

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения  
Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск



# Статистический анализ цифровой модели рельефа ArcticDEM для арктических и приарктических субъектов Российской Федерации

Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л.

*Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2020 г.*

**Глобальные цифровые модели рельефа — это ЦМР, охватывающие всю или почти всю территорию Земли.**

## **Выбор ЦМР**

### **1) «доступность» исходного материала**

- коммерческие (NEXTMap World 30, WorldDEM™, AW3D и др.)
- свободно распространяемые (SRTM, ASTER GDEM, GTOPO30, ACE2, ETOPO2, GMTED2010 и ArcticDEM)

### **2) пространственное разрешение**

- высокое (до 15 м)
- среднее (15-30 м)
- низкое (свыше 30 м)

### **3) охват территории**

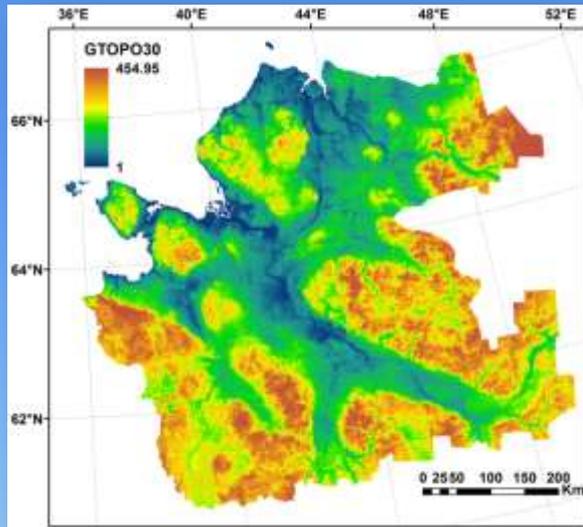
### **4) характеристика исследуемой территории.**

## Обзор свободно распространяемых ЦМР, покрывающих Арктику

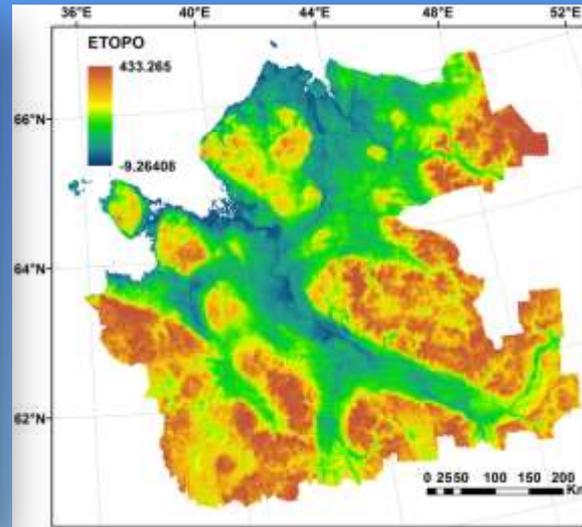
ЦМР	Пространственное разрешение		Абсолютная точность по высоте (LE90*), м	Охват территории Земли
	угловые секунды	метры		
<b>ГТОРО30</b>	30	~900	от 15 до 500	90° с.ш. – 90° ю.ш., 180° в.д. – 180° з.д.
<b>ЕТОРО</b>	30	~900	зависит от исходных данных	90° с.ш. – 90° ю.ш., 180° в.д. – 180° з.д.
<b>GMTED2010</b>	30	~900	50 – 82	84° с.ш. – 56° ю.ш.
	15	~500	58 – 64	
	7,5	~250	56 – 60	
<b>ACE2</b>	3	~90	1 – 16	90° с.ш. – 90° ю.ш., 180° в.д. – 180° з.д.
	9	~270		
	30	~900		
<b>ASTER GDEM v2, 3</b>	1	~30	12 – 30	83° с.ш. – 83° ю.ш. (99% поверхности земного шара)
<b>ArcticDEM</b>		~2	1 – 3	вся арктическая часть Земли (севернее 60° с.ш.)

\*линейная ошибка (LE) при уровне вероятности 90%

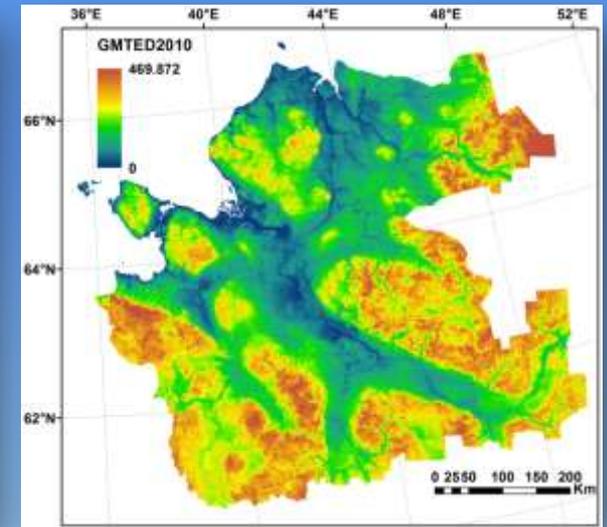
# Обзор глобальных некоммерческих цифровых моделей рельефа



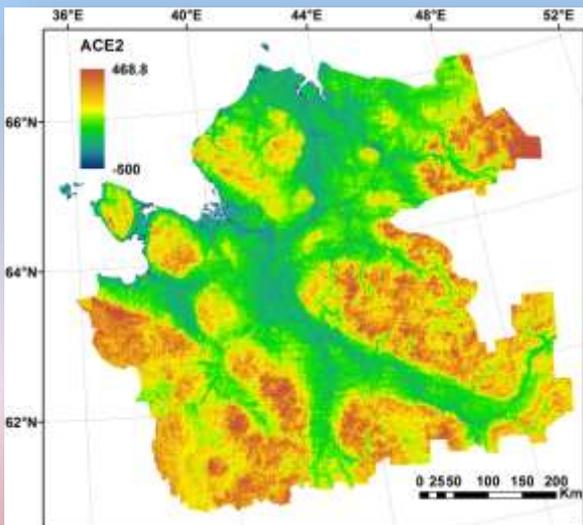
**GTOPO30 (900 m)**



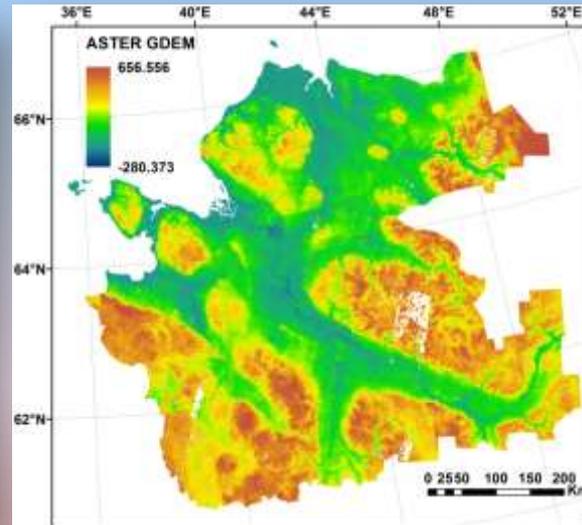
**ETOPO (900 m)**



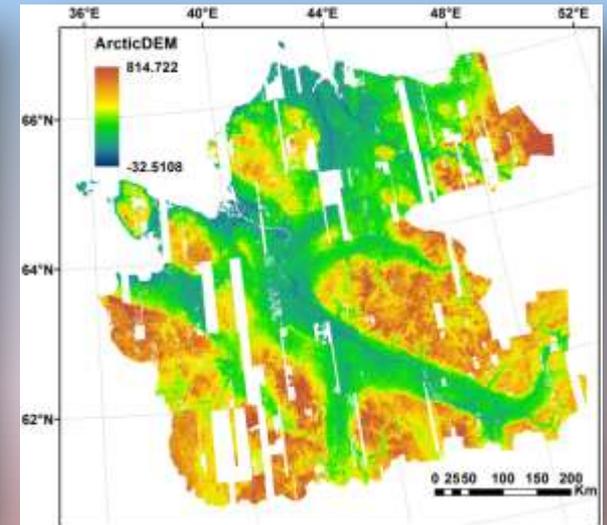
**GMTED (225 m)**



**ACE2 (90 m)**

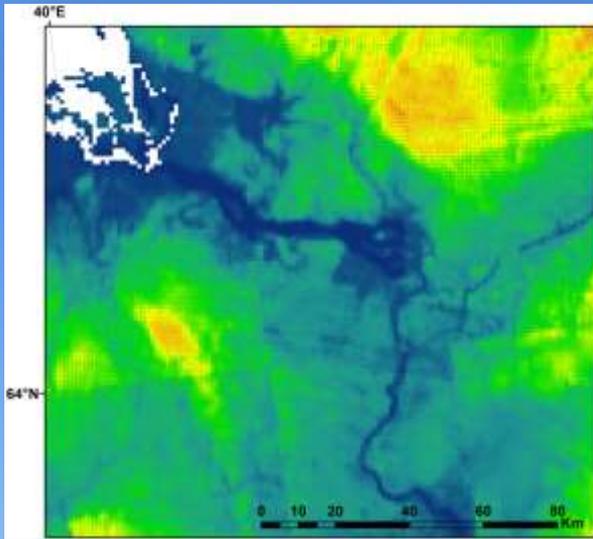


**ASTER GDEM V.2 (30 m)**

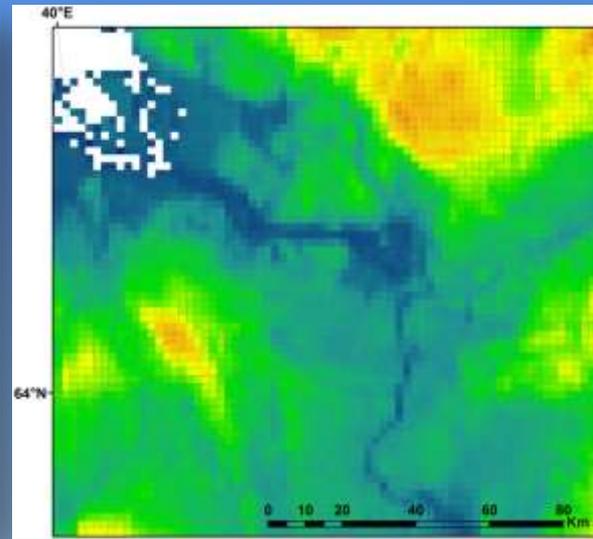


**ArcticDEM (2-5 m)**

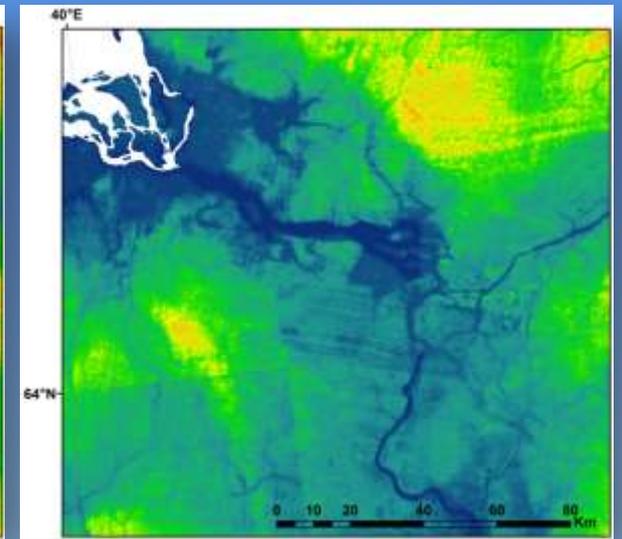
# Обзор глобальных некоммерческих цифровых моделей рельефа



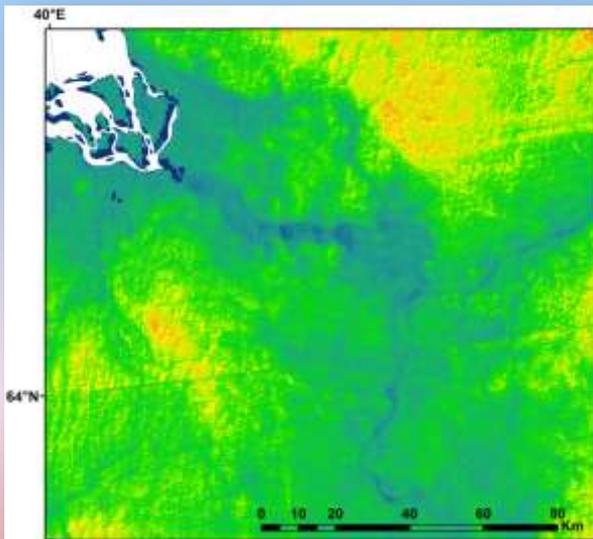
**GTOPO30 (900 m)**



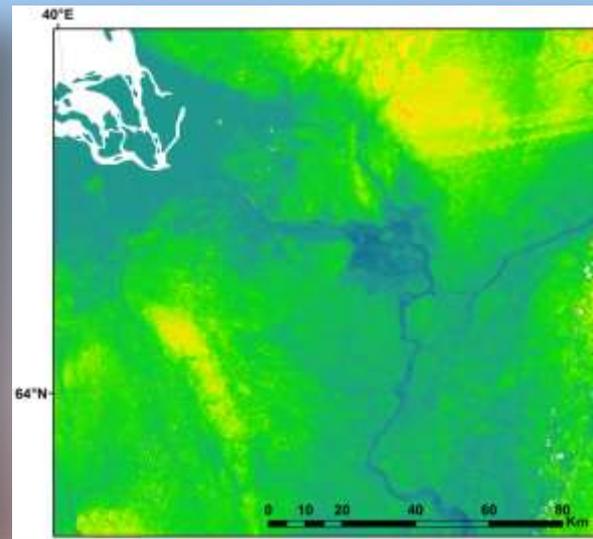
**ETOPO (900 m)**



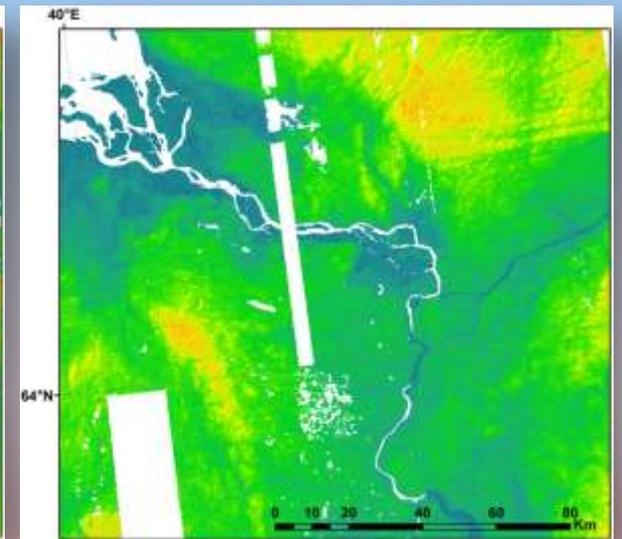
**GMTED (225 m)**



**ACE2 (90 m)**



**ASTER GDEM V.2 (30 m)**



**ArcticDEM (2-5 m)**

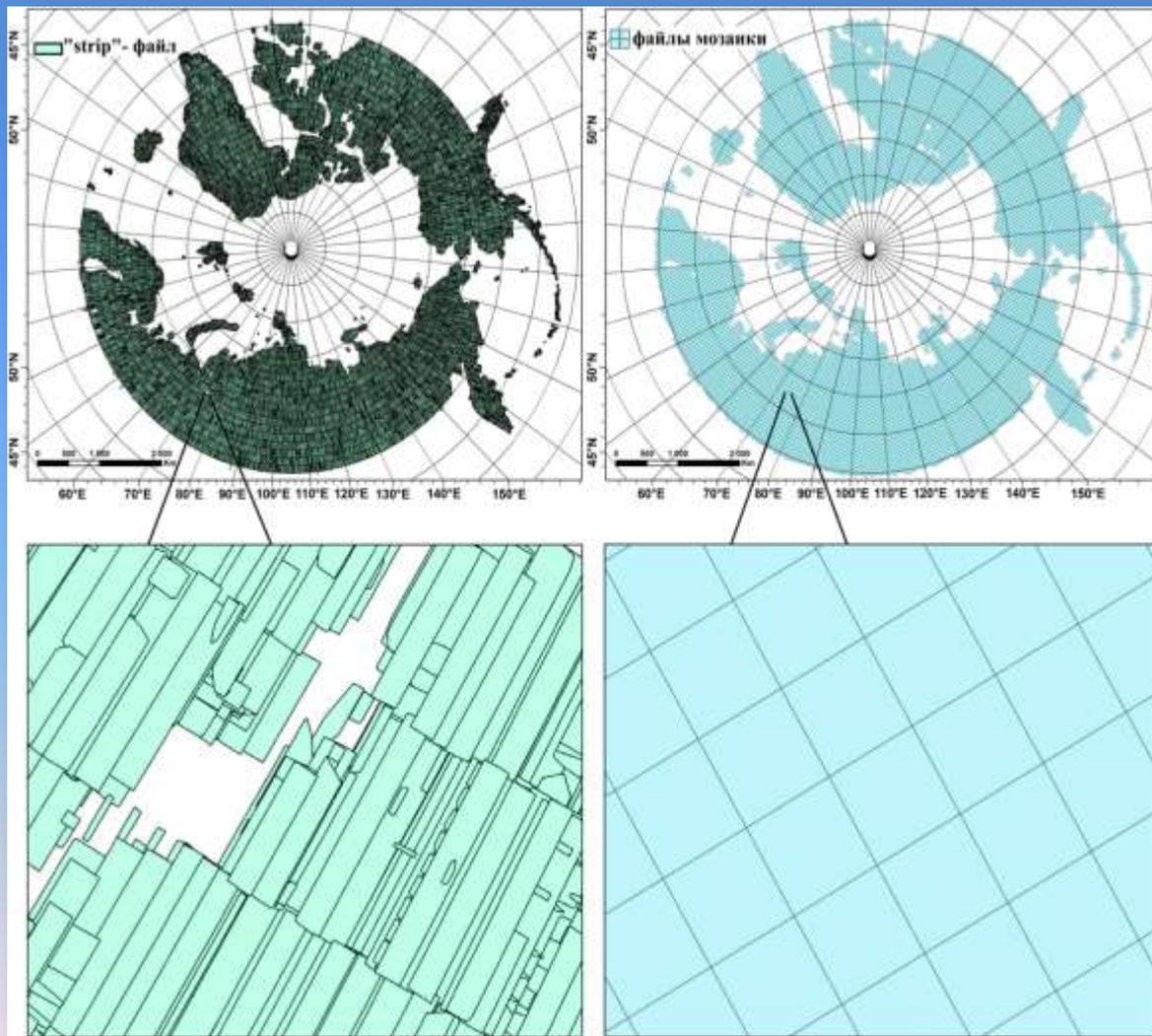
**Цель** – провести статистический анализ исходной глобальной ЦМР ArcticDEM для субъектов Российской Федерации, расположенных севернее 60° с. ш.

**Проект ArcticDEM** — это совместная инициатива Национального агентства геопространственной разведки (National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)) и Национального научного фонда (National Science Foundation (NSF)) США по созданию высококачественной цифровой модели местности территории Арктики.

Описание модели приведено на сайте <https://www.pgc.umn.edu/guides/arcticdem/introduction-to-arcticdem/>.

В основе ArcticDEM лежат оптические стереоизображения, получаемые со спутников DigitalGlobe WorldView-1, 2, 3.

Данные ArcticDEM покрывают всю территорию Земли севернее 60° с.ш. В дополнении к этому покрытию входят территории Гренландии, Аляски и Камчатского полуострова. Полное покрытие исходными данными ArcticDEM арктической зоны земного шара в интерактивном режиме можно посмотреть на сайте ArcGIS Living Atlas of the World (URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/>).



Растровые файлы ArcticDEM доступны в 2 видах:

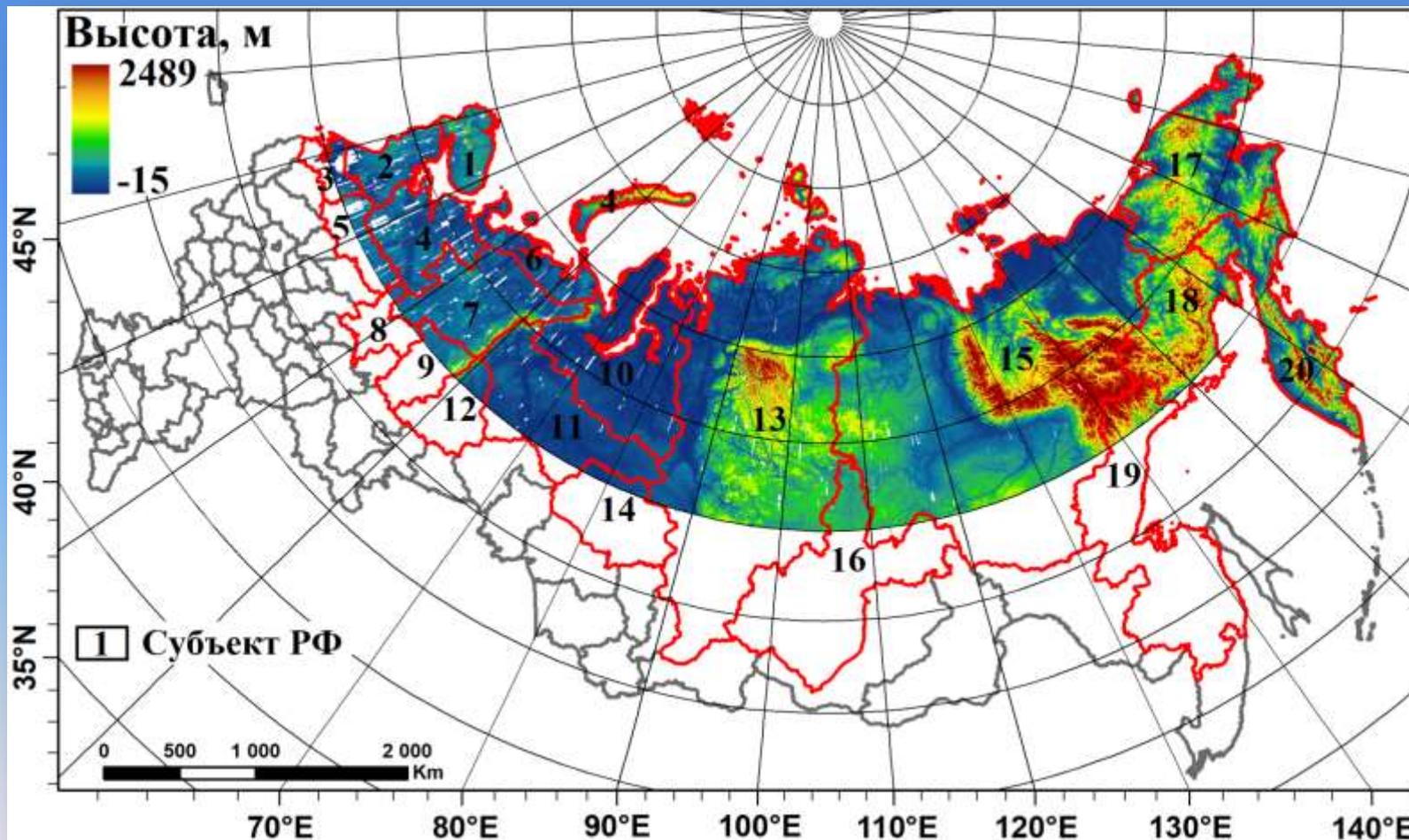
- **“strip”-файлы**, файлы соответствующие участкам перекрытия стереопар изображений, их размер зависит от положения спутника во время съемки;

- **файлы мозаики**, собранные из множества “strip”-файлов и обработанные так, чтобы снизить количество артефактов, связанных с наложением изображений друг на друга .

*Глобальное покрытие ArcticDEM в виде “strip”-файлов (слева) и файлов мозаики (справа), и их увеличенные фрагменты*

ArcticDEM выпускается поэтапно, текущая версия (версия 7) была выпущена 28.09.2018 ([URL:https://www.pgc.umn.edu/guides/arcticdem/introduction-to-arcticdem/](https://www.pgc.umn.edu/guides/arcticdem/introduction-to-arcticdem/))

## Покрытие данными ArcticDEM территории России



1 – Мурманская обл., 2 – Республика Карелия, 3 – Санкт-Петербург и Ленинградская обл., 4 – Архангельская обл., 5 – Вологодская обл., 6 – Ненецкий автономный округ (АО), 7 – Республика Коми, 8 – Кировская обл., 9 – Пермский край, 10 – Ямало-Ненецкий АО, 11 – Ханты-Мансийский АО, 12 – Свердловская обл., 13 – Красноярский край, 14 – Томская обл., 15 – Республика Саха (Якутия), 16 – Иркутская обл., 17 – Чукотский АО, 18 – Магаданская обл., 19 – Хабаровский край, 20 – Камчатский край

## Статистика исходных данных ArcticDEM для субъектов РФ

№ на рис	Субъект РФ	Площадь субъекта, км <sup>2</sup>	Покрытие		Отсутствие данных	
			%	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>
20	Камчатский край	464275	100	464275	0,31	1439
17	Чукотский АО	721481	100	721481	0,54	3896
10	Ямало-Ненецкий АО	769250	100	769250	1,81	13923
6	Ненецкий АО	176810	100	176810	4,84	8558
1	Мурманская область	144902	100	144902	6,35	9201
7	Республика Коми	416774	100	416774	<b>7,72</b>	32175
4	Архангельская область	589913	100	589913	<b>11,48</b>	67722
2	Республика Карелия	180520	100	180520	<b>17,13</b>	30923
18	Магаданская область	462464	93,03	430230	0,53	2280
11	Ханты-Мансийский АО	534801	86,87	464582	1,57	7294
15	Республика Саха	3083523	86,50	2667247	0,56	14937
13	Красноярский край	2366797	77,81	1841605	0,97	17864
3	Санкт-Петербург и Ленинградская область	85347	37,71	32184	<b>20,19</b>	6498
5	Вологодская область	144527	37,61	54357	<b>14,96</b>	8132
9	Пермский край	160236	30,75	49273	3,97	1956
12	Свердловская область	194307	18,37	35694	1,64	585
16	Иркутская область	774846	11,82	91587	0,46	421
14	Томская область	314391	11,61	36501	0,29	106
19	Хабаровский край	787633	11,27	88766	0,23	204
8	Кировская область	120374	10,53	12675	<b>8,70</b>	1103

Наибольшие площади с отсутствием данных имеют Санкт-Петербург и Ленинградская область (20,19 %), Республика Карелия (17,13 %), Вологодская (14,96 %), Архангельская (11,48 %) и Кировская (8,7 %) области, Республика Коми (7,72 %).

## Подготовка ЦМР Архангельской области:

1) извлечение и объединение данных;

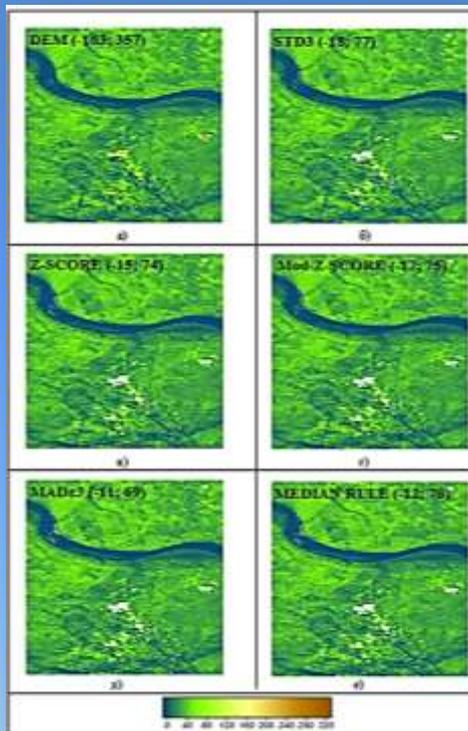
2) обнаружение и замена аномальных значений высотных отметок и «пустот». Экстремальные выбросы обнаруживались методом абсолютного медианного отклонения. Отсутствующие данные и «пустоты» заполнялись данными GMTED2010 с искусственным уменьшением размера ячейки до 1 угловой секунды;

3) устранение шероховатостей, шума и ошибок, возникающих при наложении снимков с использованием модуля DTM Filter;

4) заполнение бессточных впадин (гидрологическая коррекция) с применением метода (Wang, Liu, 2006).

*Статистика ASTER GDEM v.2 на территорию Архангельской области*

Показатель	Значение, м
Количество непустых ячеек	708025923
Минимальное значение	-393
Максимальное значение	6255
Среднее арифметическое значение	103.15
Среднеквадратическое отклонение	59.07

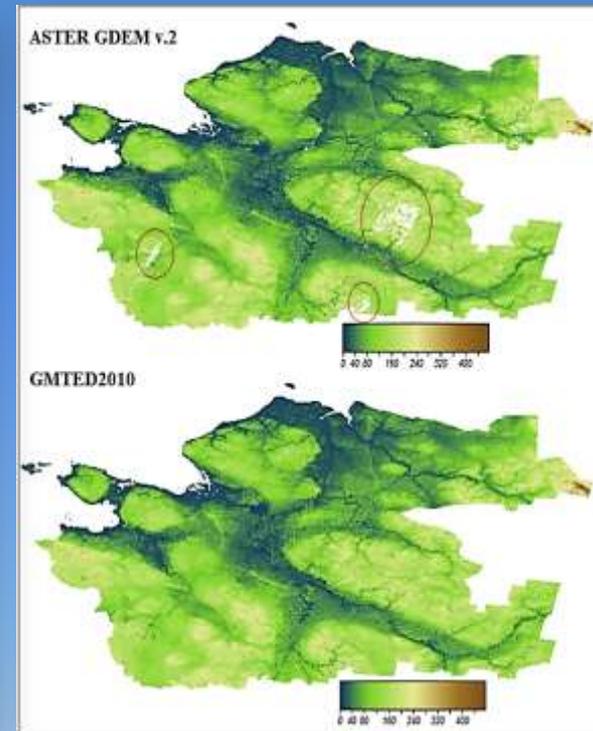


Применение неформальных тестов для выявления выбросов в высоте рельефа цифровой модели, по (Минеев и др., 2015а):

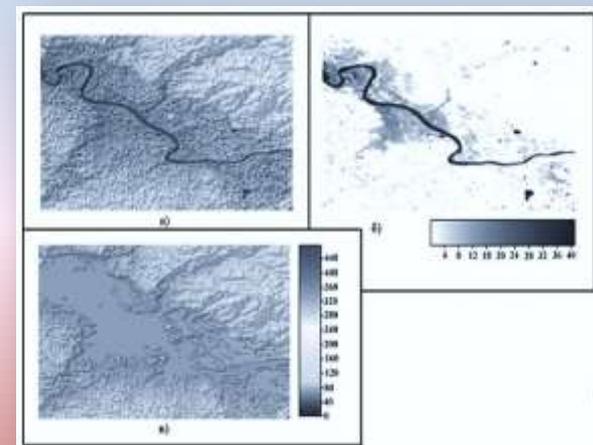
а) исходная модель; б) метод среднеквадратического отклонения; в) метод Z-Score; г) модифицированный метод Z-Score; д) метод абсолютного медианного отклонения; е) правило медианы

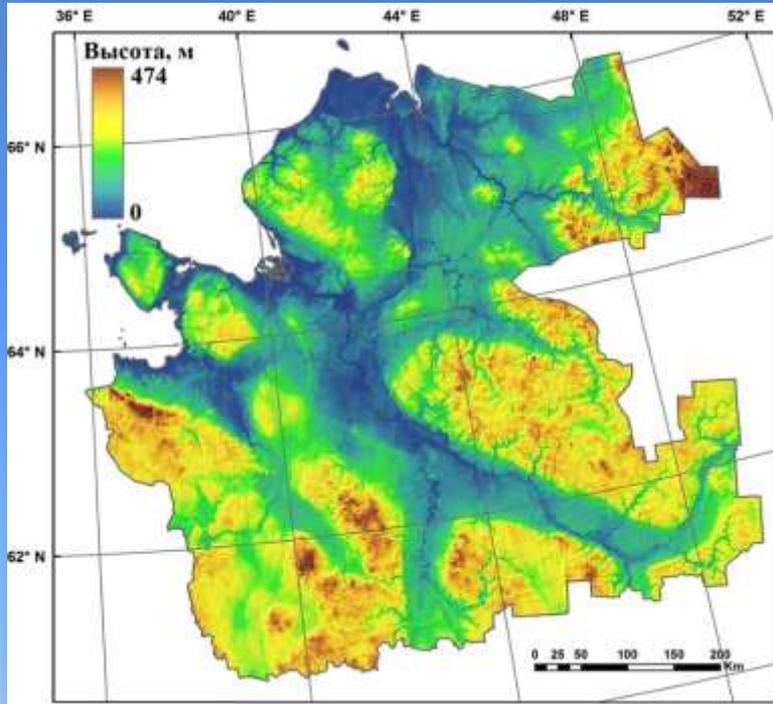
Пример заполнения впадин:

а) рельеф;  
б) высота заполнения;  
в) рельеф с заполненными впадинами



Заполнение пустот в исходной модели ASTER GDEM v.2 данными GMTED2010 (система координат WGS84, проекция WGS84 (EPSG:4326))



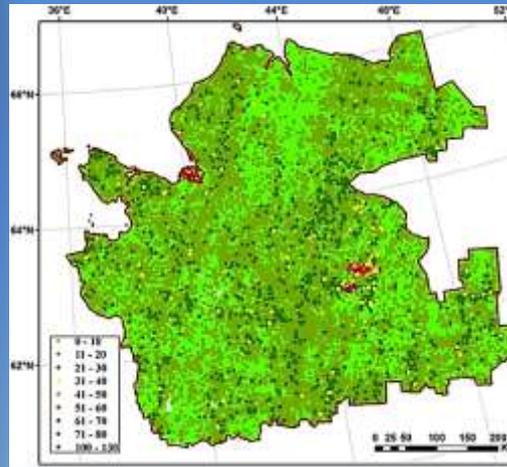


**ЦМР Архангельской области  
(Минеев и др., 2015а; Минеев и др., 2015б)**

Точность (надежность) построенной ЦМР проверена сопоставлением с:

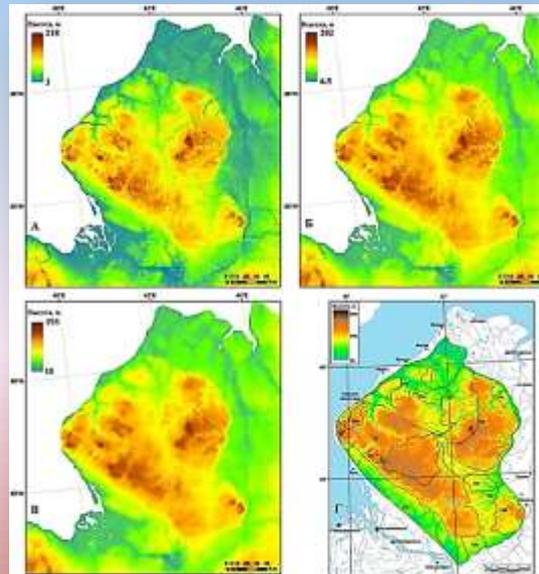
- точками плановой съемочной сети открытых векторных данных ГИС Панорама;
- ЦМР Беломорско-Кулойского плато, построенной с использованием топографических карт масштаба 1:200000 в ПО ГИС GRASS (Гофаров и др., 2006);
- проведенными полевыми замерами высот с помощью GPS-навигатора.

## Абсолютные разности значений высот между данными с ГИС Панорама и ЦМР Архангельской области



2 % значений имеют расхождение свыше 20 м – остаточные значения приходятся на территорию, где в исходном виде отсутствовали данные ASTER GDEM v.2, и пустоты заполнялись данными GMTED2010

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
<b>Среднее арифметическое разности</b>		7.45 м
<b>Стандартное отклонение</b>		5.62 м
<b>Максимальная разность</b>		126.71 м (1 высотная отметка)
<b>Минимальная разность</b>		0 м



Сопоставление построенной ЦМР с моделью рельефа Беломорско-Кулойского плато, по (Минеев и др., 2015а с дополнениями):

- А – 30x30 м (исходная модель),
- Б – 480x480 м,
- В – 960x960 м,
- Г – модель рельефа БКП (20x20 м)

Минеев А.Л., Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Надёжность цифровой модели рельефа Архангельской области для проведения геоэкологических исследований // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 58-67. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-4-58-67>

## Количество ячеек в модели ArcticDEM, превышающих максимальные отметки на территории субъекта РФ и со значениями ниже уровня моря

№ на рис.	Субъект РФ	Макс. высота, м	Название отметки	Процент ячеек	
				выше макс. отметки	ниже 0
1	Камчатский край	4850,0	вулкан Ключевский (Ключевская Сопка)	0,00	<b>0,01</b>
2	Чукотский АО	1887,0	гора Великая (Чаанталь)	0,00	<b>0,01</b>
3	Ямало-Ненецкий АО	1499,0	гора Пайёр (Пай-Ер, Пай-Ёр, Пайер)	0,00	<b>12,20</b>
4	Ненецкий АО	467,0	гора Мореиз	0,00	<b>1,61</b>
5	Мурманская обл.	1200,6	гора Юдычвумчорр	0,00	<b>0,01</b>
6	Республика Коми	1878,0	гора Карпинского	0,00	0,00
7	Архангельская обл. (материковая/островная)	471,0 / 1547,0	в районе Четласского камня (Тиманский кряж) / гора Крузенштерна	0,00 / 0,00	<b>0,05</b>
8	Республика Карелия	576,0	Гора Нуорунен	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>
9	Магаданская обл.	2292,0	пик Снежный	0,00	0,00
10	Ханты-Мансийский АО	1895,0	гора Народная	0,00	<b>0,54</b>
11	Республика Саха	3147,0	гора Победа	0,00	<b>1,11</b>
12	Красноярский край	2922,0	пик Грандиозный	0,00	<b>2,49</b>
13	Санкт-Петербург и Ленинградская обл.	291,0	гора Гапсельга	<b>0,20</b>	<b>0,06</b>
14	Вологодская обл.	304,0	гора Мальгора	<b>0,01</b>	0,00
15	Пермский край	1469,8	гора Тулым (Тулымский Камень)	0,00	0,00
16	Свердловская обл.	1569,7	гора Конжаковский Камень	0,00	0,00
17	Иркутская обл.	2988,0	пик Мартена	0,00	0,00
18	Томская обл.	274,2	без названия	0,00	<b>0,04</b>
19	Хабаровский край	2933,0	гора Берилл	0,00	0,00
20	Кировская обл.	338,1	гора Краснояр	0,00	0,00

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

