

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"**

**Состояние и перспективы использования
современных глобальных моделей
гравитационного поля Земли в высокоширотной
Арктике**

МИХАЙЛОВ П.С., КОНЕШОВ В.Н., ПОГОРЕЛОВ В.В., СОЛОВЬЕВ В.Н.

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук
(ИФЗ РАН), Москва*

Институт космических исследований РАН, Москва, 12 ноября 2024

От чего зависит практическое использование глобальных моделей гравитационного поля Земли

Возможности практического использования глобальной модели гравитационного поля

Пространственное разрешение данных в модели

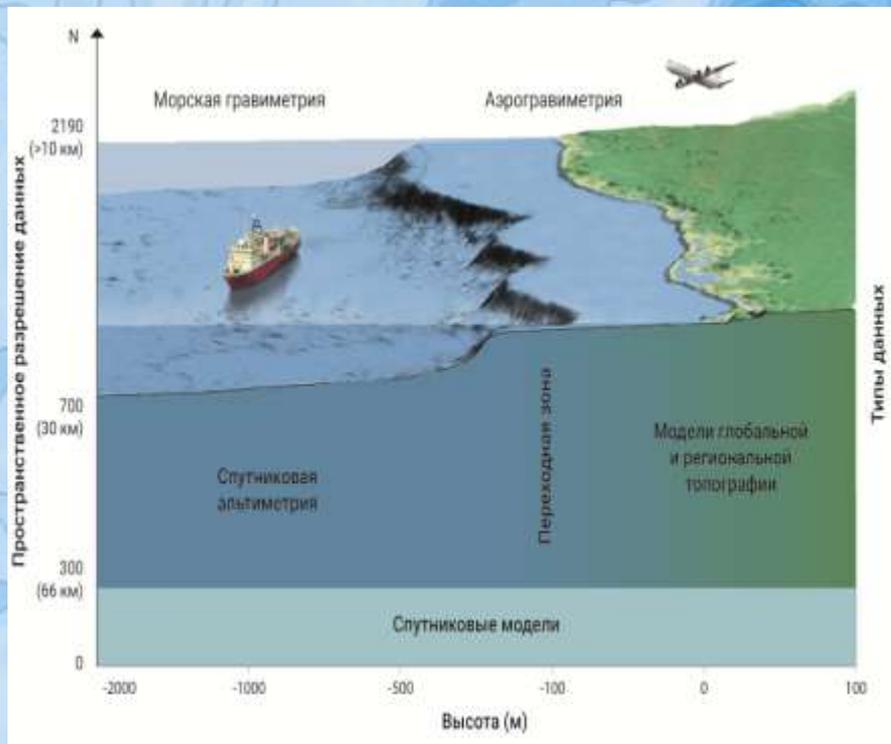
- Разрешение модели в 2190 гармоник , например EGM2008, соответствует 5' (≈ 9 км)
- Максимальное разрешение данных в самых современных альтиметрических глобальных моделях - 1'

Достоверность данных в модели

Точность данных в модели

Структура современной глобальной модели гравитационного поля Земли

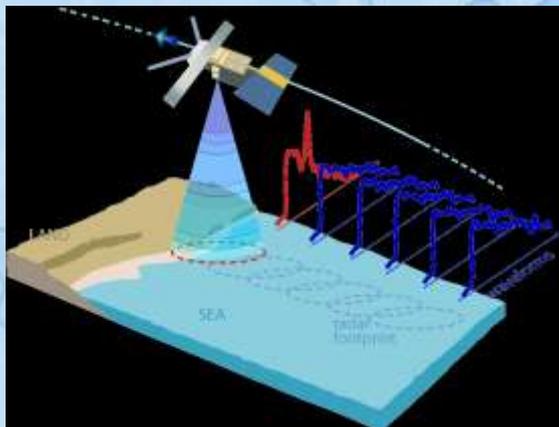
Современная глобальная модель ГПЗ является комбинированным решением, то есть содержит данные разнородных и разноточных источников.



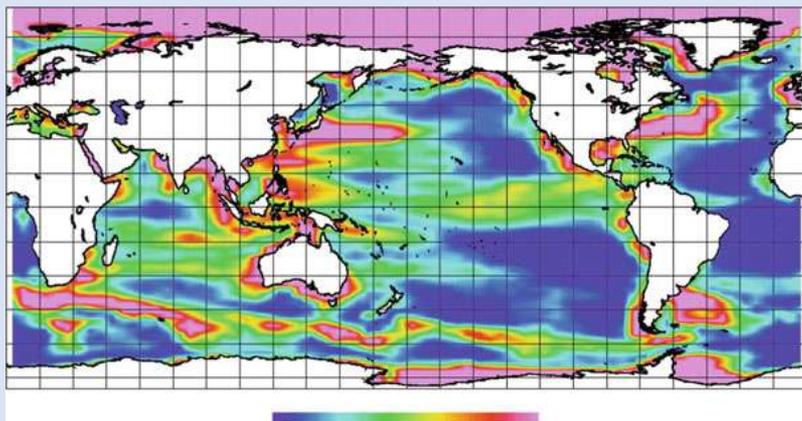
Источники данных для создания глобальной модели

Типовая структура создания комбинированной ультравысокостепенной модели

Достоверность и точность современных моделей гравитационного поля в Мировом океане



- **Достоверность** и точность данных, полученных методом альтиметрии зависят от качества подстилающей поверхности акватории.
- **Течения**, значительные приливные эффекты, мелководье создают помехи в данных.

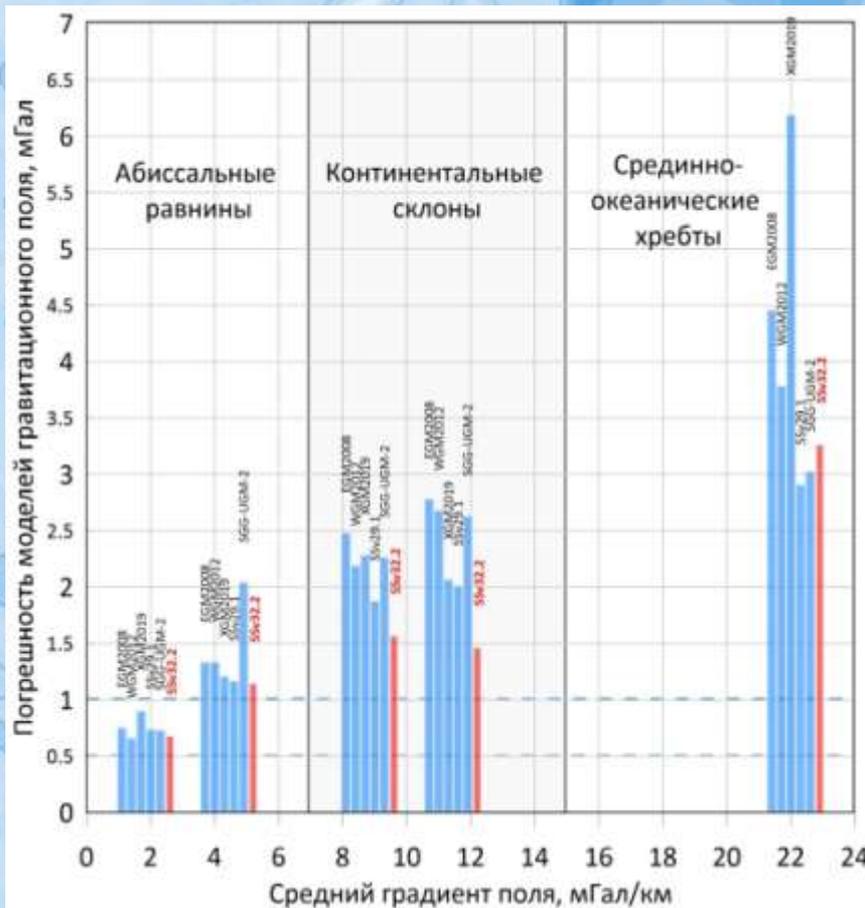


5.00 7.75 10.50 13.25 16.00 км

Распределение ширины окна фильтрации альтиметрических данных
(Andersen, O. B. *Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. Geoid Determination – Theory and Methods*)

- **Увеличение количества** повторных альтиметрических измерений улучшает выборку данных, в том числе позволяет учесть сезонные климатические режимы акваторий.
- **При обработке** данных применяется средства фильтрации, параметры которой подбираются в зависимости от региональных особенностей конкретной акватории.

Точность современных глобальных моделей гравитационного поля Земли



- ✓ Увеличивается разрешающая способность метода.
- ✓ Накапливаются статистические региональные данные о поверхности акваторий.
- ✓ Используются дополнительные решения обработки альтиметрии и подготовки глобальных моделей аномалий гравитационного поля Земли (ГПЗ).

Точность современных моделей относительно морских съемок составляет около **1 мГал** на абиссальных равнинах и более **3 мГал** на градиентных структурах.

Точность представления аномального поля в глобальных моделях зависит от градиента самого поля.

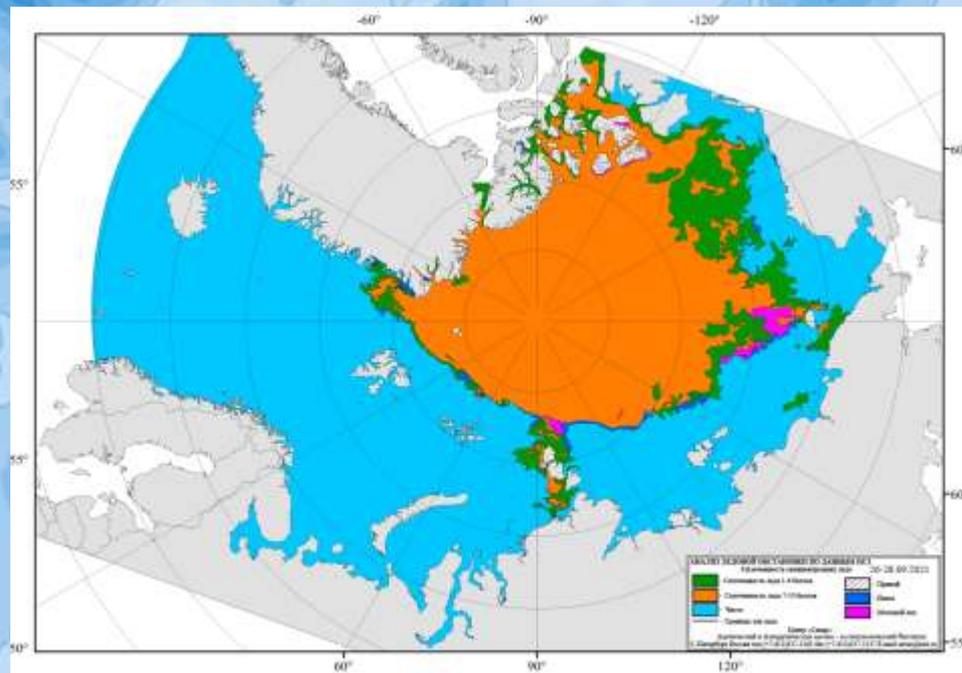
Погрешности современных моделей ГПЗ над различными структурами Мирового океана

Закономерности распределения погрешностей в глобальных моделях не распространяются на высокоширотную Арктику

Как показали ранее масштабные оценки относительно площадных высокоточных морских съемок в Мировом океане каждая модель на схожих по своим характеристикам структурах поля, расположенных в разных областях Земного шара, имеет близкую точность.

При этом **в высоких широтах**, постоянно или сезонно закрытых ледовым покровом, точность альтиметрических данных значительно ниже.

Оценить модельные точности в высоких широтах возможно и с использованием ограниченного количества съёмочной информации. Но полученные оценки будут также важны.

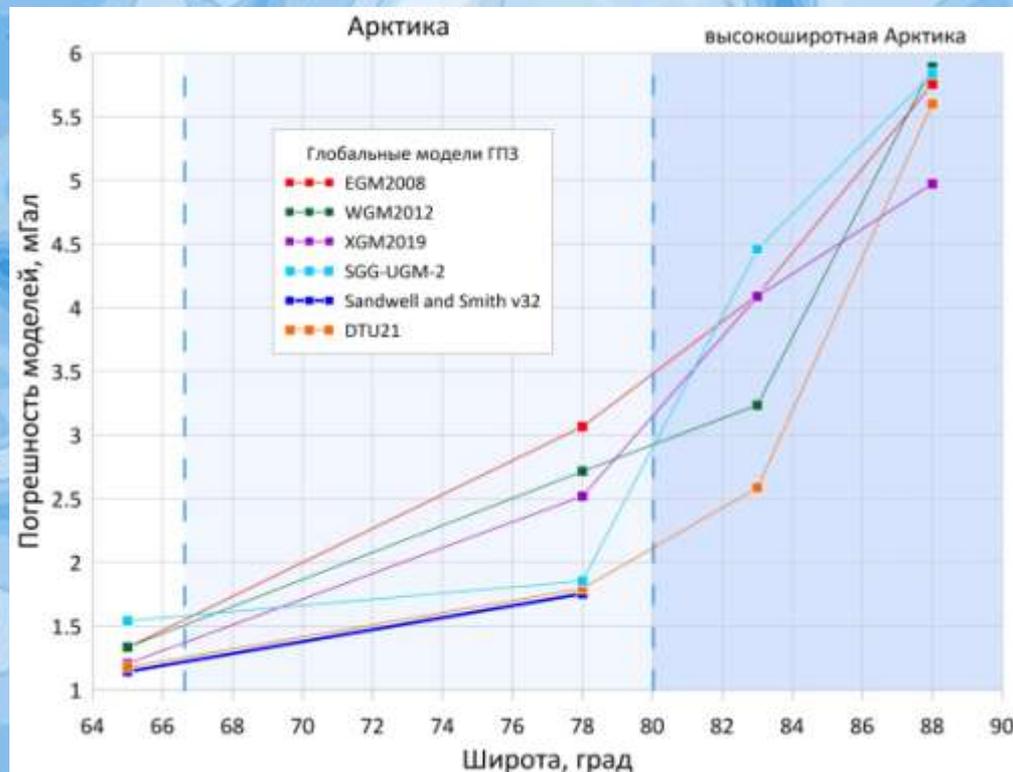


Карта ледовой обстановки в Арктике, благоприятный период, сентябрь 2021. По данным ААНИИ. <https://www.aari.ru/data/realtime>

Погрешность модели в высоких широтах относительно открытых акваторий

Показан пример увеличения погрешностей некоторых известных моделей относительно морских съемок в разных широтах и над похожими структурами дна океана с максимальным полным градиентом аномального поля в пределах 3-5 мГал/км.

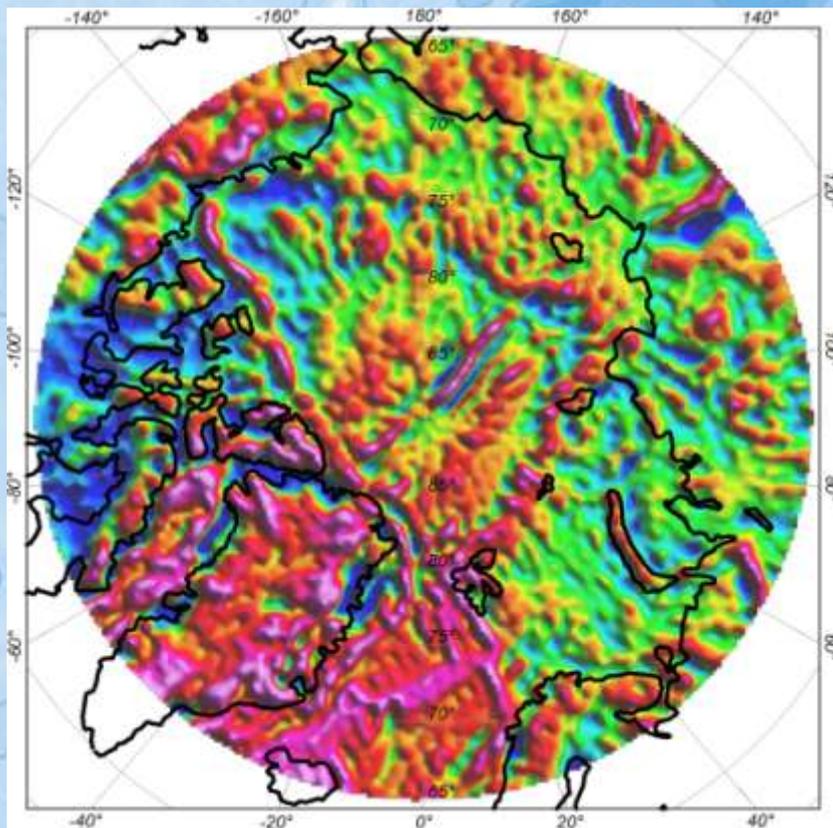
Рассмотрены общие оценки моделей в высоких широтах, изучены пространственные распределения погрешностей над различными геоморфологическими структурами дна Северного Ледовитого океана.



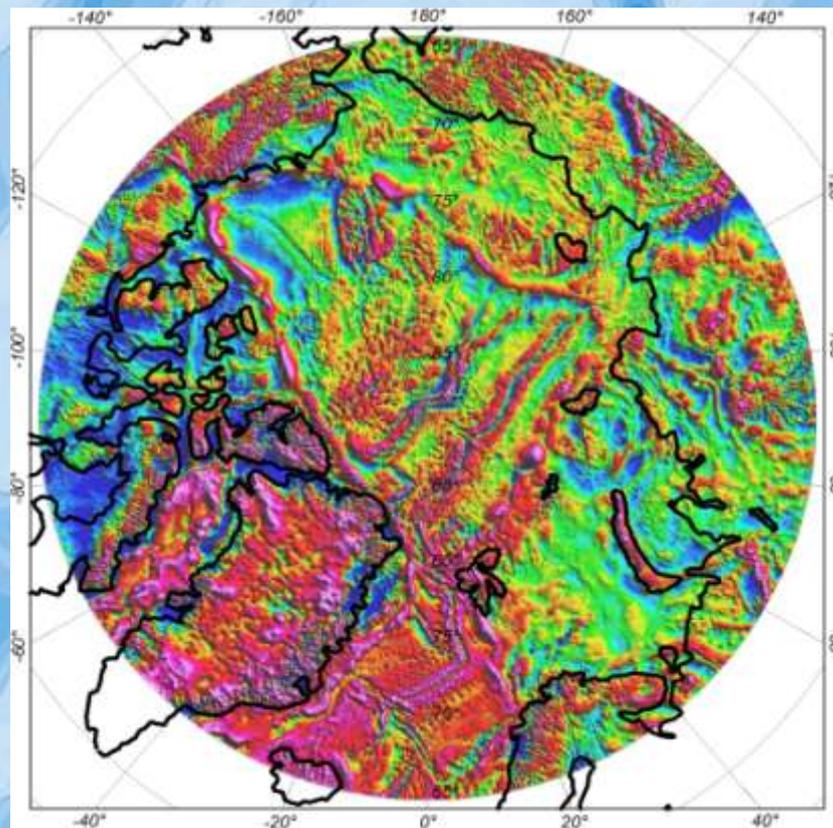
Погрешности современных моделей относительно морских съемок в разных широтах над похожими структурами дна океана с градиентом аномального поля в 3-5 мГал/км.

Главный вопрос – какая из имеющихся моделей лучше в Арктике?

Гравитационное поле высокоширотной Арктики

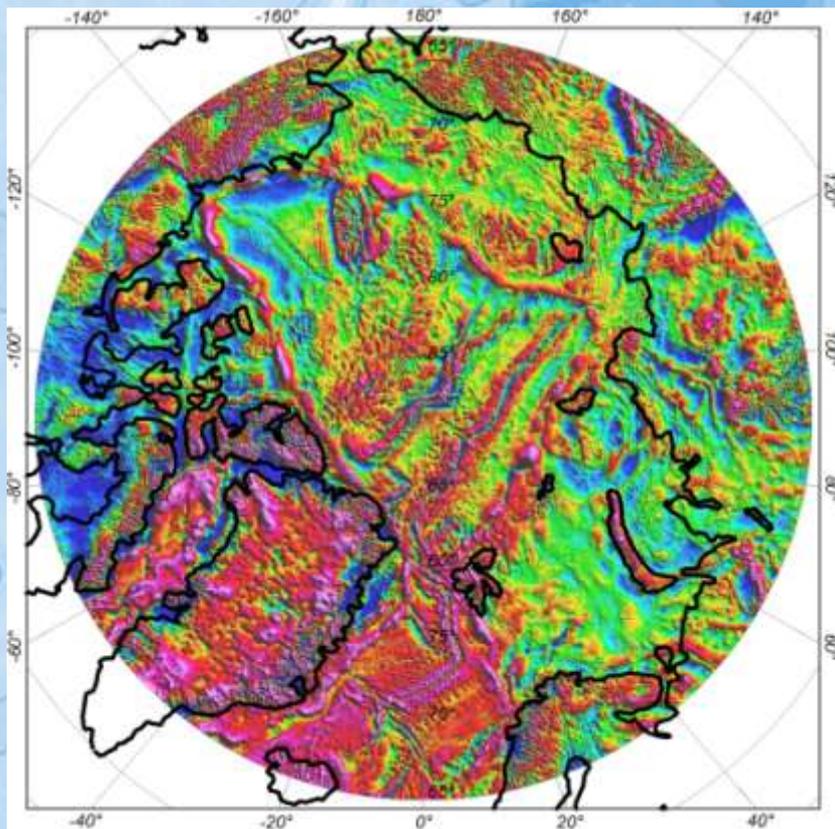


EGM96
(разрешение 0.5°)

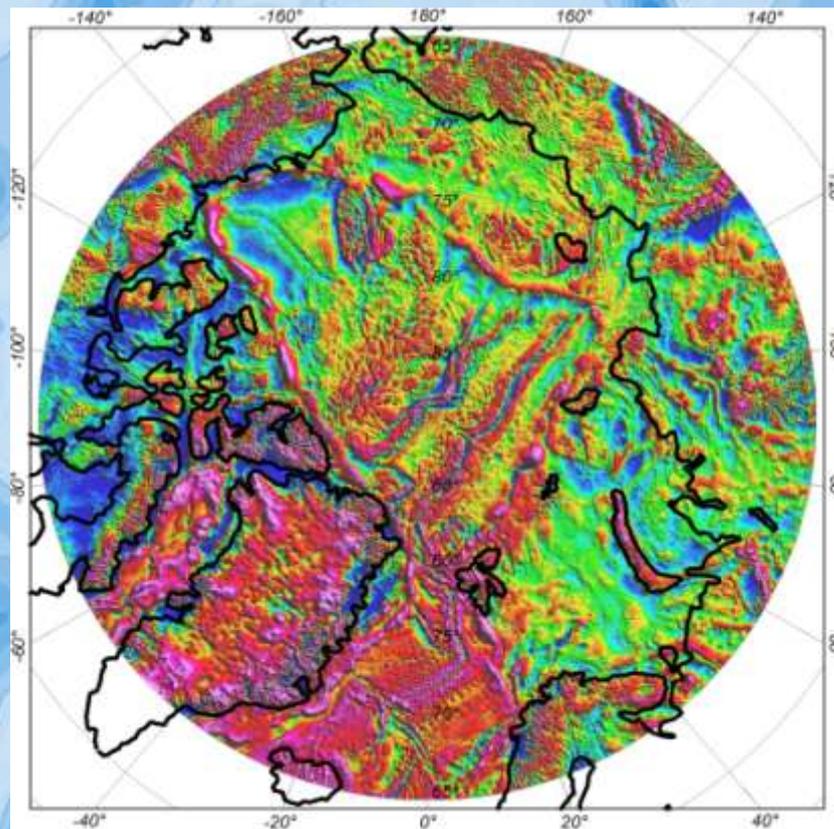


EGM2008
(разрешение 5')

Гравитационное поле высокоширотной Арктики

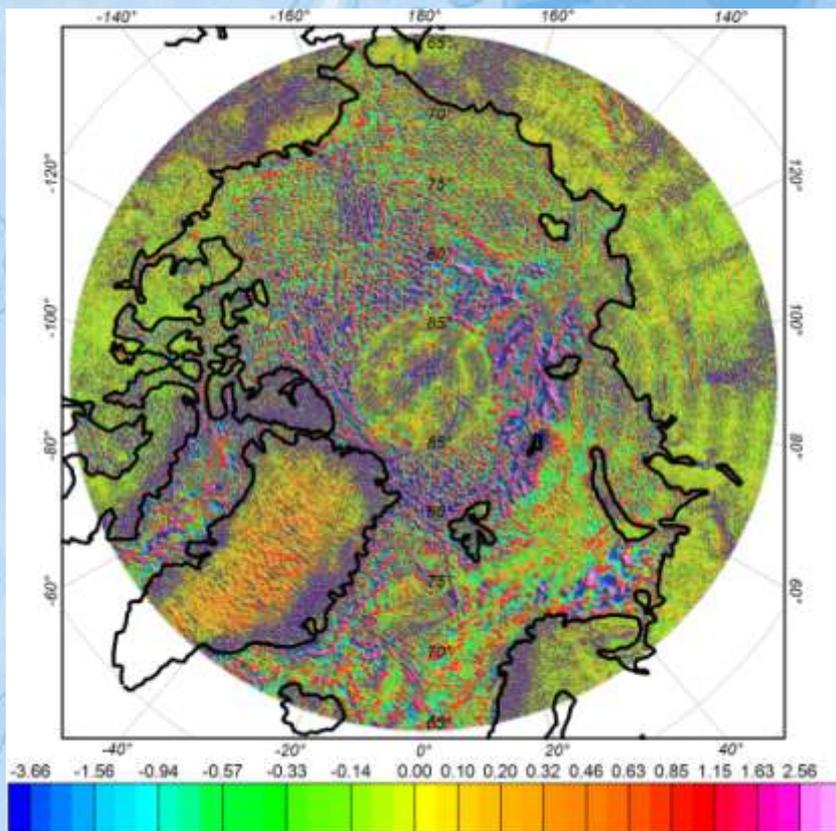


WGM2012
(разрешение 2')



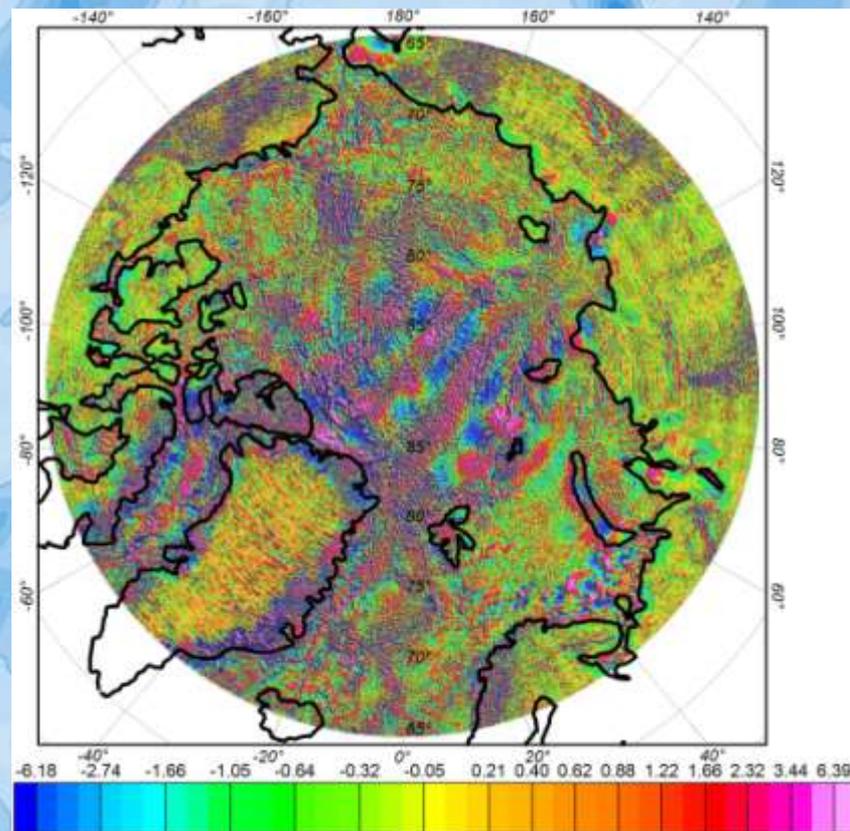
DTU21
(разрешение 1')

Гравитационное поле высокоширотной Арктики разности между моделями



мГал

EGM2008 – WGM2012
(мин **-43.0**; макс **54.1**; СКО **1.9**)



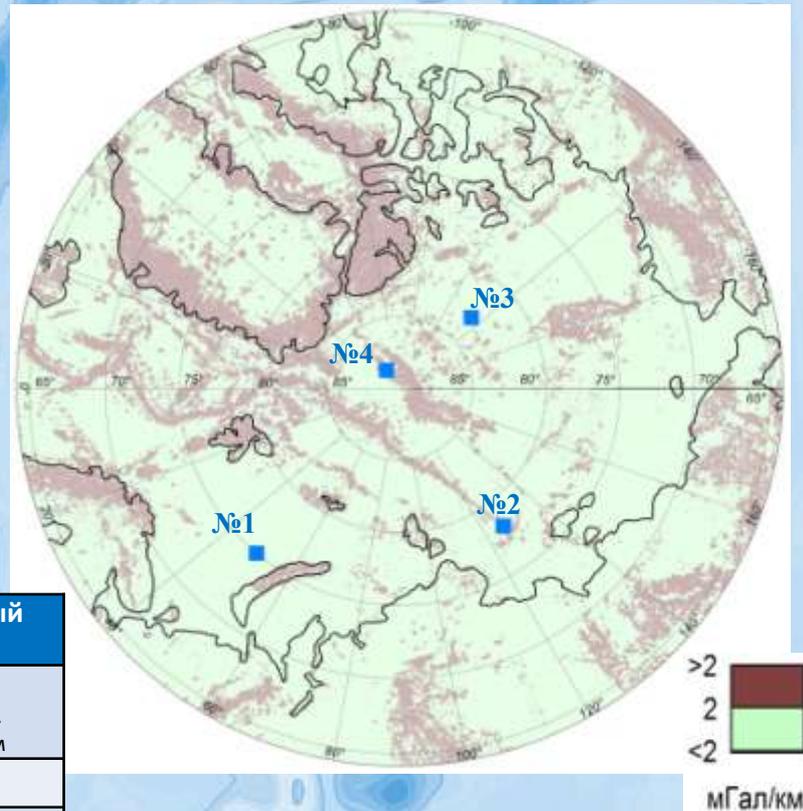
мГал

EGM2008 - DTU21
(мин **-92.6**; макс **138.3**; СКО **3.4**)

Оценка глобальных моделей в Арктике – локальные системы профилей съемки

Для оценки модельных данных в Арктике использовались системы из съемочных профилей, выполненных над определенными структурами - локальные участки или отдельные протяженные профили. Сначала рассмотрены локальные участки.

Области оценки глобальных моделей гравитационного поля в Арктике



Модель	Характеристика локального участка: широта и максимальный градиент поля			
	№1 75° с.ш. 2 мГал/км	№2 78° с.ш. 5 мГал/км	№3 83° с.ш. 4 мГал/км	№4 88.5° с.ш. 7 мГал/км
EGM2008	0.75	3.07	4.10	7.41
WGM2012	0.66	2.72	3.24	7.43
XGM2019	0.90	2.52	4.09	6.74
SSv29.1	0.74	1.92	---	---
SGG-UGM-2	0.73	1.86	4.46	7.45
SSv32.2	0.68	1.76	---	---
DTU21	0.64	1.80	2.59	7.05

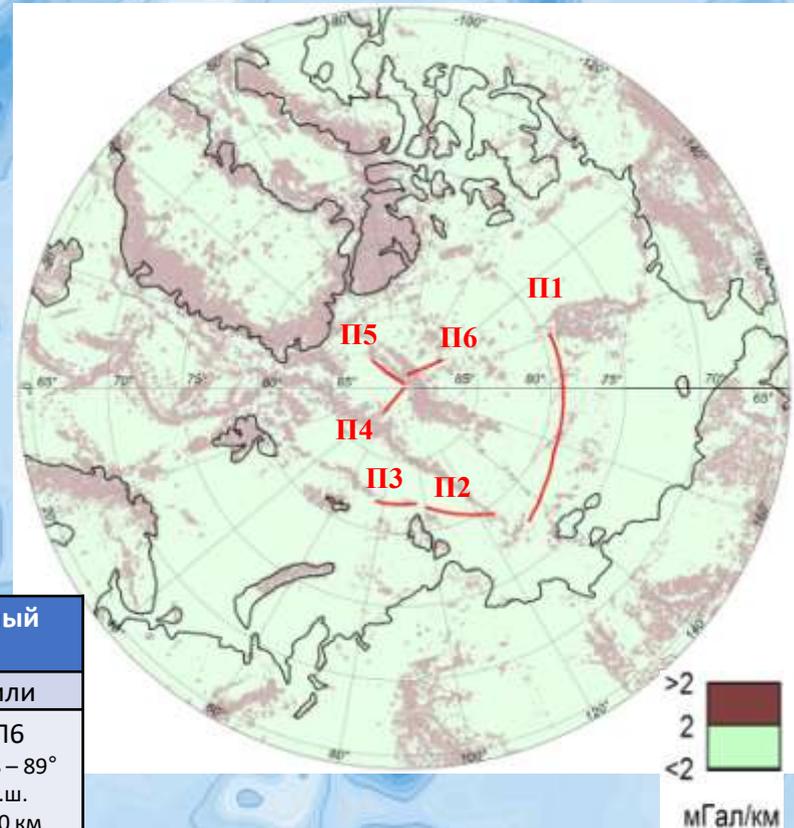
Во-первых, прослеживается однозначная зависимость точности моделей от широты.

Во-вторых, лучшую точность на участках продемонстрировали данные модели **DTU21**.

Оценка глобальных моделей в Арктике – протяженные профили

Для выявления закономерностей в погрешностях глобальных моделей ГПЗ в высоких широтах отдельно рассматривались профили, выполненные вдоль меридианов (субмеридиональные) и профили, выполненные вдоль параллелей (субширотные).

*Области оценки глобальных моделей
гравитационного поля в Арктике*



Модель	Характеристика профиля: широта, протяженность и максимальный градиент поля					
	Субширотные профили			Субмеридиональные профили		
	П1 77.5 – 79.4° с.ш. 1500 км 3 мГал/км	П2 79.4 – 81.6° с.ш. 500 км 4 мГал/км	П3 82° с.ш. 300 км 3 мГал/км	П4 87.8 – 90° с.ш. 250 км 3 мГал/км	П5 87.2 – 89.7° с.ш. 290 км 5 мГал/км	П6 86.8 – 89° с.ш. 280 км 6 мГал/км
EGM2008	4.08	3.94	7.89	4.55	5.22	2.90
WGM2012	3.30	3.07	4.86	4.42	5.46	3.13
XGM2019	2.68	3.41	6.32	6.41	4.21	4.88
SSv29	2.95	---	---	---	---	---
SGG-UGM-2	2.57	3.42	8.14	4.50	5.30	2.77
SSv32	3.57	---	---	---	---	---
DTU21	2.33	2.04	3.48	4.35	5.49	2.50

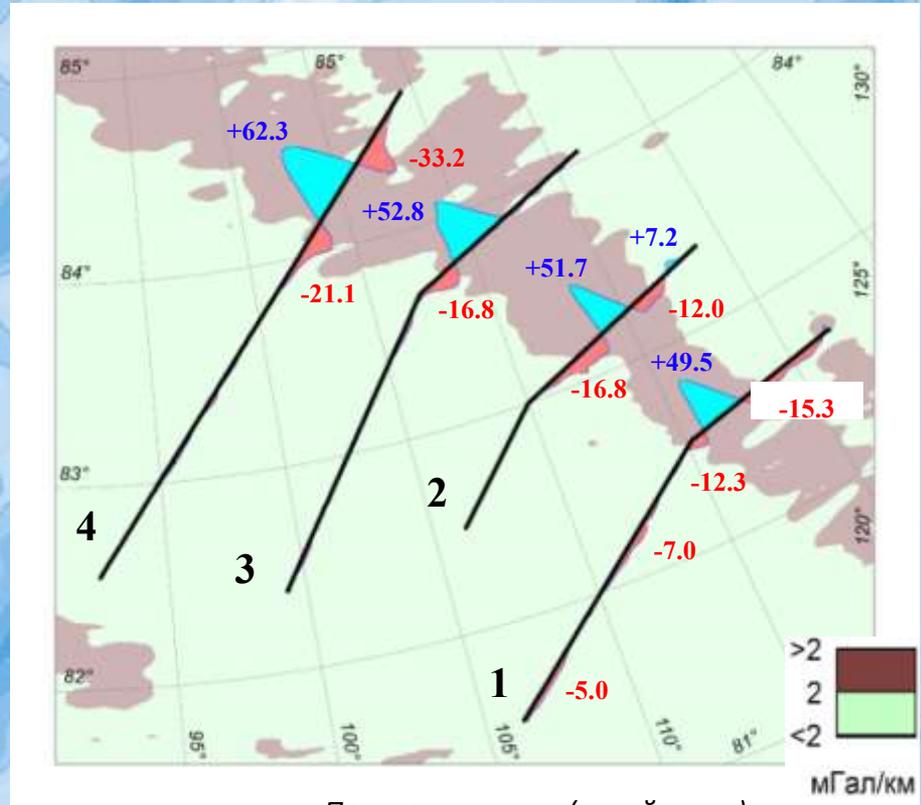
Здесь имеется зависимость и от широты и от градиента поля.

Лучшую точность на длинных профилях также продемонстрировали данные модели DTU21.

Оценка глобальных моделей в Арктике – градиентные геоморфологические структуры

Для более детального анализа погрешностей в модельных аномалиях, обусловленных увеличением полного градиента аномального поля, рассмотрены данные на профилях проходящих перпендикулярно через один из арктических подводных хребтов.

В высокоширотной Арктике погрешность модельных данных на градиентных структурах возрастает относительно точности на абиссальных участках в среднем по моделям: EGM2008 в 4 раза; WGM2012 в 5 раз; XGM2019 в 3.5 раза; SGG-UGM-2 в 4 раза; DTU21 почти в 7 раз.



Положительные (синий цвет) и отрицательные (красный цвет) отклонения данных морской съемки от модели **DTU21** на профилях, проходящих через градиентную структуру. Указаны наибольшие отклонения в мГал. Фоновая погрешность модели вдоль профилей на абиссальной части в пределах 5 мГал.

Модель	Область сравнения на профиле	Номер профиля			
		1	2	3	4
DTU21	> 2 мГал/км	29.49	20.12	22.94	22.37
	< 2 мГал/км	6.04	3.33	4.02	2.22
	Весь профиль	16.09	11.65	12.26	11.89

ВЫВОДЫ

- 1. Точность моделей** в Арктике более всего зависит от двух основных факторов – географической широты и величины полного градиента аномального поля.
- 2. Полученные значения** СКО модельных данных относительно съемок позволили численно оценить увеличение погрешности моделей в Арктике (особенно для широт выше 80° с.ш.): над сходимыми по характеру геоморфологическими структурами в 2 – 4 раза.
- 3. В настоящее время** для получения общих сведений об аномалиях силы тяжести наиболее детальной является модель **DTU21**.

A blue-toned topographic map of Europe, showing various shades of blue representing different elevations and geographical features. The text "СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!" is overlaid in the center in a dark blue, sans-serif font.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!