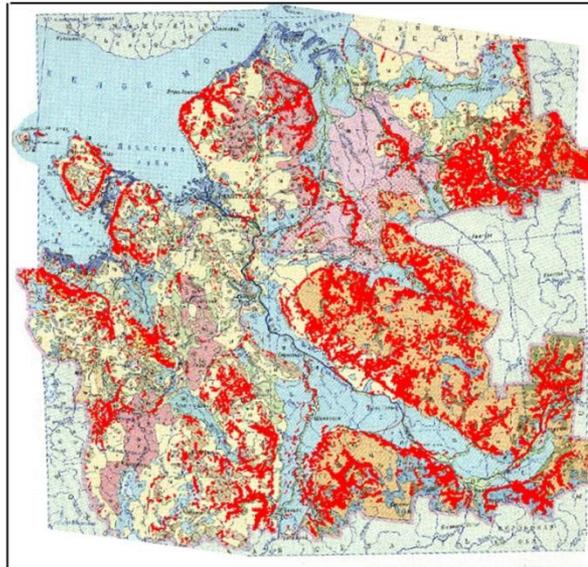


# Геоэкологическое районирование территории Архангельской области с использованием данных ДЗЗ и ГИС-технологий

*Минеев А.Л.<sup>1</sup>, Кутинов Ю.Г.<sup>1,2</sup>, Полякова Е.В.<sup>1,2</sup>, Чистова З.Б.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Институт геодинамики и геологии ФГБУН ФИЦКИА РАН, Архангельск*

*<sup>2</sup>Центр космического мониторинга Арктики САФУ имени М.В. Ломоносова*



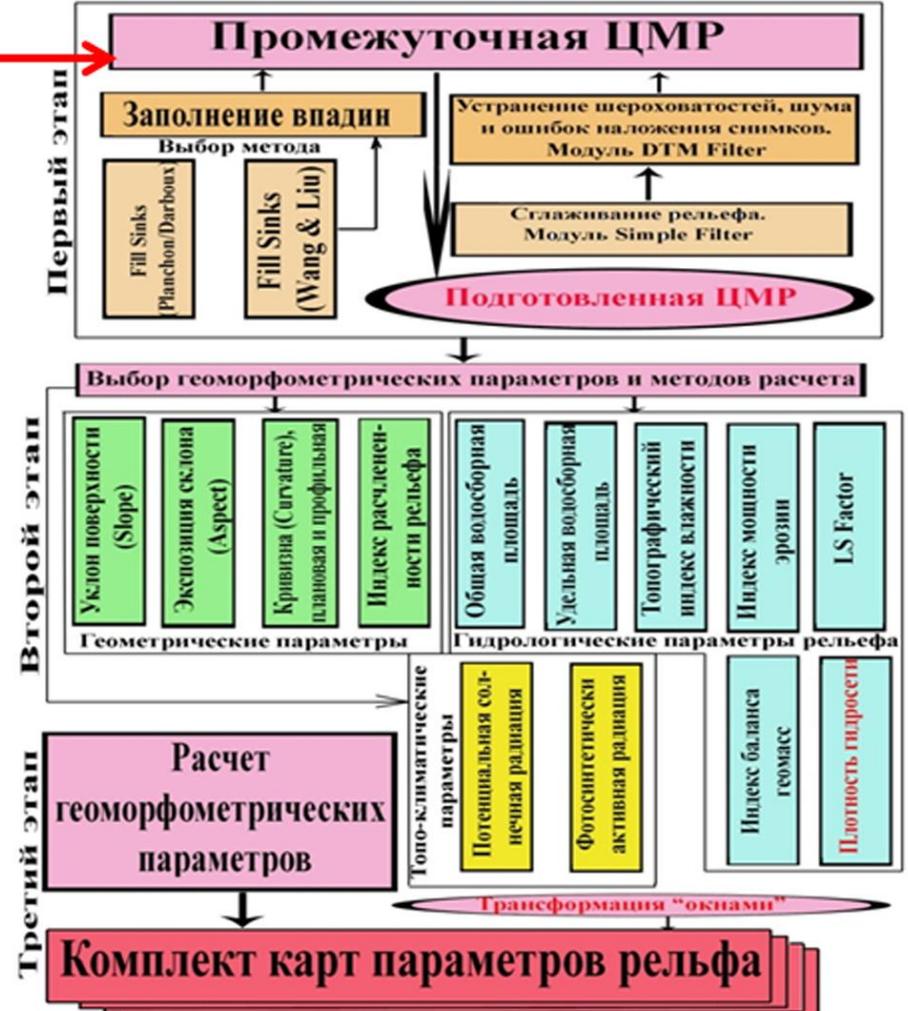
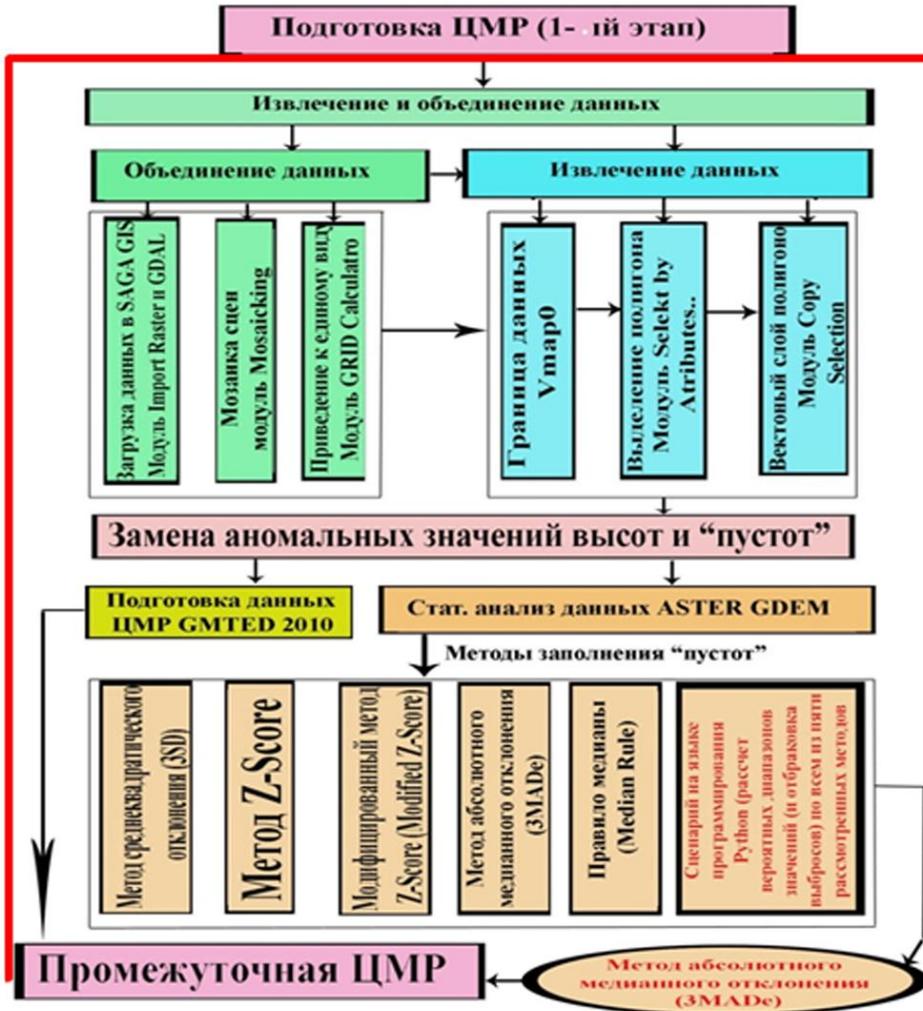
14 Всероссийская открытая конференция» «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)».

г. Москва, ИКИ РАН

14-18 ноября

2016 г.

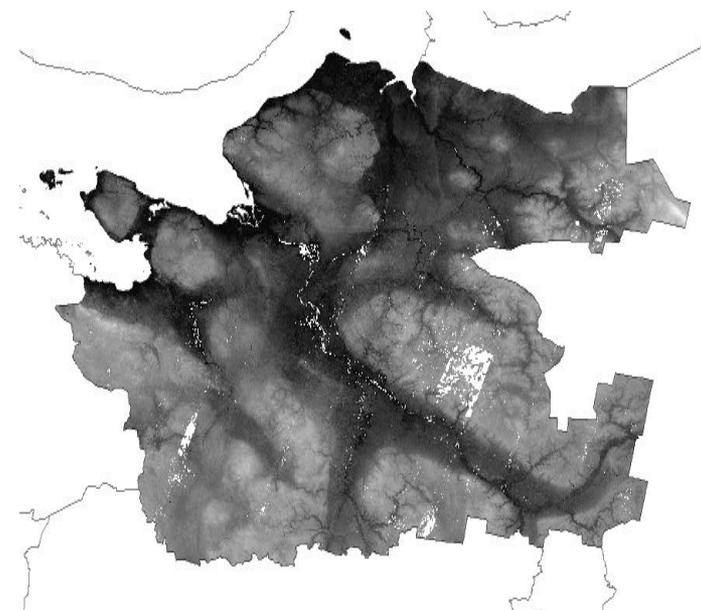
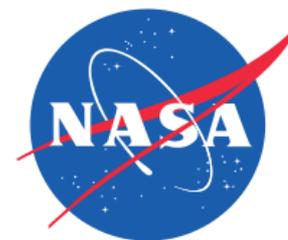
# ЭТАП ПОДГОТОВКИ



# ASTER GDEM v2

## Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM)

- совместный проект METI и NASA;
- 83° с.ш. - 83° ю.ш.;
- разрешение: 1 угловая секунда;
- 1.5 миллиона сцен;
- WGS84.



Показатель	Площадь	Доля	Количество ячеек
Общая совокупность всех разрывов	6 913 км <sup>2</sup>	1.16%	8 277 029
Минимальный разрыв	900 м <sup>2</sup>	0.00%	1
Максимальный разрыв	1 930 км <sup>2</sup>	0.30%	2 144 552
Количество разрывов: 3 882			



(ASTER GDEM is a product of METI and NASA)

# SAGA GIS

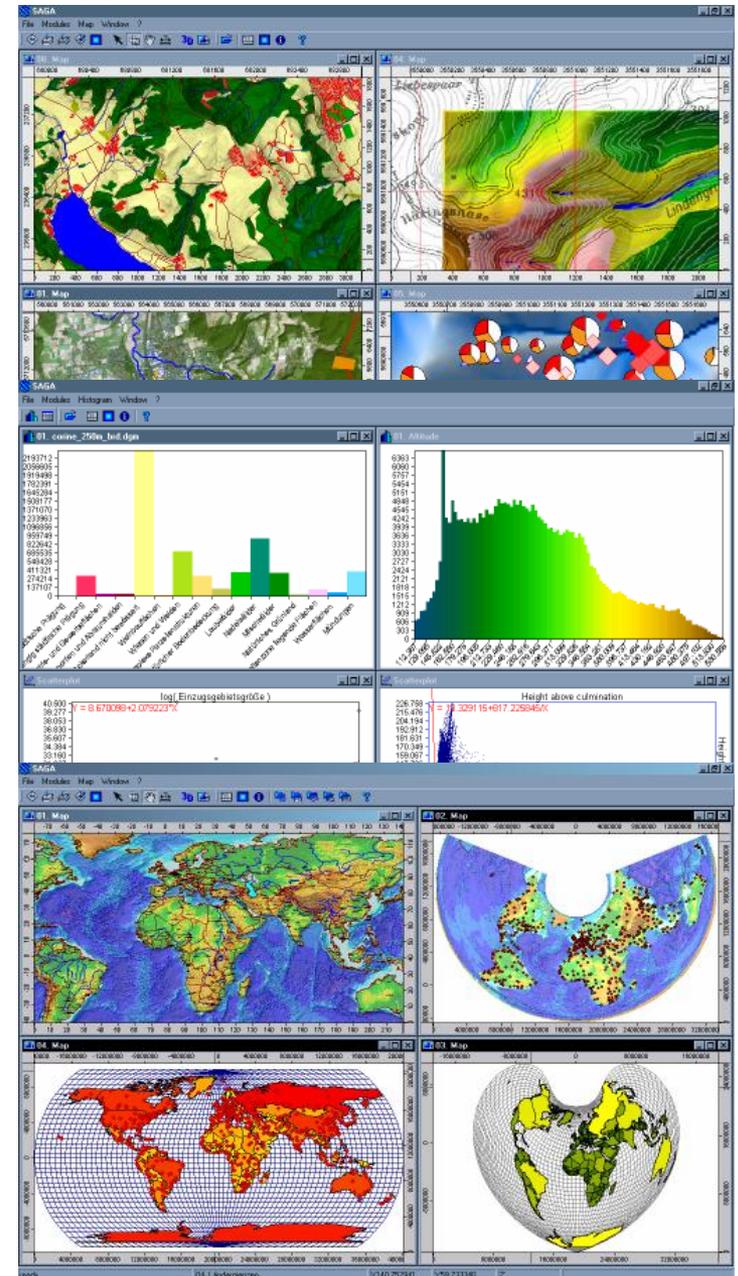


## System for Automated Geoscientific Analyses SAGA GIS

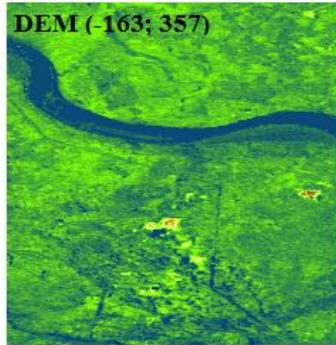
- кафедра физической географии факультета геологических наук и географии Гёттингенского университета;
- открытое ПО (GNU);
- набор модулей, разделенных по назначению;
- расчет геоморфометрических параметров рельефа.

Позволяет рассчитать на основе ЦМР:

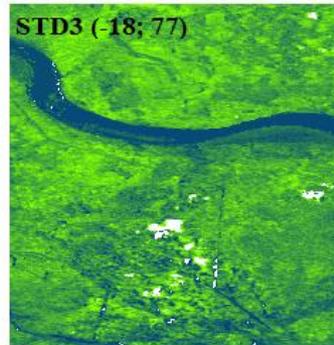
- уклон;
- экспозиция;
- кривизна (общая, горизонтальная, вертикальная);
- потенциальное количество солнечной радиации;
- бассейновое моделирование;
- гидрологические индексы;
- моделирование воздействия ветра;
- и многое другое...



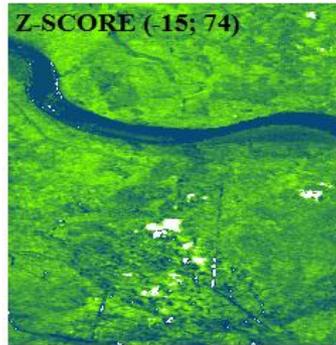
# РАЗРАБОТКА ЦМР – АНОМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ



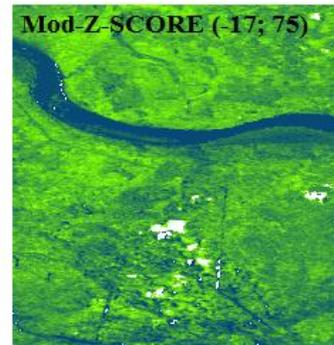
а)



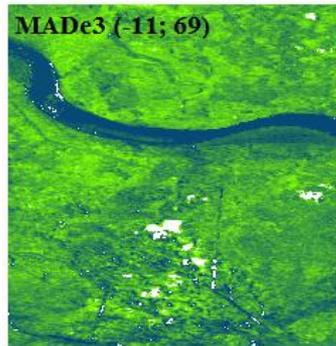
б)



в)



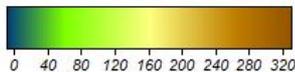
г)



д)



е)



Границы диапазона значений высоты уточнялись с помощью написанного на языке Python сценария, позволяющего применять неформальные методы обнаружения выбросов в данных ASTER GDEM v2. В ходе эксперимента был выбран метод 3MADe, так как по сравнению с более простыми методами он более устойчив к присутствию в выборке экстремальных выбросов, а по сравнению с более сложными методами позволяет быстро получить результат.

а) исходная модель;

б) метод среднеквадратического отклонения;

в) метод Z-Score;

г) модифицированный метод Z-Score;

д) метод абсолютного медианного отклонения;

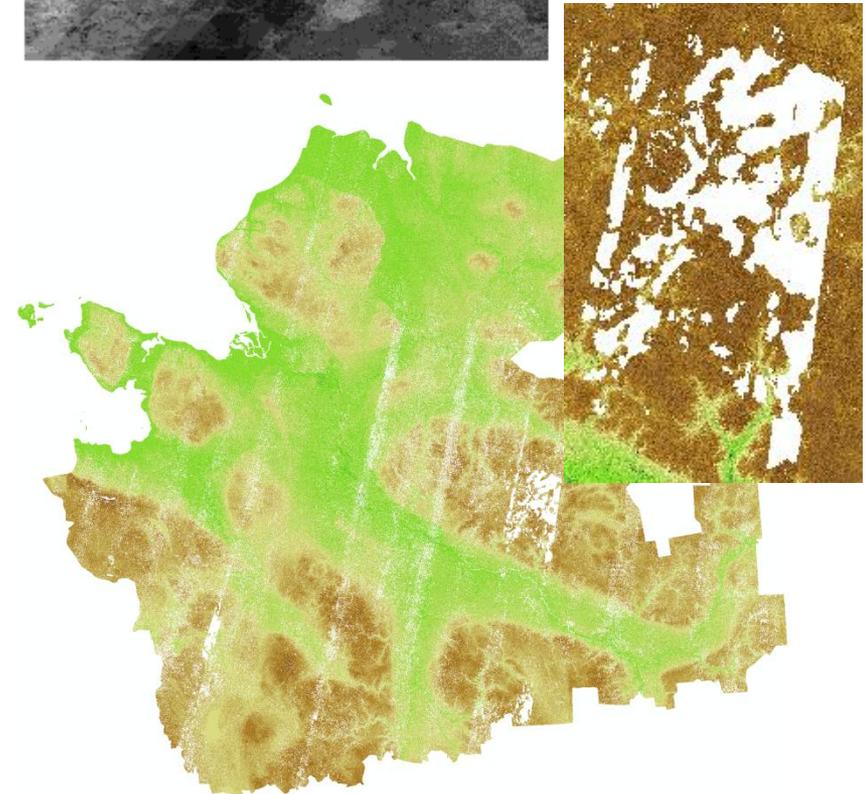
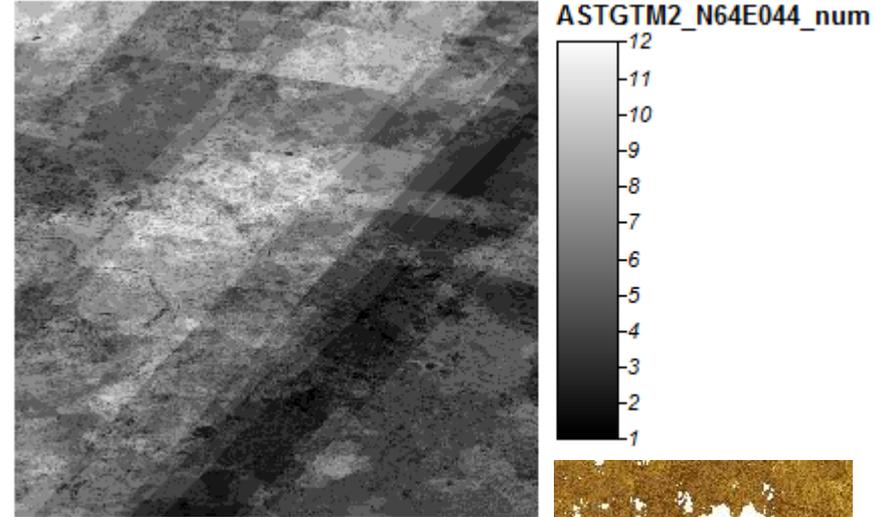
е) правило медианы.

# РАЗРАБОТКА ЦМР – ОШИБКИ В ДАННЫХ

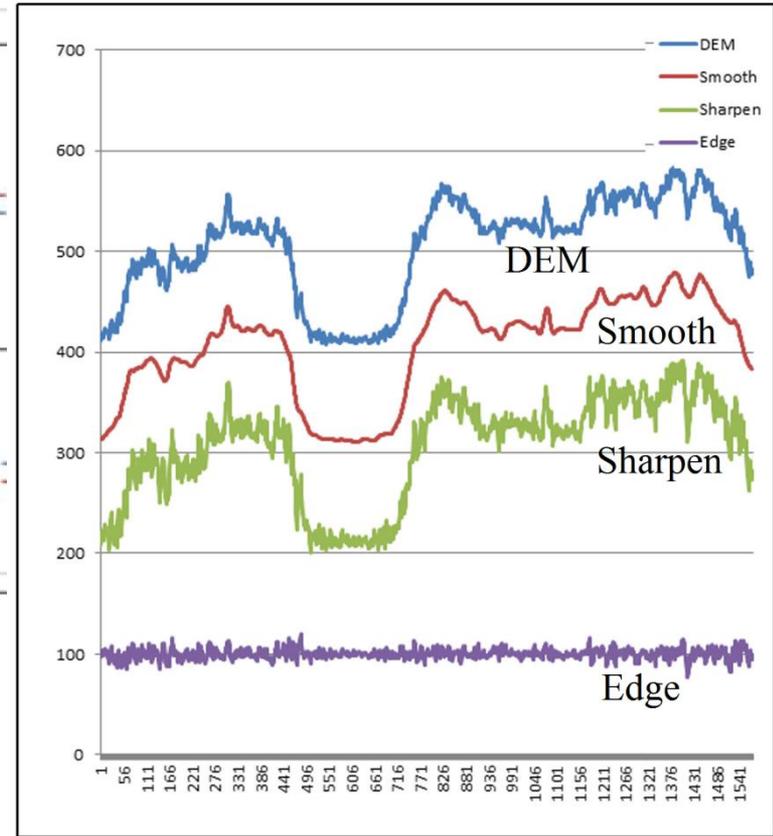
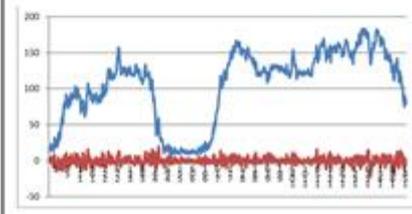
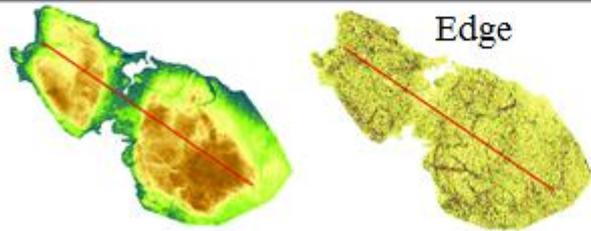
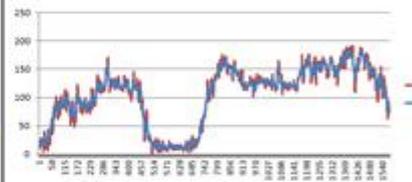
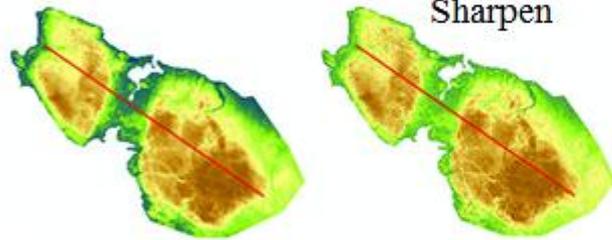
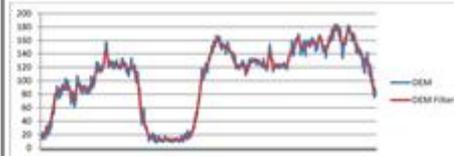
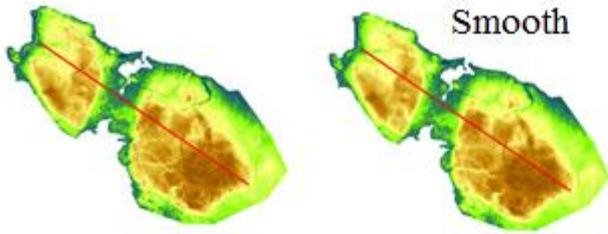
В тех областях, где размер стэка мал, наиболее вероятны ошибки и неточности в данных. Также вероятны ошибки на линейных или криволинейных границах между областями с разным размером стэка. Такие ошибки принимают форму прямых линий, бугров, ям и так далее.

С помощью модуля DTM Filter удалены ошибочные данные ASTER GDEM v2 на границах областей с разным размером стэка и в тех областях, где размер стэка мал.

Для сглаживания цифровой модели рельефа был применен фильтр, основанный на среднеквадратическом отклонении. Работа фильтра заключается в том, что вокруг каждой ячейки модели строится окно определенного размера и для полученного окна высчитывается среднеквадратическое отклонение. Далее всем ячейкам окна, значение которых превышает двойное среднеквадратическое отклонение (по модулю), задается новое значение, равное среднеквадратическому отклонению окна. В SAGA GIS такой фильтр реализован в модуле Simple Filter.

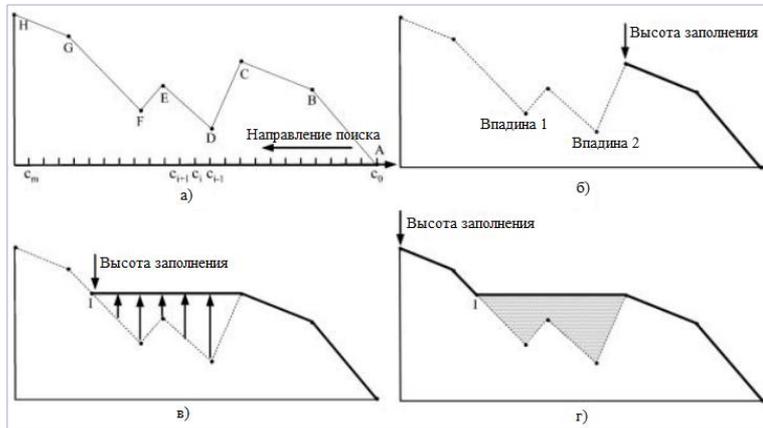


# РАЗРАБОТКА ЦМР – ОШИБКИ В ДАННЫХ



В данном исследовании использовался сглаживающий фильтр Smooth из модуля Simple Filter, позволяющий снять шум и получить однородные участки изображения, пригодные для дальнейшей обработки с целью выявления тех или иных структурно-вещественных комплексов.

# РАЗРАБОТКА ЦМР – ЗАПОЛНЕНИЕ ВПАДИН



Алгоритм работы метода L. Wang и H. Liu (2006)

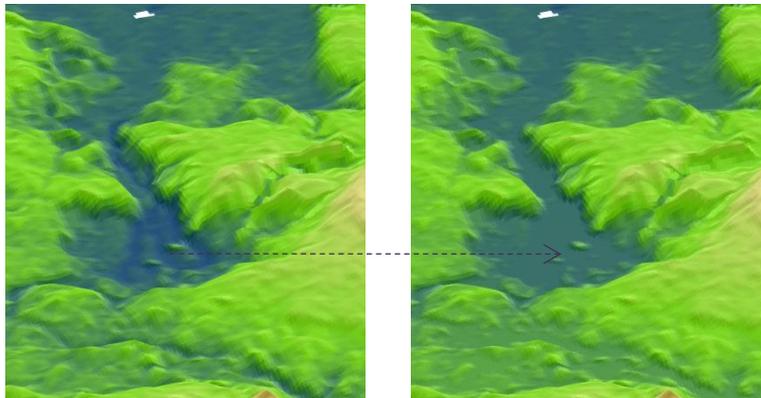


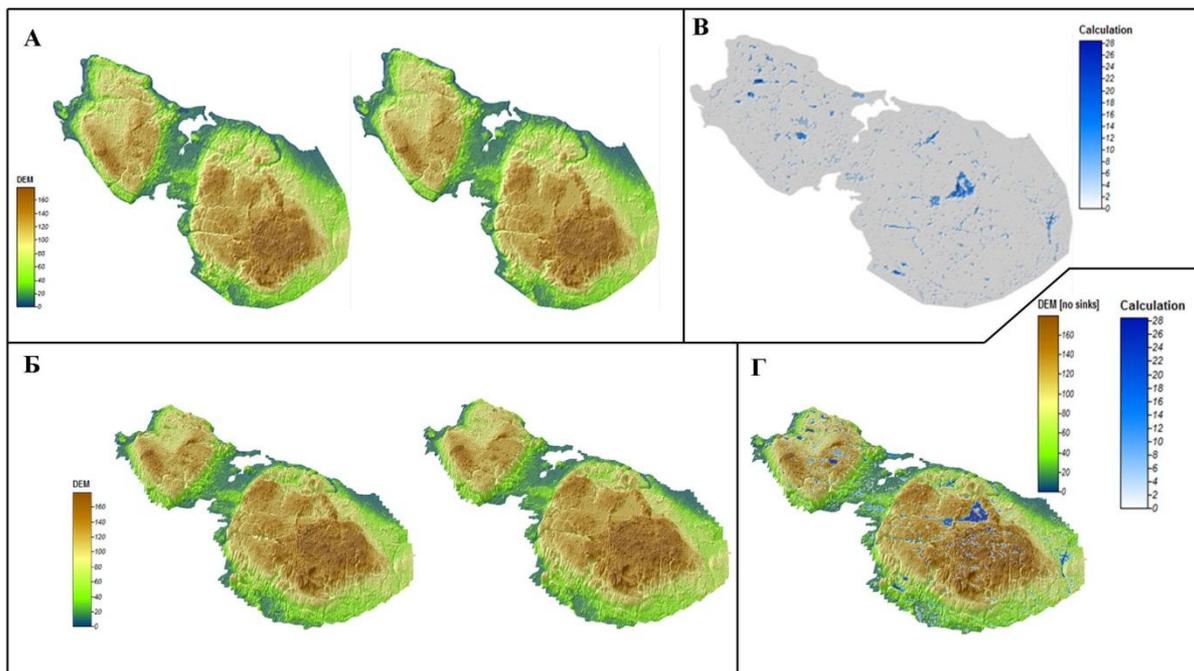
Иллюстрация работы метода L. Wang и H. Liu (2006)

На последнем этапе подготовки цифровой модели рельефа необходимо было произвести ее гидрологическую коррекцию.

В большинстве ЦМР содержится множество понижений рельефа, выраженных в виде площадей без стока и часто называемых впадинами.

Существует достаточное количество автоматических методов устранения впадин из цифровых моделей рельефа. Эффективные методы устранения впадин разработали авторы L. Wang и H. Liu (2006).

# РАЗРАБОТКА ЦМР – ЗАПОЛНЕНИЕ ВПАДИН



Примеры работы модуля L. Wang и H. Liu:

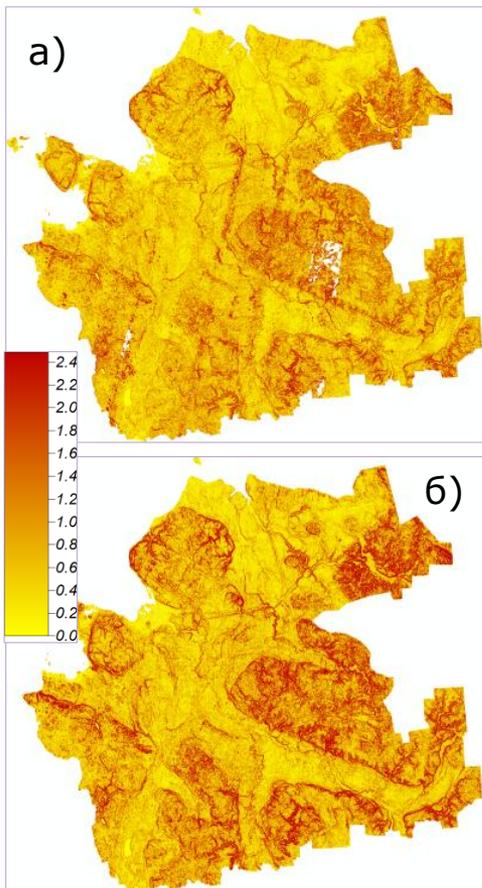
**А.** результат работы модуля L. Wang и H. Liu (слева – исходная ЦМР, справа – ЦМР без впадин);

**Б.** результат работы модуля L. Wang и H. Liu в 3D (слева – исходная ЦМР, справа – ЦМР без впадин);

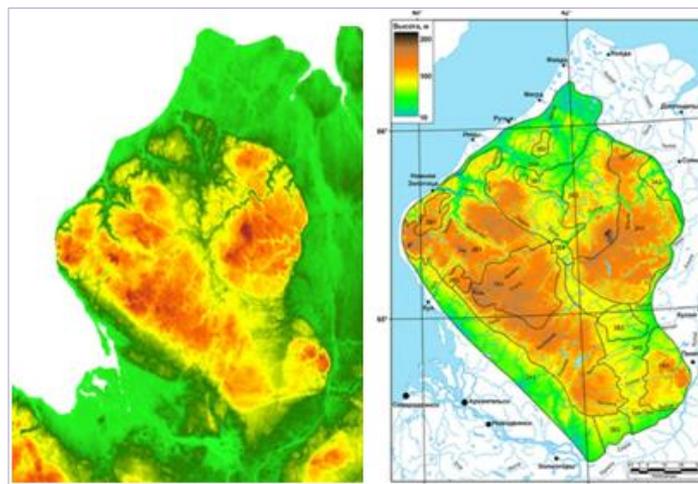
**В.** заполненные впадины;

**Г.** ЦМР без впадин, вид в 3D (выделены области заполнения впадин).

# ПРОВЕРКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА



Значения высот полученной ЦМР были сравнены со значениями в точках, снятых с топокарт. Были рассмотрены **62 548** точек. В 75% точек разница высот составила от 0 до 10 м. В 23% точек разница составила от 11 до 20 м. Разница до 30 м. была обнаружена в 2% точек.



Сопоставление ЦМР с моделью рельефа Беломорско-Кулойского плато (Гофаров и др., 2006)

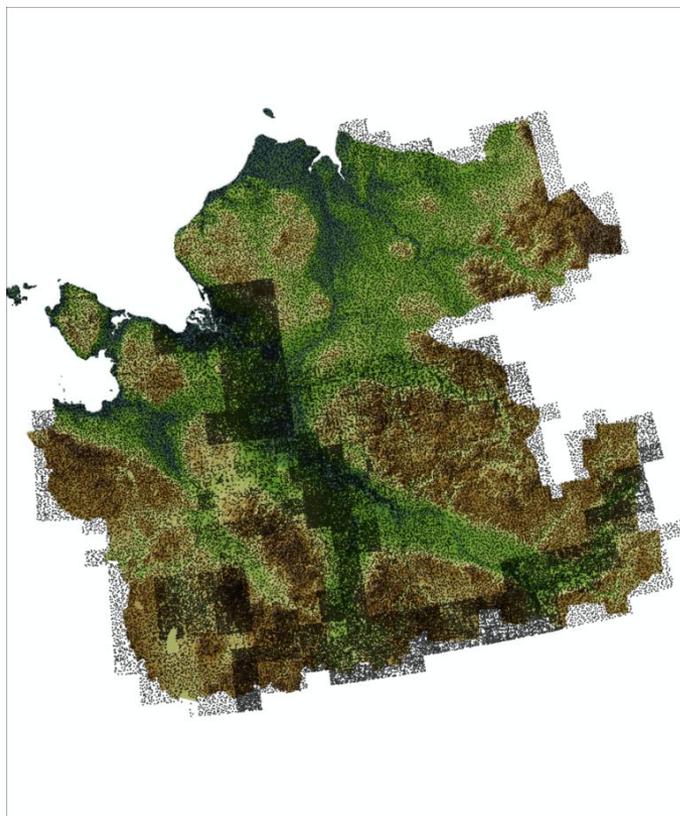
Разница, м	Доля, %
0 – 10	74.41
11 – 20	23.37
21 – 30	1.96
31 – 40	0.16
41 – 50	0.05
51 – 60	0.03
61 – 70	0.01

Статистические показатели выборки сравнения:

- **AVG:** 7.45 м
- **STD:** 5.62 м
- **MAX:** 126.71 м
- **MIN:** 0 м

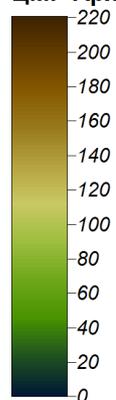
Сравнение полученной модели с исходной: а) угол наклона на исходной; б) угол наклона на полученной модели

# ПРОВЕРКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА



Высотные отметки данных ГИС Панорама

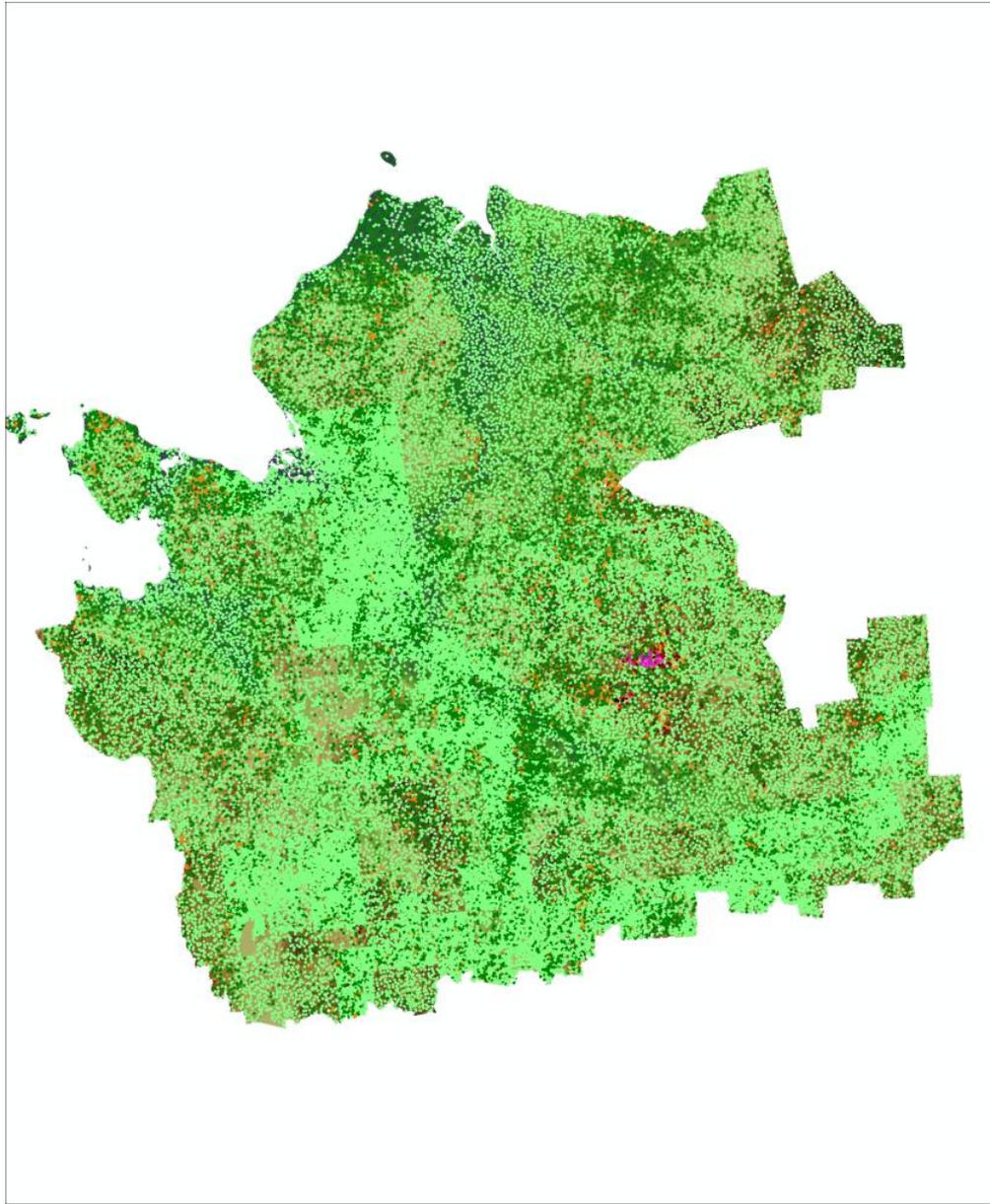
ЦМР Арх. обл.



**Точечные объекты, извлеченные из данных ГИС Панорама для проверки точности ЦМР Архангельской области**

Абсолютная разность по высоте, м	Количество высотных отметок	Доля, %
0 – 10	46541	74.4085
11 – 20	14615	23.3661
21 – 30	1226	1.9601
31 – 40	101	0.1615
41 – 50	33	0.0528
51 – 60	19	0.0304
61 – 70	6	0.0096
71 – 80	3	0.0048
100 – 130	4	0.0064

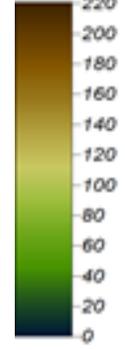
# ПРОВЕРКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА



Высотные отметки данных ГИС Панорама  
Diff

За границей ЦМР	
100 - 130	Black
71 - 80	Red
61 - 70	Orange
51 - 60	Yellow
41 - 50	Light Green
31 - 40	Green
21 - 30	Dark Green
11 - 20	Light Green
0 - 10	Light Green

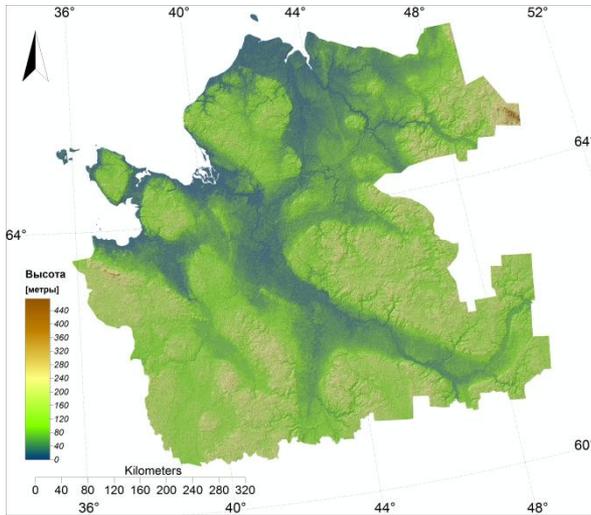
ЦМР Арх. обл.



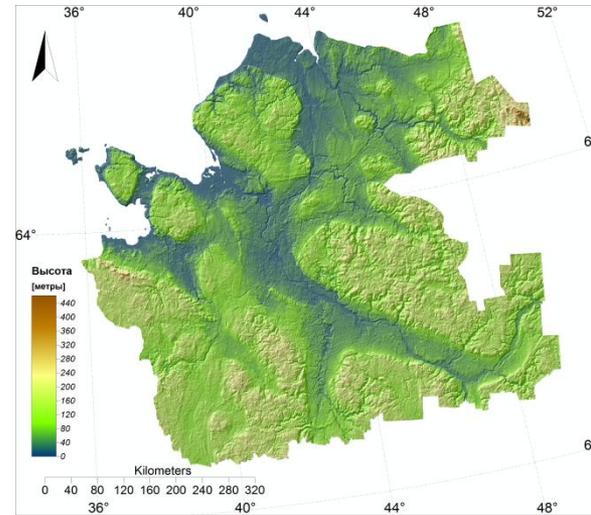
**Территориальное расположение  
высотных отметок с различной  
разностью по высоте**

# ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

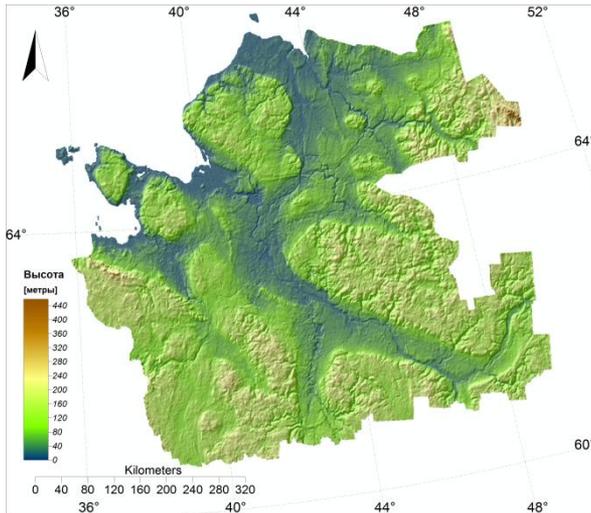
ЦМР 30x30 м



ЦМР 480x480 м



ЦМР 960x960 м



ЦМР 1920x1920 м

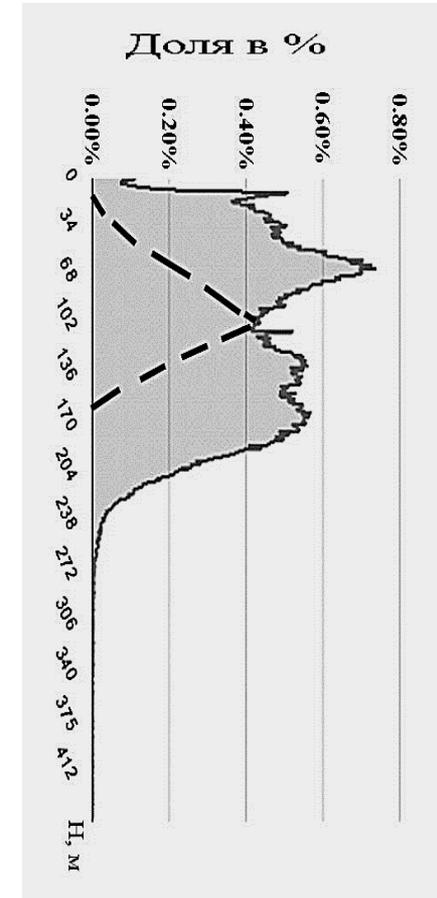
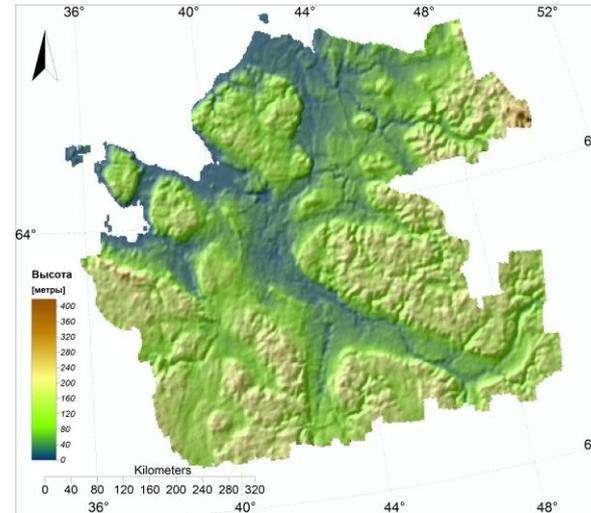
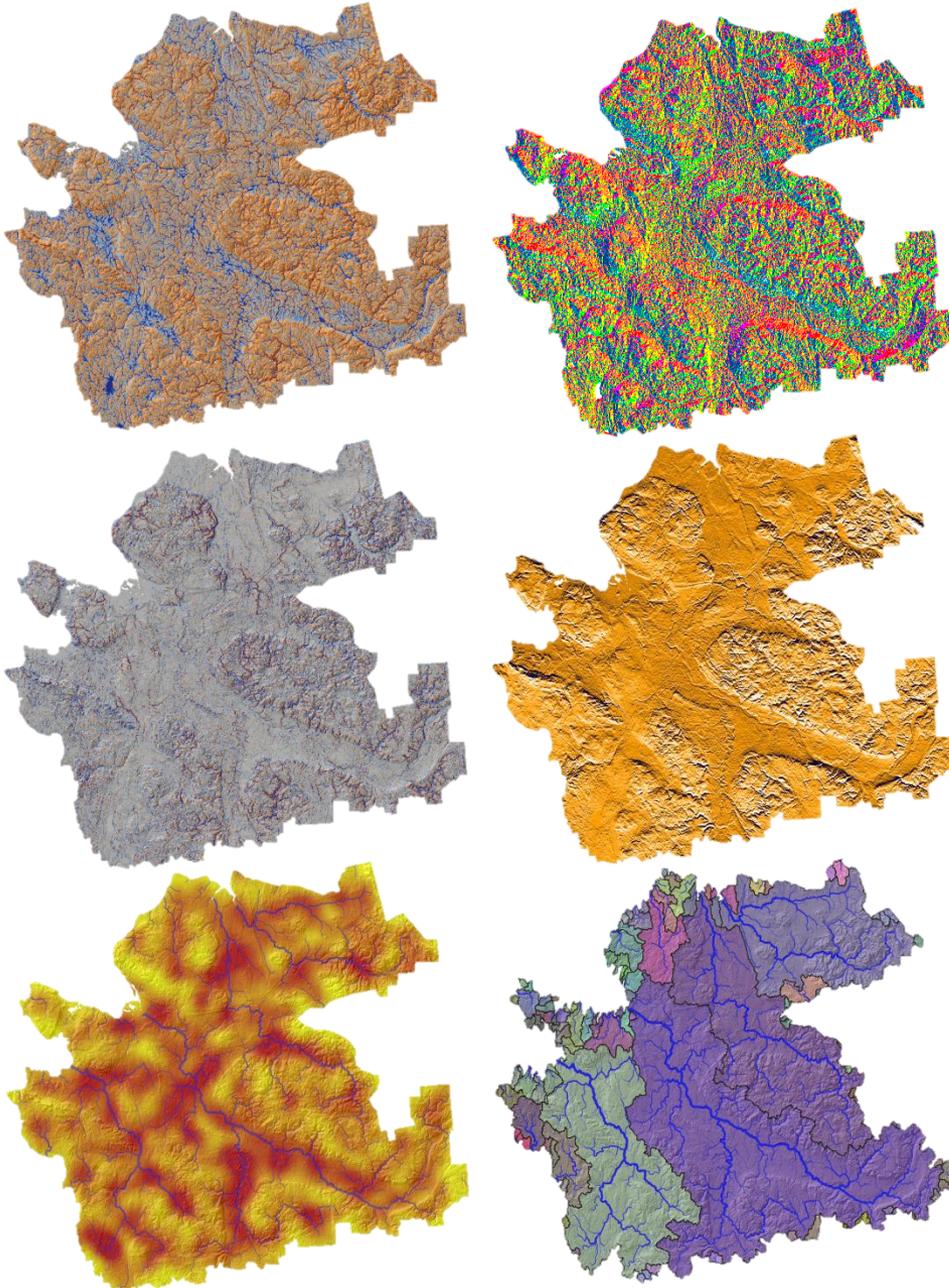


Диаграмма частоты высот

При расчетах в окне 960×960 метров диапазон значений высоты на территории Архангельской области составил [0; 458] метров. В окне 1920×1920 метров - [0; 437]. В окне 30×30 метров (разрешение ASTER GDEM) - [0; 474]. **Таким образом, превышения рельефа с максимальными высотными значениями имеют локальный характер. Преобладающее большинство значений расположено в диапазоне [0; 272] метров.**

ASTER GDEM is a product of METI and NASA

# ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЛЬЕФА

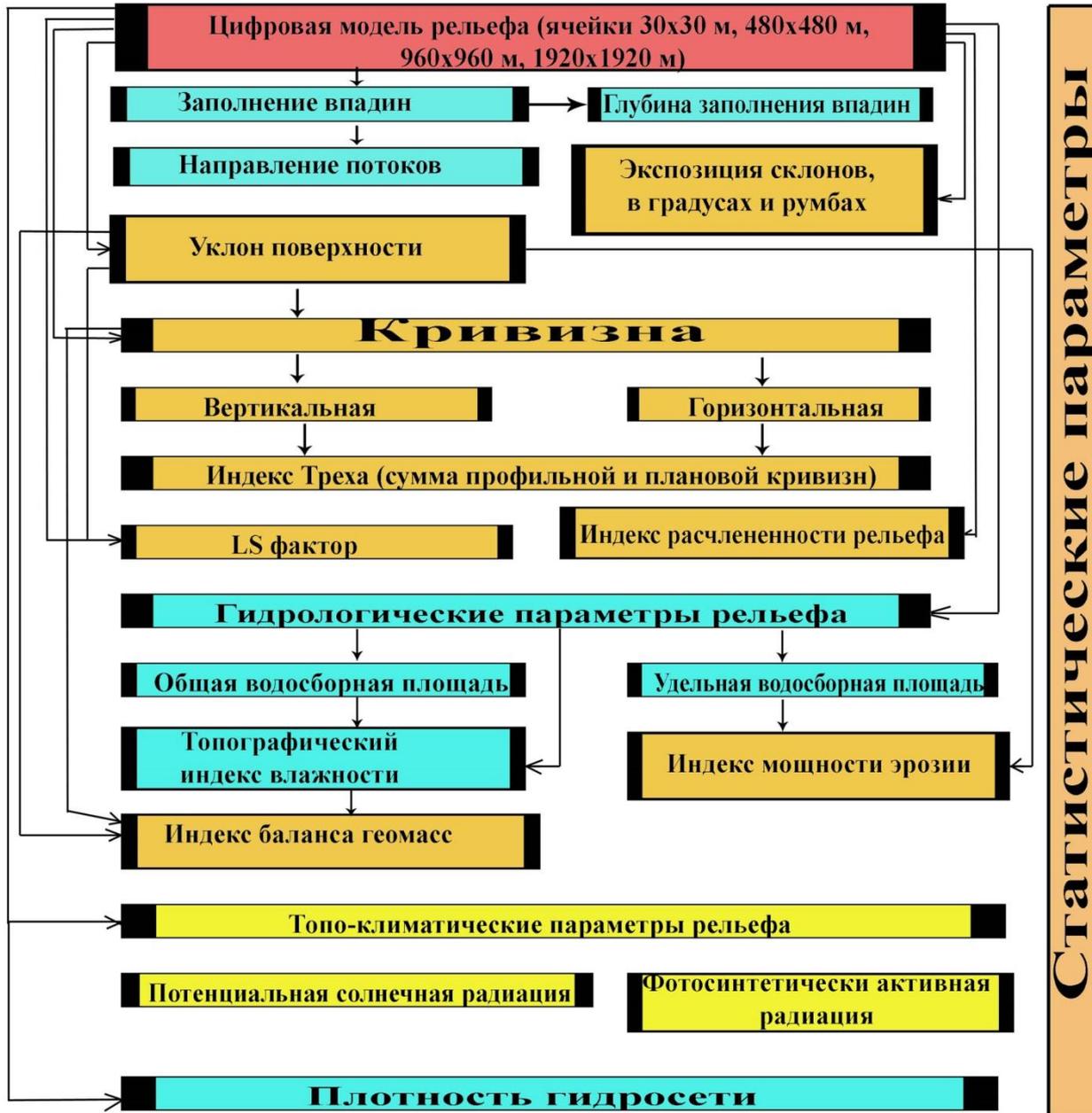


Учитывая достаточно большое количество и многообразие используемых геоморфометрических параметров, одной из задач данного исследования был выбор параметров и методик их расчета для геоэкологического анализа.

Проведенный анализ показал, что характеристики эрозионных процессов наиболее полно отражают следующие морфометрические параметры рельефа:

- **геометрические;**
  - уклон, экспозиция, кривизна и др.
- **гидрологические;**
  - водосборная площадь, индексы влажности, мощности эрозии и др.
- **топоклиматические;**
  - потенциальная солнечная радиация и др.
- и отдельно – **плотность гидросети.**

# ЭТАП АНАЛИЗА

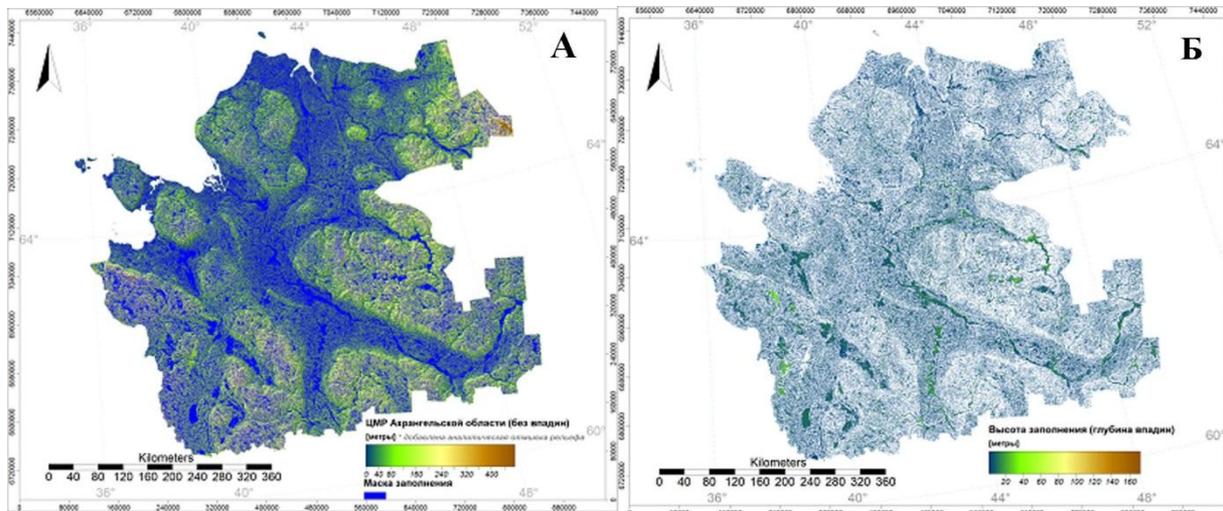


# ЭТАП АНАЛИЗА

---

Был создан комплект монофакторных геоэкологических карт, позволяющих выделить зоны сноса и накопления осадочного материала, оценить пространственное положение и дать количественные характеристики процессам эрозии и аккумуляции и выделить зоны транзита осадочного материала, а также оценить потенциальную устойчивость и/или склонность к эрозии различных участков исследованной территории.

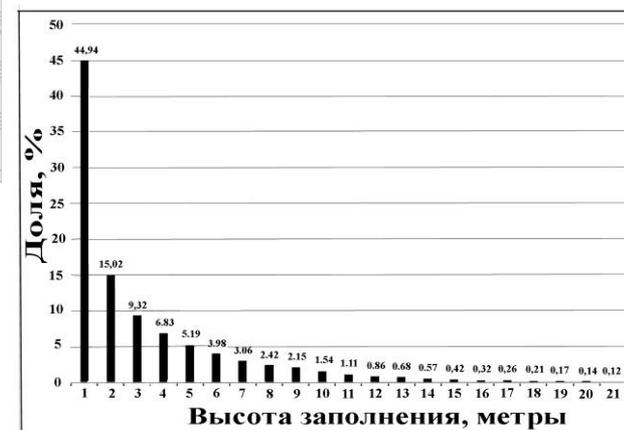
# ЗАПОЛНЕНИЕ ВПАДИН – АНАЛИЗ



Заполнение впадин ЦМР территории Архангельской области

**А** – маска заполнения впадин,

**Б** – глубина заполнения впадин

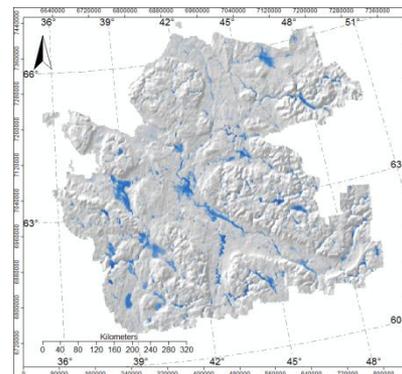


Распределение высот заполнения глубин

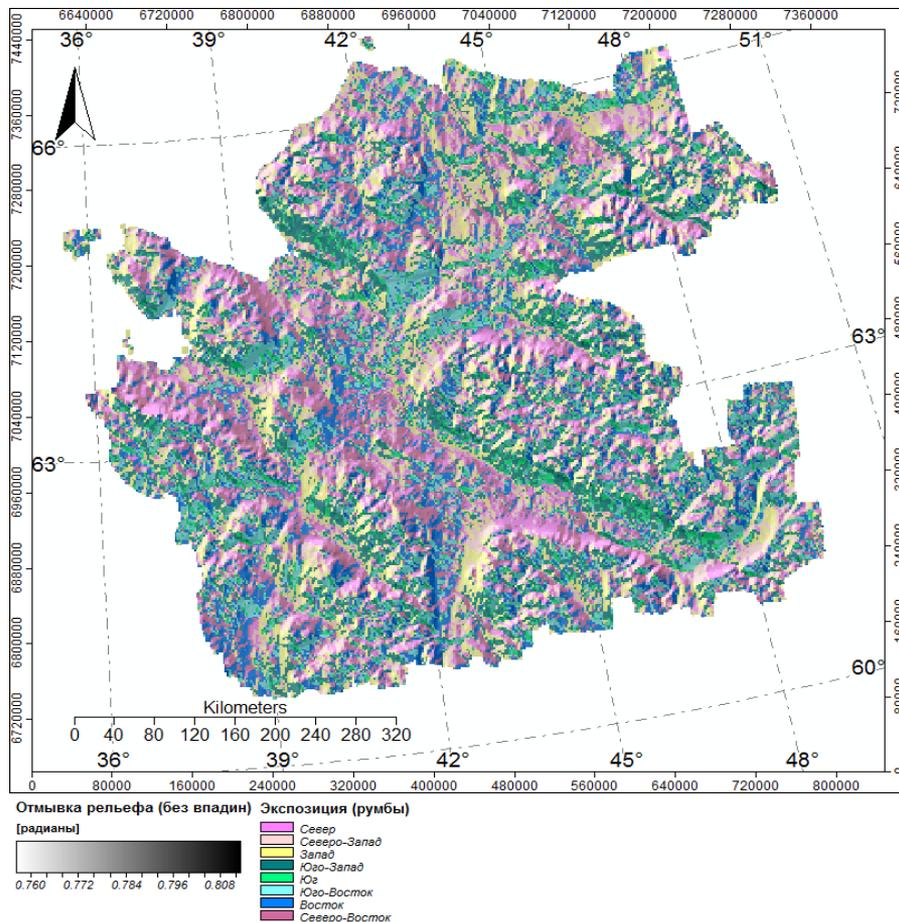
Кроме подготовки «гидрологически корректной» модели рельефа, процедура заполнения впадин позволяет оценить глубину заполнения, т.е. потенциальную емкость бессточных впадин не только для осадков, но и косвенно для загрязняющих веществ.

В целом значения глубин впадин от 1 до 21 м, доминирующей является глубина 1 м (45 %), глубины 1-5 м занимают 81 % от всей выборки. Таким образом, емкость впадин для заполнения осадками и загрязняющими веществами, относительно, невелика, в основном 1-5 м.

Наиболее глубокие впадины пространственно совпадают с поймами крупных рек и обусловлены, скорее всего, наличием стариц, а не артефактами (во всяком случае, не все), что наиболее отчетливо видно при использовании ячейки 1920×1920 м.



# ЭКСПОЗИЦИЯ СКЛОНОВ – АНАЛИЗ

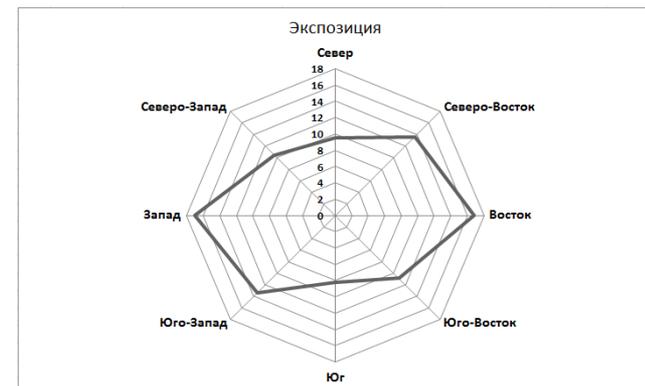


Считается, что для деятельности эрозионных процессов большое значение имеет экспозиция склонов. Это обычно объясняется несколькими причинами:

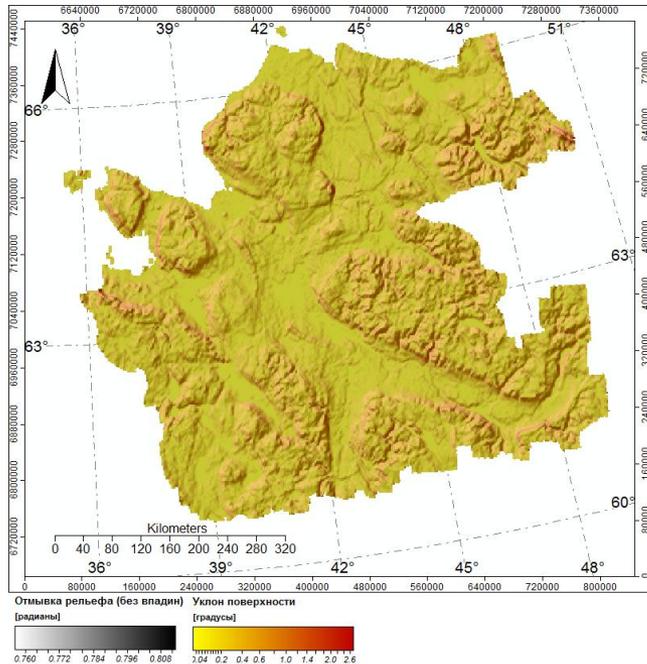
1. на склонах южной экспозиции талые воды сходят до того момента, когда оттает грунт;
2. запасы снега здесь меньше, чем на склонах северной экспозиции;
3. на склонах южной экспозиции растительный покров обычно имеет большее проективное покрытие и обеспечивает больший почвозащитный эффект.

Направление	Доля, %
<b>Север</b>	<b>9,50</b>
<b>Северо-Восток</b>	<b>13,65</b>
<b>Восток</b>	<b>16,84</b>
Юго-Восток	10,93
Юг	8,19
Юго-Запад	13,41
<b>Запад</b>	<b>17,04</b>
Северо-Запад	10,43

Таким образом, на большинстве склонов будет достаточно большое снегонакопление. Склоны, на которых талые воды будут сходить до того момента, когда оттает грунт представляют всего 8% общей доли склонов территории, та же самая закономерность должна наблюдаться и в защищенности почв за счет большего проективного покрытия растительного покрова.

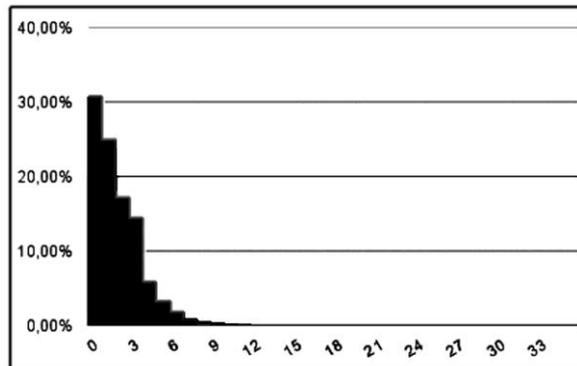
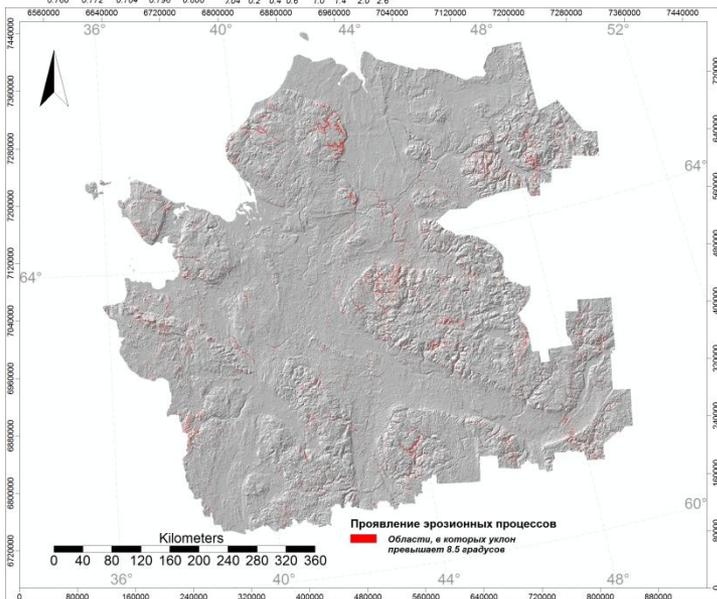


# УКЛОН ПОВЕРХНОСТИ – АНАЛИЗ



Градация уклона поверхности	Доля, %
Плоские равнины (< 1°)	55,78
Слабонаклонные равнины (1° - 3°)	31,63
Пологие склоны (3° - 5°)	9,15
Слабопокатые склоны (5° - 7°)	2,64
Покатые склоны (7° - 10°)	0,69
Сильнопокатые склоны (10° - 15°)	0,10
Крутые склоны (15° - 20°)	0,01
Очень крутые склоны (20° - 40°)	0,00
Обрывистые склоны (> 40°)	0,00

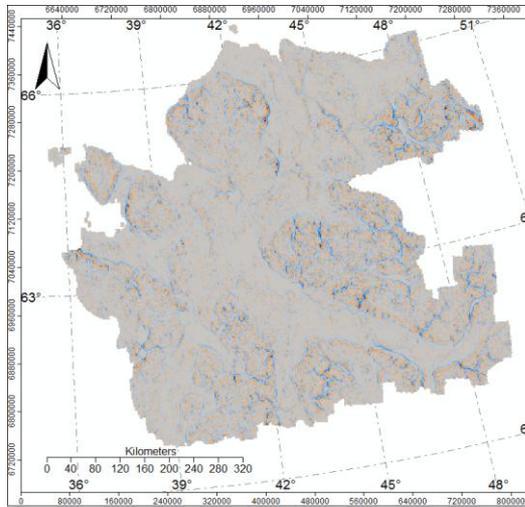
Максимальные значения углов наклона склонов пространственно приурочены к границам поднятий, особенно в областях развития карбонатных и карбонатно-сульфатных отложений карбона и перми. Эти границы достаточно часто имеют обрывистый характер. В целом области с уклоном 8,5° и более (развитие эрозионных процессов) - невелики.



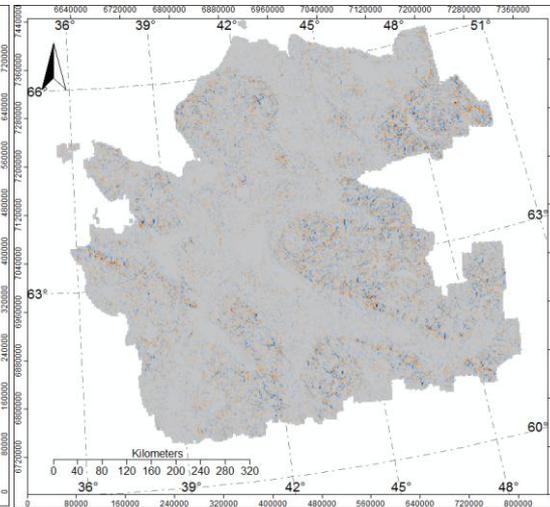
Частотное распределение углов наклона поверхности

На более локальном уровне высокие значения углов наклона характерны для рек с V-образными и каньонообразные долинами.

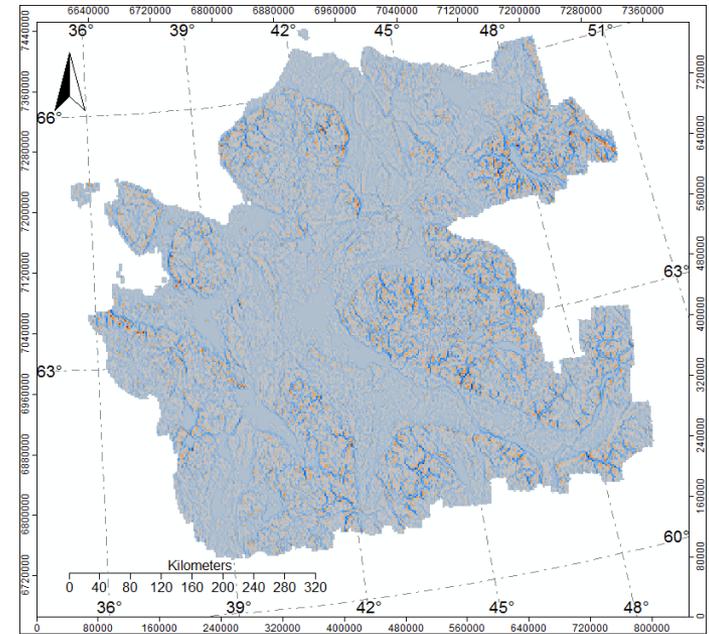
# КРИВИЗНА – АНАЛИЗ



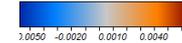
Вертикальная (профильная) кривизна  
[1/метр \* 100]



Горизонтальная (плановая) кривизна  
[1/метр \* 100]



Классификация Треха



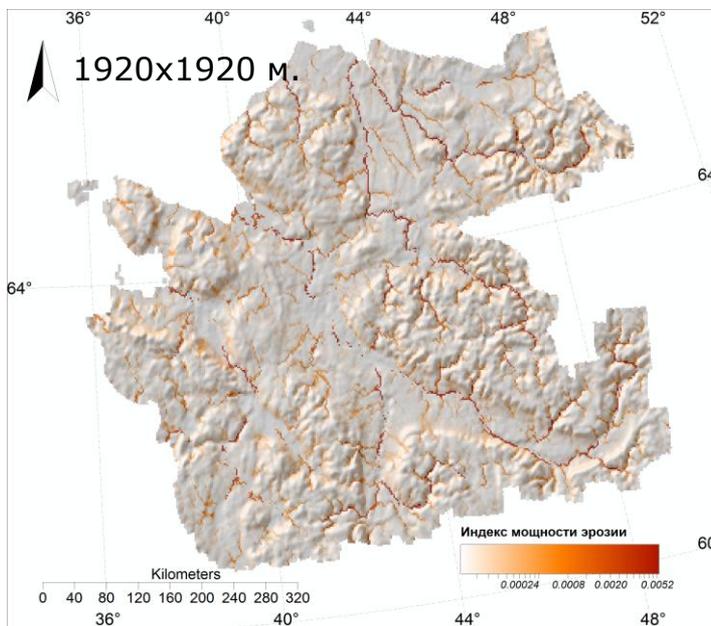
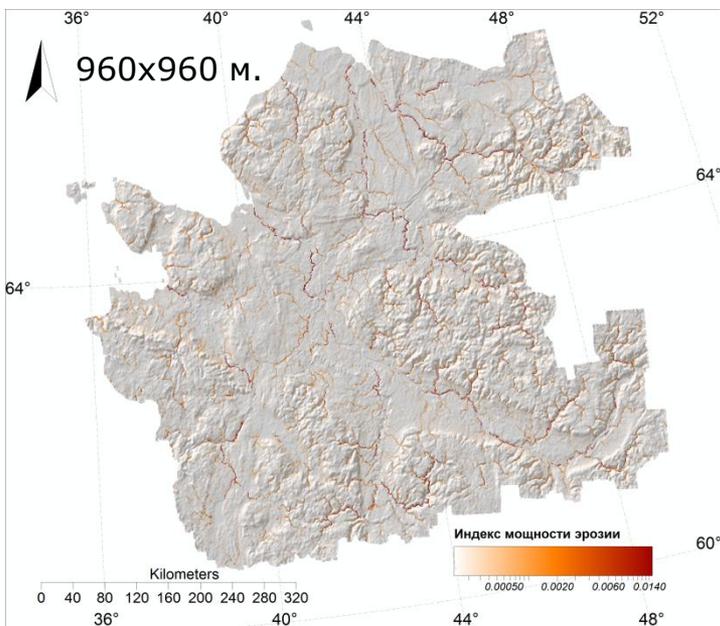
Профильная кривизна	Доля, %	Плановая кривизна	Доля, %
Отрицательная (вогнутые склоны)	52,25	Отрицательная (вогнутые склоны)	46,69
Положительная (выпуклые склоны)	47,75	Положительная (выпуклые склоны)	53,31

Обобщение профильной и плановой кривизны	Доля, %
Относительная аккумуляция	41,60
Транзит	12,48
Относительный СНОС	45,91

Обобщение профильной и плановой кривизны  
43% территории участвует в процессах сноса и аккумуляции



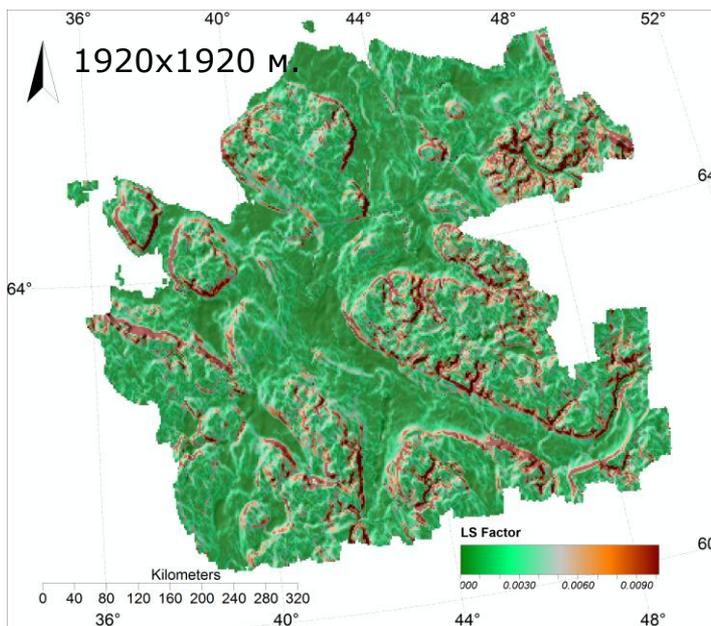
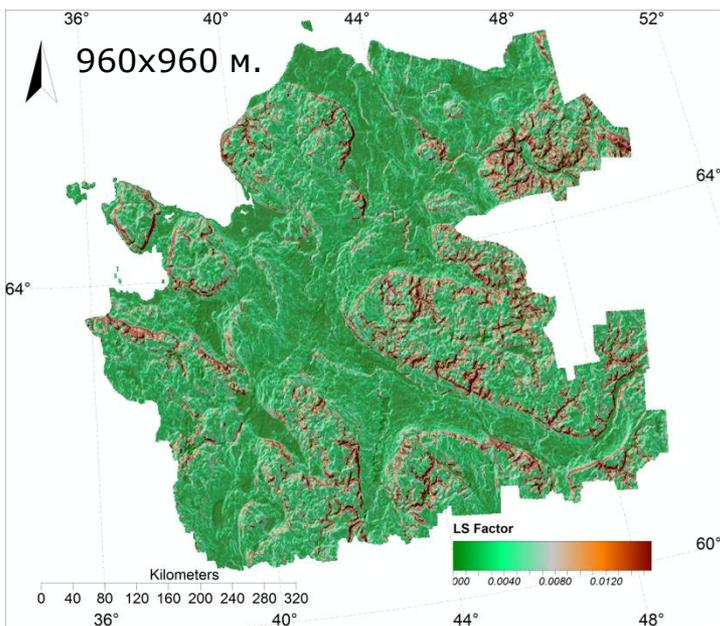
# ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ



## Индекс мощности эрозии (Stream Power Index)

Характеризует потенциальную линейную эрозию.

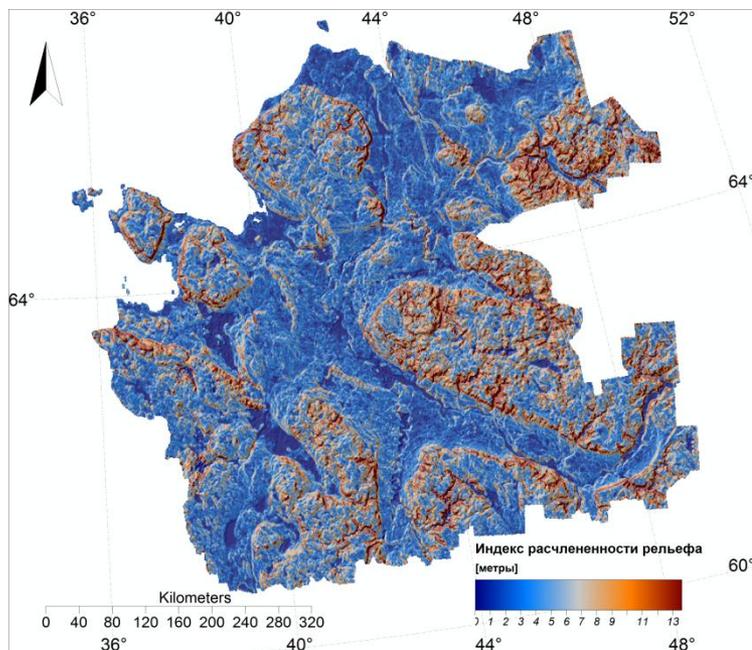
Чем больше значение данного параметра (оранжевые пиксели), тем больше мощность потоков и более ярко выражена линейная эрозия.



## Индекс потенциала плоскостной эрозии (LS Factor)

Чем больше значение данного параметра, тем более ярко выражены процессы смыва почвы.

# ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ

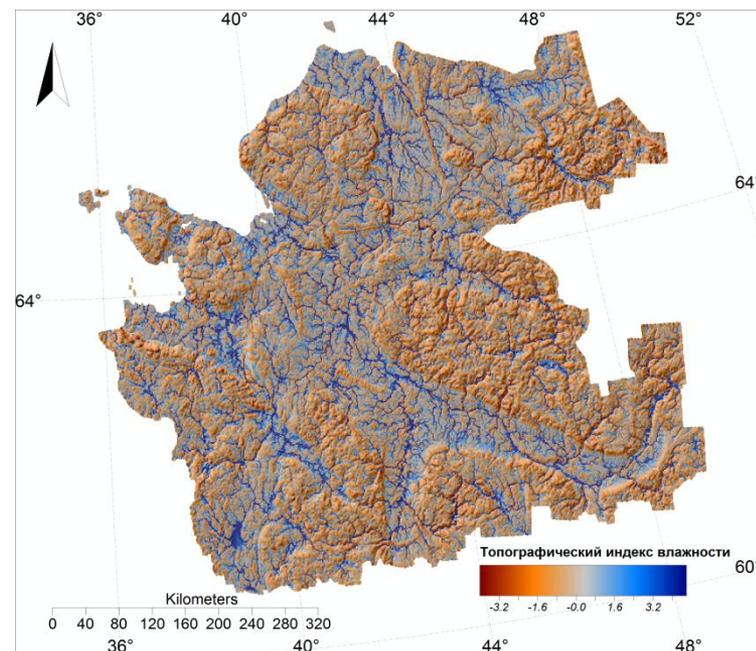


## Индекс расчлененности рельефа (Terrain Ruggedness Index)

Чем больше значение этого параметра, тем более разнороден рельеф.

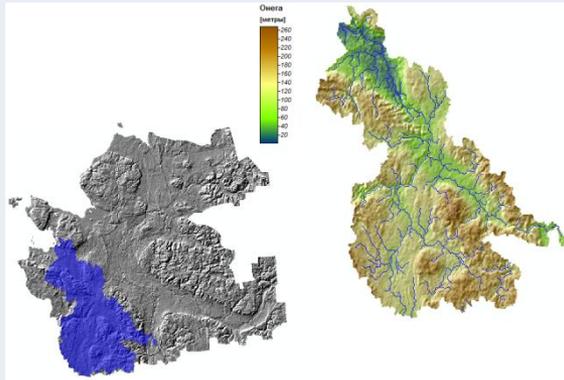
## Топографический индекс влажности (Topographic Wetness Index)

Чем больше значение данного параметра на каком-либо участке (ячейки раstra), тем более предрасположен данный участок к накоплению воды. Положительные значения (синие) – большая предрасположенность к накоплению воды. Отрицательные значения (оранжевые) – большая предрасположенность к отторжению воды (сток с этих участков).

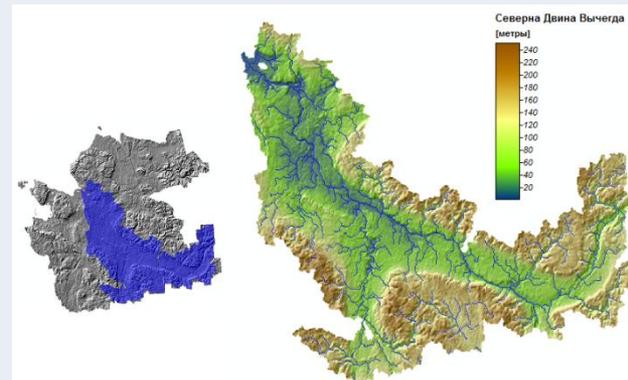


# БАССЕЙНЫ РЕК – АНАЛИЗ

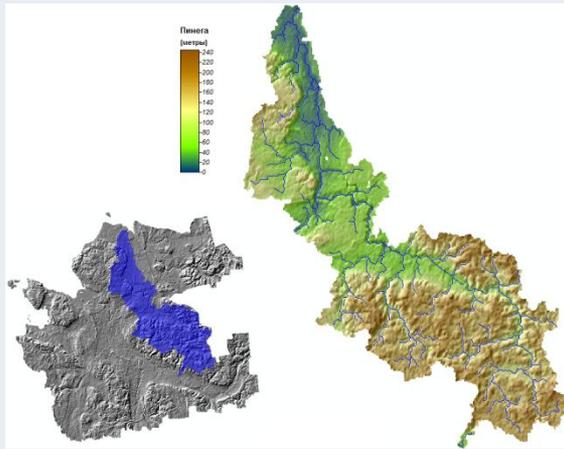
Бассейн р. Онега



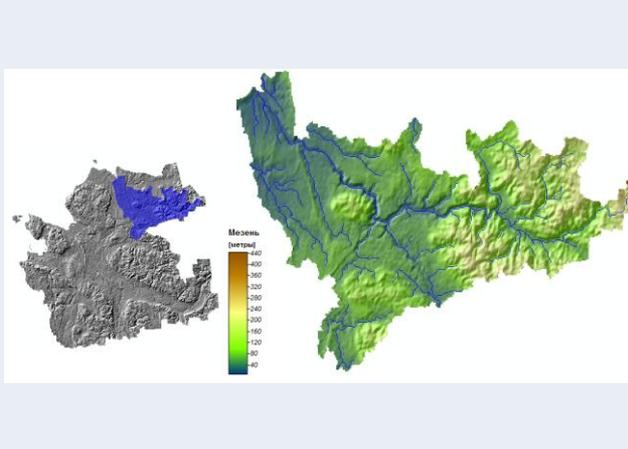
Бассейн рр. Северная Двина и Вычегда



Бассейн р. Пинега



Бассейн р. Мезень



На региональном уровне основными зонами аккумуляции осадков являются долины крупных рек Онеги, Северной Двины, Мезени, Пинеги.

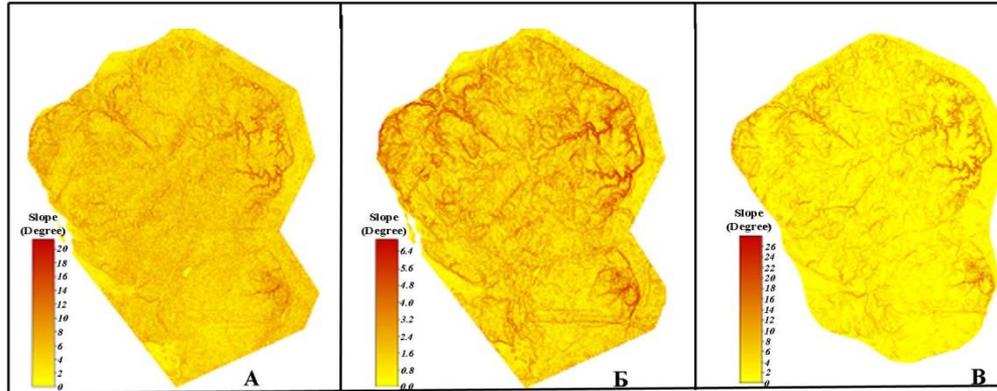
Было проведено сопоставление бассейнов этих рек по следующим параметрам: площадь бассейна, общая длина водотоков, среднее значение индекса влажности, среднее значение индекса расчлененности рельефа, среднее значение LS-фактора.

# БАССЕЙНЫ РЕК – АНАЛИЗ

Характеристики	Бассейн Онега	р. Бассейн рр. Сев. Двина Вычегда	Бассейн р. Пинега	Бассейн Мезень	р.
Площадь, кв. км.	51 654	103 964	47 247	33 030	
Общая длина водотоков, км.	227.43	422.71	180.45	127.04	
Среднее значение индекса влажности	0.066	-0.082	-0.329	0.046	
Среднее значение индекса расчлененности рельефа	4.50	4.93	6.00	4.62	
Среднее значение LS фактора	0.0037	0.0042	0.0052	0.0039	

Судя по средним значениям LS фактора, в бассейнах рек Пинеги и Северной Двины более развита плоскостная эрозия, чем в бассейнах рек Онеги и Мезени; по средним значениям индекса расчлененности рельефа следует, что наиболее разнороден рельеф в бассейне реки Пинеги; среднее значение индекса влажности позволяет судить о том, какие участки более склонны к накоплению воды, нежели к отторжению (транзиту) ее, таким образом, выходит, что **в бассейнах рек Онеги и Мезени преобладают процессы накопления, а в бассейнах Северной Двины и Пинеги - процессы смыва и транзита.**

# КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ



Расчёт углов наклона на разных ЦМР:

**А** – ASTER GDEM v2 (ячейка 90 м), диапазон значений от 0 до 20°;

**Б** – ASTER GDEM v2 (ячейка 500 м), диапазон значений от 0 до 6.4°;

**В** – ЦМР, оцифрованная из данных ГИС Панорама (ячейка 90 м), диапазон значений от 0 до 26°.

На растровых ЦМР различного разрешения множество геоморфометрических параметров будут иметь различные значения и, следовательно, выделять различные объекты. Наши расчёты показывают, что на значения геоморфометрических параметров оказывает влияние не только размер ячейки ЦМР, но и ряд других факторов, например, используемые алгоритмы для устранения артефактов, параметры сглаживания ЦМР, методы аппроксимации, - другими словами, весь комплекс работ по разработке ЦМР, начиная от наблюдения и заканчивая исправлением ошибок.

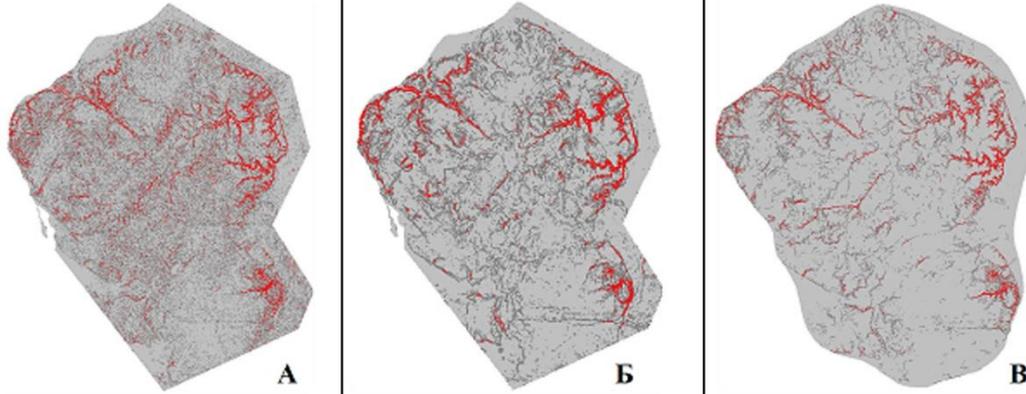
На рисунке видно, как меняются значения угла наклона в зависимости от характеристик ЦМР. Диапазон значений параметра в каждом расчёте разный, хотя параметр рассчитывался для одной и той же территории.

Такое явление затрудняет анализ протекающих на территории эрозионных процессов, так как при количественной оценке геоморфометрических параметров, имея разные значения этих параметров в разных расчётах, возникает ряд вопросов, таких как: это конкретное значение параметра ошибочно или верно; следует ли считать это конкретное значение большим, средним или малым для данной территории; при прогнозировании следует ли считать это значение характеризующим дальнейшее протекание того или иного процесса?

# КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ

Классы углов наклона на разных ЦМР:

**А** – ASTER GDEM v2 (ячейка 90 м);  
**Б** – ASTER GDEM v2 (ячейка 500 м);  
**В** – ЦМР, оцифрованная из данных ГИС Панорама (ячейка 90 м).



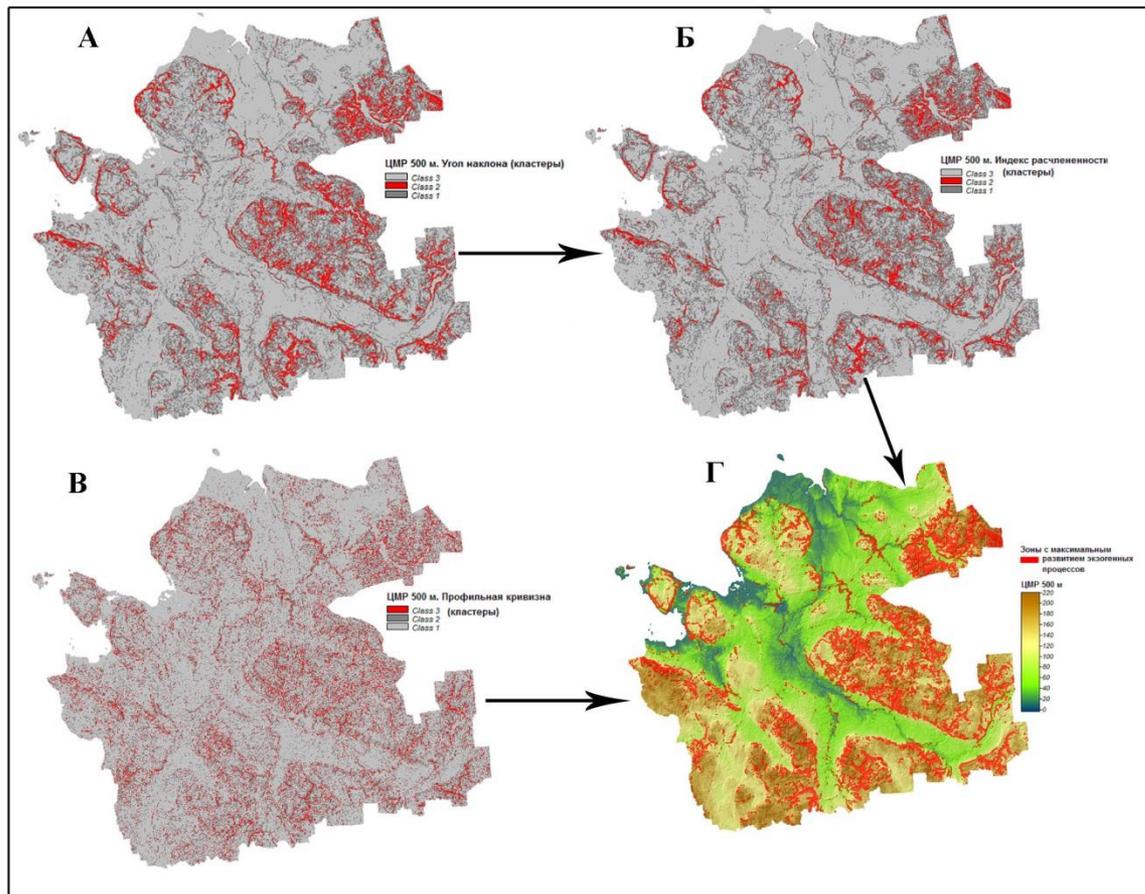
Воспользовавшись кластерным анализом и выделив в выборке схожие по значениям классы, можно апеллировать не абсолютными значениями (в которых могут быть расхождения), а категориями значений (которые сохраняют относительное постоянство).

На рисунке показаны те же расчёты, что и на предыдущем слайде, но значения отображены не в абсолютных величинах, а с помощью классов. Красным обозначен класс, в который попали высокие значения угла наклона, этот класс можно назвать «крутые для этой конкретной территории склоны».

Кластерный анализ подразумевает деление набора данных на непересекающиеся группы (кластеры, классы) точек, при котором значения точек в одном кластере «более схожи» друг с другом, чем со значениями точек из другого кластера. Термин «более схожи» здесь означает степень близости по какой-либо метрике. Когда набор данных разбит на кластеры, каждая точка в нем принадлежит какому-либо кластеру, а каждый кластер характеризуется каким-либо значением (обычно средним значением внутри кластера).

В SAGA GIS применяется алгоритм метода k-средних автора Forgy. В SAGA GIS применяется также метод hill climbing (поиск восхождением к вершине), целью которого является поиск локальных минимумов или максимумов путем сравнения текущего значения с соседними значениями.

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ



*1 этап - Выделение зон максимального развития экзогенных процессов*

**А** - три кластера углов наклона на ЦМР с ячейкой 500 м;

**Б** - три кластера индекса расчлененности на ЦМР с ячейкой 500 м;

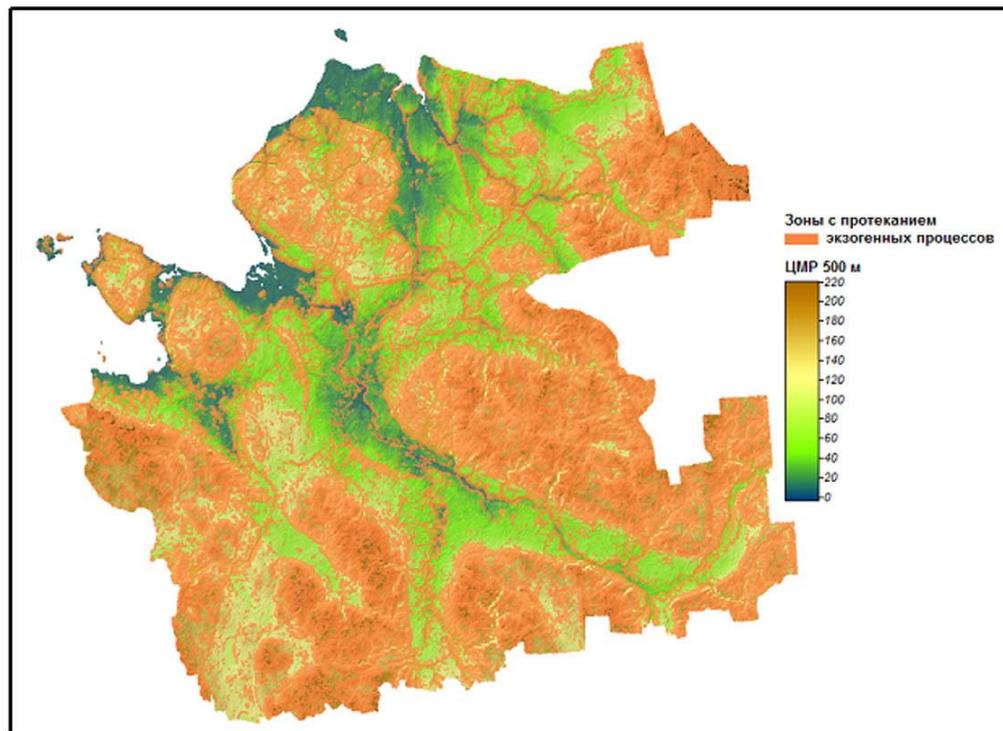
**В** - три кластера профильной кривизны на ЦМР с ячейкой 500 м;

**Г** - зоны максимального развития экзогенных процессов.

Такие геоморфометрические параметры, как угол наклона, профильная кривизна и индекс расчлененности рельефа позволяют выделить зоны с максимальным развитием экзогенных процессов. Для этого были выделены три кластера: угла наклона; индекса расчлененности; профильной кривизны. Объединив три слоя (**кластеры с максимальными значениями параметров**), был получен слой с зонами **максимального развития экзогенных процессов**.

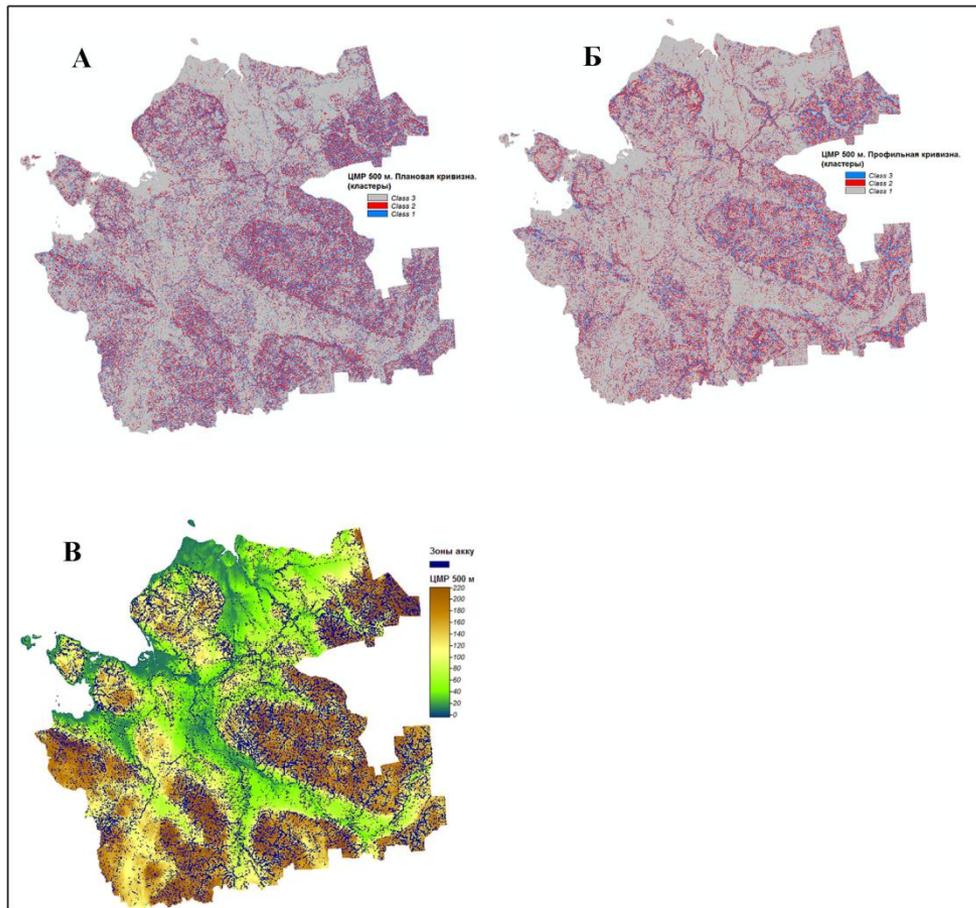
# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

## 2 этап - Выделение зон с протеканием экзогенных процессов



Зоны с протеканием экзогенных процессов были выделены с помощью кластерного анализа таких параметров, как угол наклона и индекс расчлененности. Если зоны с максимальным развитием экзогенных процессов определили кластеры с максимальными значениями параметров, то зоны, в которых наблюдаются экзогенные процессы, были выделены с помощью **кластеров со средними значениями параметров**.

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ



## 3 этап - Выделение зон аккумуляции и транзита

**А** - три кластера плановой кривизны на ЦМР с ячейкой 500 м;

**Б** - три кластера профильной кривизны на ЦМР 500 м;

**В** - зоны аккумуляции и транзита.

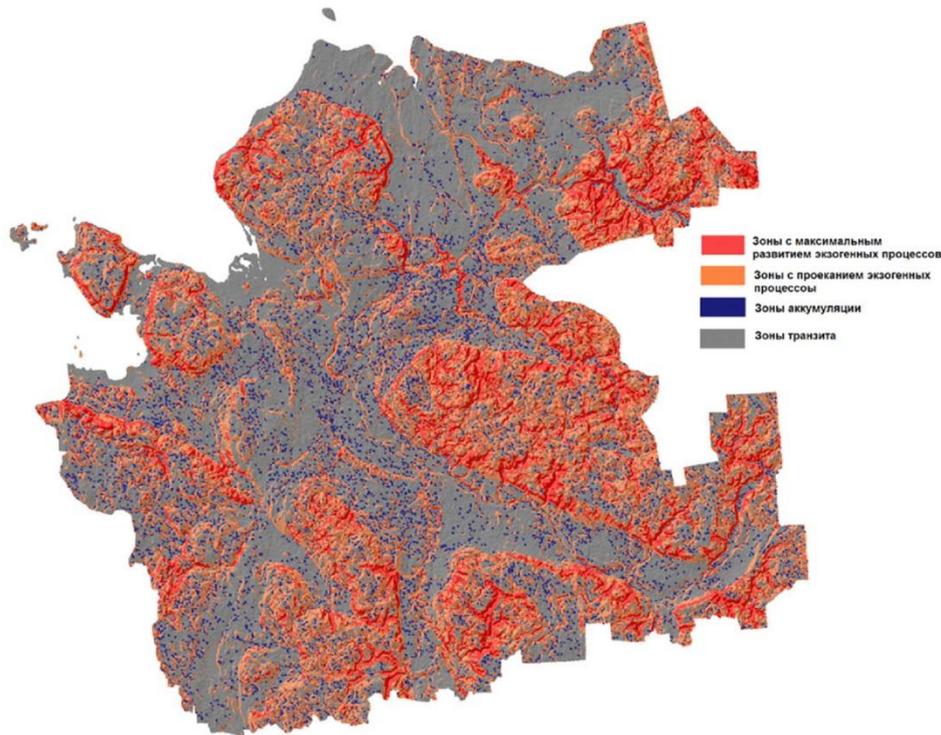
В кластерах плановой кривизны класс с минимальными значениями представляет «вогнутые участки»; класс с максимальными значениями - «выпуклые участки»; третий класс определяет «плоские участки» - это средние значения кривизны.

В значениях профильной кривизны класс с минимальными значениями определяет «вогнутые участки»; класс с максимальными значениями определяет «выпуклые участки»; третий класс определяет «плоские участки».

Зона транзита получены объединением классов кривизн со средними и максимальными значениями (**те области, где «выпуклые» и «плоские» участки перемежаются**).

В совокупности эти растровые слои определяют зоны аккумуляции (**те области, где «вогнутые» участки пересекаются**).

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ



Таким образом, выделив зоны с максимальным развитием экзогенных процессов, зоны с протеканием экзогенных процессов, зоны аккумуляции и транзита, была получена карта геоэкологического районирования территории Архангельской области по интенсивности протекания эрозионных процессов.

## Зоны с максимальным развитием экзогенных процессов

Параметр	Min	Max	Mean	StdDev
Плановая кривизна, 1/м	$-0.287 \times 10^{-3}$	$0.215 \times 10^{-3}$	$0.005 \times 10^{-3}$	$0.029 \times 10^{-3}$
Профильная кривизна, 1/м	$-0.271 \times 10^{-3}$	$0.210 \times 10^{-3}$	$-0.001 \times 10^{-3}$	$0.036 \times 10^{-3}$
Индекс расчлененности рельефа	6.280	27.734	8.426	2.139
Угол наклона, °	0.021	4.519	1.318	0.357

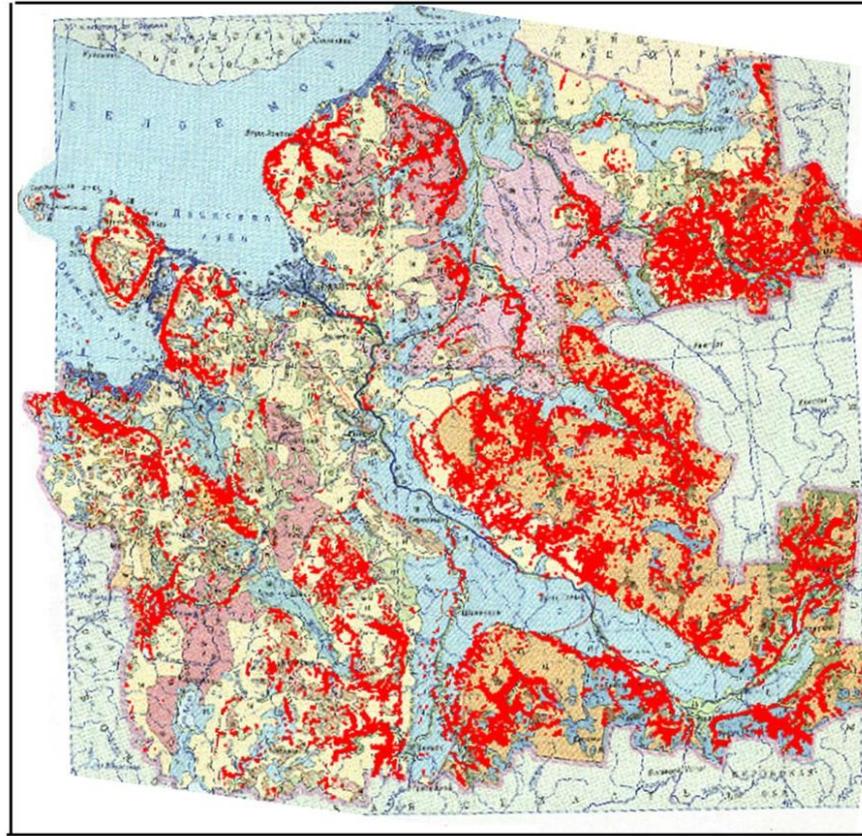
## Зоны с протеканием экзогенных процессов

Плановая кривизна, 1/м	$-0.142 \times 10^{-3}$	$0.121 \times 10^{-3}$	$0.001 \times 10^{-3}$	$0.021 \times 10^{-3}$
Профильная кривизна, 1/м	$-0.143 \times 10^{-3}$	$0.125 \times 10^{-3}$	$-0.001 \times 10^{-3}$	$0.023 \times 10^{-3}$
Индекс расчлененности рельефа	2.074	6.408	4.156	0.942
Угол наклона, °	0.006	1.220	0.626	0.167

## Зоны аккумуляции

Плановая кривизна, 1/м	$-0.287 \times 10^{-3}$	$-0.012 \times 10^{-3}$	$-0.028 \times 10^{-3}$	$0.016 \times 10^{-3}$
Профильная кривизна, 1/м	$-0.271 \times 10^{-3}$	$-0.017 \times 10^{-3}$	$-0.036 \times 10^{-3}$	$0.019 \times 10^{-3}$
Индекс расчлененности рельефа	0.987	23.728	4.502	2.444

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ



Было проведено сравнение полученных зон геоэкологического районирования с геоморфологической картой территории.

Сравнение показало, что зоны с максимальным развитием экзогенных процессов наблюдаются на границах абразионных склонов, где они расположены на плоских и волнистых моренных равнинах, местами абродированных ледниковыми и морскими волнами, вдоль речных долин с комплексом скульптурных и аккумулятивных террас. Им характерен так же холмистый и холмисто-грядовый моренный рельеф, холмистой-моренный и камовый рельеф, холмисто-котловинный камовый рельеф.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**