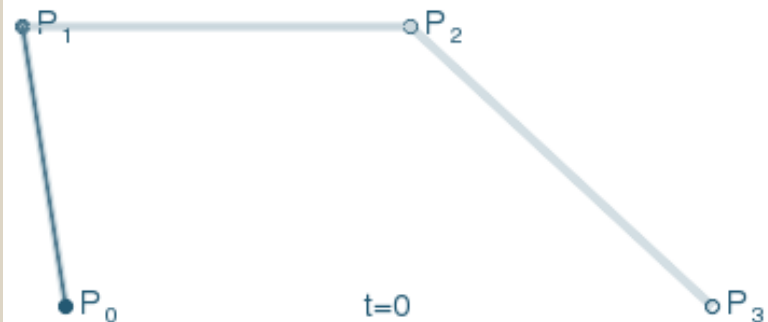
	ID	NAME_RU	ORDER	iter
1	11980	Сысола	2	2
2	8778	Сухона	1	1
3	6993	Вага	1	1
4	9290	Вымь	2	2
5	10463	Вычегда	1	1
6	10823	Юг	1	1
7	4998	Пинега	1	1
8	7901	Вологда	2	2
9	4688	Сев. Двина	0	0

Результат работы модуля «Select River Network»  
(где поле «ORDER» задано вручную, а «iter» -  
подсчитано модулем)



## Задачи:

- 1) *Измерение* гидрографических характеристик (на примере длин извилистых линий);
  - 2) Корректное *отображение* гидрографии.
  - 3) Получение *исходных* материалов.
- + Автоматизированная генерализация (отбор притоков при переходе на другой масштабный уровень)



*« Длина оказывается недостижимой  
концепцией, скользящей между пальцами тех,  
кто пытается её понять ».*

*Бенуа Мандельброт*

 КОНТАКТЫ:

Игнатенко Дарья Алексеевна  
[st110672@student.spbu.ru](mailto:st110672@student.spbu.ru)

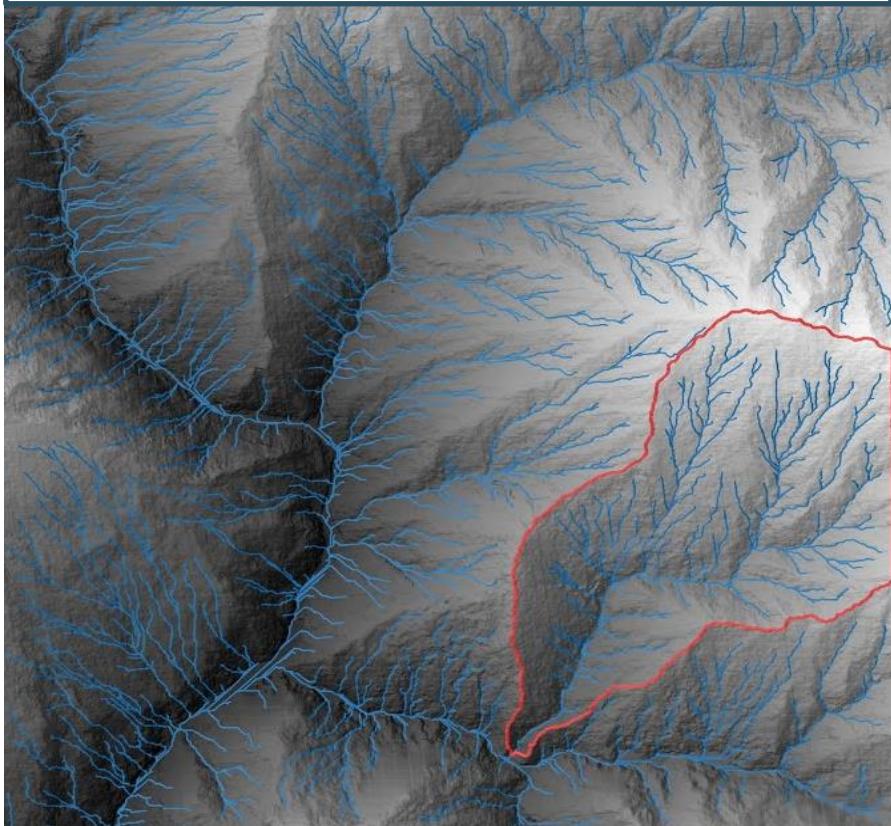
Кочетова Алиса Валерьевна  
[st110592@student.spbu.ru](mailto:st110592@student.spbu.ru)

Якимова Ольга Павловна  
[olga\\_pavl02@mail.ru](mailto:olga_pavl02@mail.ru)



# 1) Получение исходных материалов

## Обработка данных



Алгоритм выделения водотоков:

1. Заполнение локальных понижений исходного растра (ЦМР);
2. Создание растра направления стока;
3. Создание растра аккумуляции стока;
4. Отбор пикселей в зависимости от желаемого масштаба;
5. Объединение пикселей водотока в один объект;
6. Преобразование растра в векторный объект.



## 2) Измерение гидрографических характеристик

ИСТОЧНИК	ДЛИНА, КМ	ГОДЫ
По Дж. Х. Штукенбергу	664–729	1848
По П. П. Семенову-Тянь-Шанскому	716	1865
По И.А. Стрельбицкому	576	1882
	755	1889
По А.А. Тилло	720	1883
Перечень внутренних водных путей Европейской России. Мин. Путей Сообщения	736	1892
	750	1907
По В. де Сн. Мартену	560	1884
Справочные данные «Реки и озера Советского Союза»	744	1971
Доклад Минприроды России «О состоянии и использовании водных ресурсов...»	750	2018

Таблица 1. Сравнение предшествующих измерений длины  
р. Северная Двина