



# Примеры применения гравиразведки и магниторазведки при изучении глубинного строения Арктики

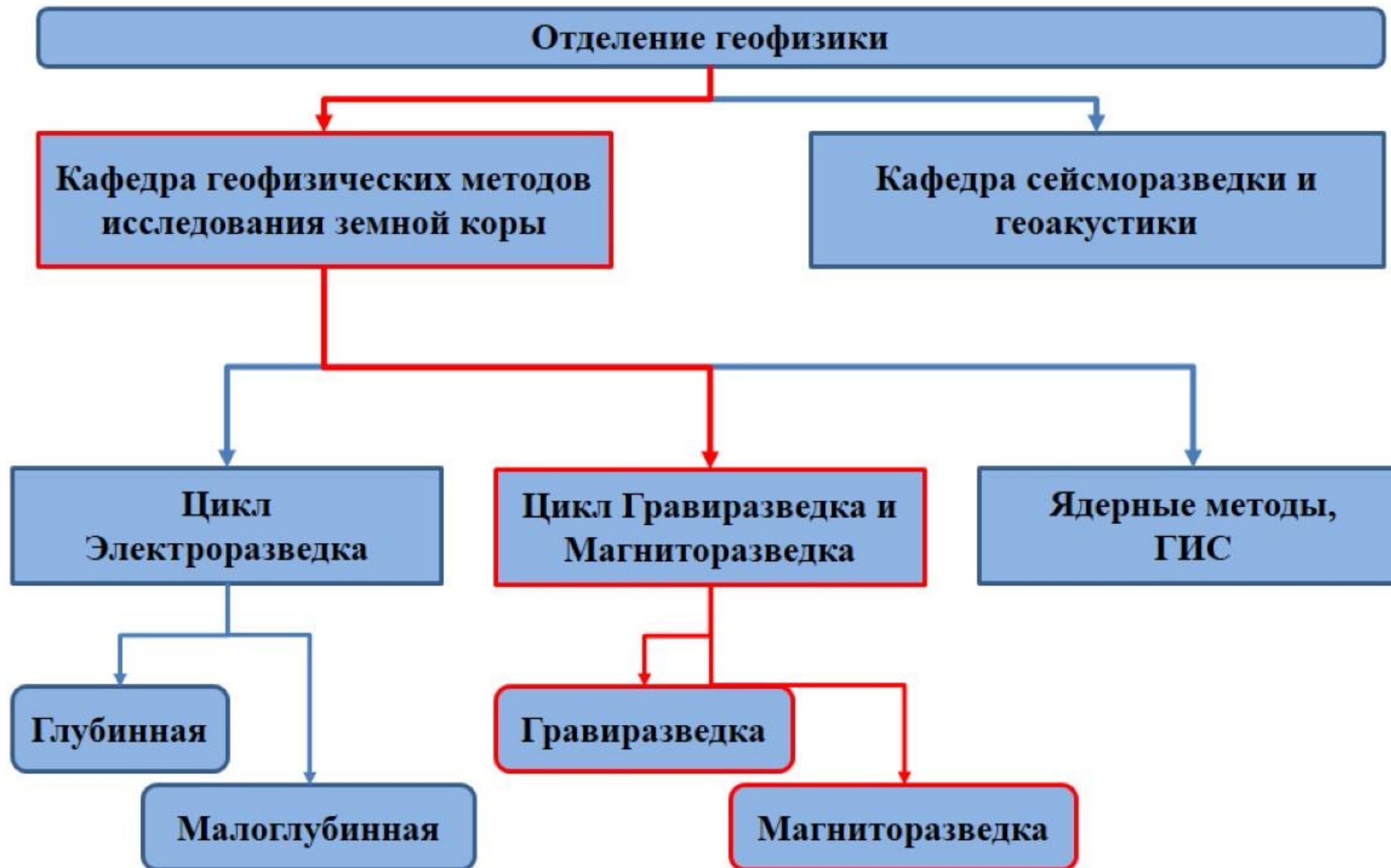
**Автор**

доцент, канд. геол.-мин. н. И.В. Лыгин

*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Кафедра геофизических методов исследования земной коры*

6–9 июня 2022 г.  
Московская область



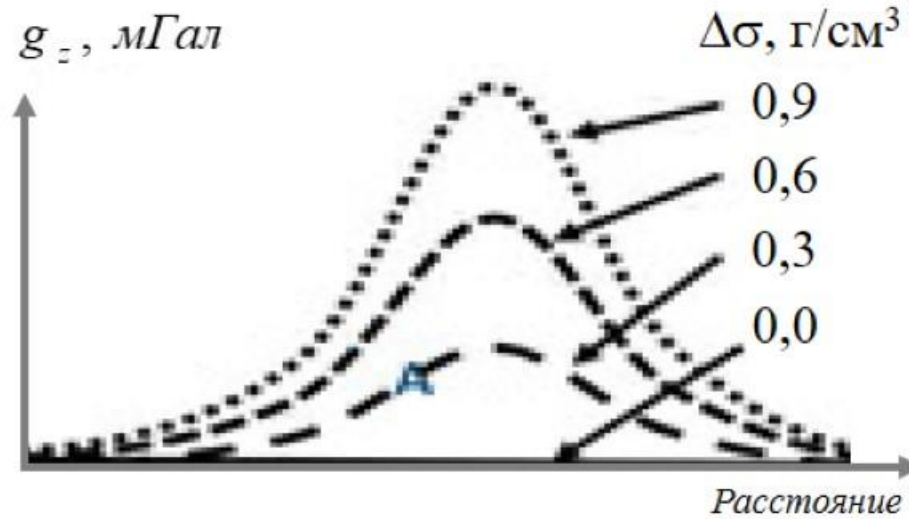


# Теоретическая основа гравиразведки

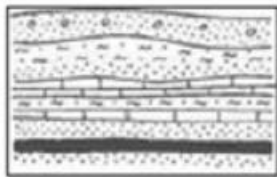
## Принцип возникновения аномалий поля силы тяжести

$$g_z = Gm \frac{\zeta - z}{r^3}$$

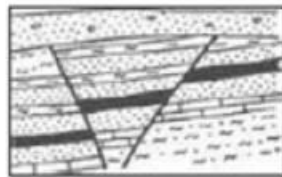
$$m = \Delta \sigma * V$$



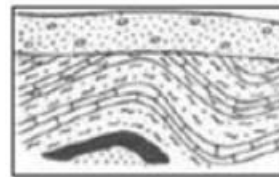
Порода	Плотность (г/см³)	Δσ (г/см³)
Нефть	0,8 - 1,0	-0.15 - +0.05
Вода	1,1 - 1.2	
Почва	1,13 - 2,0	
Песок	1,4 - 2	
Глина	2 - 2,2	
Песчаник	1,8 - 2,8	
Соль	2,15	+0.1
Карбонаты (известняк, доломит)	2,3 - 2,9	
Гранит	2,4 - 2,9	
Габбро	2,8 - 3,1	
.....	.....	



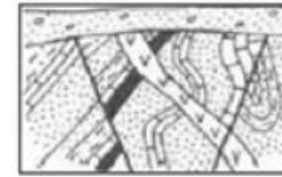
Бассейны горизонтального и моноклиналиного залегания



Бассейны с блоковым строением, осложненными разрывными нарушениями



Бассейны со складчатым строением

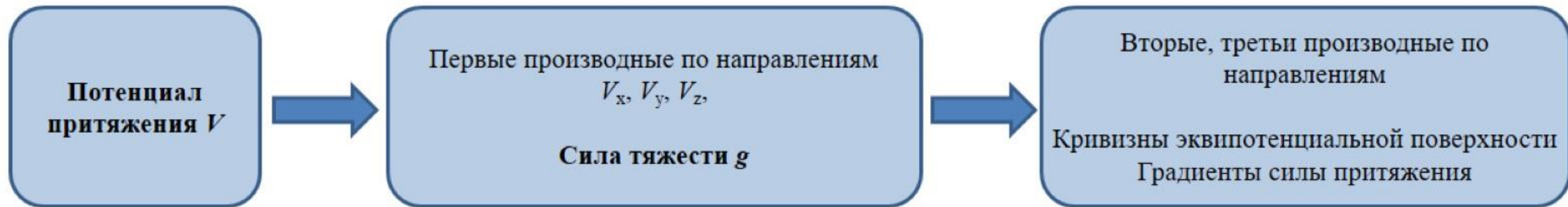


Бассейны со складчатым строением, равными нарушениями и внедрёнными интрузивными телами



Бассейны с контактоизменёнными породами, формами внедрённых тел (интрузивные тела, соляной диапиризм)

Усложнение разреза по тектонической дислоцированности и увеличению петроплотностной неоднородности



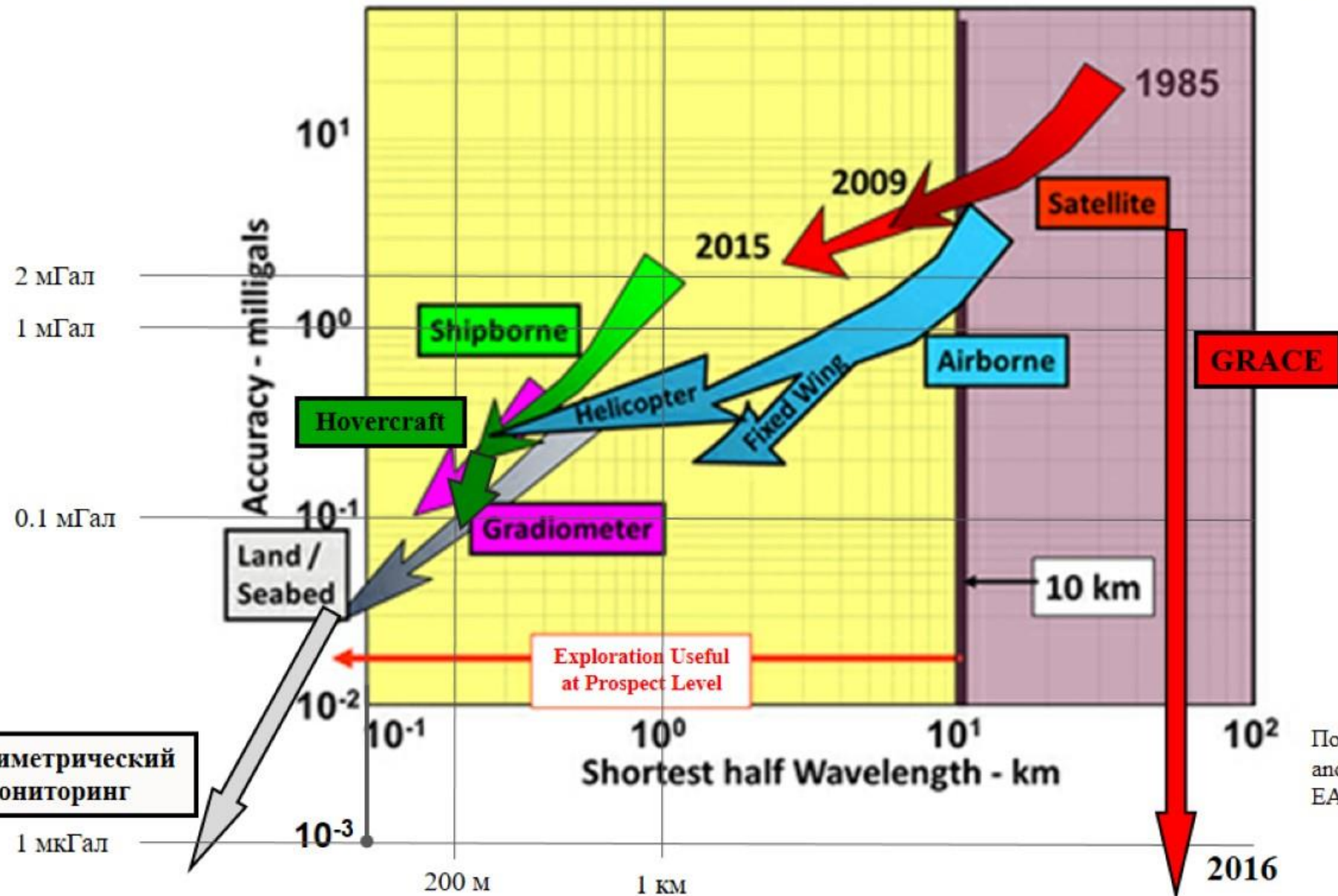
**Средства измерения (аппаратура):**

- Динамические способы  
маятниковый гравиметр,  
баллистический гравиметр,  
градиентометр Bell
- Статические способы  
статический гравиметр,  
градиентометр,  
вариометр



**Условия наблюдения (технология) – гравиметрия:**

- Наземная
- Подземная и донная
- Скважинная
- Аэро- и морская набортная
- Спутниковая
- Альтиметрия

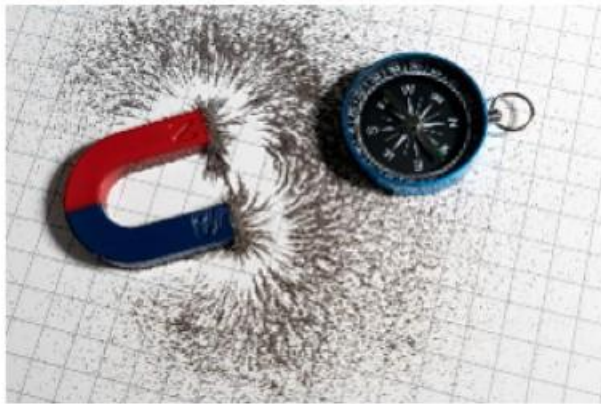
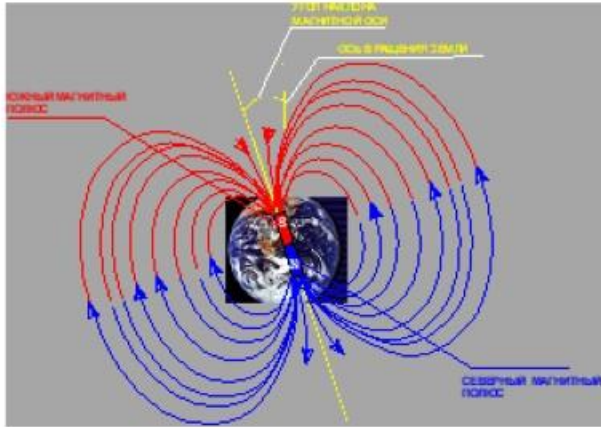


Гравиметрический мониторинг

По [J. Derek Fairhead Advances in Gravity and Magnetic Processing and Interpretation // EAGE, 2015] с дополнениями

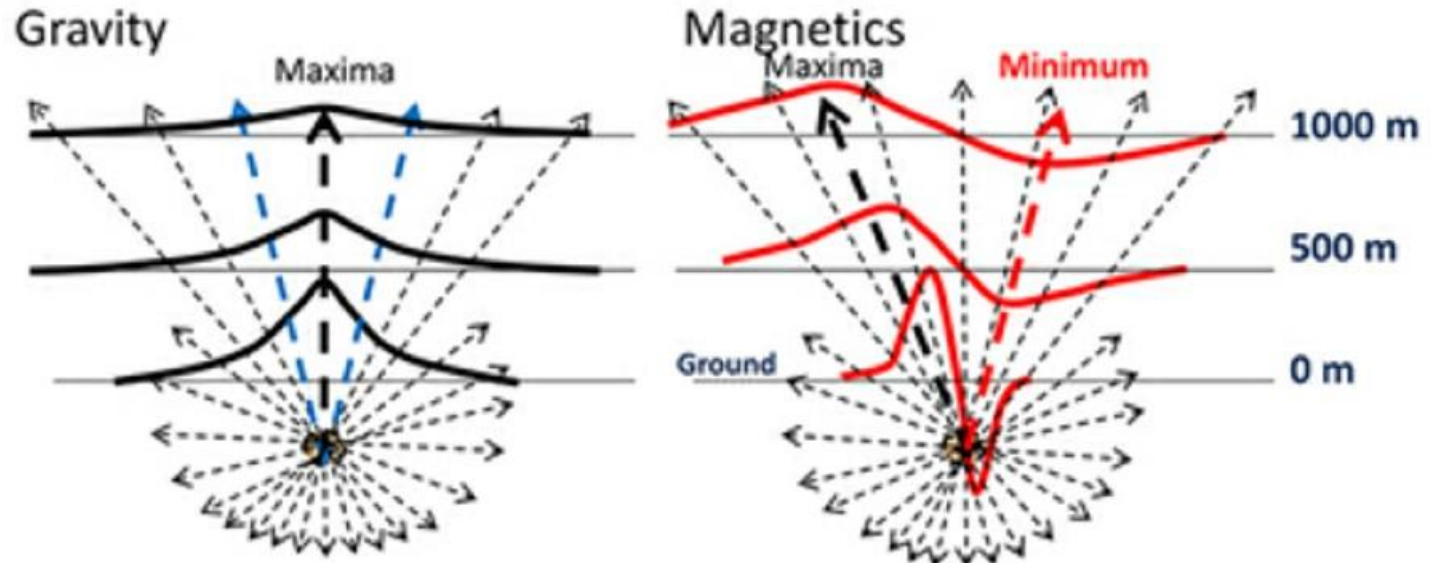
Магнитный потенциал

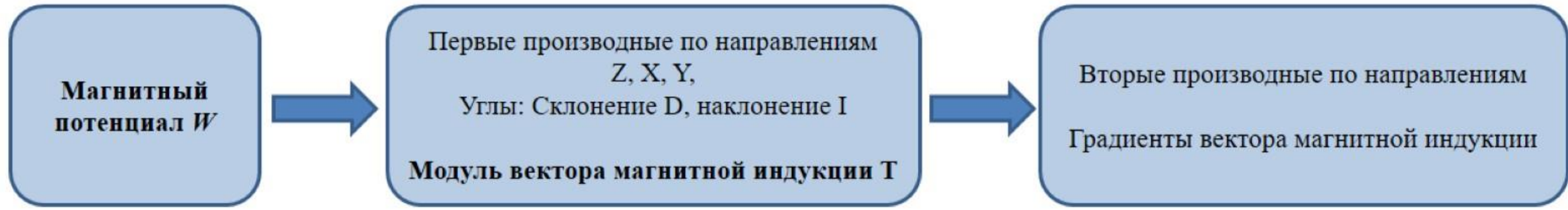
$$U(M_0) = -\frac{\mu_0}{4\pi} \vec{J} \bullet \text{grad} \int_D \frac{1}{r_{MM_0}} d\tau$$



$$\vec{B} = \frac{\mu_0(1 + \kappa N)}{\kappa} \vec{J} \quad \text{Внешнее магнитное поле}$$

- Магнитное поле, как и гравитационное с удалением от источника затухает.
- Экстремумы аномалий магнитного поля при наклонном намагничении (в большинстве случаев, если только не на полюсе) в отличие от гравитационного не находятся над источником. С удалением от источника связь магнитного поля и его источника устанавливается сложнее.
- В то же время, изменение конфигурации аномалий с удалением от источника – это «ключ» к более точному определению параметров магнитного источника.





**Средства измерения (аппаратура):**

- Модульные магнитометры  
Модуль вектора магнитной индукции  $T$  и его компоненты
- Векторные магнитометры

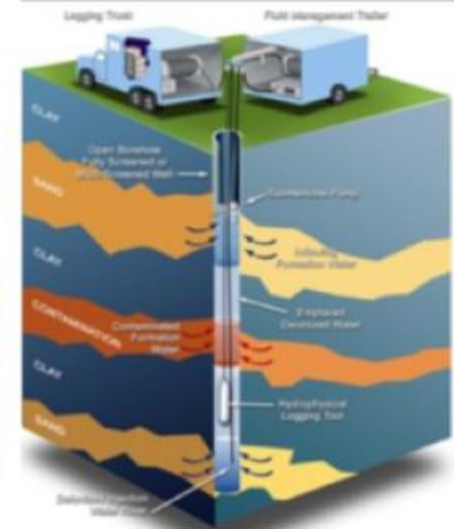
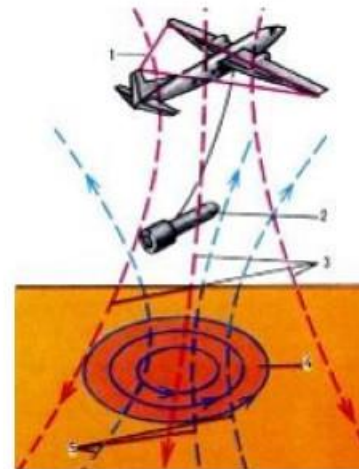
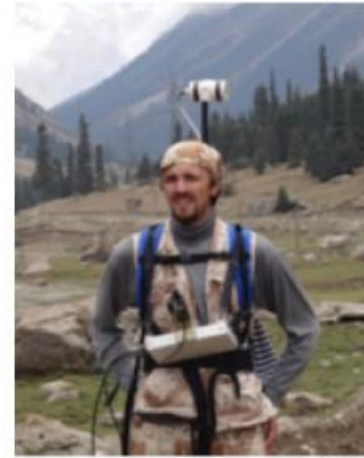


**Условия наблюдения (технология) – магнитометрия:**

- Наземная
- Донная
- Скважинная
- Аэро- и морская (забортная и на АНПА)
- Спутниковая



- Магниторазведочные работы проводятся для решения широкого спектра геологических задач в различных условиях, с разным характером распределения точек наблюдения и используемой магниторазведочной аппаратурой.
- Все это требует определенной классификации видов и типов магнитных съемок в соответствии с разными критериями.
- **По уровню** и среде наблюдений различают магнитные съемки:
  - ✓ наземные,
  - ✓ морские (поверхностные, глубинные, донные),
  - ✓ воздушные (спутниковые, с помощью самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов, воздушных шаров),
  - ✓ подземные (скважинные, в подземных выработках)



**Методика магниторазведки всегда определяется поставленной геологической или иной задачей.**

**Погрешность магнитометрической съемки (обычно не хуже  $\pm 4$  нТл) и Разрешающая способность практически не зависят от условий наблюдений**

# Возможности и ограничения «пассивных» методов геофизики (гравиразведка и магниторазведка) в сопоставлении с «активными» методами (методы зондирования)



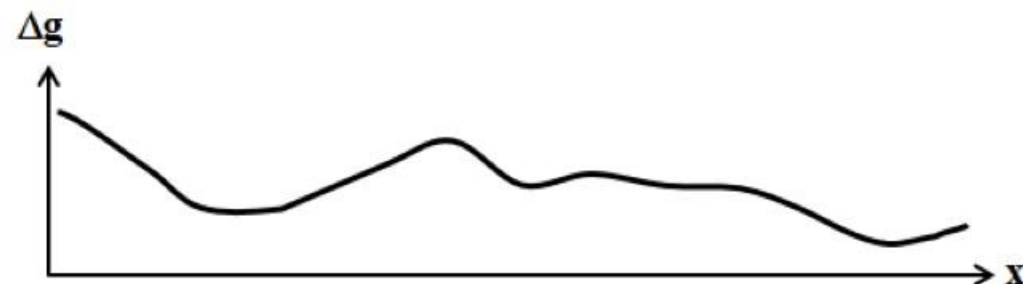
**Гравиразведка или магниторазведка – одно измерение в точке.**

Одно измерение в точке характеризует весь подстилающий геологический разрез.

Сложности при извлечении информации для конкретных интервалов.

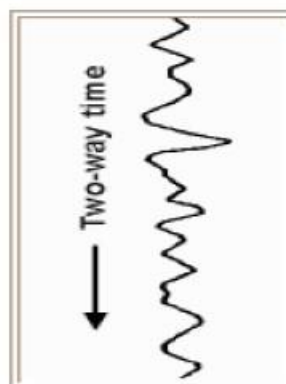


*Профиль*

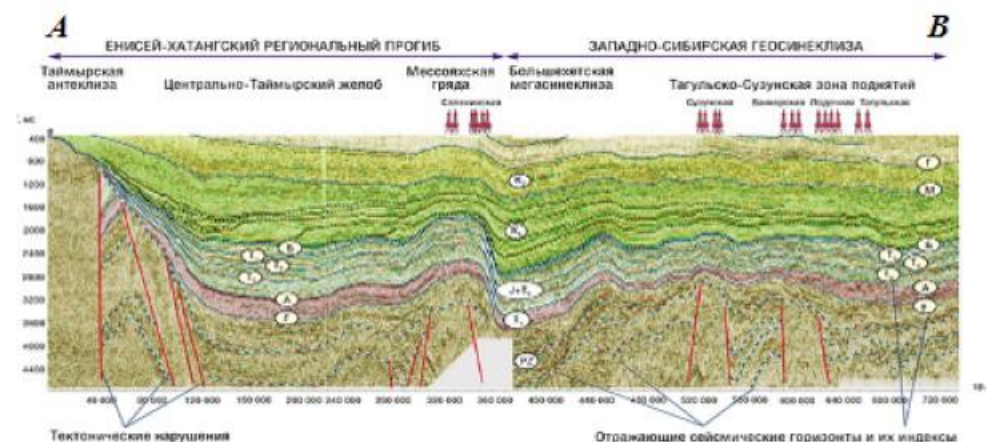


**Сейсморазведка – зондирование, трасса.**

Множество значений по вертикали характеризует конкретные физические границы в подстилающем разрезе.



*Вертикальный разрез*



**Профилирование vs Зондирование**

# Возможности и ограничения «пассивных» методов геофизики (гравиразведка и магниторазведка) в сопоставлении с «активными» методами (методы зондирования)



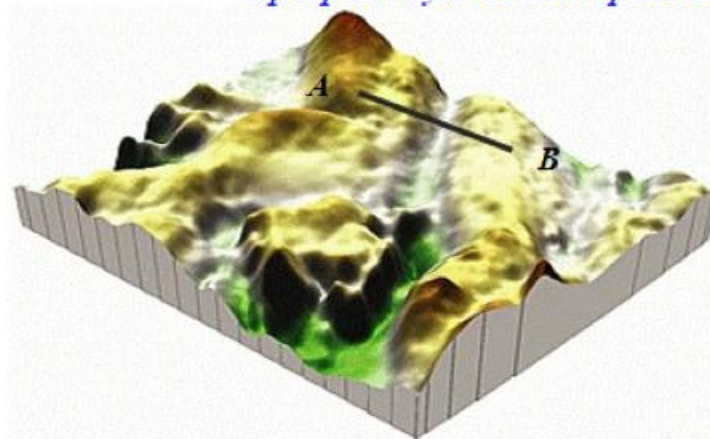
## Гравиразведка или магниторазведка – одно измерение в точке.

Одно измерение в точке характеризует весь подстилающий геологический разрез.

Сложности при извлечении информации для конкретных интервалов.



*Площадные наблюдения дополняют профильную сейсморазведку*

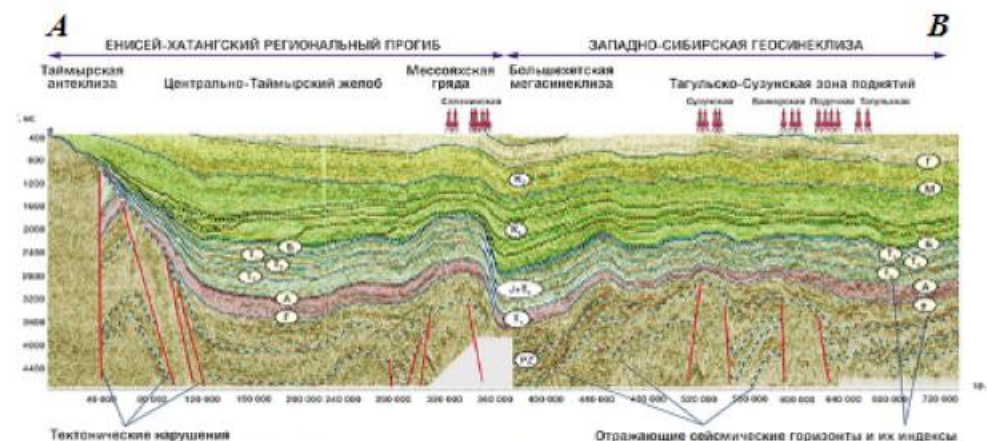
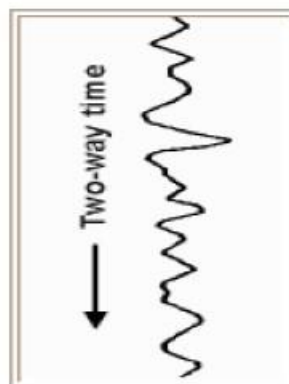


Трехмерная модель гравитационного поля

## Сейсморазведка – зондирование, трасса.

Множество значений по вертикали характеризует конкретные физические границы в подстилающем разрезе.

*Вертикальный разрез*



*Гравиразведка эффективна при «слабой» изученности (редкая сеть сейсмических профилей). При плотной сети сейсмических профилей, тем более после выполнения 3Д сейсморазведки, гравиразведочные работы обычно малоэффективны.*

# Геологические задачи на разных этапах Геолого-Разведочных Работ и характерные параметры

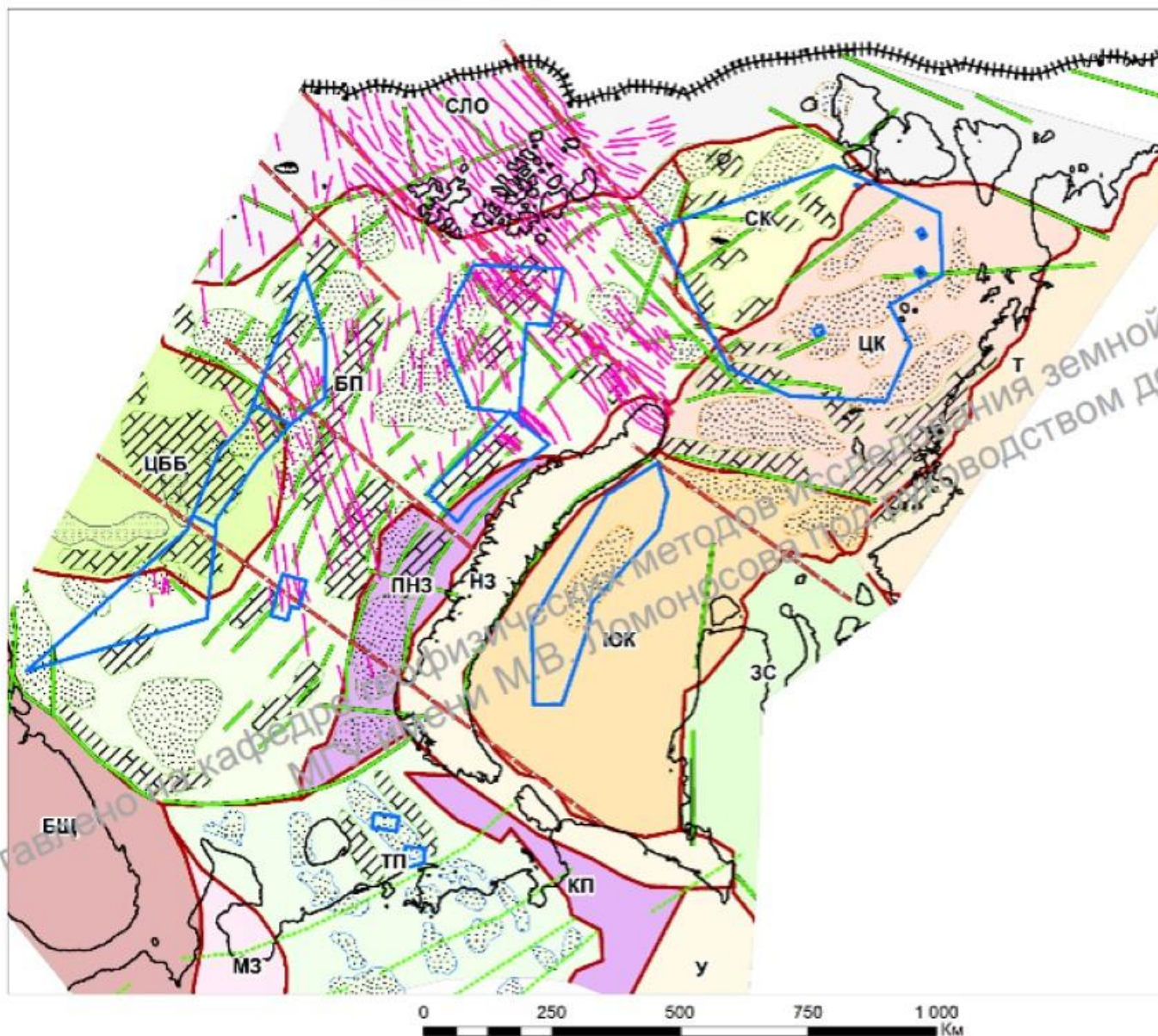


Этап ГРР	Геологические задачи	Масштаб работ	Характерные размеры объектов, км	Характерные амплитуды аномалий	
				$\Delta g_{ан}$ , мГал	$T_a$ , нТл
Региональный	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выявление крупных геотектонических структур, их границ, изучения особенностей фундамента.</li> </ul>	1: 1 000 000 1: 200 000	> 10	>2	$0.1 - n \cdot 10^3$
Поиск	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выявление структур для поисковых работ.</li> </ul>	1: 200 000 1: 100 000 1: 50 000	2 – 10	1 – 2	$0.1 - n \cdot 10^3$
Разведка	<ul style="list-style-type: none"> <li>Изучение неоднородности вещественного состава комплексов осадочного чехла.</li> <li>Картирование дизъюнктивных нарушений.</li> </ul>	1: 100 000 1: 50 000 1: 25 000	0.5 – 5	0,2 – 1	$0.1 - n \cdot 10^3$
Оценка запасов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уточнение типа залежи. Уточнение характера изменения фильтрационно-емкостных свойств (пористость, насыщенность).</li> <li>Построение детальной геологической модели залежи/месторождения.</li> </ul>	1: 25 000 1: 10 000	< 2	< 0,2	$0.1 - n \cdot 10^3$
Эксплуатация	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уточнение гидродинамической модели в процессе эксплуатации нефте-(газовых) месторождений, подземных хранилищ газа.</li> </ul>	1: 25 000 1: 10 000	0.5 – 5	0,001 – 0,05	$0.1 - n \cdot 10^3$
Инженерно-геологические изыскания	<ul style="list-style-type: none"> <li>Поиск пустот, подземных коммуникаций, картирование палеодолин.</li> <li>Археологические исследования.</li> <li>Изучение неоднородности ВЧР (мерзлые породы, талики, грязев.вулк., магматические комплексы, траппы, приповерхностные разломы).</li> <li>Мониторинг оползневых процессов, гидродинамического режима (УГВ, обводненность).</li> <li>Выявление геологических опасностей на промышленных объектах (деформации фундаментов, обводнение, образование полостей).</li> </ul>	1: 5 000 и крупнее	0,001 – 0,1	0,001 – 0,1	$0.1 - n \cdot 10^3$





Структурно-тектонический анализ  
потенциальных полей  
(Баренцево-Карский регион)



## Линейные особенности потенциальных полей

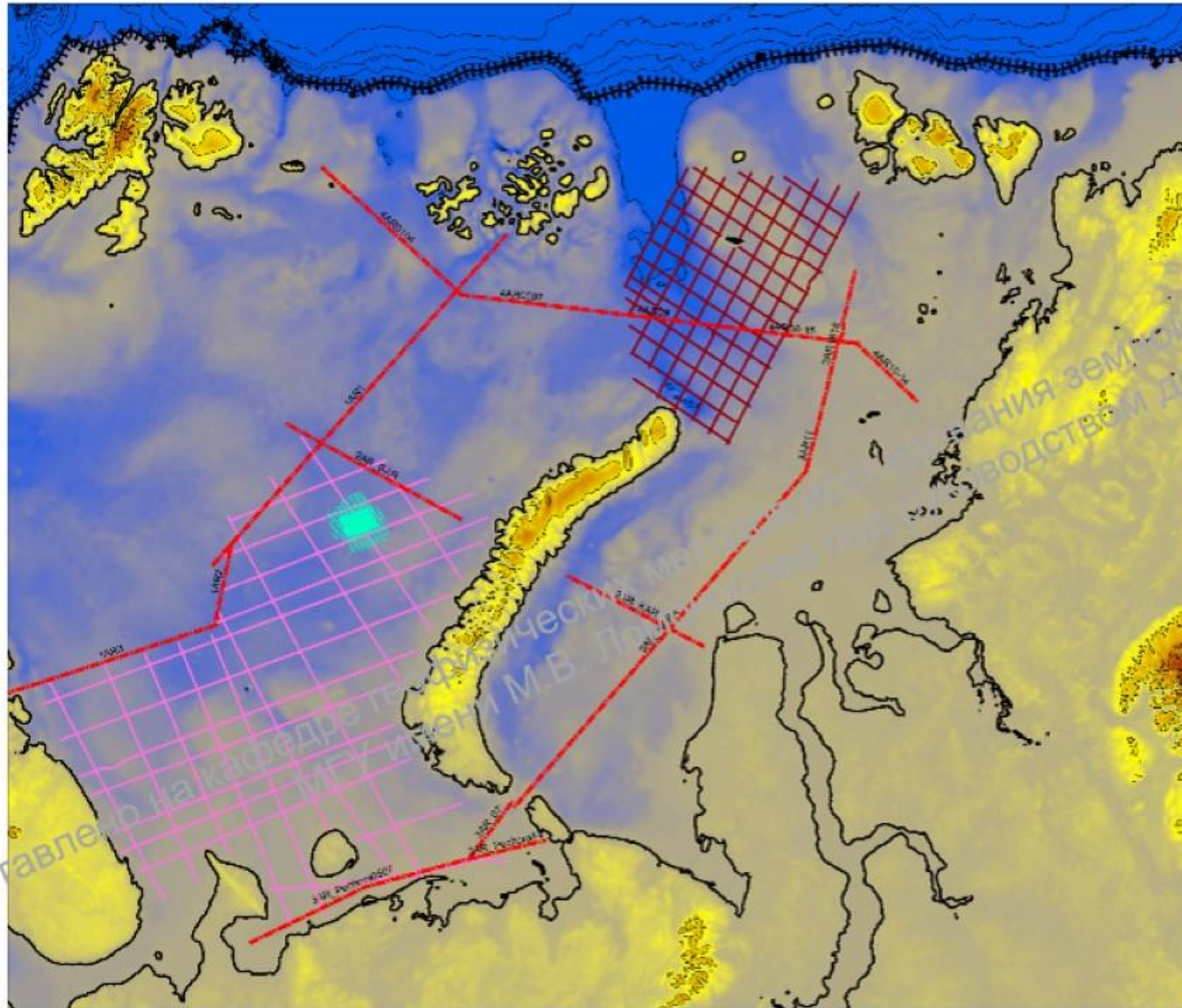
- региональные зоны предполагаемой тект. активности
- линейные особенности регионального поля
- особенности рег. поля требующие объяснения
- Границы блоков фундамента
- ▨ Положительные структуры в Карском и Баренцевом морях
- ▨ Дислокации Карского моря
- ▨ дислокации Баренцева моря
- ▨ зоны соляной тектоники
- ▨ Дислокации Тимано-Печорского региона

## Блоки фундамента

- Баренцевоморская плита (БП)
- Центральная часть Баренцевоморской плиты (ЦББ)
- Северо-Карская плита (СК)
- Центрально-Карская область (ЦК)
- Южно-Карская область (ЮК)
- Зона ближайшего воздействия Северного Ледовитого океана (СЛО)
- Предновоземельский прогиб (ПНЗ)
- Кортавихинский прогиб
- Линейное складчатое сооружение Новая Земля (НЗ)
- Линейное складчатое сооружение Урал (У)
- Линейное складчатое сооружение Таймыра (Таймырский аккреционный пояс) (Т)
- Область неглубокого залегания фундамента Балтийский щит (БЦ)
- Мезенский прогиб (МЗ)
- Тимано-Печорская плита (ТП)
- Западно-Сибирская плита (ЗС)

- ▭ Лицензионные участки
- Береговая линия
- Дайки
- ▨▨▨ Континентальный склон

Составлено кафедрой физико-географических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова по материалам производством доц. И.В. Пивоварова



## Рельеф дна и суши

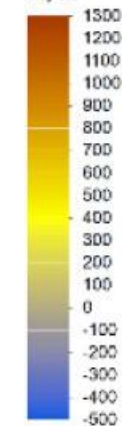
### Источники данных:

- геодезические съемки на суше,
- эхолотирование на акваториях,
- спутниковые методы.

- Профили AR
- Лудловская площадь
- Печора-Баренцевская съемка
- Ушаково-Новоземельская площадь, 2011 г.
- Береговая линия
- Континентальный склон
- Изогипсы. Сечение 500 м

### Рельеф дна и суши

Н, м



Улучшение  
точности и детальности

Составлено на кафедре географии и геоинформатики МГУ им. М.В. Ломоносова



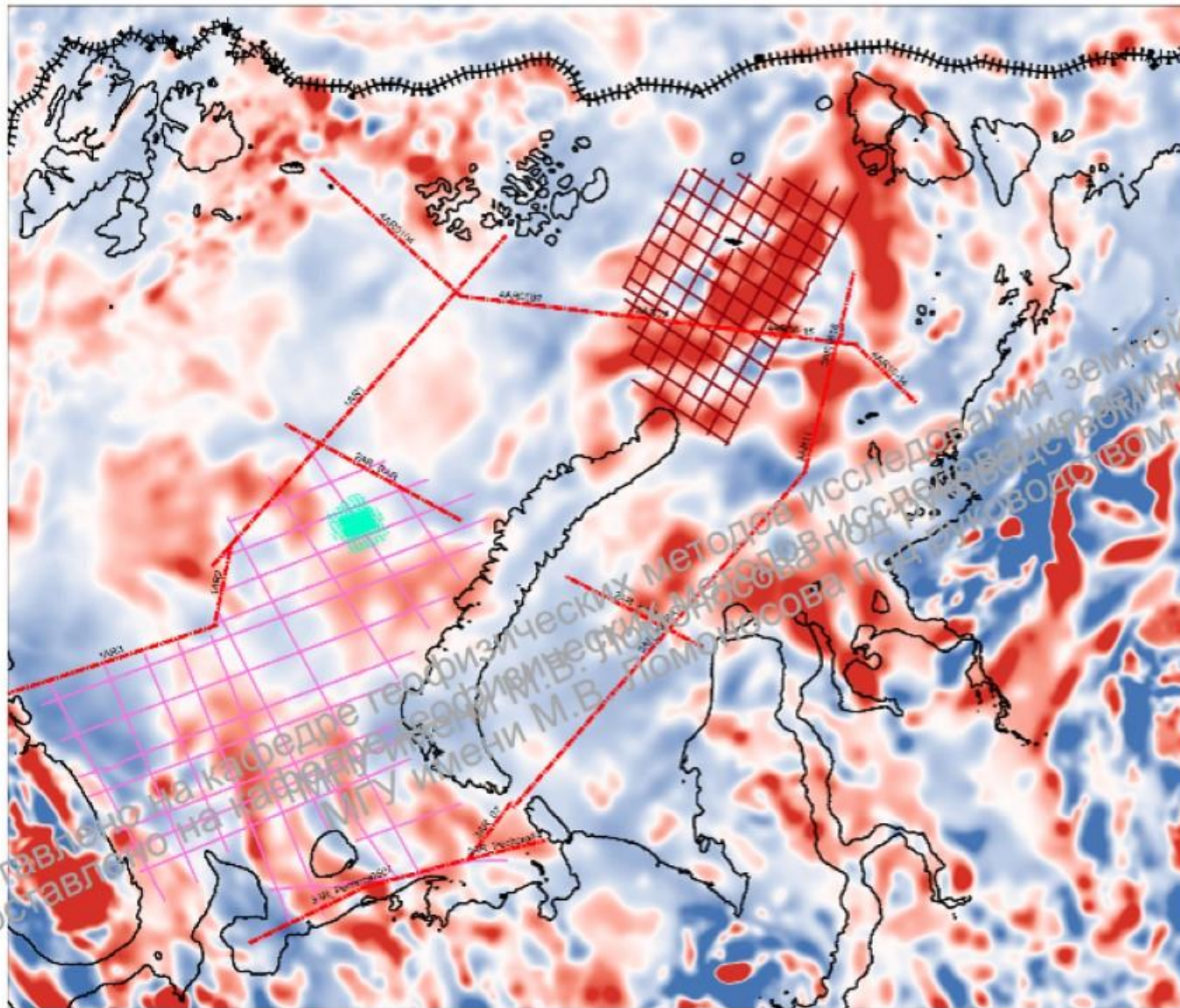


## Аномальное магнитное поле

### Источники данных:

- гидромагнитные съемки,
- авиационные съемки,
- спутниковые съемки.

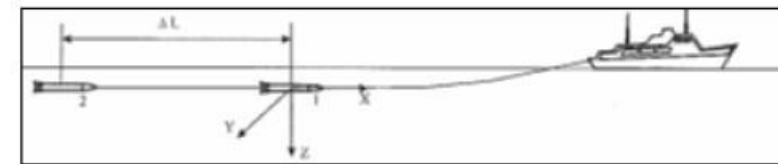
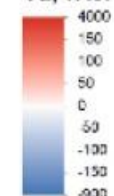
↑  
Улучшение  
точности и детальности



- Профили AR
- Лудловская площадь
- Печора-Баренцевская съемка
- Ушаково-Новоземельская площадь, 2011 г.
- Береговая линия
- Континентальный склон

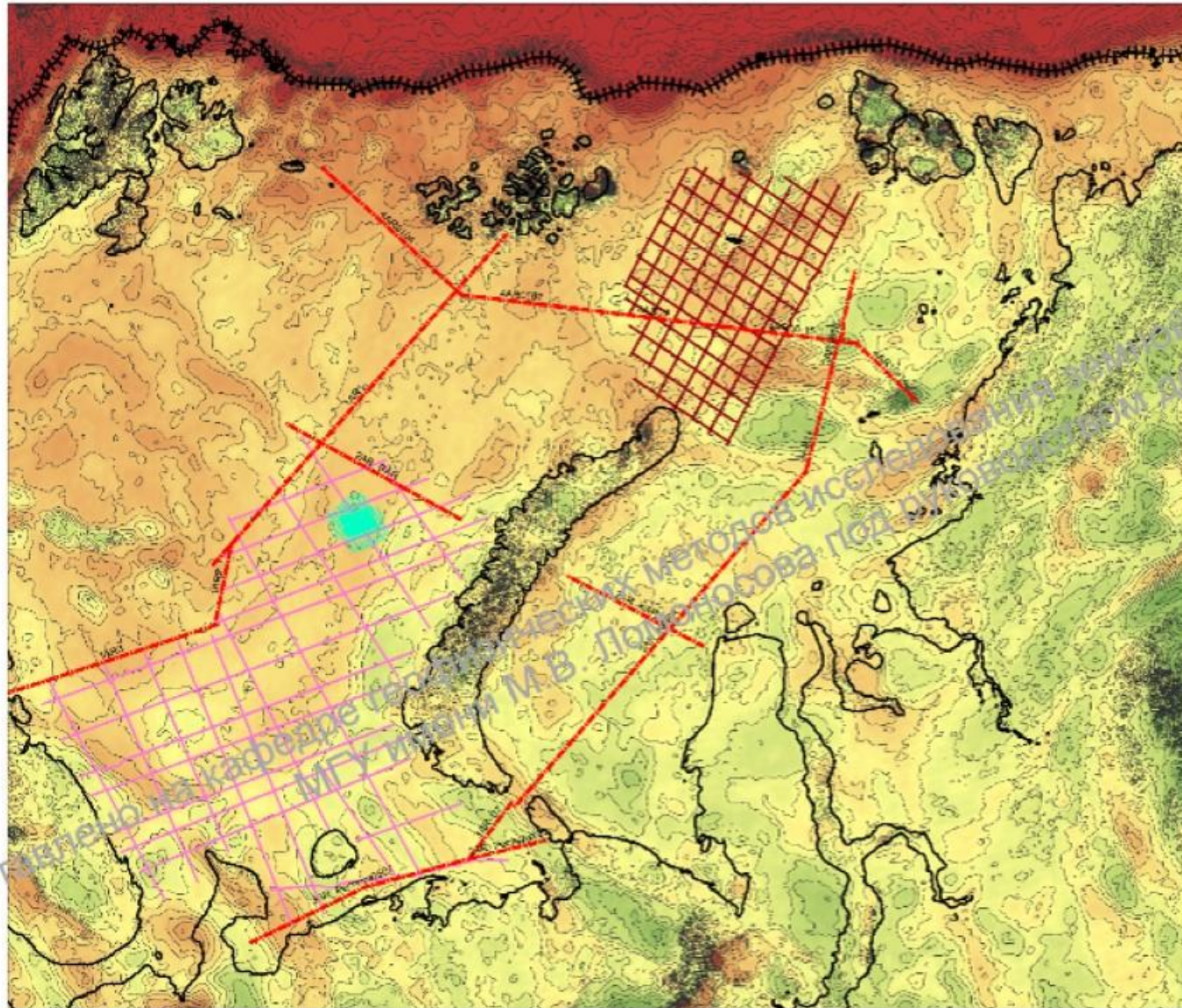
### Аномальное магнитное поле

Ta, нТл



Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета ЛГУ им. Л.В. Ломоносова  
Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета ЛГУ им. Л.В. Ломоносова





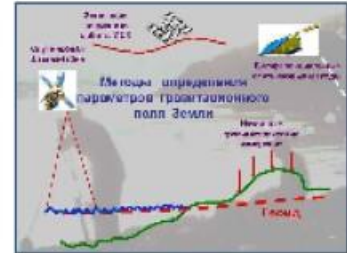
## Гравитационное поле

Источники данных:

- наземные съемки,
- набортные съемки,
- авиационные съемки,
- наледные авиадесантные съемки,
- спутниковые съемки.

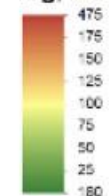
Улучшение точности и детальности

- Профили AR
- Лудловская площадь
- Печора-Баренцевская съемка
- Ушаково-Новоземельская площадь, 2011 г.
- Береговая линия
- Континентальный склон
- Изолинии гравитационного поля в редукции Буге. Сечение 10 мГал

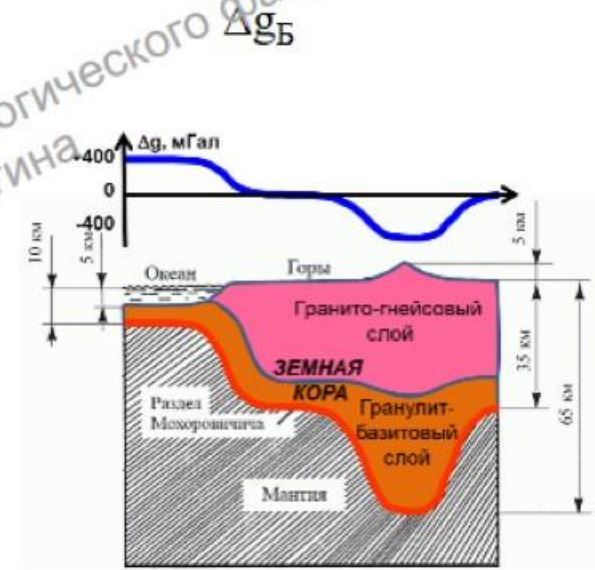
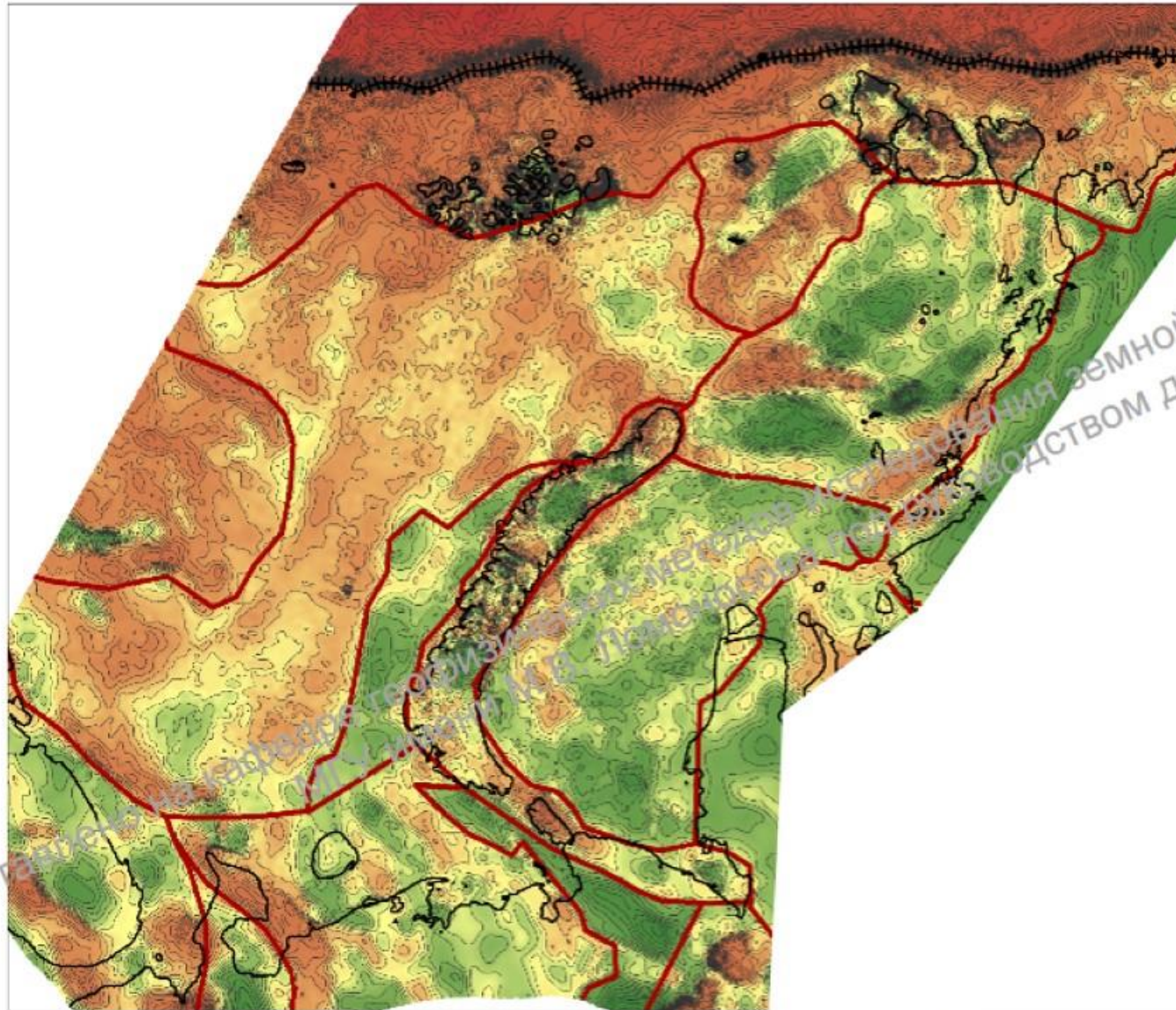


Аномалии Буге, 2.67 г/см<sup>3</sup>

Δg, мГал



Аномалии поля силы тяжести в  
редукции Буге (плотность  $2.67 \text{ г/см}^3$ )

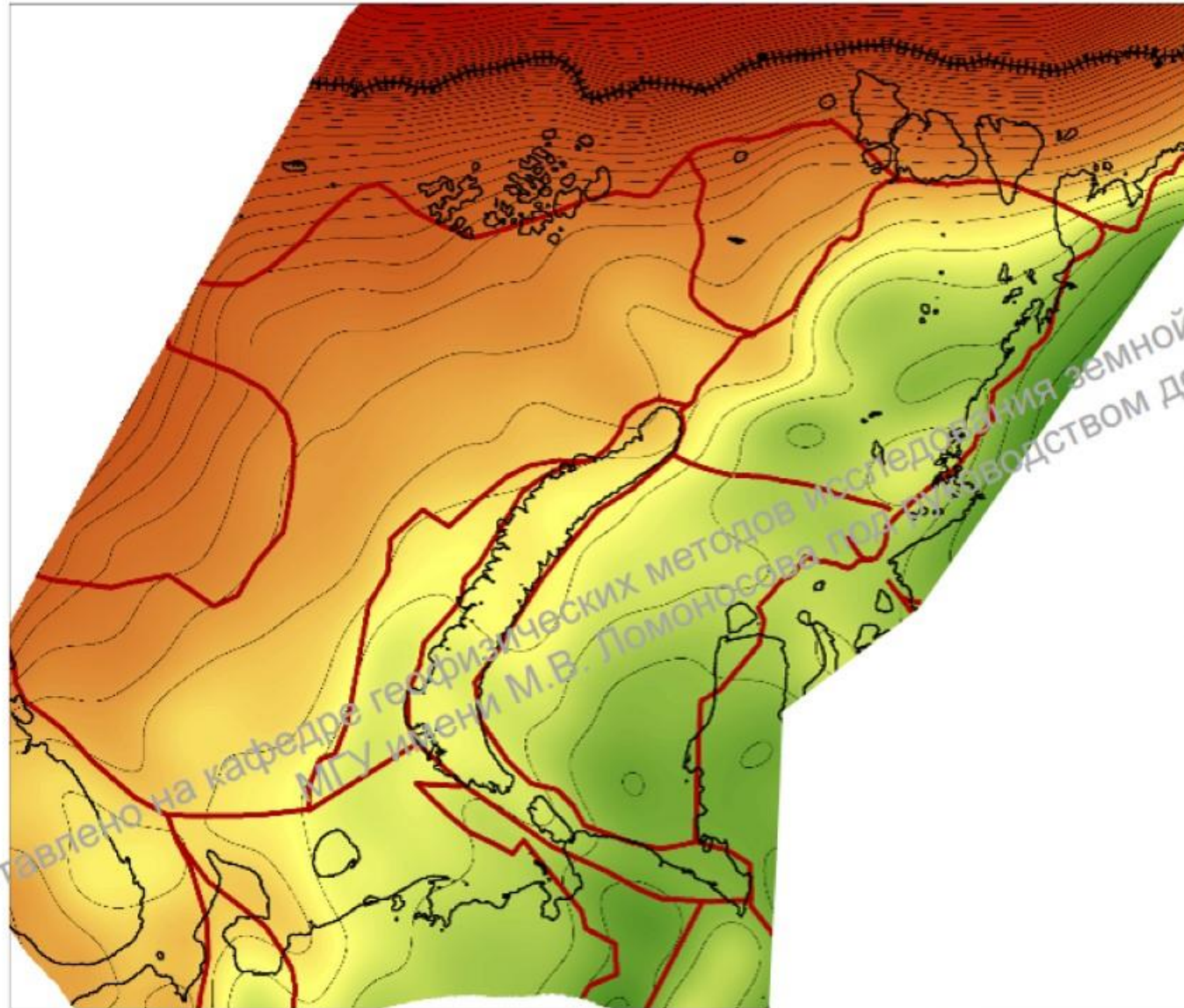


- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон
- Изолинии гравитационного поля в редукции Буге  $2.67 \text{ г/см}^3$ . Сечение  $5 \text{ мГал}$

**Гравитационное поле в редукции Буге ( $2,67 \text{ г/см}^3$ )**

**$\Delta g, \text{ мГал}$**   
 High : 279.849  
 Low : -142.246

Составлено по материалам геологического факультета МГУ



Региональные тектонические зоны –  
границы крупных блоков

$$\Delta g_B, h_{up} = 75 \text{ км}$$

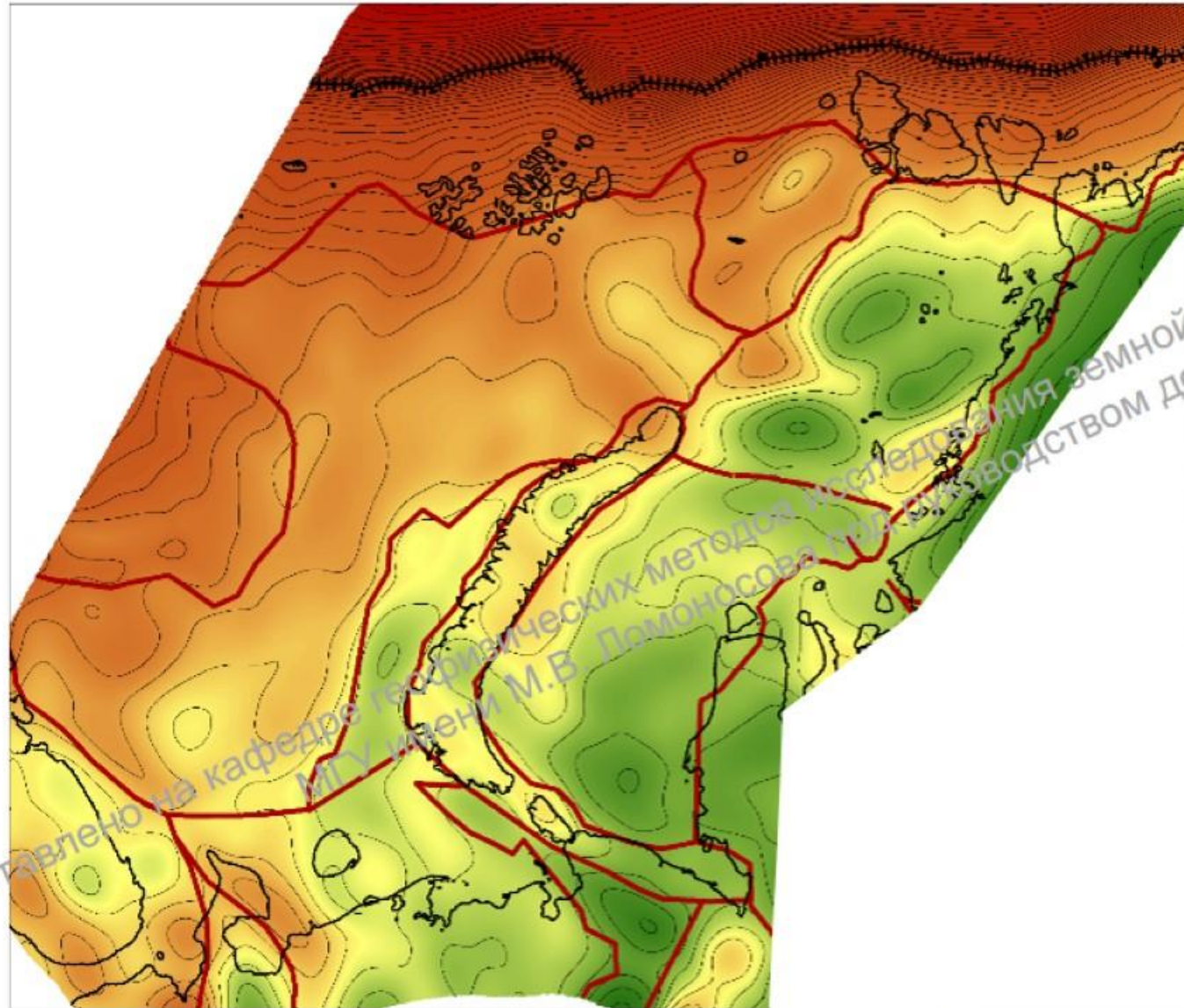
- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- +++ Континентальный склон
- Изолинии гравитационного поля на высоте 75 км. Сечение 5 мГал

**Гравитационное поле в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup> на высоте 75 км**

**$\Delta g$ , мГал**  
 High : 210.747  
 Low : -83.0077



Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством доц. И.В. Лыгина



Региональные тектонические зоны –  
границы крупных блоков

$$\Delta g_B, h_{up} = 40 \text{ км}$$

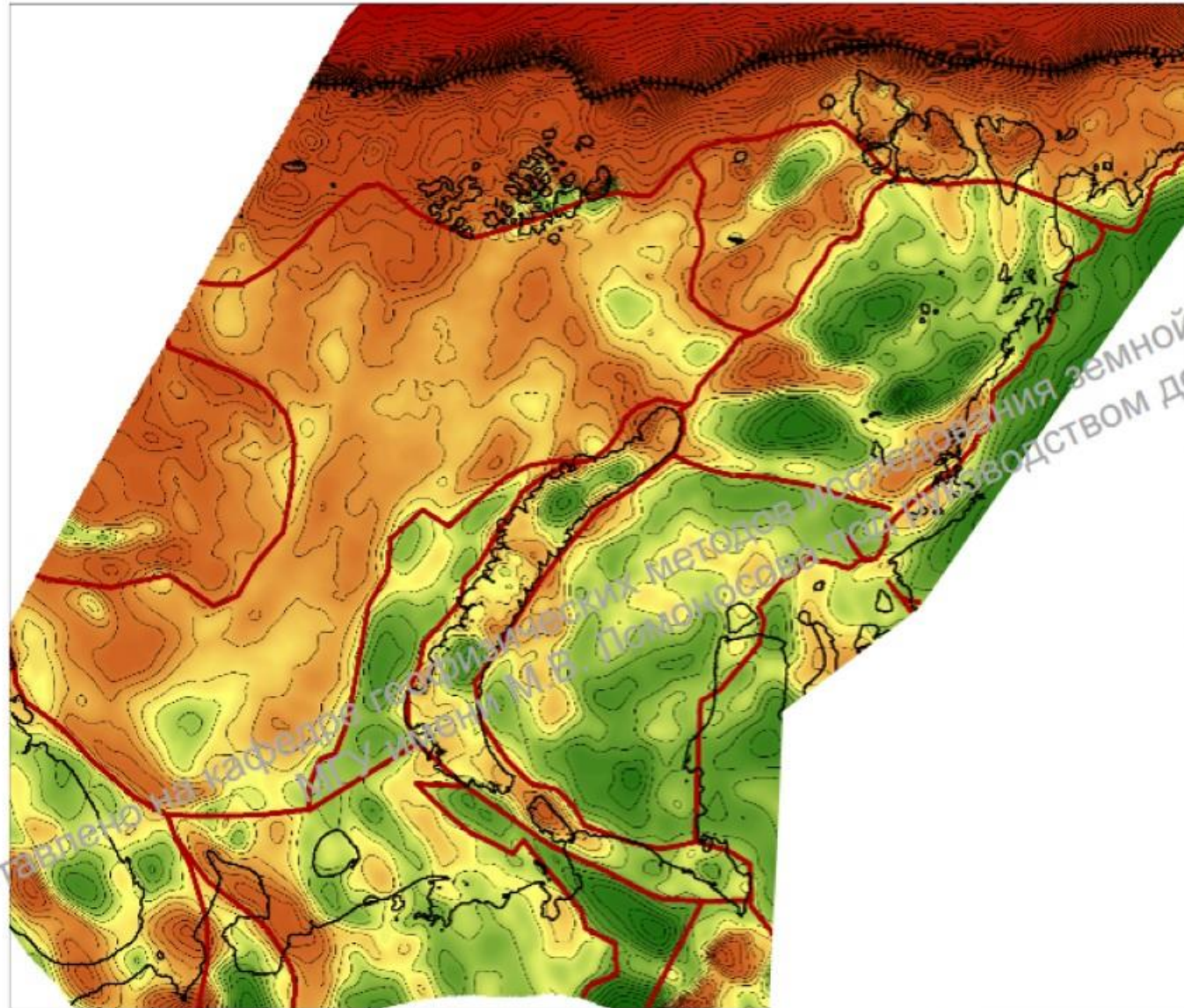
- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- +++ Континентальный склон
- Изолинии гравитационного поля на высоте 40 км. Сечение 5 мГал

**Гравитационное поле в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup> на высоте 40 км**

**$\Delta g$ , мГал**  
High : 234.352  
Low : -98.3041



Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством доц. И.В. Лыгина



Региональные тектонические зоны –  
границы крупных блоков  
 $\Delta g_B, h_{up} = 10 \text{ км}$

- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон
- Изолинии гравитационного поля на высоте 10 км. Сечение 5 мГал

Гравитационное поле  
в редукции Буге 2.67  
г/см<sup>3</sup> на высоте 10 км

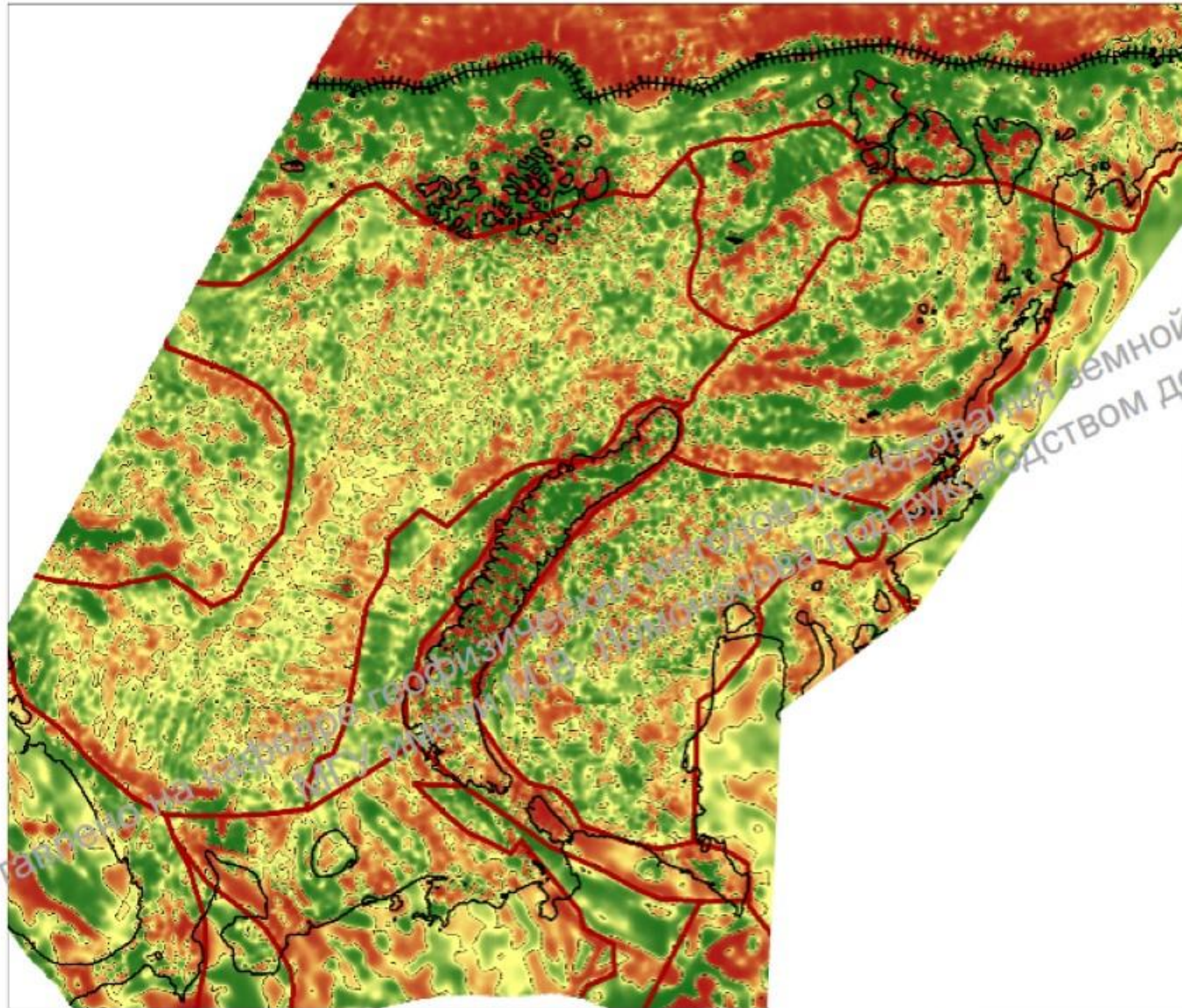
$\Delta g, \text{ мГал}$   
High : 261.648  
Low : -122.982

0 250 500 750 1000  
Км

Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством доц. И.В. Лыгина

Региональные тектонические зоны –  
границы крупных блоков

$$(\Delta g_B)'_z, h_{up}=1 \text{ км}$$



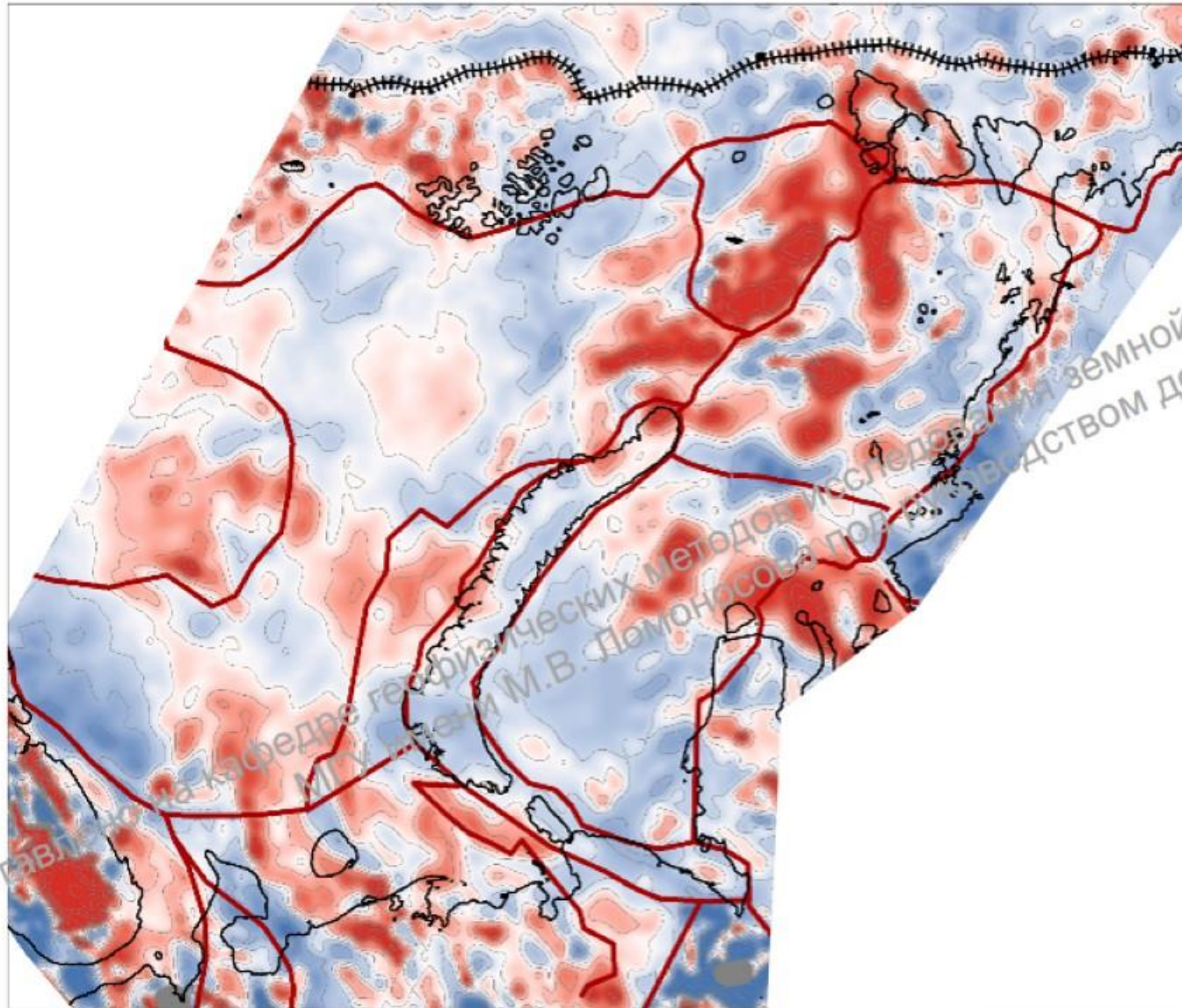
- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон
- Изолинии первой вертикальной производной гравитационного поля на уровне 1000 м. Сечение 10 мГал/м

**Первая вертикальная производная гравитационного поля на уровне 1000 м**

**V<sub>zz</sub>, мГал/м**  
High : 0.017723  
Low : -0.022735

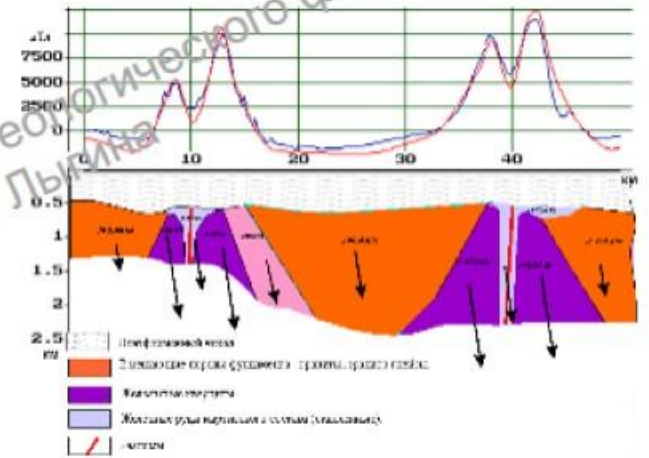


Составлено по материалам геобазы «Система геологического картографирования территории Российской Федерации» по заказу МГУ. Составителем является доцент кафедры Геологического факультета МГУ доцент И.В. Лыгина



## Аномальное магнитное поле

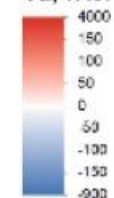
Ta



- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон
- Изолинии магнитного поля, Сечение 50 нТл

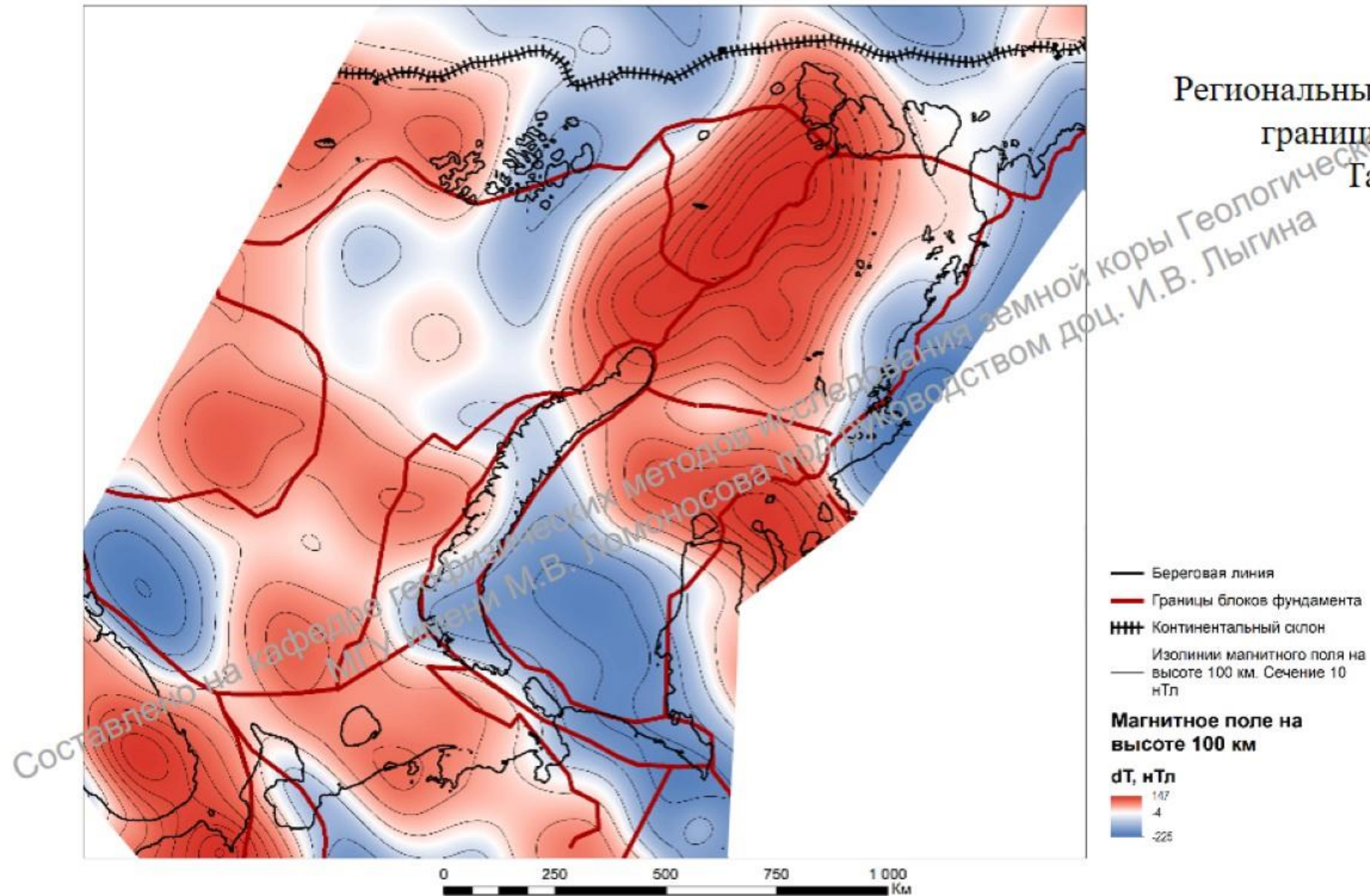
### Аномальное магнитное поле

Ta, нТл

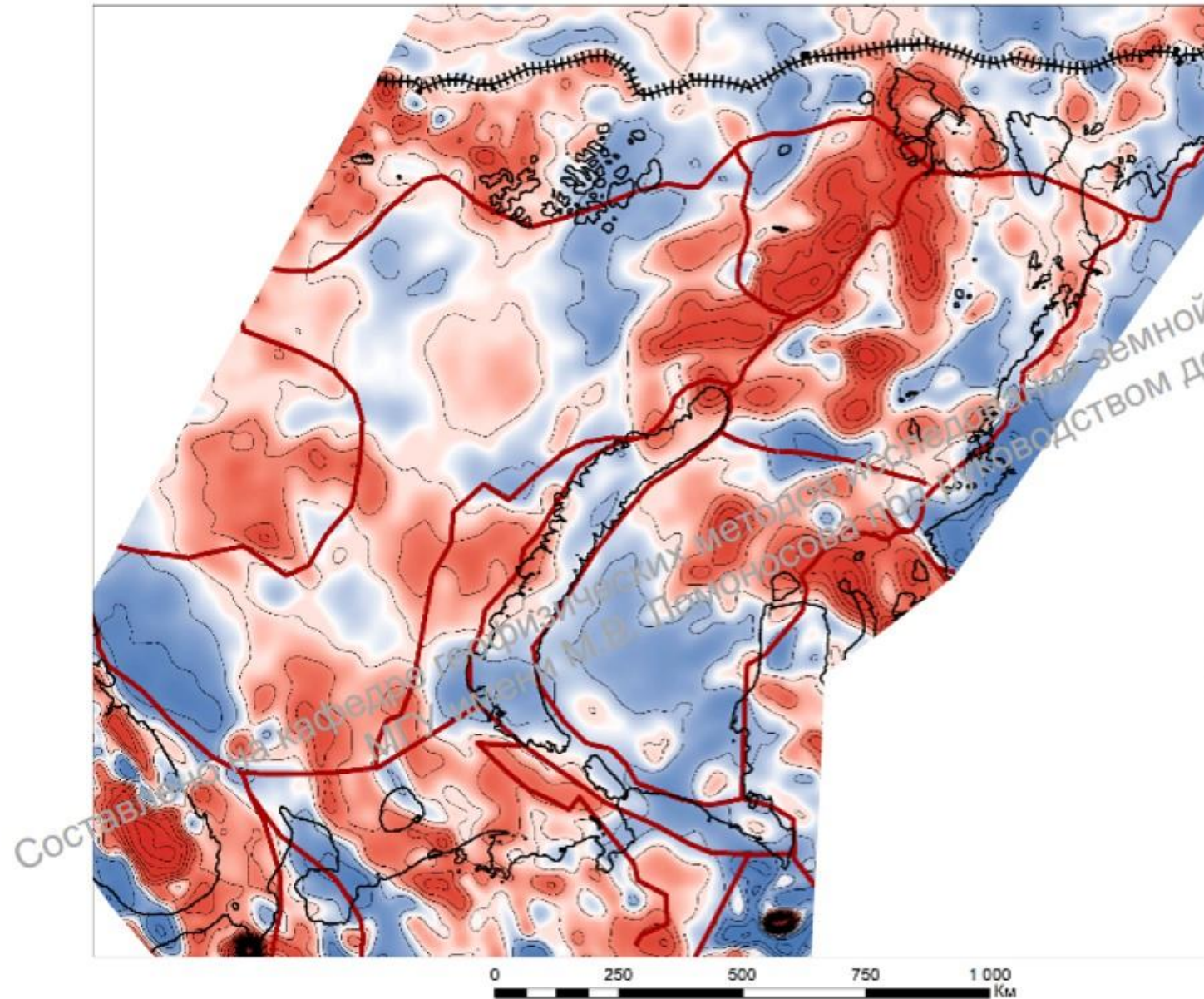




Региональные тектонические зоны –  
 границы крупных блоков  
 $\Gamma_a, h_{up} = 100 \text{ км}$



Региональные тектонические зоны –  
 границы крупных блоков  
 $T_a, h_{up} = 10 \text{ км}$

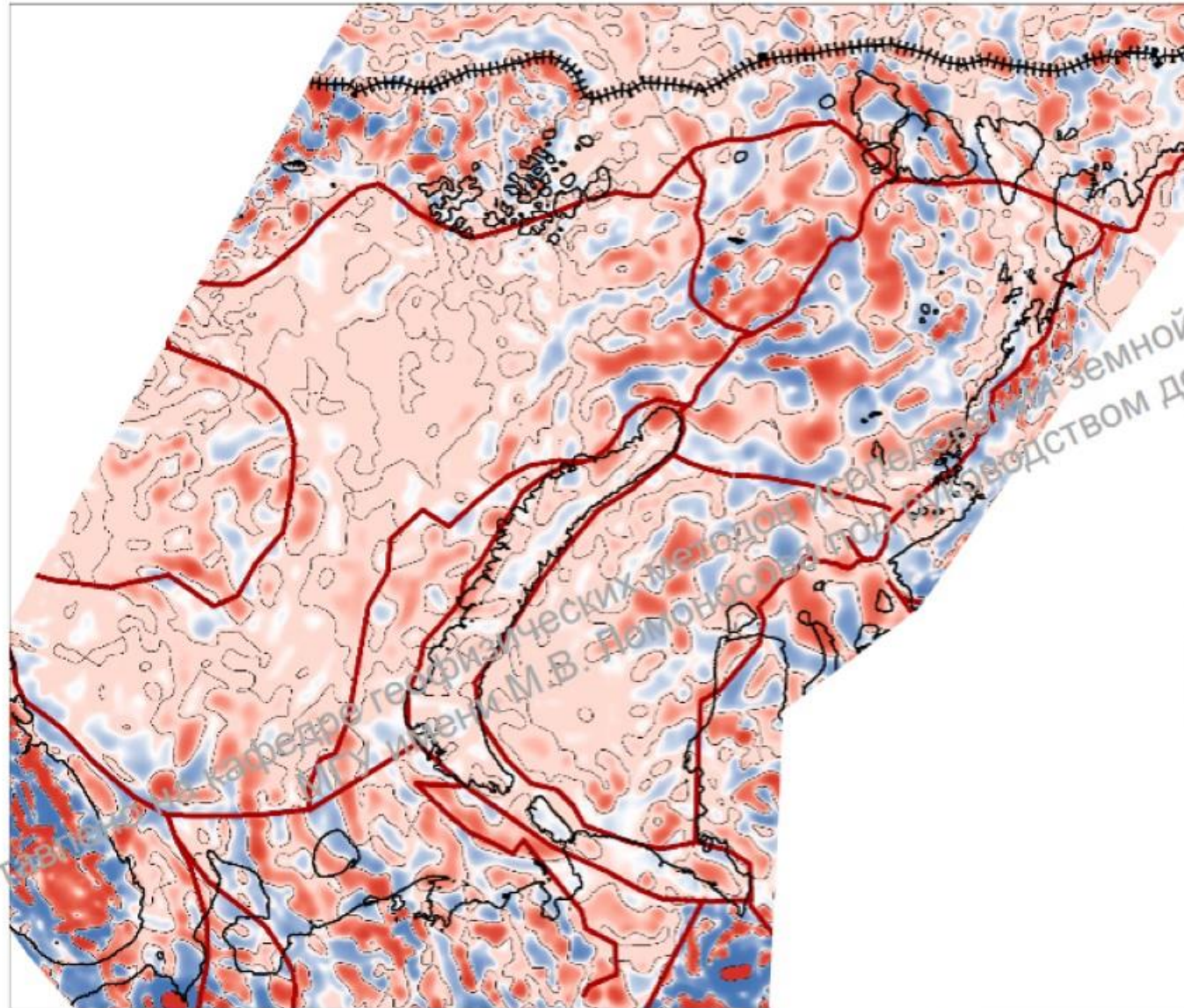


- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон
- Изолинии магнитного поля на высоте 10 км. Сечение 50 нТл

**Магнитное поле на высоте 10 км**



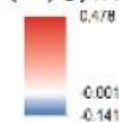
Региональные тектонические зоны –  
границы крупных блоков  
 $(\Gamma a)'_z, h_{up}=10 \text{ км}$



- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон
- Изолинии первой вертикальной производной магнитного поля на уровне 1 км. Сечение 10 нТл/м

Первая вертикальная производная магнитного поля на уровне 1 км

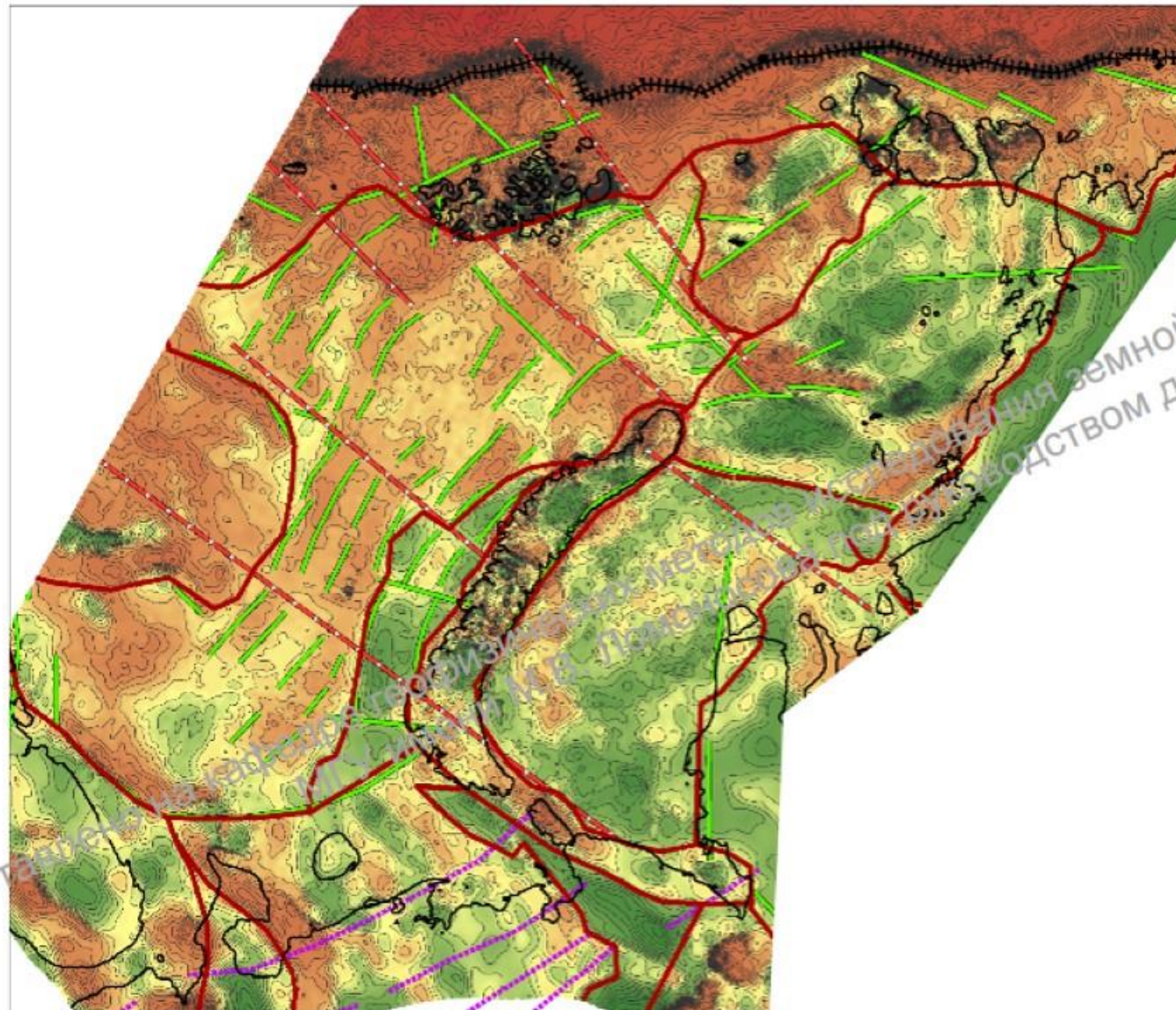
$(\Gamma a)'_z, \text{ нТл/м}$



0 250 500 750 1000  
Км

## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

$\Delta g_B$



- Береговая линия
- Границы блоков фундамента
- Континентальный склон

### Особенности потенциальных полей

#### Региональные линейные особенности

- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания

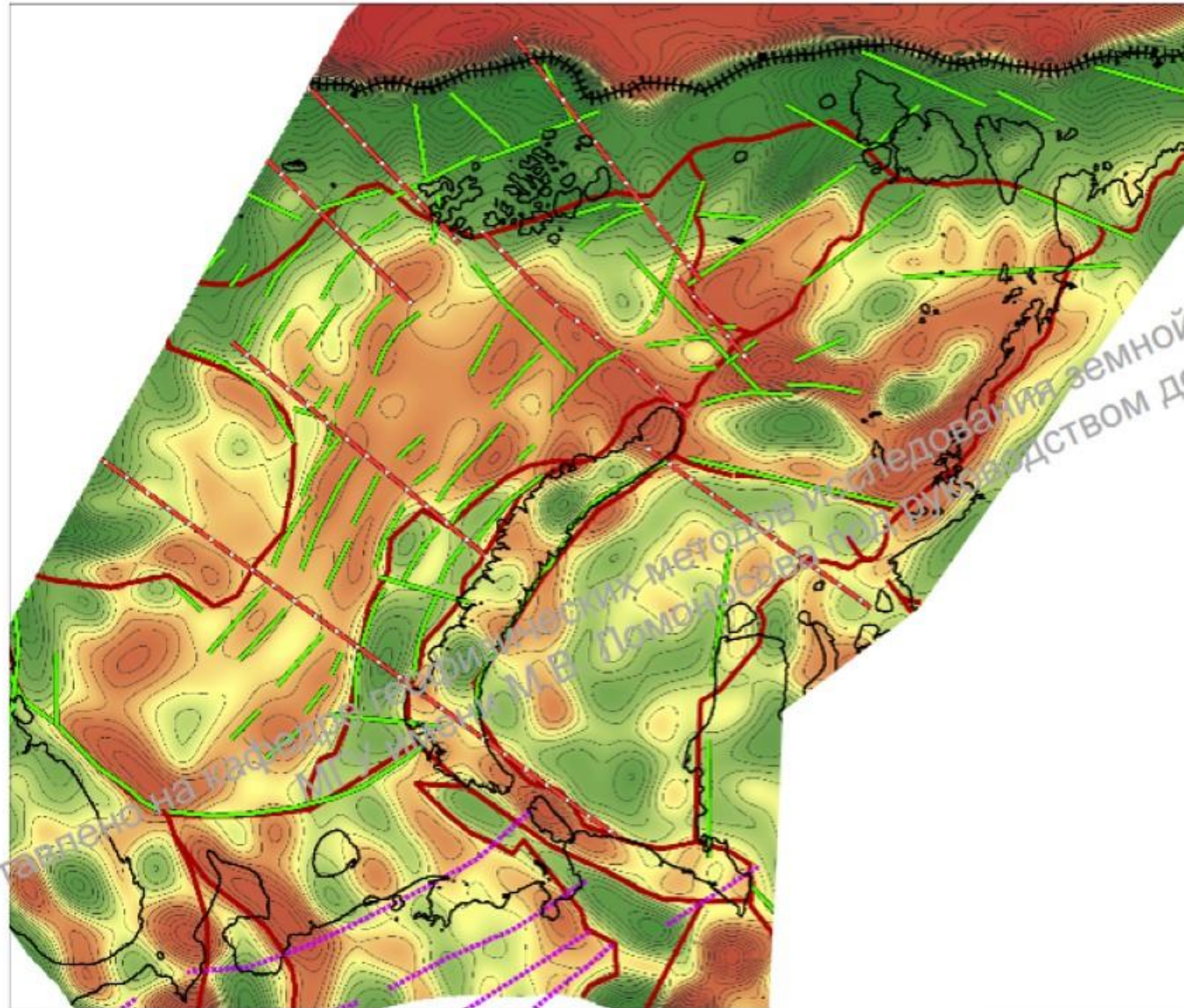
— Изолинии гравитационного поля в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup>. Сечение 5 мГал

### Гравитационное поле в редукции Буге (2,67 г/см<sup>3</sup>)

$\Delta g$ , мГал  
 High : 279.849  
 Low : -142.246



Составлено по материалам геологической съемки и гравиметрических данных, собранным в 1970-1980 гг. под руководством доц. И.В. Лыгина



## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

$\Delta g_B$ , ПФ 100-1000 км

— Береговая линия

— Континентальный склон

### Особенности потенциальных полей

#### Региональные линейные особенности

- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента

Изолинии гравитационного поля в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup>. Полосовой фильтр 100 - 1000 км. Сечение 5 мГал

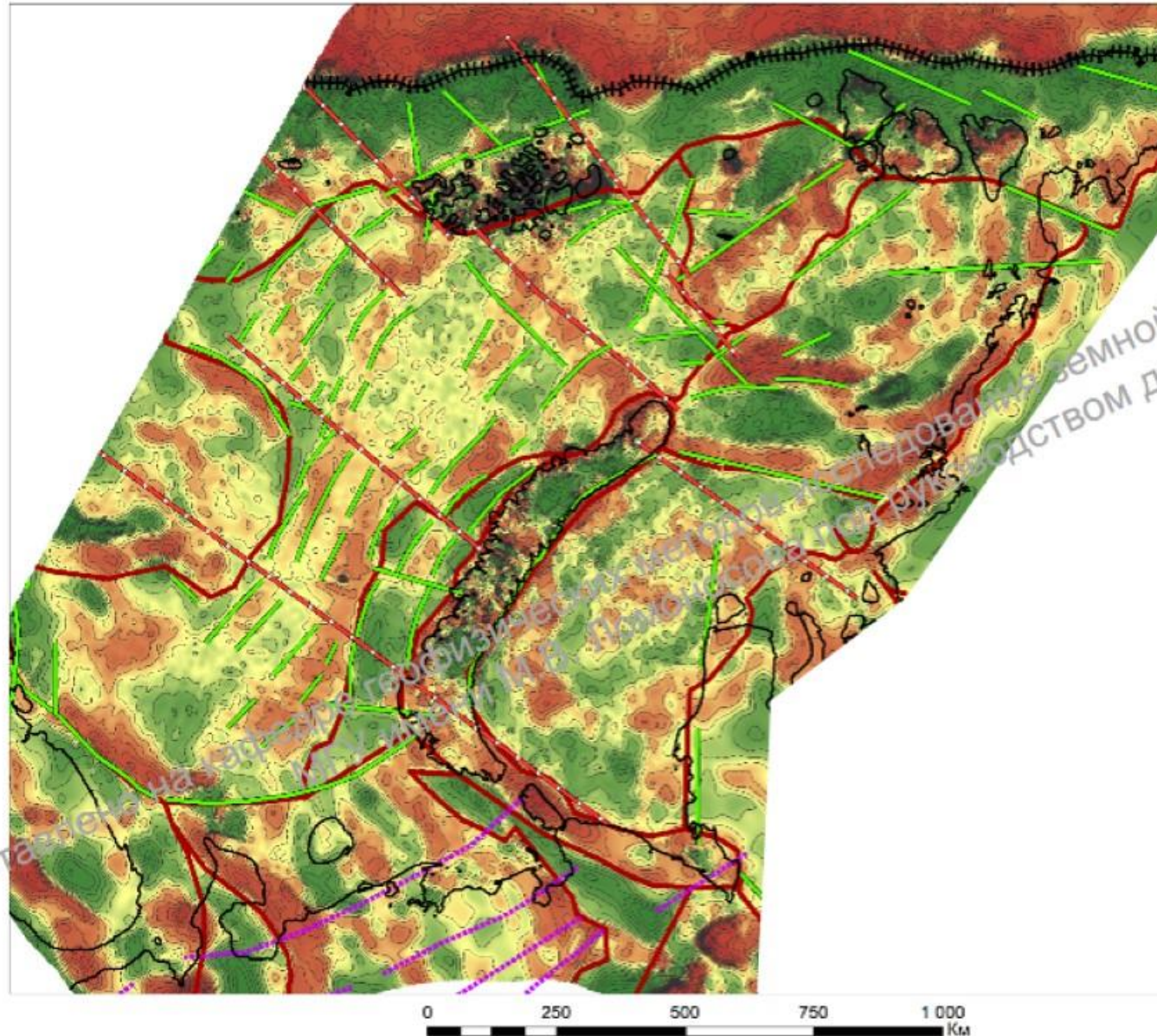
### Гравитационное поле в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup>. Полосовой фильтр 100 - 1000 км

$\Delta g$ , мГал

- 119.551
- 0.709327
- 108.489

0 250 500 750 1000  
Км

Составлено на основе данных, полученных в результате исследований методом гравиметрии с использованием дощечки Дыгина



Линейные особенности 1 порядка  
(тектонические нарушения)

$\Delta g_B$ , ФВЧ 500 км

— Береговая линия

--- Континентальный склон

**Особенности  
потенциальных полей**

**Региональные линейные  
особенности**

— разнонаправленные

— северо-западного  
простираия

... северо-западного  
простираия

— Границы блоков фундамента

— Изолинии гравитационного  
поля в редукции Буге 2.67  
г/см<sup>3</sup>. ФВЧ 500 км. Сечение 5  
мГал

**Гравитационное поле  
в редукции Буге 2.67  
г/см<sup>3</sup>. ФВЧ 500 км**

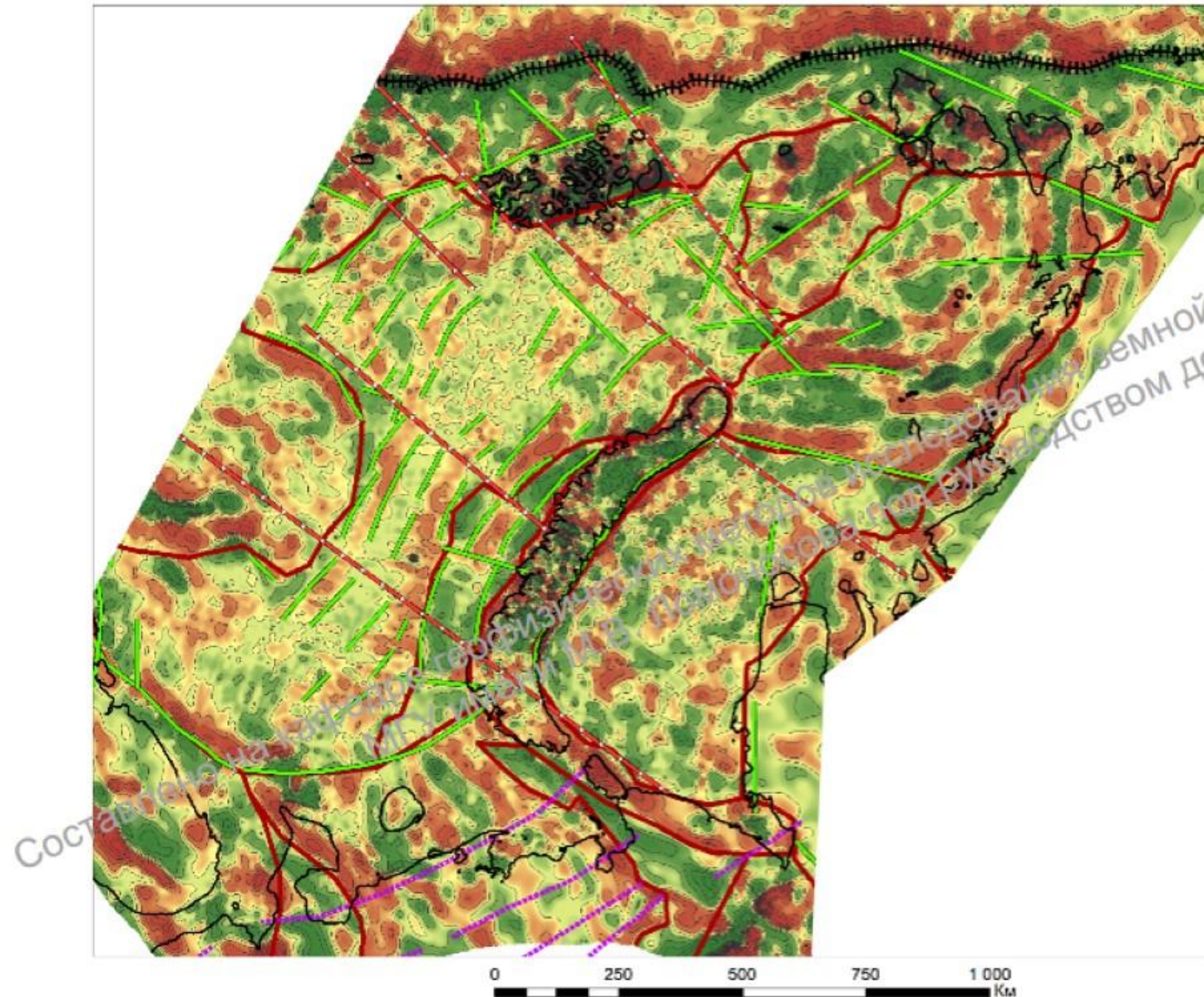
**$\Delta g$ , мГал**

High : 122.072

Low : -161.398

## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

$\Delta g_B$ , ФВЧ 200 км



- Береговая линия
- Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простираения
- северо-западного простираения
- Границы блоков фундамента
- Изолинии гравитационного поля в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup>. ФВЧ 200 км. Сечение 5 мГал

**Гравитационное поле в редукции Буге 2.67 г/см<sup>3</sup>. ФВЧ 200 км**

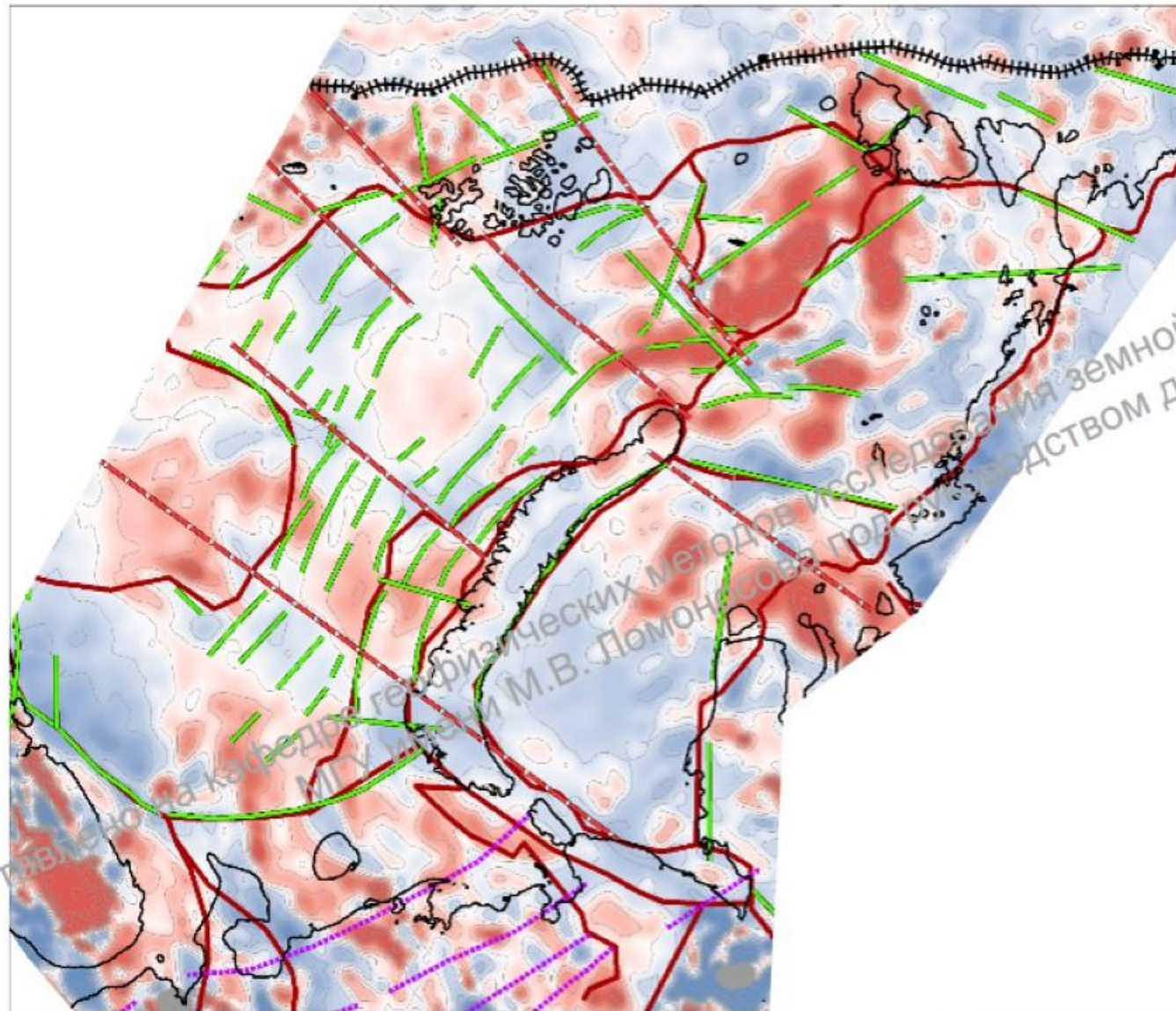
**$\Delta g$ , мГал**  
 High : 126.064  
 Low : -153.318

Составлено по материалам

Составлено по материалам Геологического факультета Земной доц. И.В. Лыгина руководством доц. И.В. Лыгина

## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

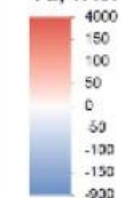
Та



- Береговая линия
- Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента
- Изолинии магнитного поля, Сечение 50 нТл

### Аномальное магнитное поле

Та, нТл



Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством доц. И.В. Пыгина



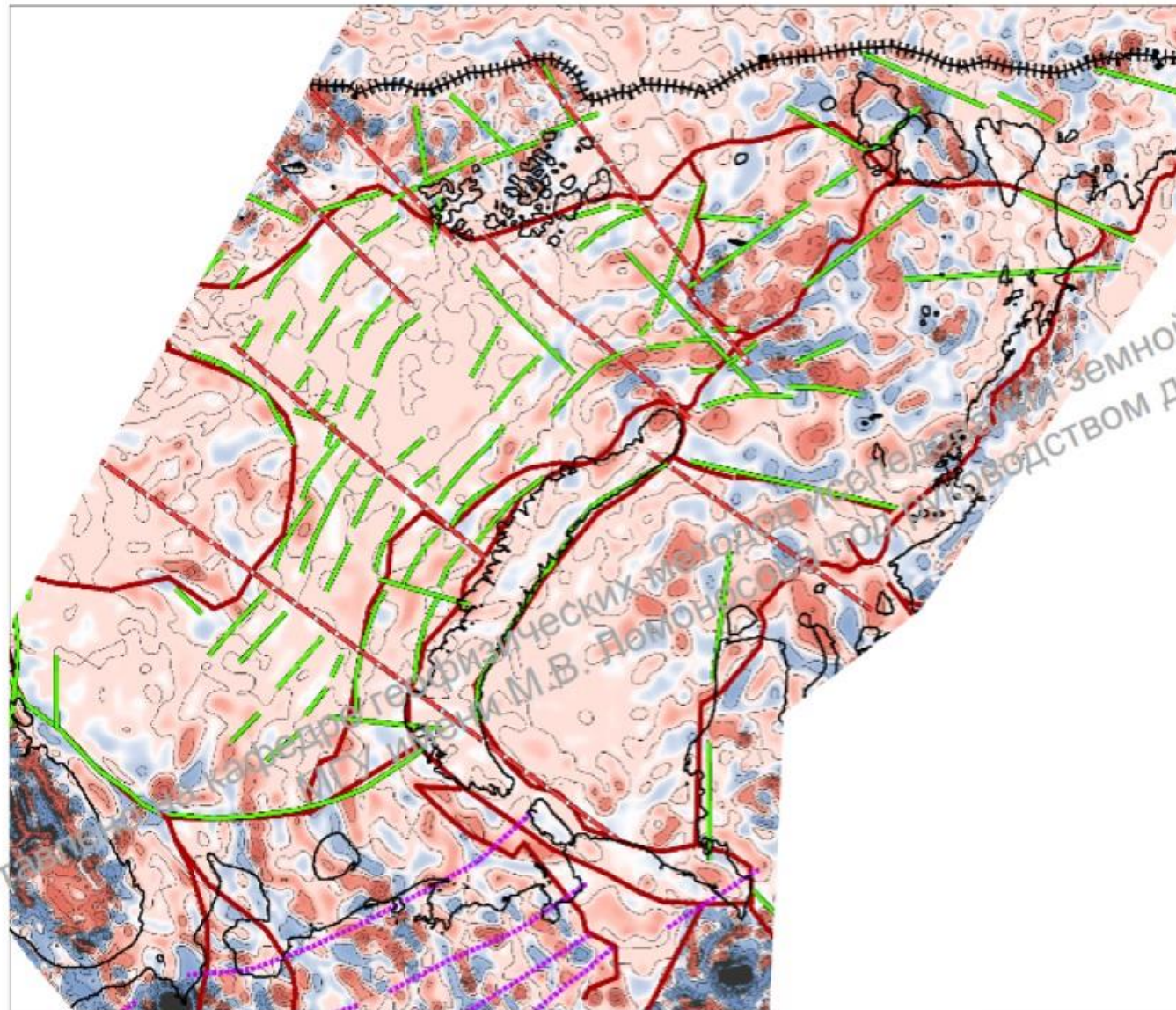
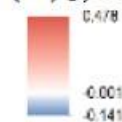
## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

$$(Ta)'_z, h_{up}=1 \text{ км}$$

- Береговая линия
- Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента
- Изолинии первой вертикальной производной магнитного поля на уровне 1 км. Сечение 5 нТл/км

**Первая вертикальная производная магнитного поля на уровне 1 км**

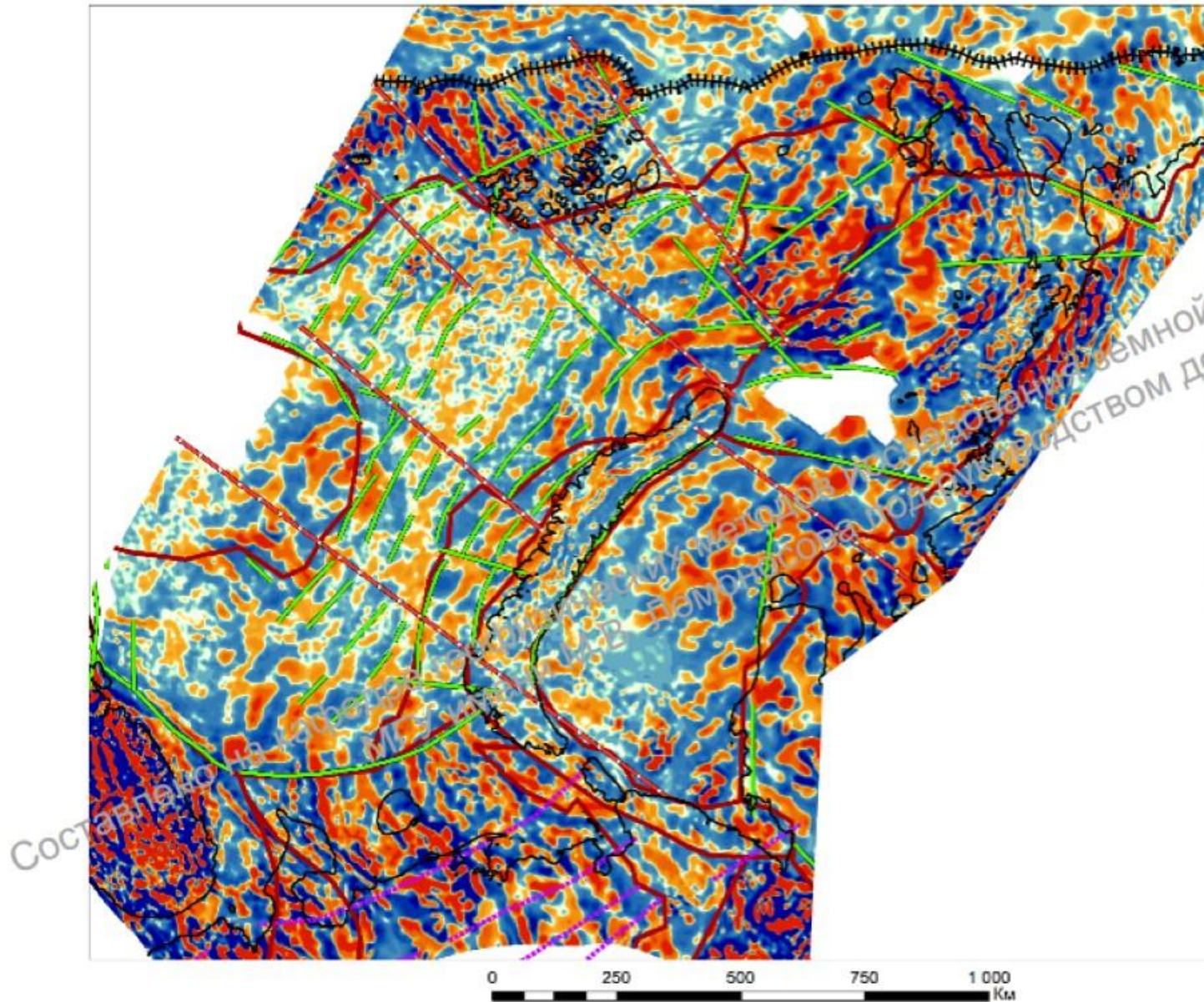
$(Ta)'_z, \text{ нТл/м}$



0 250 500 750 1 000  
Км

Линейные особенности 1 порядка  
(тектонические нарушения)

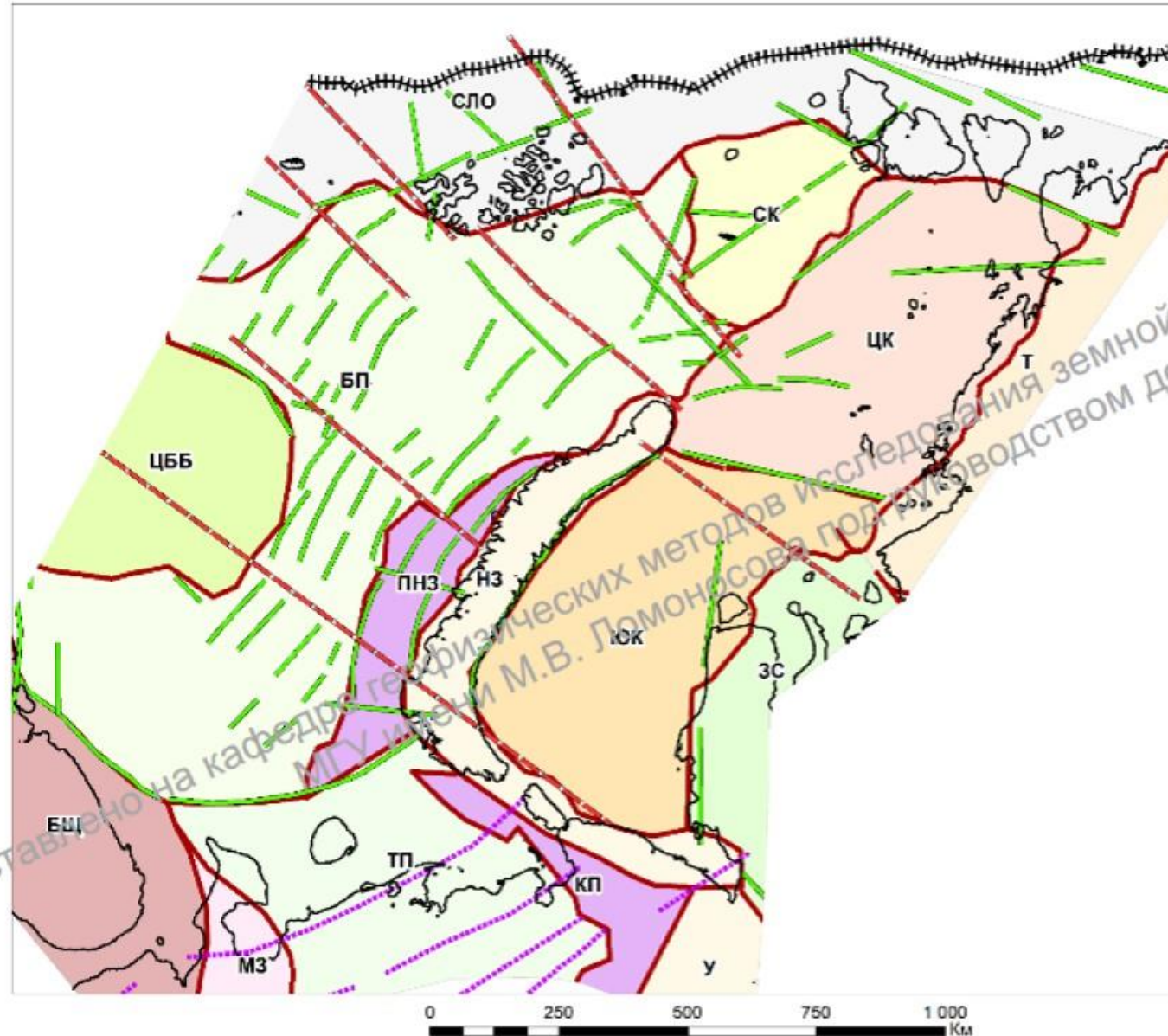
$$(Ta)'_z, h_{up}=1\text{ км}$$



- Береговая линия
- Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента
- Вертикальный градиент магнитного поля**

Составлено

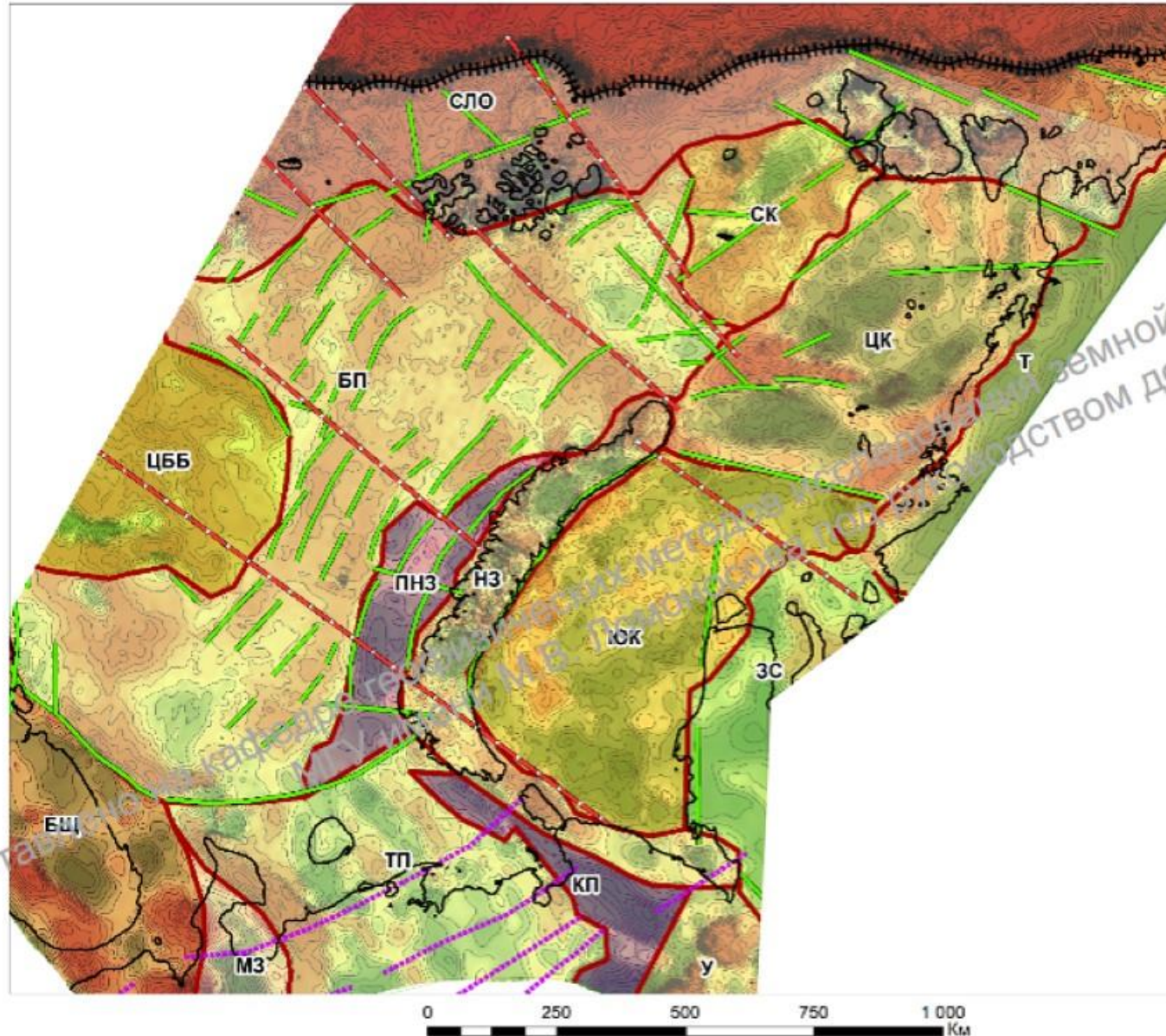
Составлено по материалам Земной коры Геологического факультета МГУ под руководством доц. И.В. Лыгина



- Береговая линия
- ||||| Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента
- Блоки фундамента**
- Баренцевоморская плита (БП)
- Центральная часть Баренцевоморской плиты (ЦББ)
- Северо-Карская плита (СК)
- Центрально-Карская область (ЦК)
- Южно-Карская область (ЮК)
- Зона ближайшего воздействия Северного Ледовитого океана (СЛО)
- Предновоземельский прогиб (ПНЗ)
- Коротяхинский прогиб
- Линейное складчатое сооружение Новая Земля (НЗ)
- Линейное складчатое сооружение Урал (У)
- Линейное складчатое сооружение Таймыра (Таймырский аккреционный пояс) (Т)
- Область неглубокого залегания фундамента Балтийский щит (БЩ)
- Мезенский прогиб (МЗ)
- Тимано-Печорская плита (ТП)
- Западно-Сибирская плита (ЗС)

Структурно-тектоническая схема по результатам анализа региональных потенциальных полей

Составлено на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством доц. И.И. Дыгина



- Береговая линия
- Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разноразделенные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента

### Блоки фундамента

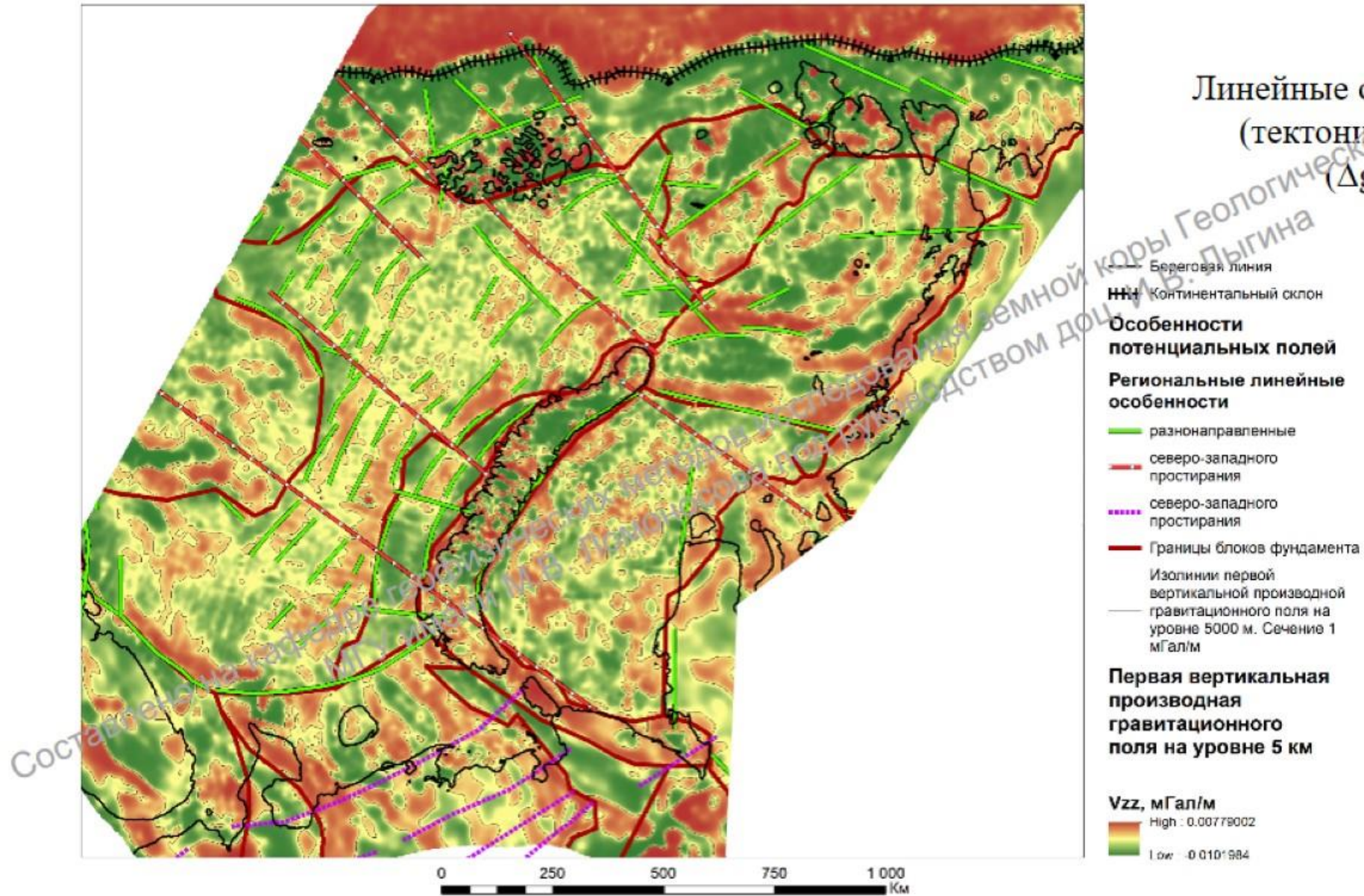
- Баренцевоморская плита (БП)
- Центральная часть Баренцевоморской плиты (ЦББ)
- Северо-Карская плита (СК)
- Центрально-Карская область (ЦК)
- Южно-Карская область (ЮК)
- Зона ближайшего воздействия Северного Ледовитого океана (СЛО)
- Предновоземельский прогиб (ПНЗ)
- Коротайхинский прогиб
- Линейное складчатое сооружение Новая Земля (НЗ)
- Линейное складчатое сооружение Урал (У)
- Линейное складчатое сооружение Таймыра (Таймырский аккреционный пояс) (Т)
- Область неглубокого залегания фундамента Балтийский щит (БЩ)
- Мезенский прогиб (МЗ)
- Тимано-Печорская плита (ТП)
- Западно-Сибирская плита (ЗС)

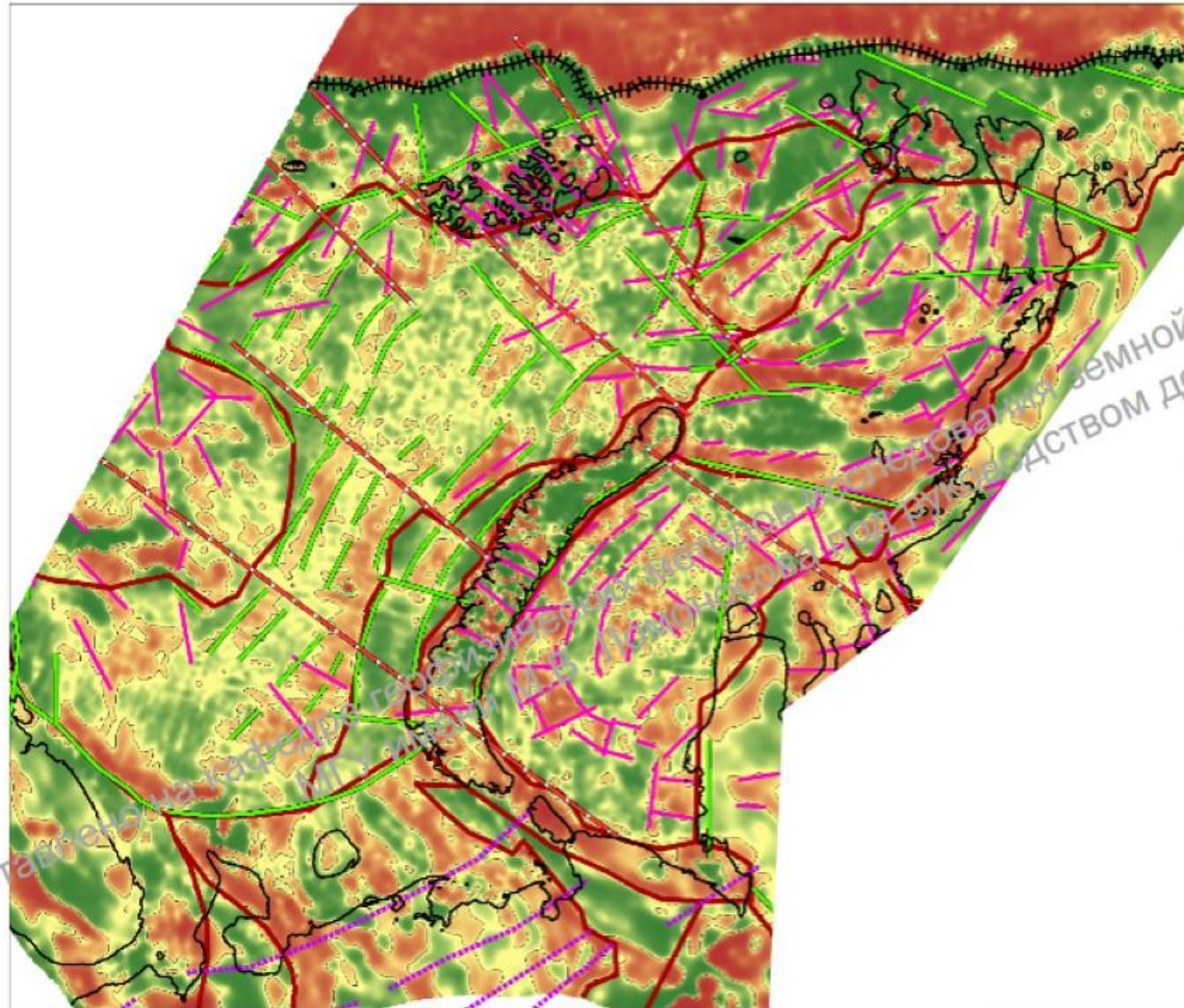
Структурно-тектоническая схема по результатам анализа региональных потенциальных полей

Составлено по материалам геологической карты 1:500 000, составленной в 1980 г. под руководством доц. И. В. Глыбина

## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

$$(\Delta g_B)'_z, h_{up}=5 \text{ км}$$





## Линейные особенности 1 порядка (тектонические нарушения)

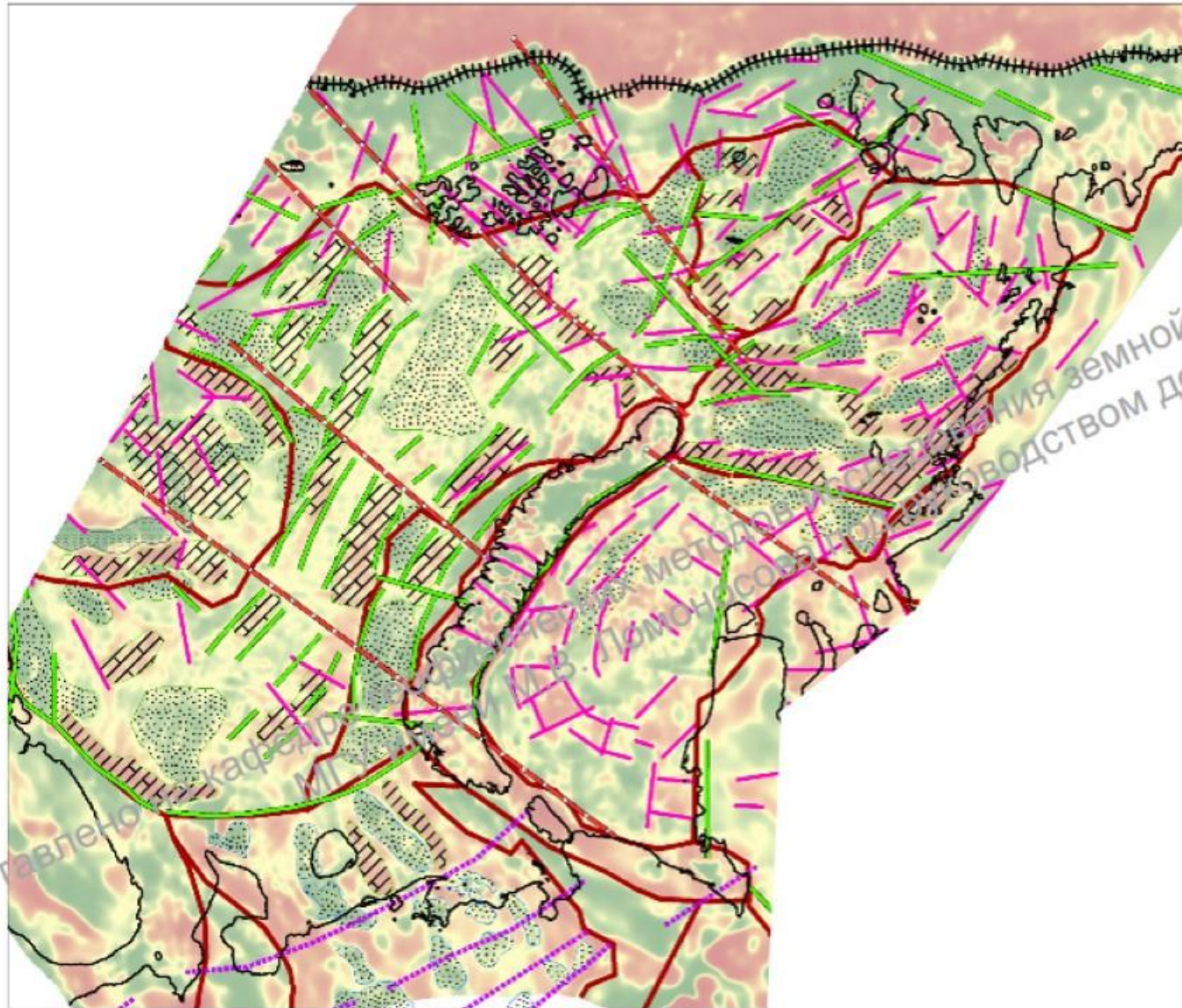
$$(\Delta g_B)'_z, h_{up}=5 \text{ км}$$

- Береговая линия
- Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента выделенные по среднечастотной составляющей
- Изолинии первой вертикальной производной гравитационного поля на уровне 5000 м. Сечение 1 мГал/м

**Первая вертикальная производная гравитационного поля на уровне 5 км**



Морфологические особенности  
 $(\Delta g_B)'_z, h_{пр} \approx 5 \text{ км}$



- Береговая линия
- ||||| Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента выделенные по среднечастотной составляющей
- /// Положительные структуры в Карском и Баренцевом морях
- Депоцентры Карского моря
- депоцентры Баренцева моря
- зоны соляной тектоники
- Депоцентры Тимано-Печорского региона

**Первая вертикальная производная гравитационного поля на уровне 5 км**

**V<sub>zz</sub>, мГал/м**  
 High : 0.00779002  
 Low : -0.0101984



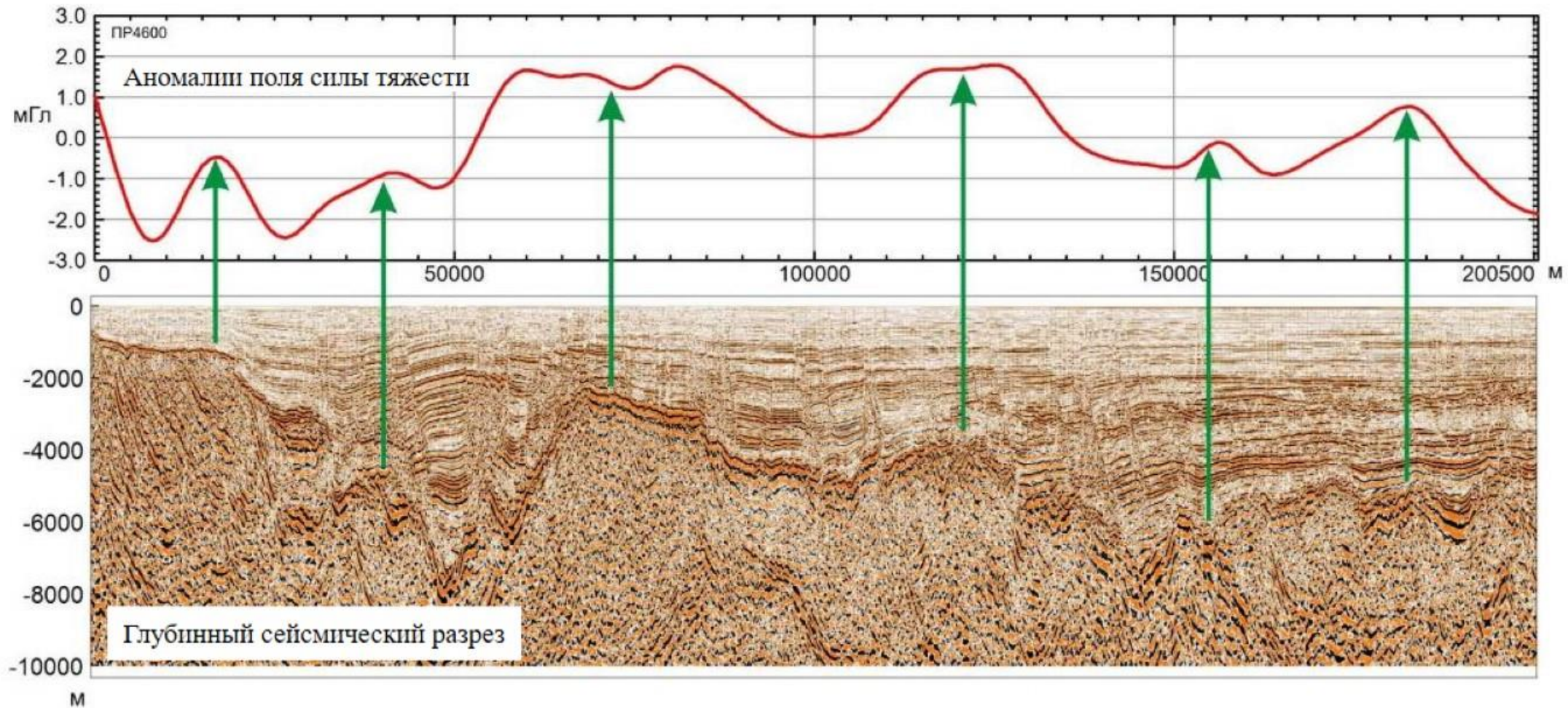
Составлено кафедрой Геологического факультета

# Выраженность поднятий в аномалиях поля силы тяжести

## Картирование перспективных локальных поднятий



Корреляция поля силы тяжести и структур, определяемых сейсморазведкой

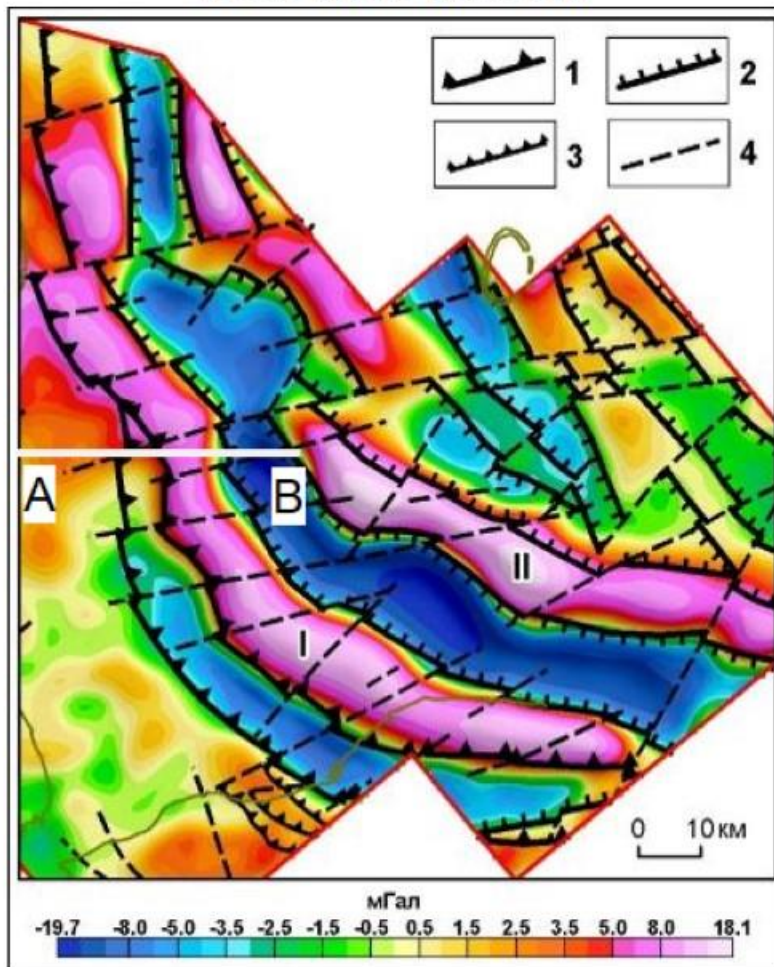




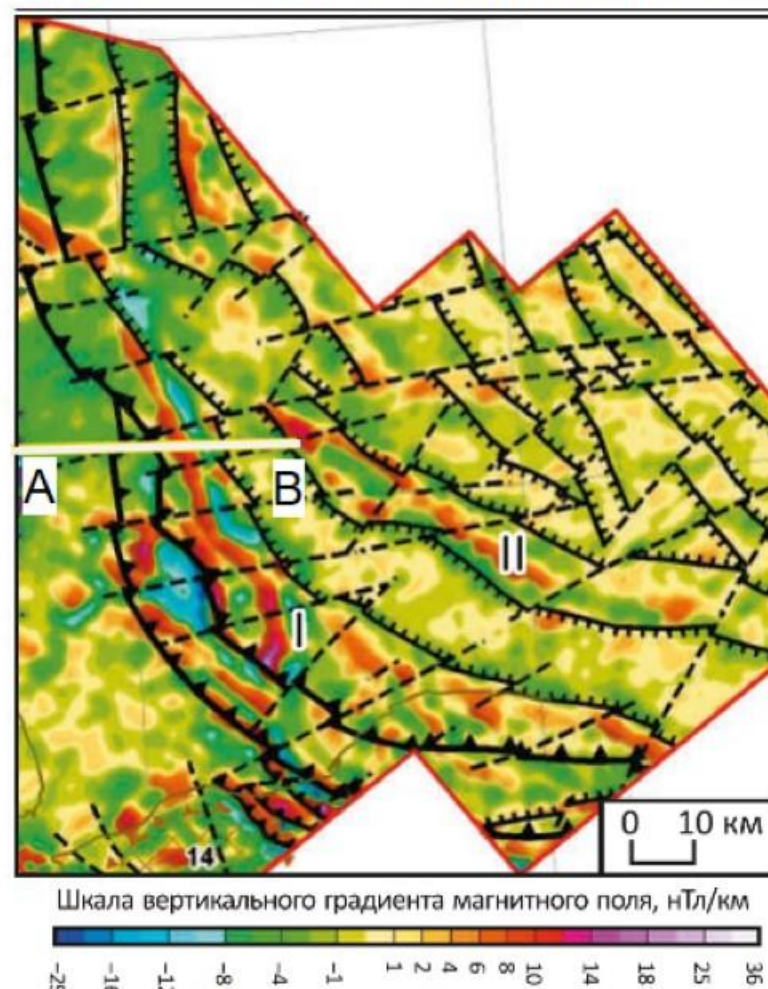
# К вопросу появления зон потери корреляции на сейсмическом разрезе (зона сочленения Сибирской и Лаптевоморской платформ)



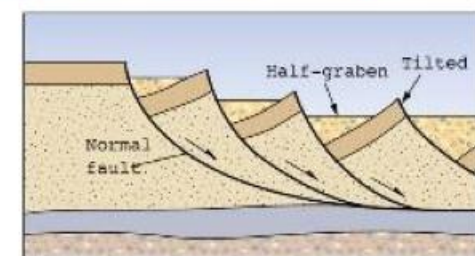
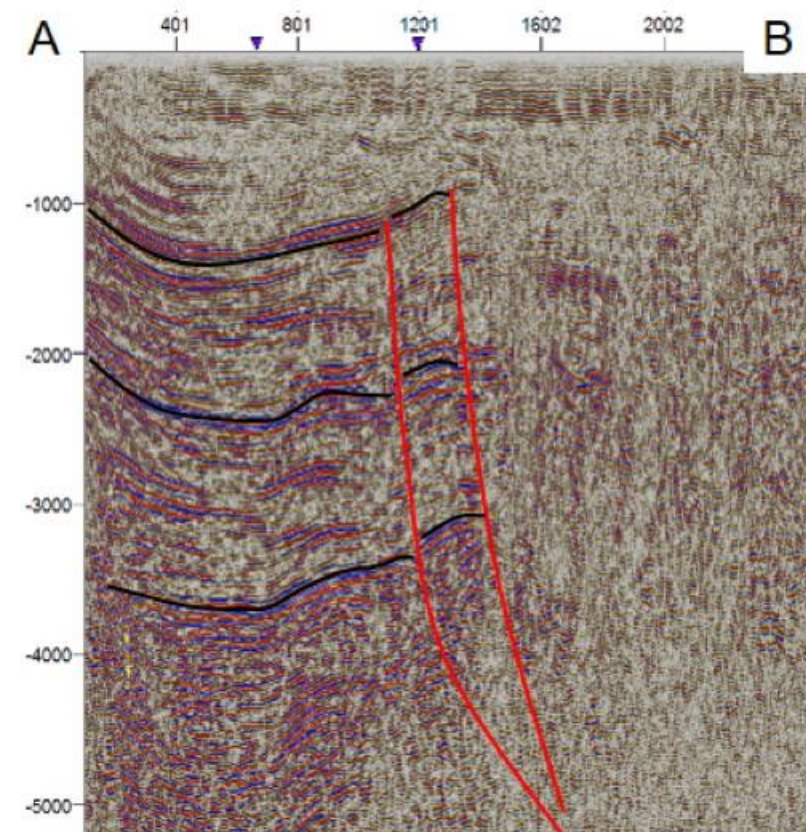
Локальная составляющая  
поля силы тяжести



Вертикальный градиент  
аномального магнитного поля



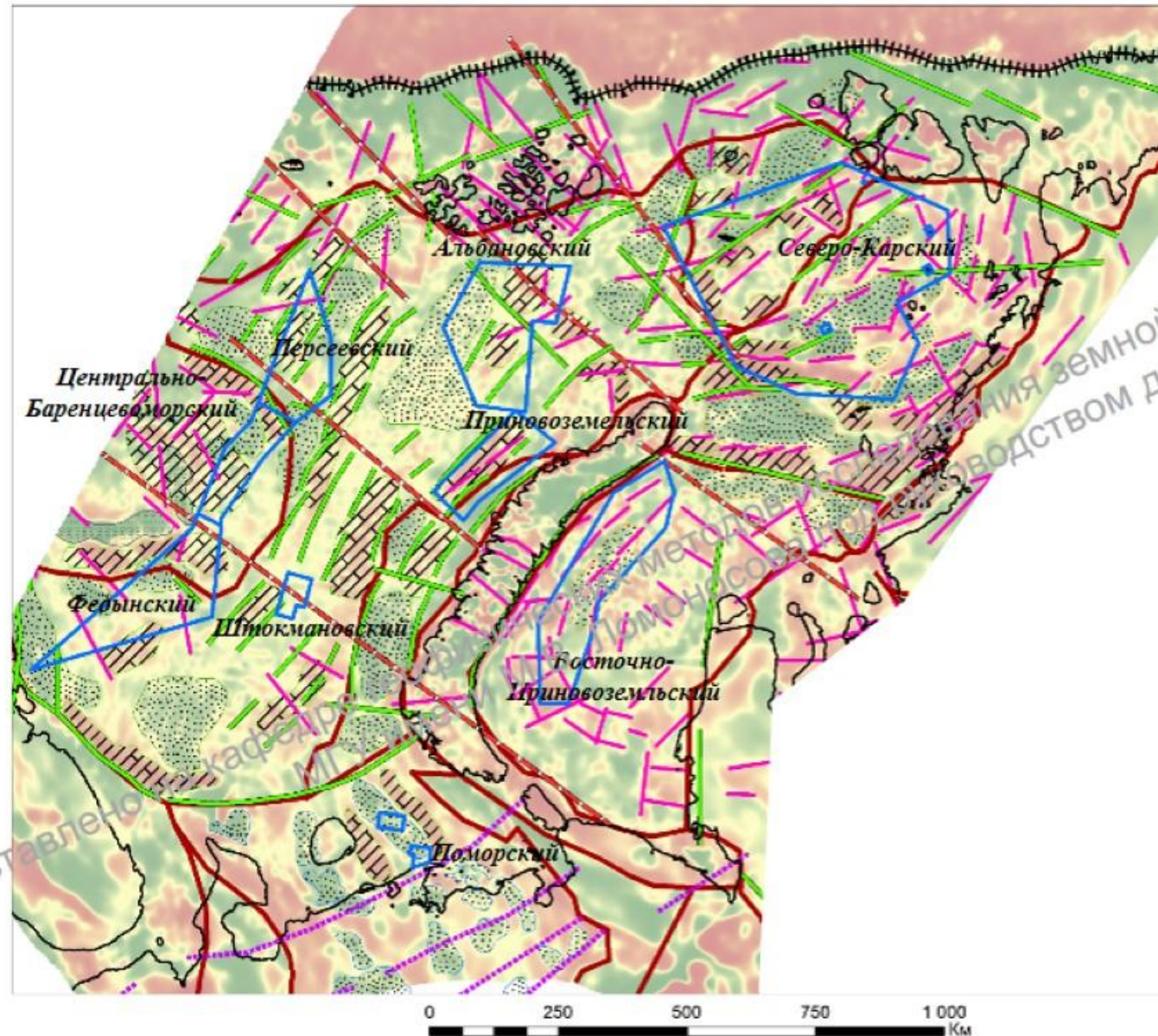
Временной разрез



[Черников и др.,  
2019]

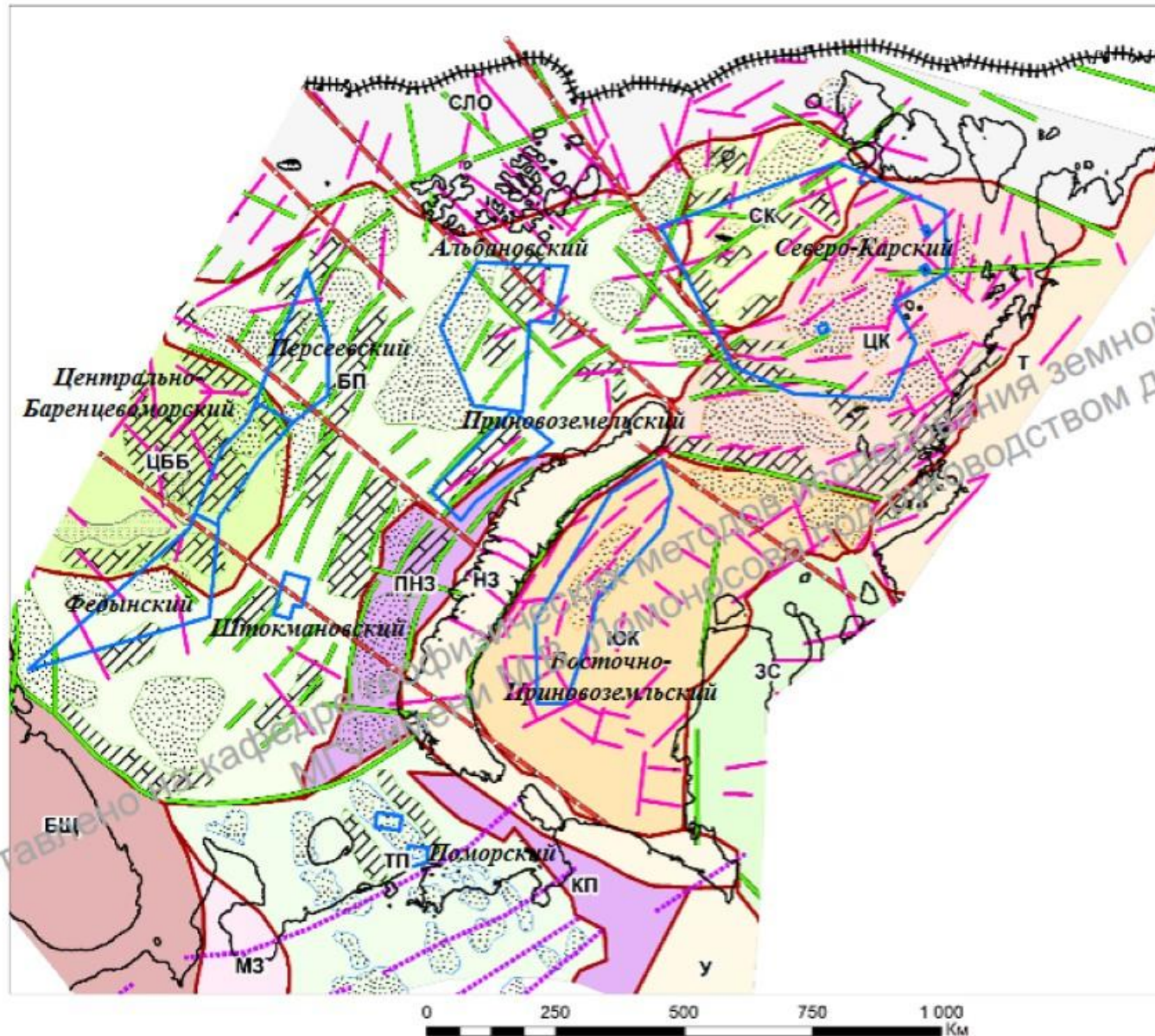
1 – региональный разлом сбросового типа (Бегичевский разлом);  
торостепенные нарушения (2–4): 2 – сбросы, 3 – взбросы, 4 – сбросо-сдвиги.  
I, II — горсты.

## Морфологические особенности и лицензионные участки



- Береговая линия
- HHH+ Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
  - разнонаправленные
  - северо-западного простирания
  - северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента выделенные по среднечастотной составляющей
- HH+ Положительные структуры в Карском и Баренцевом морях
- HH+ Депоцентры Карского моря
- HH+ депоцентры Баренцева моря
- HH+ зоны соляной тектоники
- HH+ Депоцентры Тимано-Печорского региона
- Первая вертикальная производная гравитационного поля на уровне 5 км**
- V<sub>zz</sub>, мГал/м**
  - High : 0.00779002
  - Low : -0.0101984
- Лицензионные участки

Составлено кафедрой геологического факультета



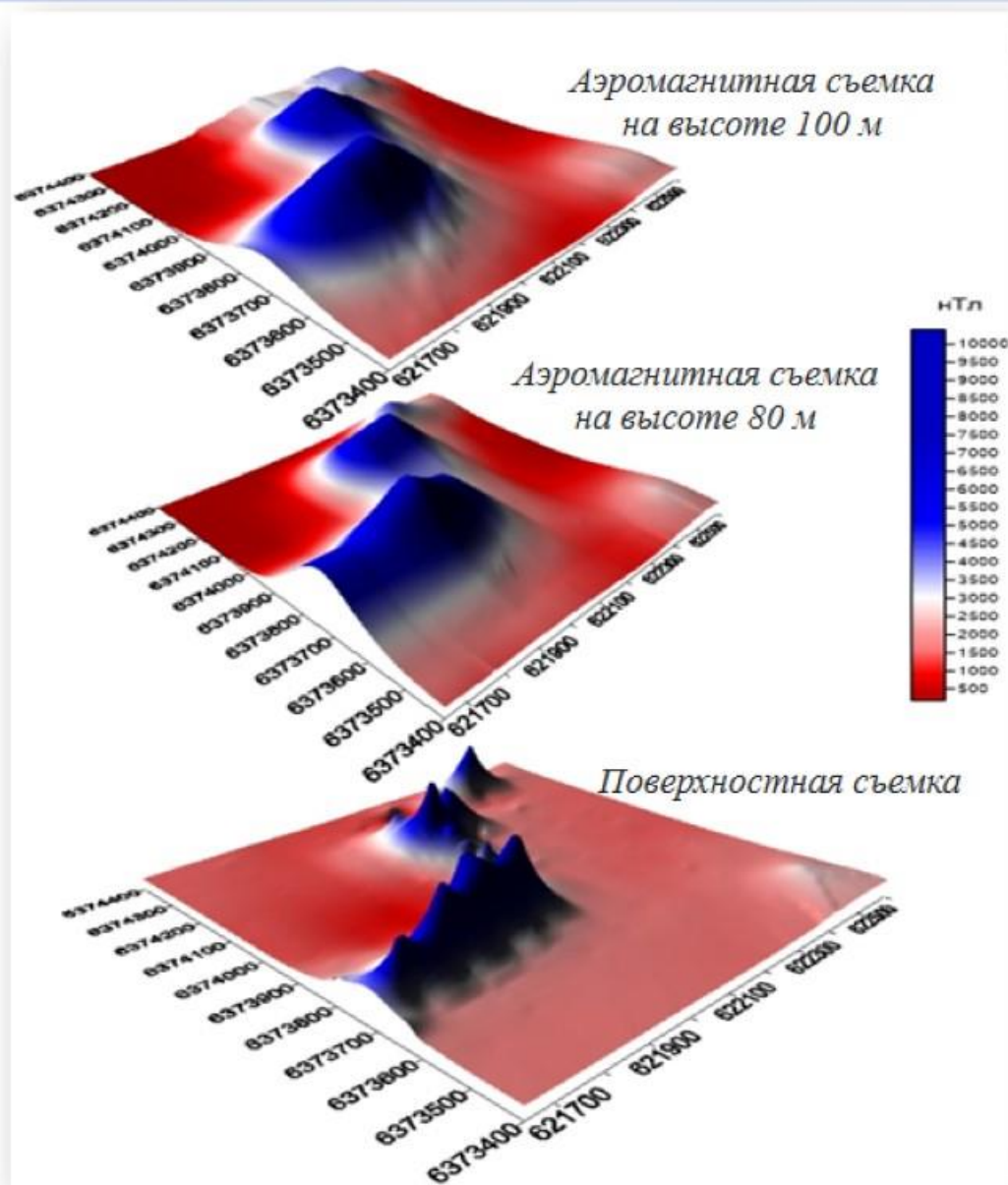
Структурно-тектоническая схема по результатам анализа региональных потенциальных полей

### Блоки фундамента

- Баренцево-морская плита (БП)
- Центральная часть Баренцево-морской плиты (ЦББ)
- Северо-Карская плита (СК)
- Центрально-Карская область (ЦК)
- Южно-Карская область (ЮК)
- Зона ближайшего воздействия Северного Ледовитого океана (СЛО)
- Предновоземельский прогиб (ПНЗ)
- Коротайхинский прогиб
- Линейное складчатое сооружение Новая Земля (НЗ)
- Линейное складчатое сооружение Урал (У)
- Линейное складчатое сооружение Таймыра (Таймырский аккреционный пояс) (Т)
- Область неглубокого залегания фундамента Балтийский щит (БЩ)
- Мезенский прогиб (МЗ)
- Тимано-Печорская плита (ТП)
- Западно-Сибирская плита (ЗС)

- Береговая линия
- ||||| Континентальный склон
- Особенности потенциальных полей**
- Региональные линейные особенности**
- разнонаправленные
- северо-западного простирания
- северо-западного простирания
- Границы блоков фундамента выделенные по среднечастотной составляющей
- Положительные структуры в Карском и Баренцевом морях
- Делоцентры Карского моря
- делоцентры Баренцева моря
- зоны соляной тектоники
- Делоцентры Тимано-Печорского региона
- Лицензионные участки

Составлено кафедрой геологии и минералогии факультета геологии МГУ им. М.В. Ломоносова по методике, разработанной доц. И.В. Лыгина

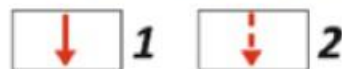
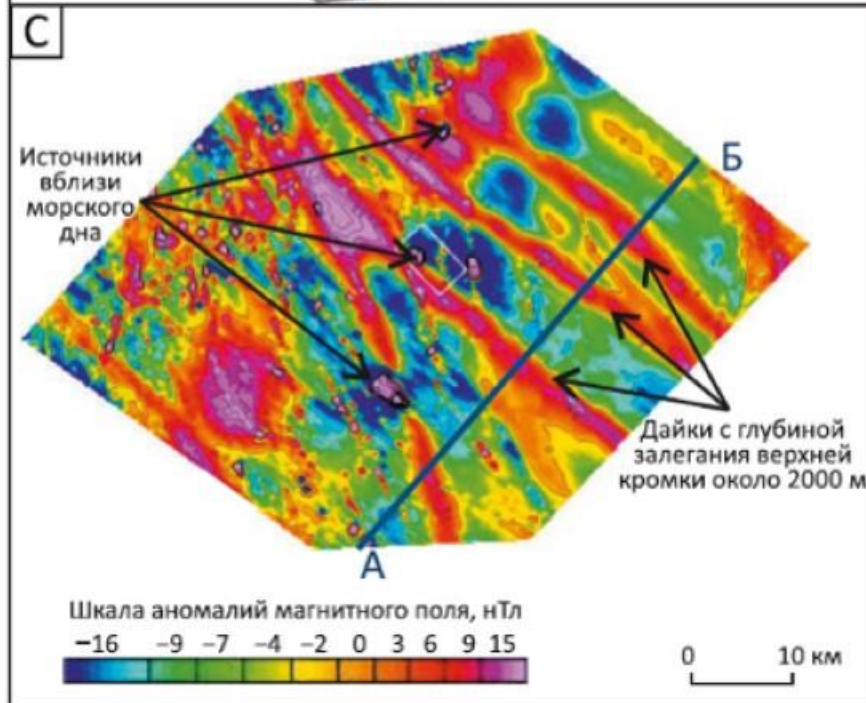
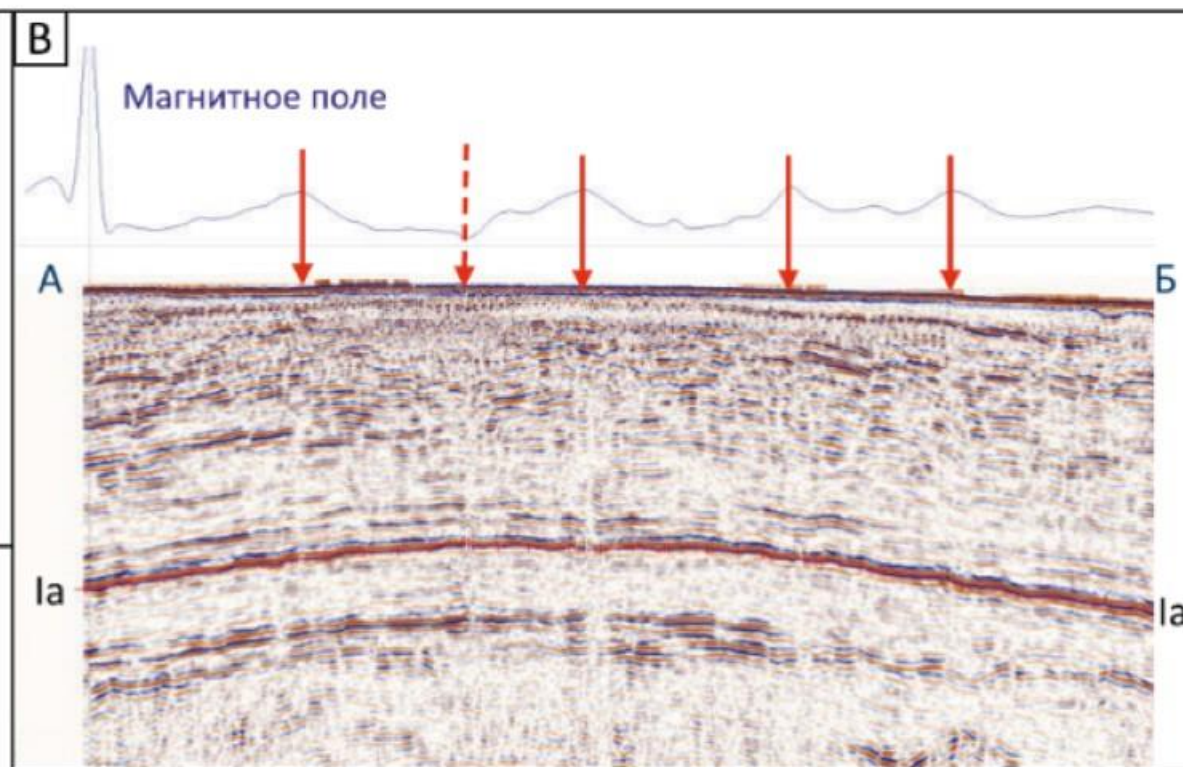
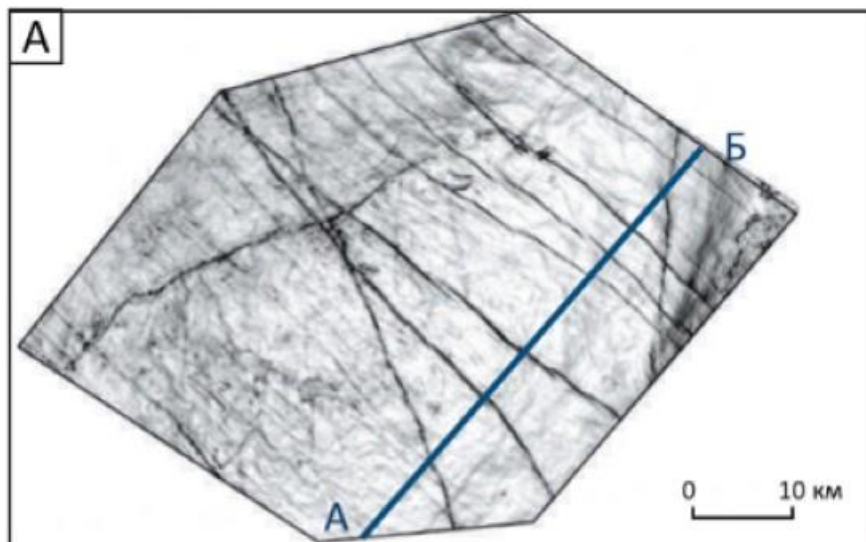


### Магнитная съемка на разных уровнях

3D карты магнитных аномалий по данным аэромагнитной съемки на высотах 80 м и 100 м и по данным наземной съемки

Чем дальше источник, тем поле от него более гладкое и менее амплитудное

# Проявленность интродуцированных тектонических нарушений в магнитном поле и данных сейсморазведки на Адмиралтейском валу

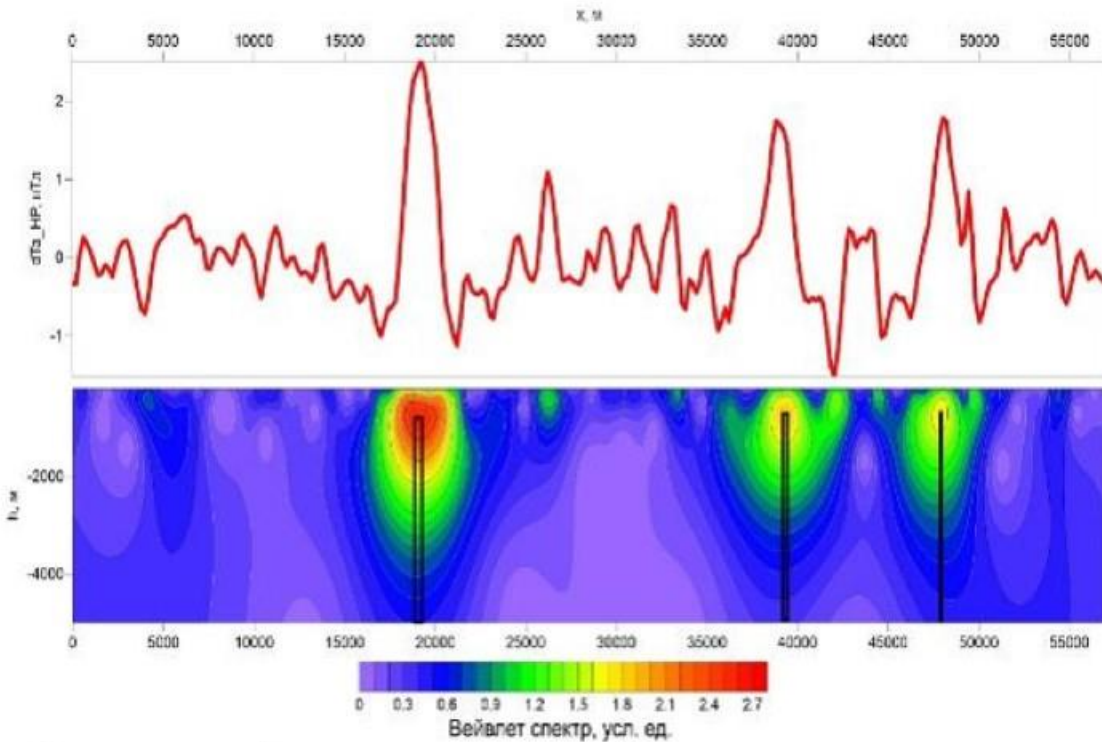


А — когерентность по отражающему горизонту la, В — сейсмический разрез по профилю А-Б, С — локальная составляющая магнитного поля.

**Разломы с дайками, проявляющиеся аномалиями магнитного поля (1, 2):**  
1 — положительными, 2 — отрицательной

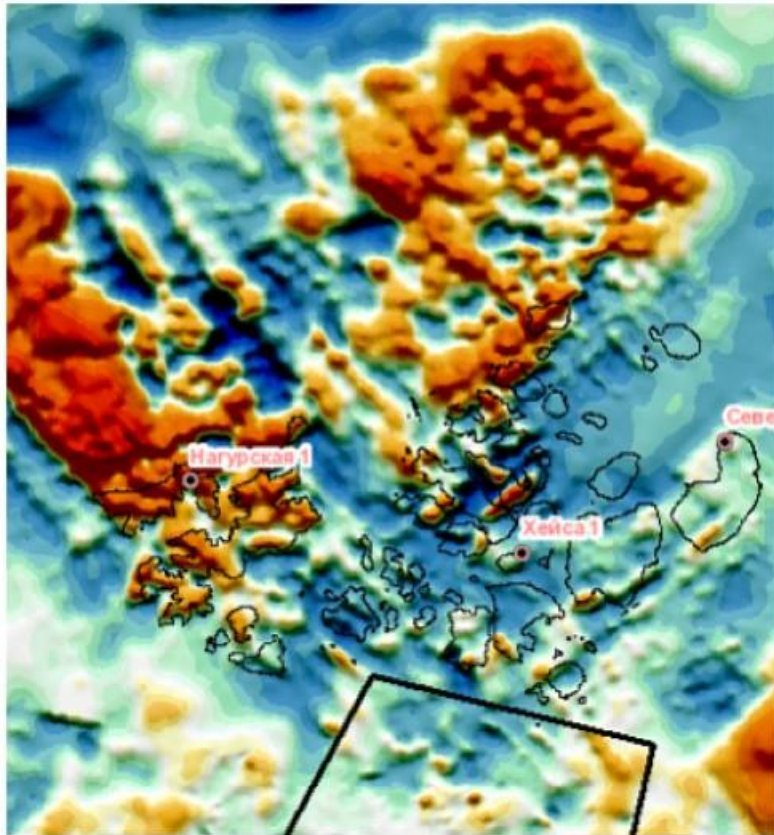
[Черников и др., 2019]

Положение верхних кромок даек на Лудловской площади,  
полученные на результате вейвлет анализа



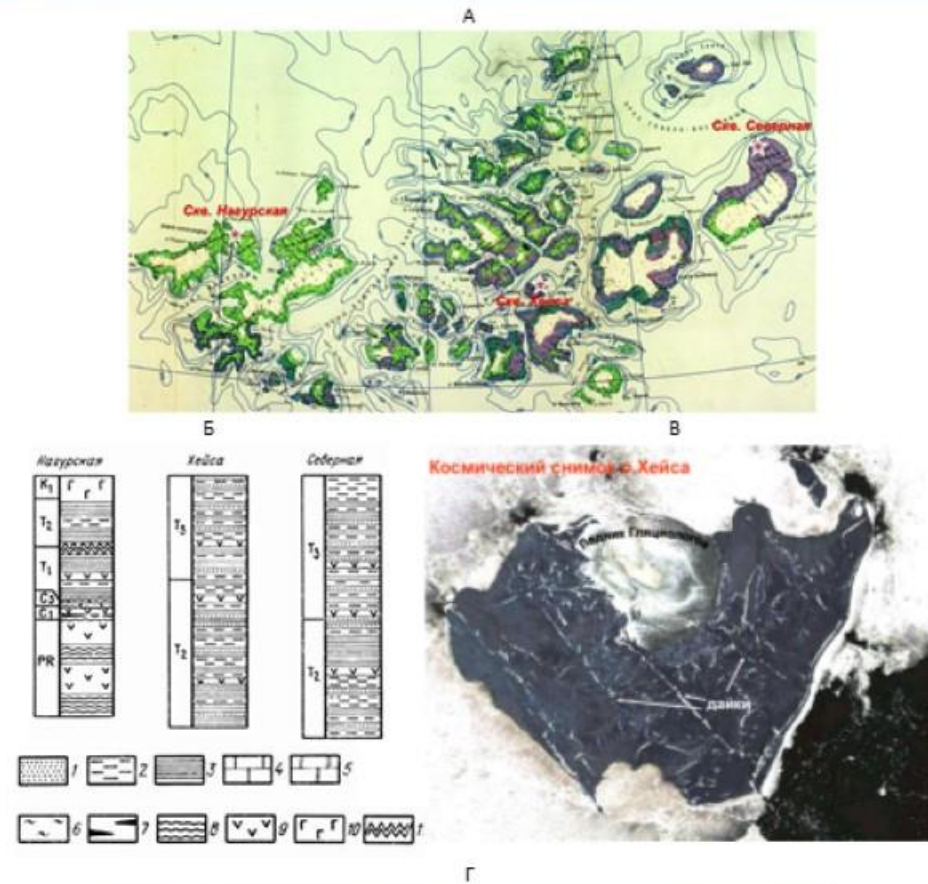
*Сверху* – график высокочастотной компоненты аномального магнитного поля;

*Внизу* - вейвлет Пуассона первого порядка, с масштабным коэффициентом второго порядка  $1/h$ , сечение изолиний 0.1 усл. ед.;



Аномальное магнитное поле в окрестности арх. ЗФИ

В районе островов ЗФИ наблюдается «полосчатая» структура магнитного поля с явным северо-западным направлением аномалий.



**Магматические тела на арх. Земля Франца Иосифа по геологическим и геоморфологическим данным**

А – положение параметрических скважин на фрагменте геологической карты;

Б - геологические разрезы скважин [Грамберг и др., 1985];

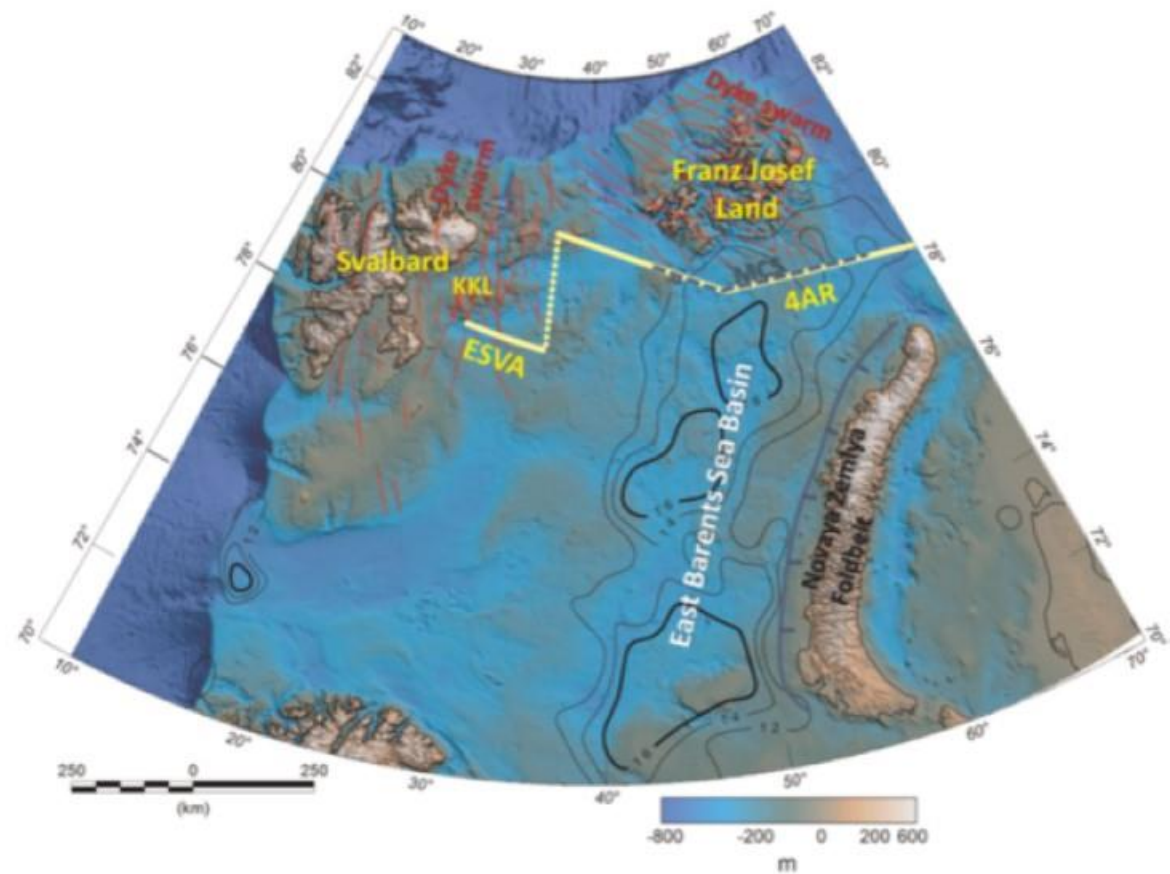
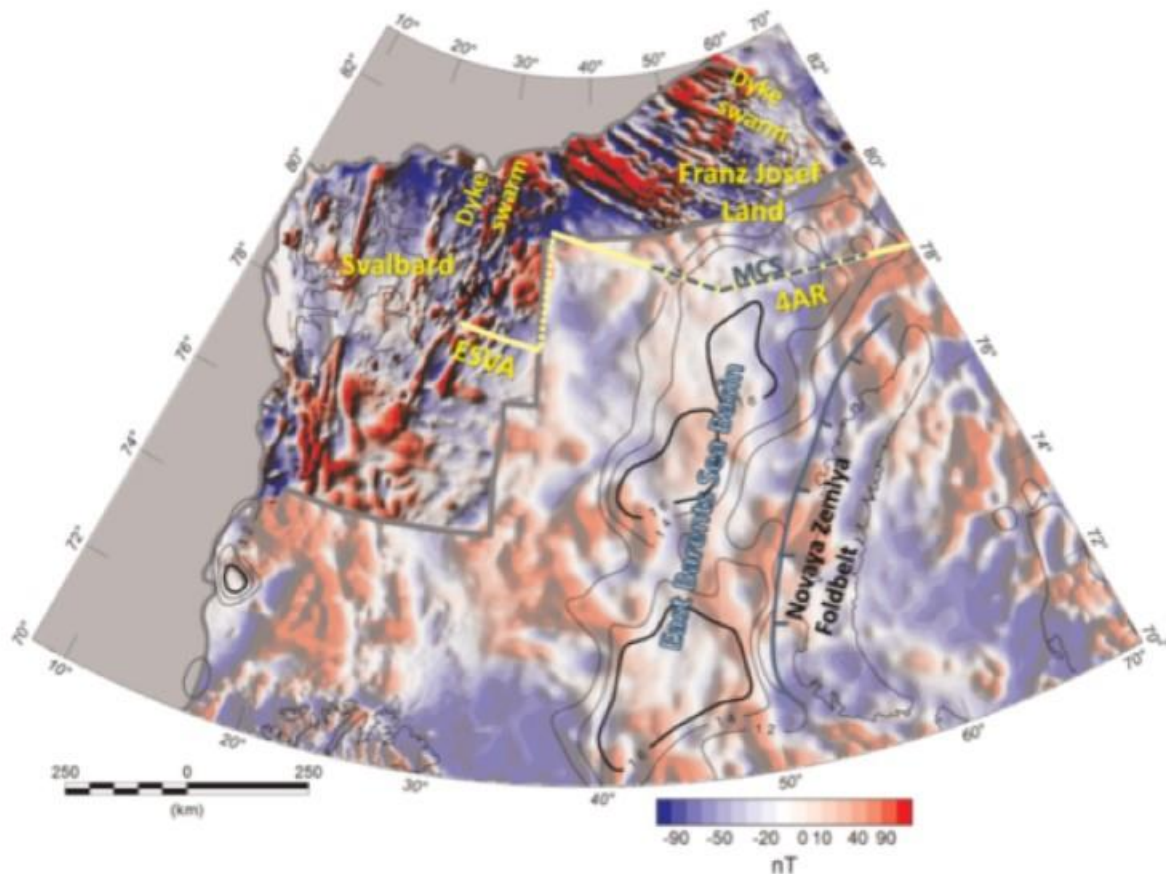
В – дайки на космическом снимке;

Г – выходы даек на фотографии [Шипилов Э.В., Карякин Ю.В. 2008].

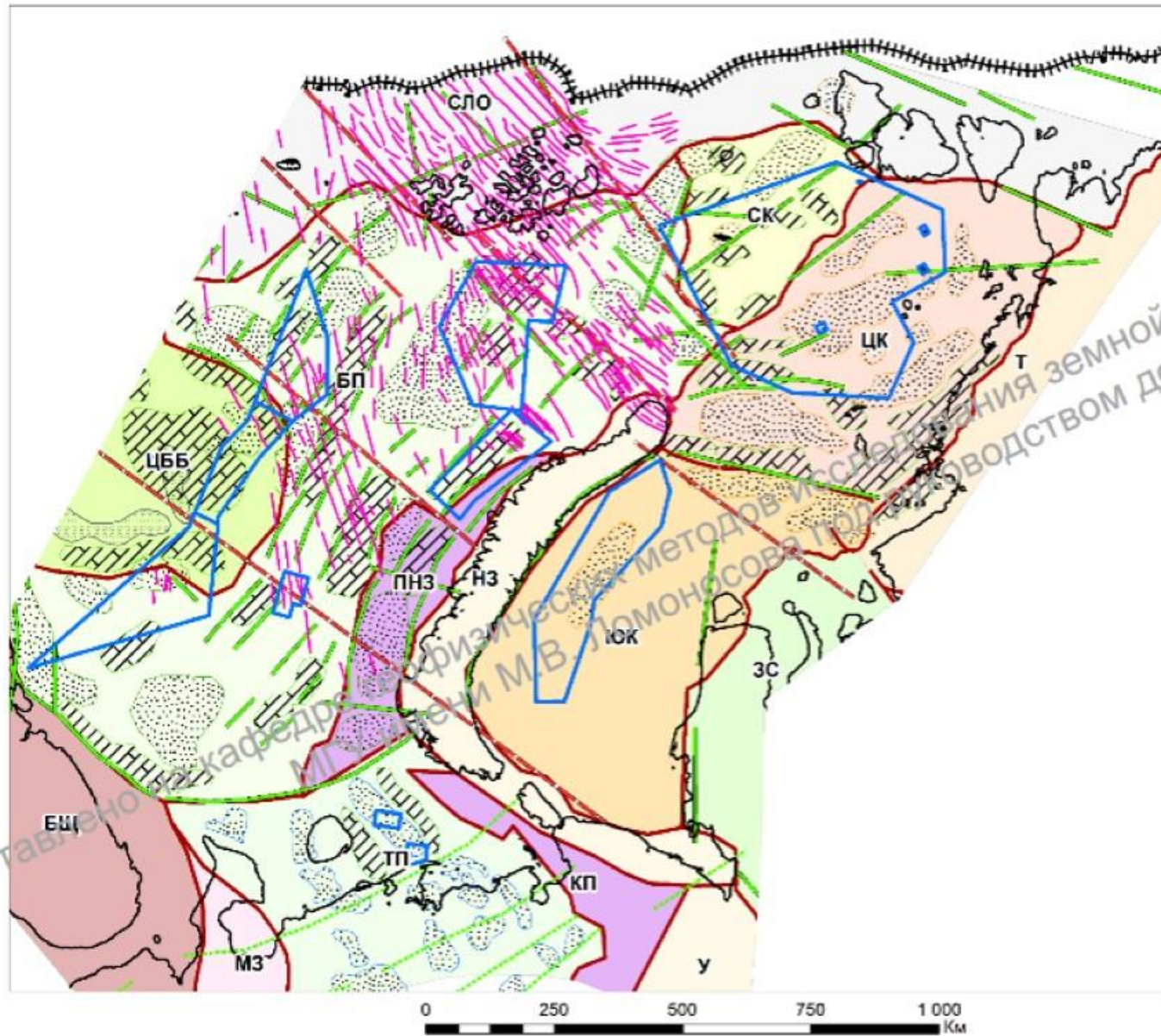
Условные обозначения:

- 1 – пески, песчаники; 2 – алевриты, алевролиты; 3 – глины, аргиллиты;
- 4 – известняки; 5 – доломиты;
- 6 – кремнистые породы;
- 7 – углистые породы, угли;
- 8 – метаморфические породы;
- 9 – долериты; 10 – базальты;
- 11 – тектонический контакт.

Структура высокочастотной компоненты аномального магнитного поля (А) и оси даек по результатам интерпретации в северной части Баренцева моря по [Minakov et al., 2017]







## Линейные особенности потенциальных полей

- региональные зоны предполагаемой тект. активности
- линейные особенности регионального поля
- особенности рег. поля требующие объяснения
- Границы блоков фундамента
- ▨ Положительные структуры в Карском и Баренцевом морях
- Депоцентры Карского моря
- депоцентры Баренцева моря
- ▨ зоны соляной тектоники
- Депоцентры Тимано-Печорского региона

## Блоки фундамента

- Баренцевоморская плита (БП)
- Центральная часть Баренцевоморской плиты (ЦББ)
- Северо-Карская плита (СК)
- Центральнo-Карская область (ЦК)
- Южно-Карская область (ЮК)
- Зона ближайшего воздействия Северного Ледовитого океана (СЛО)
- Предновоземельский прогиб (ПНЗ)
- Коротавихинский прогиб
- Линейное складчатое сооружение Новая Земля (НЗ)
- Линейное складчатое сооружение Урал (У)
- Линейное складчатое сооружение Гаймыра (Гаймырский аккреционный пояс) (Т)
- Область неглубокого залегания фундамента Балтийский щит (БЩ)
- Мезенский прогиб (МЗ)
- Тимано-Печорская плита (ТП)
- Западно-Сибирская плита (ЗС)

## Структурно-тектоническая схема по результатам анализа региональных потенциальных полей

- Лицензионные участки
- Береговая линия
- Дайки
- ▨▨▨▨▨ Континентальный склон

Составлено кафедрой физико-математических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством доц. И.В. Лыба

# Геологические задачи на разных этапах Геолого-Разведочных Работ и применимость потенциальных методов



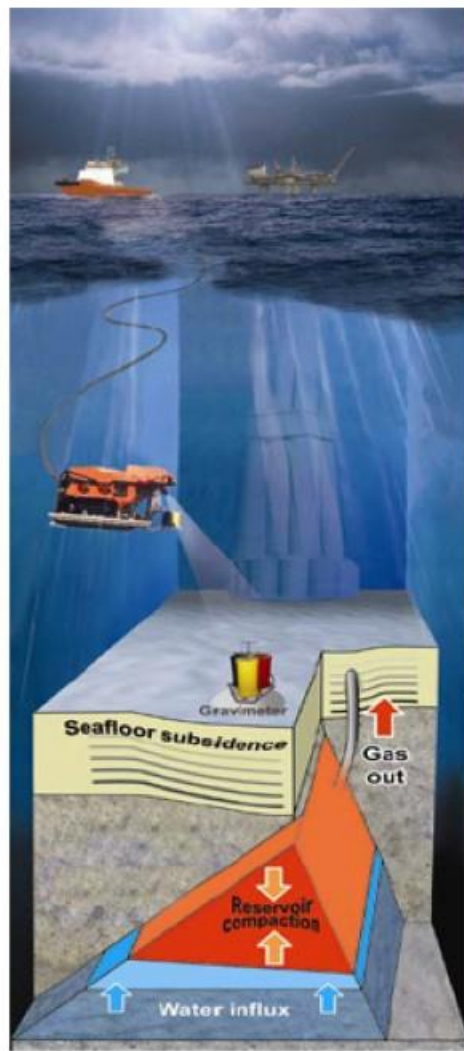
Этап ГРР	Геологические задачи	Масштаб работ	Характерные размеры объектов, км	Применимость методов гравиразведки и магниторазведки
<b>Региональный</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выявление крупных геотектонических структур, их границ, изучения особенностей фундамента.</li> </ul>	1: 1 000 000 1: 200 000	> 10	Высокая
<b>Поиск</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выявление структур для поисковых работ.</li> </ul>	1: 200 000 1: 100 000 1: 50 000	2 – 10	Высокая
<b>Разведка</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Изучение неоднородности вещественного состава комплексов осадочного чехла.</li> <li>Картирование дизъюнктивных нарушений.</li> </ul>	1: 100 000 1: 50 000 1: 25 000	0.5 – 5	Выше среднего
<b>Оценка запасов</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уточнение типа залежи. Уточнение характера изменения фильтрационно-емкостных свойств (пористость, насыщенность).</li> <li>Построение детальной геологической модели залежи/месторождения.</li> </ul>	1: 25 000	< 2	Низкая
<b>Эксплуатация</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уточнение гидродинамической модели в процессе эксплуатации нефте-(газовых) месторождений, подземных хранилищ газа.</li> </ul>	1: 25 000	0.5 – 5	Средняя
<b>Инженерно-геологические изыскания</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Поиск пустот, подземных коммуникаций.</li> <li>Археологические исследования.</li> <li>Изучение неоднородности ВЧР (мерзлые породы, талики, грязев. вулк., магматические комплексы, траппы, приповерхностных разломов).</li> <li>Мониторинг оползневых процессов, гидродинамического режима (УГВ, обводненность).</li> <li>Выявление геологических опасностей на промышленных объектах (деформации фундаментов, обводнение, образование полостей).</li> </ul>	< 1: 5 000	0,001 – 0,1	В зависимости от задачи и параметров исследуемого объекта: от низкой к высокой

# Эксплуатация месторождений – уточнение геологической модели, мониторинг геосреды

## Донная гравиметрия и гравиметрический мониторинг

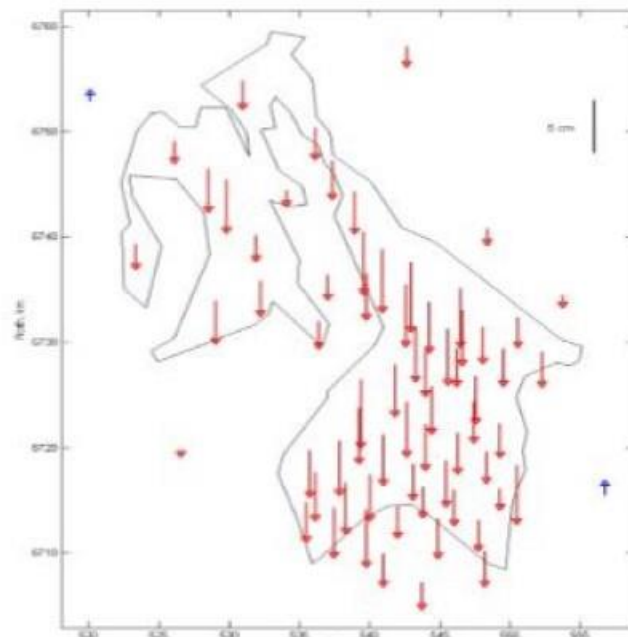


### Гравиметрический мониторинг, морского м/р Troll East (Норвегия)

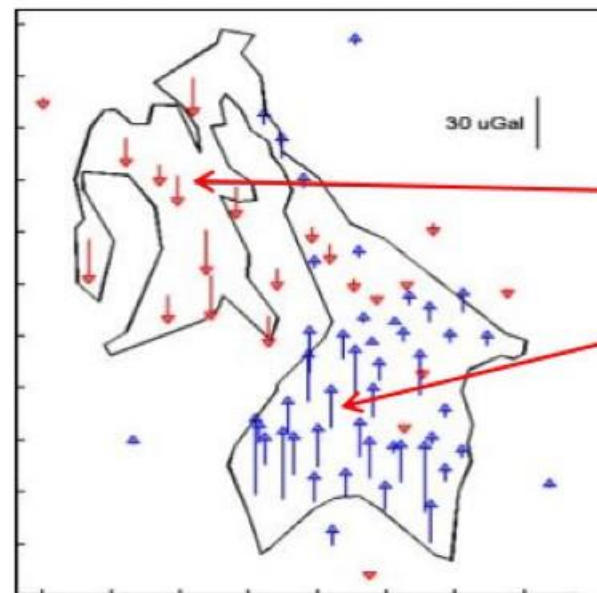


Eiken, et al., 2008;  
Alnes, et al., 2010;  
Ruitz, et al., 2015.

Просадка дна моря с 2002 по 2009 гг.



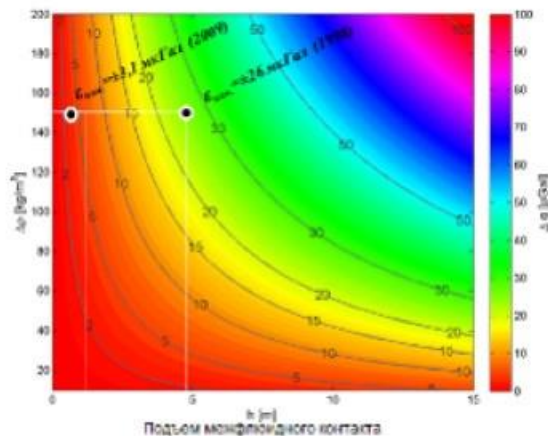
Вариации гравитационного поля между 2009 и 2002 г.г., исправленные за просадку и отбор газа.



Отпускание газонефтяного контакта при добыче нефти на м/р Troll West

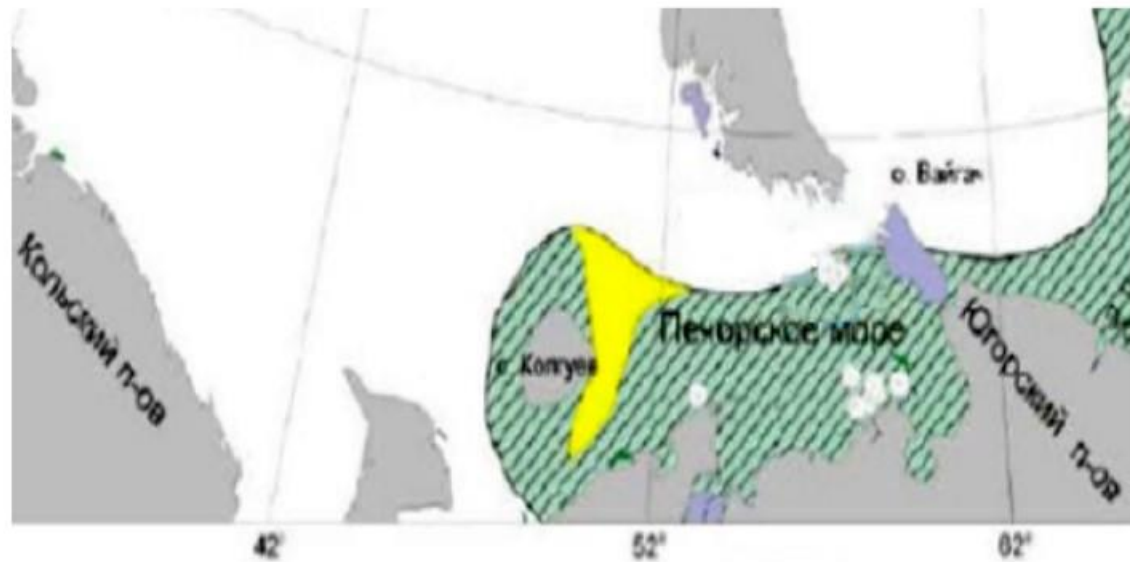
Подняние водогазового контакта при добыче газа на м/р Troll East

- ↓ – опускание.
- ↑ – поднятие.
- Положение станций под острием стрелки.
- ~ Контур у/в резервуара.



Year	Number of locations	Number of measurements	Gravity repeatability (μGal)	Depth repeatability (mm)
1998	38	84	26.0	12
2000	68	103	11.0	9
2002	68	121	3.9	6
2005	80	134	5.3	6
2009	80	134	3.1	5
2013-14	-	-	1-2	2-4

Область распространения многолетнемерзлых пород на шельфе Печерского и Карского морей



1 - Область распространения многолетнемерзлых грунтов

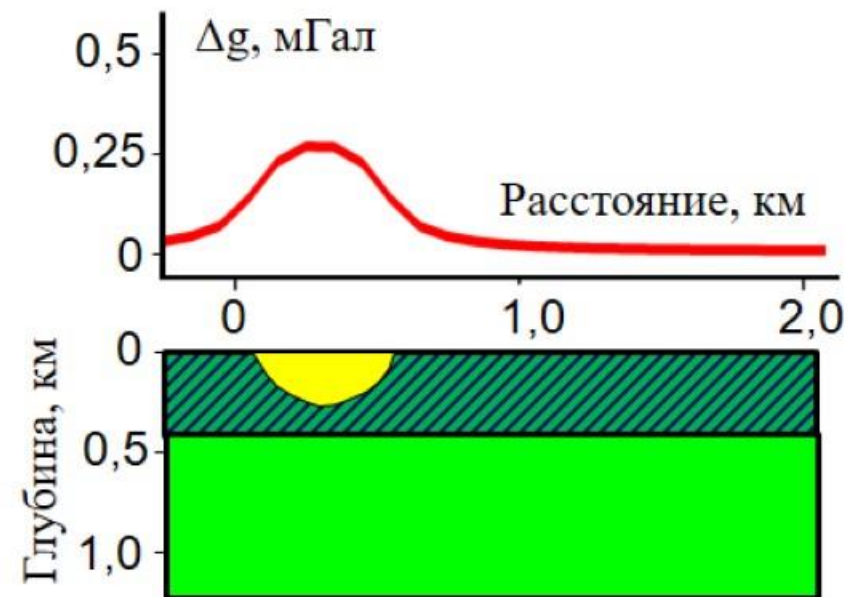


2 - Талики

## Модельные данные

Размер неоднородности:  
 ширина 0.5 км,  
 мощность 0.2 км  
 $\sigma_{эф} = +0.05 \text{ г/см}^3$

Максимальный гравитационный эффект:  
 $\Delta g_{аном.} = 0.26 \text{ мГал}$



# Эффективность исследований методами гравиразведки и магниторазведки обусловлена



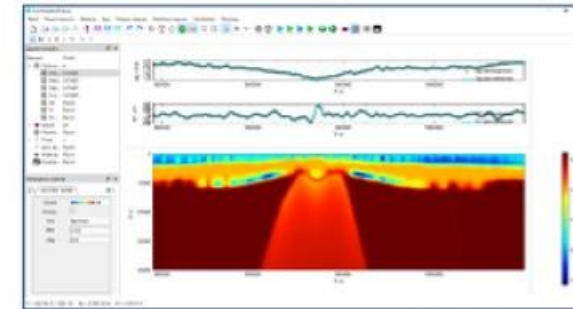
- естественным затуханием гравитационных и магнитных эффектов с удалением от источника;
- точностью гравиметрических измерений на подвижном основании;
- точностью магнитометрических измерений в высоких полярных регионе;
- низкой производительностью наземных гравиметрических измерений на неподвижном основании;
- отсутствием доступных технологий векторных и градиентных наблюдений;
- детальностью исследований;
- количеством измеряемых параметров поля;
- доступностью априорной информации;
- желанием заниматься комплексным геолого-геофизическим анализом.

Прогресс геофизических технологий с учетом развития Беспилотных средств передвижения



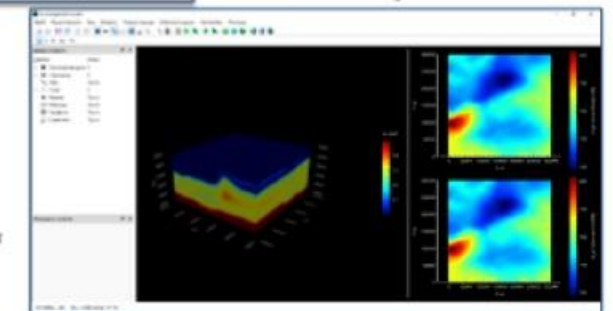
Интерактивное плотностное и магнитное моделирование для комплексной интерпретации

GravMagInv2D



✓ Двумерная интерпретация данных гравиразведки и магниторазведки

GravMagInv3D



Трёхмерная интерпретация данных гравиразведки и магниторазведки

<https://www.gravmaginv.ru/>

Благодарим  
за внимание!



6–9 июня 2022 г.  
Московская область



ЭИО

[Бульчев Андрей  
Александрович](#)

Должность

заведующий кафедрой геофизических  
методов исследования земной коры,  
профессор, доктор физ.-мат. наук



[Лыгин Иван  
Владимирович](#)

доцент, канд. геол.-мин. наук



[Соколова Татьяна  
Борисовна](#)

старший научный сотрудник,  
канд. геол.-мин. наук



[Кузнецов Кирилл  
Михайлович](#)

доцент,  
канд. техн. наук



[Фадеев Александр  
Александрович](#)

ассистент



[Чепиго Лев  
Станиславович](#)

инженер

Аспиранты

Студенты

**Лыгин Иван Владимирович**

Кандидат геолого-минералогических наук

Доцент Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

[info@gcras.ru](mailto:info@gcras.ru)