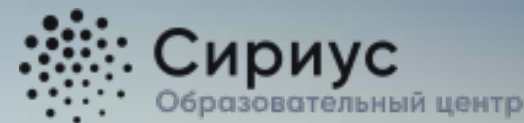




**ИФЗ·РАН**



# **СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ: ОЦЕНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА АКВАТОРИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА**

**к.т.н. Михайлов П.С. , д.т.н. Конешов В.Н., к.ф.-м.н. Погорелов В.В., Соловьев В.Н.,  
д.т.н. Железняк Л.К.**

**Всероссийская научно-техническая конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»  
(МСОИ-2021)**

**МОСКВА 2021**

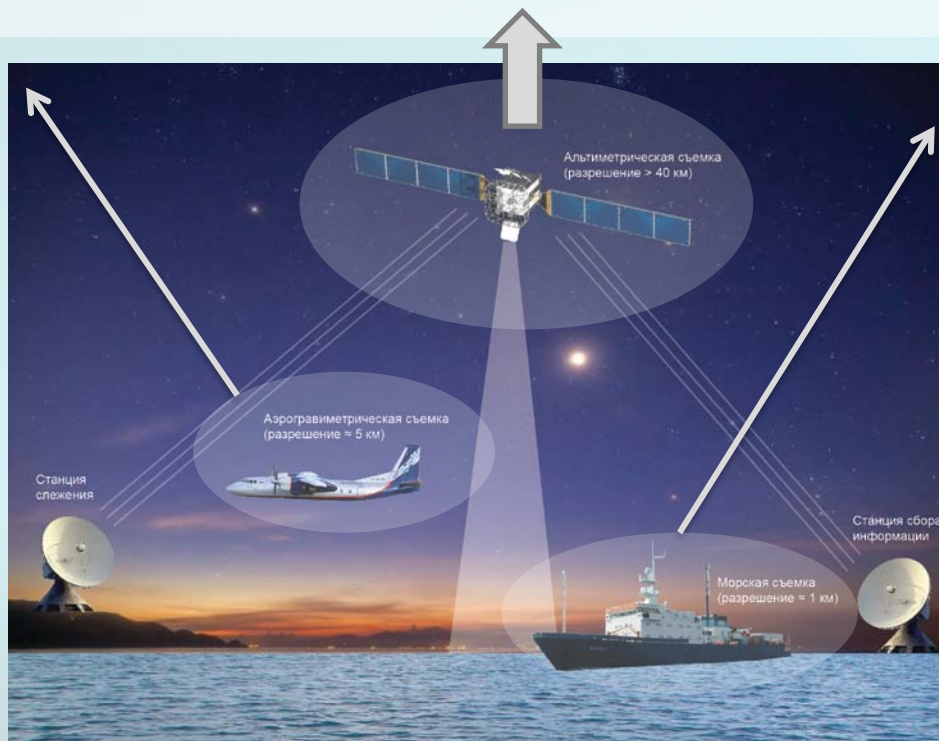
# МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В

## Спутниковая гравиметрия (включая альтиметрию)

- + глобальный охват получаемых данных.
- + спутниковые методы активно развиваются.
- возможности метода имеют пространственные и частотные ограничения.

### Аэрогравиметрия

- + обладает более высокой производительностью.
- + обладает меньшей себестоимостью.
- возможности метода ограничены дальностью полета воздушного судна.
- Необходима наземная инфраструктура обеспечения измерений.



### Морская гравиметрия



- + наиболее детальный метод измерения ГПЗ.
- + позволяет выполнять площадную съемку с точностью в 0.5 мГал и выше.
- имеет самую высокую себестоимость.

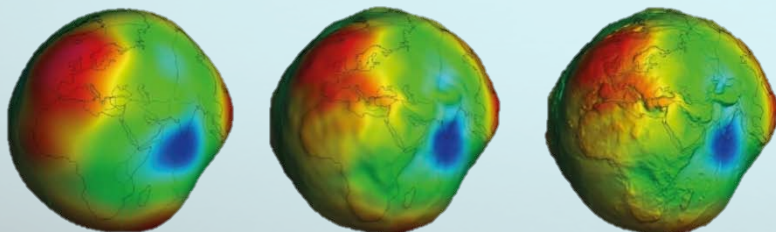


# СОВРЕМЕННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ (АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИЕ) МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

## Максимальное разрешение

комбинированных моделей в 2008 году возросло до 2190 гармоник ( $\approx 5$  км). В настоящее время в открытом доступе имеется более 5 моделей ГПЗ с разрешением 2190 гармоник и более.

Спутниковыми траекторными определениями обеспечивается пространственное разрешение до 300 гармоник ( $<60$  км). Высокая детализация аномалий в Мировом океане определяется методом спутниковой альтиметрии.

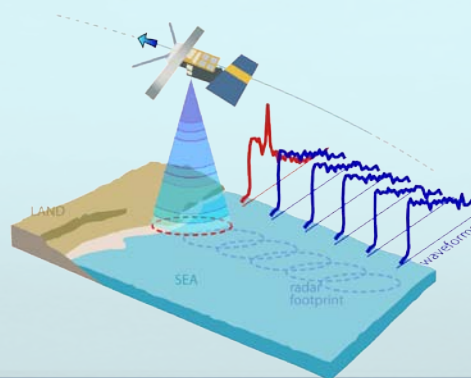


Развитие разрешающей способности глобальных моделей с 15 (1966) до 2190 (2014) гармоник поля

## Вклад альтиметрических данных

Последние модели, созданные на основе **метода спутниковой альтиметрии** имеют пространственное разрешение в  $1'$  ( $\approx 1852$  м) и на неградиентных областях приближаются к точностям площадных съемок.

При этом сам метод альтиметрии имеет разную пространственную точность получаемых данных.



Погрешность альтиметрических измерений на мелководье и в зоне перехода «суша-море»



# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ В АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ

## МОДЕЛЯХ

Области и структуры априорно меньшей достоверности и точности выделяемых аномалий:



**Зоны перехода «суша – море», мелководье**



**Островные дуги**



**Шельфовые области и континентальные склоны**



**Высокие широты**

Погрешность одного альтиметрического измерения включает следующие ошибки:

$$e = e_{orbit} + e_{tides} + e_{range} + e_{retrack} + e_{environment} + e_{noise},$$

где  $e_{orbit}$  – ошибка определения эфемерид спутников;  
 $e_{range}$  – ошибка дальности;  
 $e_{retrak}$  – ошибка схождения повторных измерений;  
 $e_{tides}$  – ошибка приливного эффекта;  
 $e_{environment}$  – ошибка из-за наличия морского льда или берега;  
 $e_{noise}$  – дополнительный шум измерений.

### Первая группа ошибок

**( $e_{orbit}$ ,  $e_{range}$ ,  $e_{retrak}$ )**

определяет глобальную точность метода.

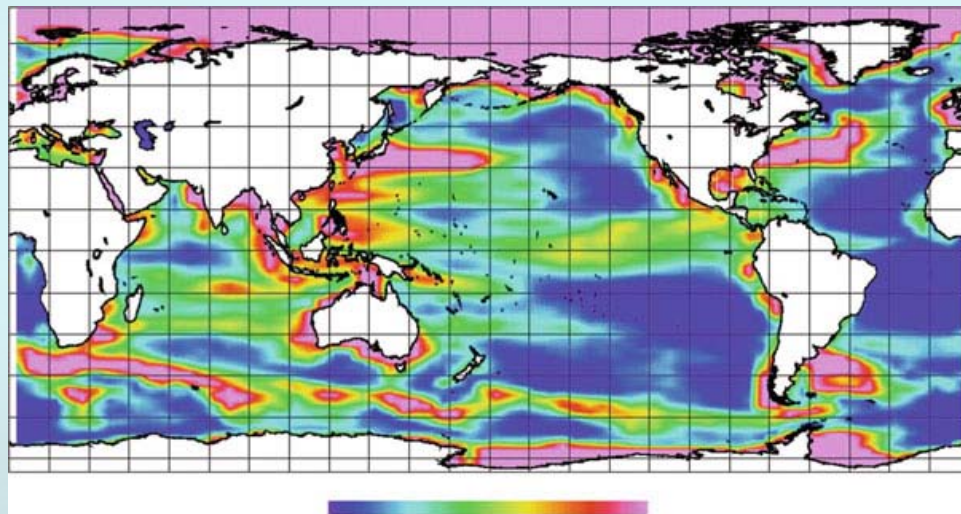
### Вторая группа ошибок

**( $e_{tides}$ ,  $e_{environment}$ ,  $e_{noise}$ )**

обуславливает его региональную неравноточность и пространственные ограничения.

Распределение ширины окна фильтрации альтиметрических данных при расчете модели гравитационного поля DNSC08GRA.

(Andersen, O. B. Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. Geoid Determination – Theory and Methods)



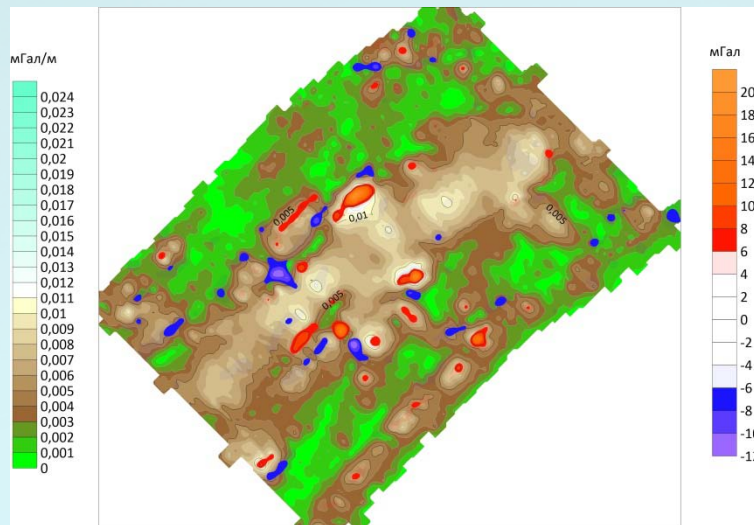
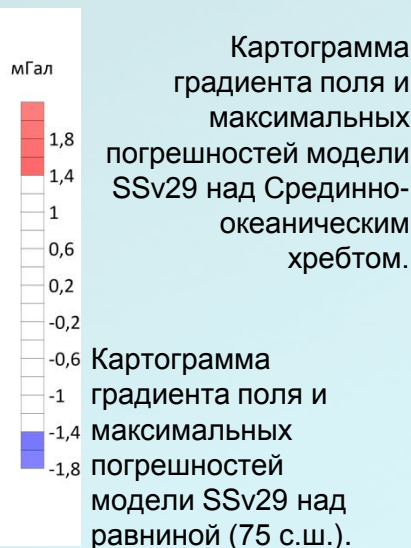
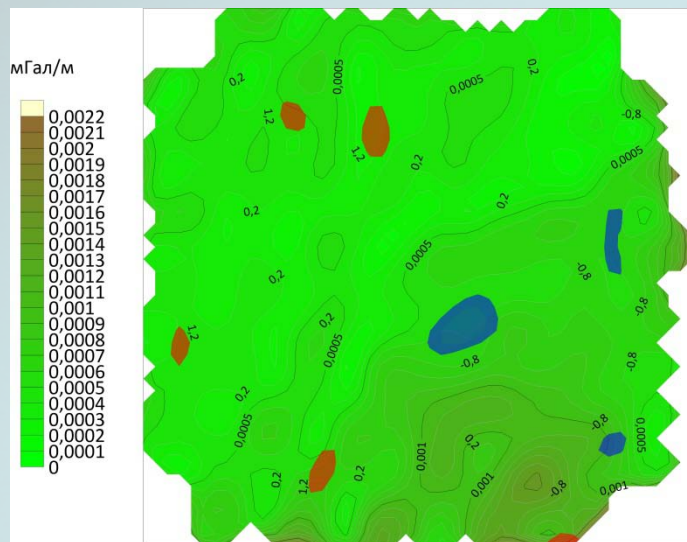
5.00 7.75 10.50 13.25 16.00 км



# АКТУАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СПУТНИКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

## В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

Наиболее достоверной глобальной моделью гравитационного поля в Мировом океане на данный момент является последняя версия альтиметрической модели семейства **Sandwell and Smith v29 (2020)**



Структура Мирового океана	Макс. отклонение, мГал	Мин. отклонение, мГал	ско, мГал
Срединно-океанический хребет	19.92	-11.75	2.78
Континентальный склон	4.88	-8.56	2.01
Равнина (75 с. ш.)	1.92	-1.79	0.72
Равнина (10 с. ш.)	4.09	-3.39	1.17

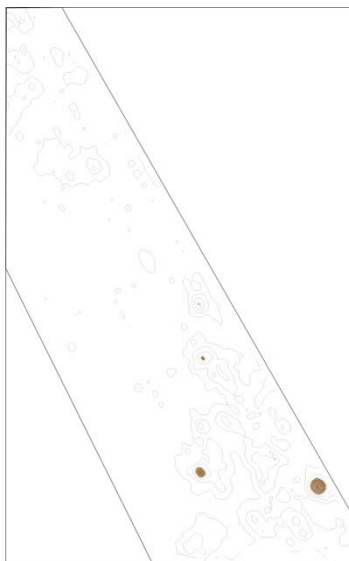
Максимальные погрешности модели (**> 6 мГал**) расположены в наиболее градиентных участках гравитационного поля (**> 0.003 мГал/м**).

Результаты сравнения модели ГПЗ SSv29.1 над различными характерными структурами Мирового океана



# ГРАДИЕНТНЫЕ ОБЛАСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА МОРСКИХ ПОЛИГОНА НАД РАЗНЫМИ МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ СТРУКТУРАМИ

Абиссальная равнина



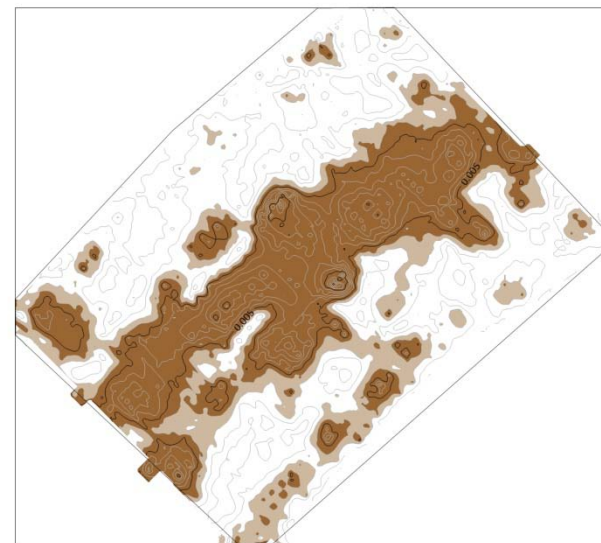
Площадь полигона = 38 788 км<sup>2</sup>  
Площадь градиентных зон = 94 км<sup>2</sup> (< 1%)

Граница континентального склона



Площадь полигона = 60 439 км<sup>2</sup>  
Площадь градиентных зон = 3 542 км<sup>2</sup> (5%)

Срединно-океанический хребет



Площадь полигона = 36 355 км<sup>2</sup>  
Площадь градиентных зон = 15 531 км<sup>2</sup> (43%)

Локализация максимальных погрешностей в альтиметрических моделях гравитационного поля в градиентных областях Мирового океана позволяет более эффективно планировать измерительную кампанию и экономить средства и время при выполнении морских изысканий.

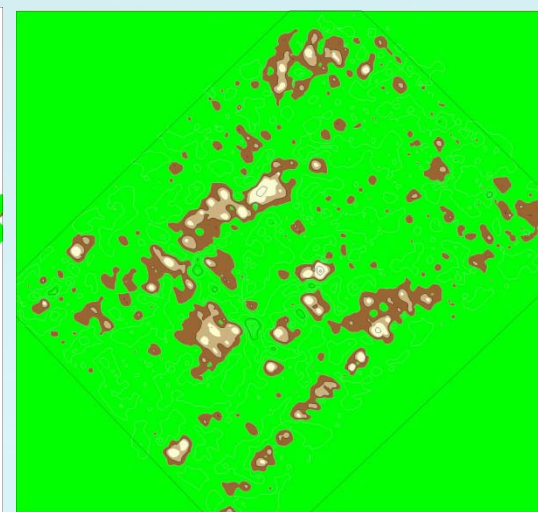
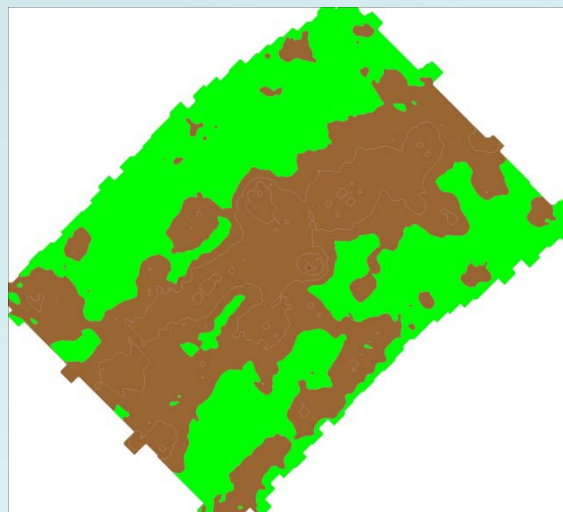
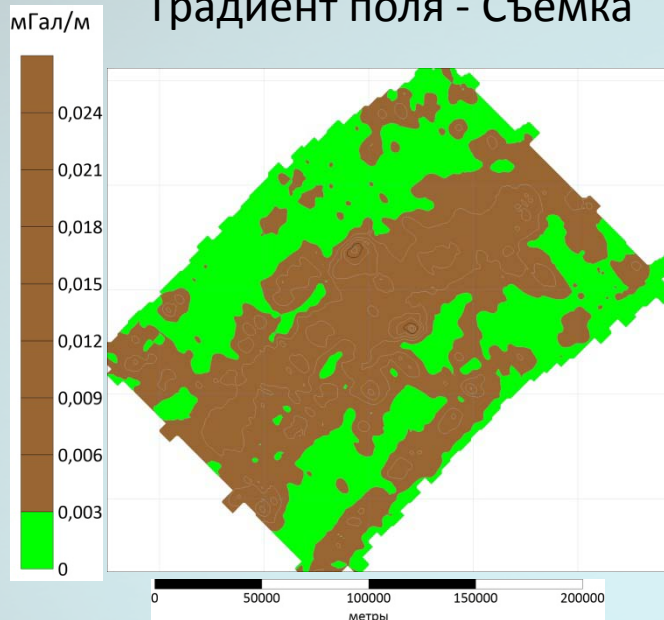


# СРАВНЕНИЕ ГРАДИЕНТОВ ИЗМЕРЕННОГО И МОДЕЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

Градиент поля - Съёмка

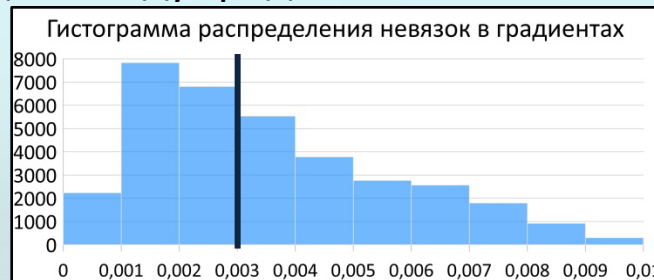
Градиент поля – Sanwell and Smith v 29

Разница между градиентами

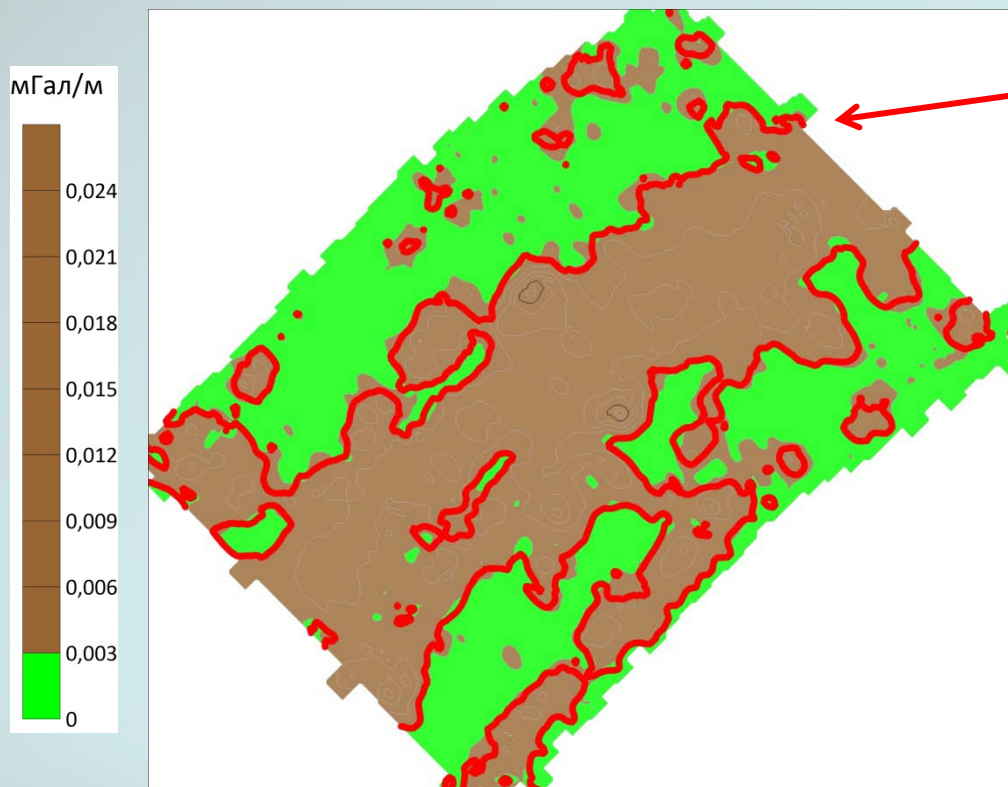


Статистика разницы между градиентами полей:

Minimum: -0.005  
 Maximum: 0.011  
 Mean: 0.0004  
 Root Mean Square: 0.0008



## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ ГРАДИЕНТОВ



Градиент поля – Съемка и модель SSv29

Граница градиента  
0,003 мГал/м  
по модели SSv29

- Внешняя граница градиента модельного поля по выбранному пороговому значению (0,003 мГал/м) совпадает с вычисленной из инструментальных измерений.
- Современная модель в акваториях Мирового океана может быть эффективно районирована по градиенту.
- Такой подход может применяться при проектировании сети съемочных галсов.



# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СЪЕМОК

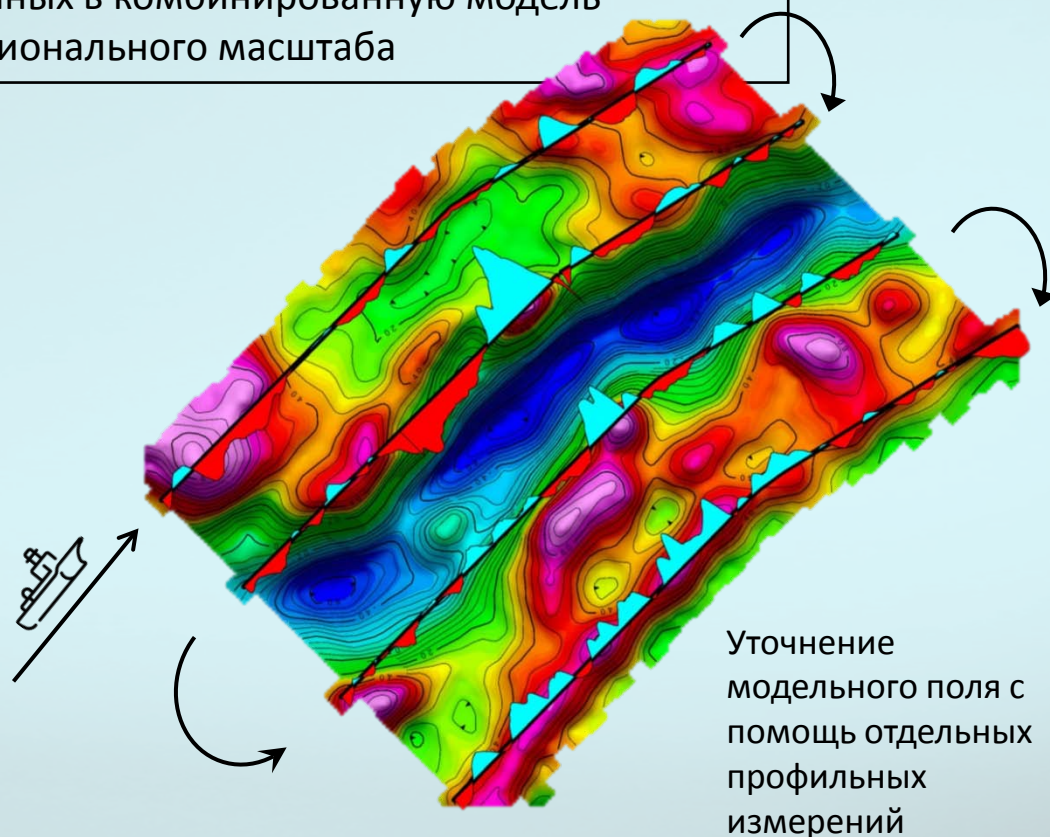
1) Изучение особенностей имеющих глобальных моделей и выбор наиболее подходящей

2) Изучение региональных особенностей модельных данных, предрасчет точностных характеристик модельного поля

3) Предложение и обоснование по уточнению модели в интересующем регионе с учетом характера решаемой задачи

4) Методически обоснованное проектирование конфигурации съемочных линий

5) Объединение глобальных и съемочных данных в комбинированную модель регионального масштаба



## ВЫВОДЫ

- На абиссальных участках Мирового океана точность альтиметрических моделей приближается к точности инструментальных измерений.
- Вычисление второй производной модельного поля может быть инструментом априорного районирования самой модели в Мировом океане.
- Одной из задач инструментальных измерений в настоящее время является проверка моделей в заранее определенных областях.
- Актуальными являются высокоширотные съемки.
- Наиболее перспективным направлением гравиметрии в настоящее время является разработка технологии комбинированного использования модельных и инструментальных данных, включающую аппарат объединения разноточных данных.



**ИФЗ·РАН**



**Сириус**  
Образовательный центр

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**