

Кинематика спрединга и сегментация спрединговых хребтов Арктического региона по геоморфологическим и геолого-геофизическим данным

Дубинин Е.П., Кохан А.В.

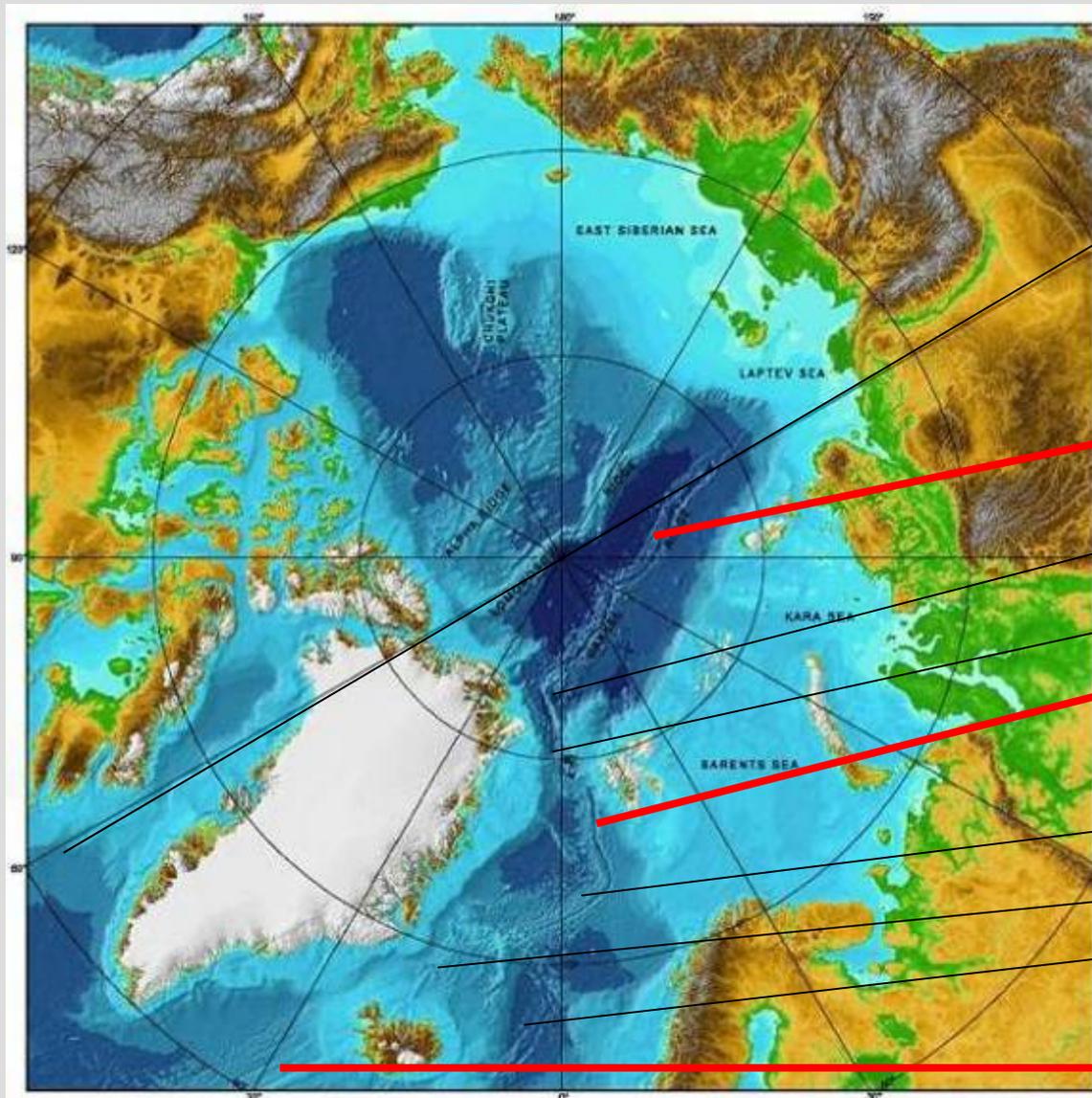
Музей Землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова

**МАТЕРИАЛЫ к научно-образовательному курсу лекций
«Современные проблемы геоморфологии и
палеогеографии» по теме: «Строение спрединговых
хребтов» для студентов 5 курса кафедры геоморфологии и
палеогеографии географического факультета МГУ**

Цель:

сравнительный анализ морфологии рельефа и морфоструктурной сегментации спрединговых хребтов Рейкьянес, Кольбейнсей, Мона, Книповича, Гаккеля и выявление особенностей структурообразования в их рифтовых зонах, приводящие к формированию естественной сегментации

Географическое положение спрединговых хребтов



Лабрадорский
палеоспрединговый
хребет

**Хребет
Гаккеля**

Трог Лена

Хребет Моллой

**Хребет
Книповича**

Хребет Мона

Хребет Кольбейнсей

Палеоспрединговый
Хребет Эгир

Хребет Рейкьянес

[ИВСаО, ver 2.23, 2008].

Геодинамические параметры спрединговых хребтов

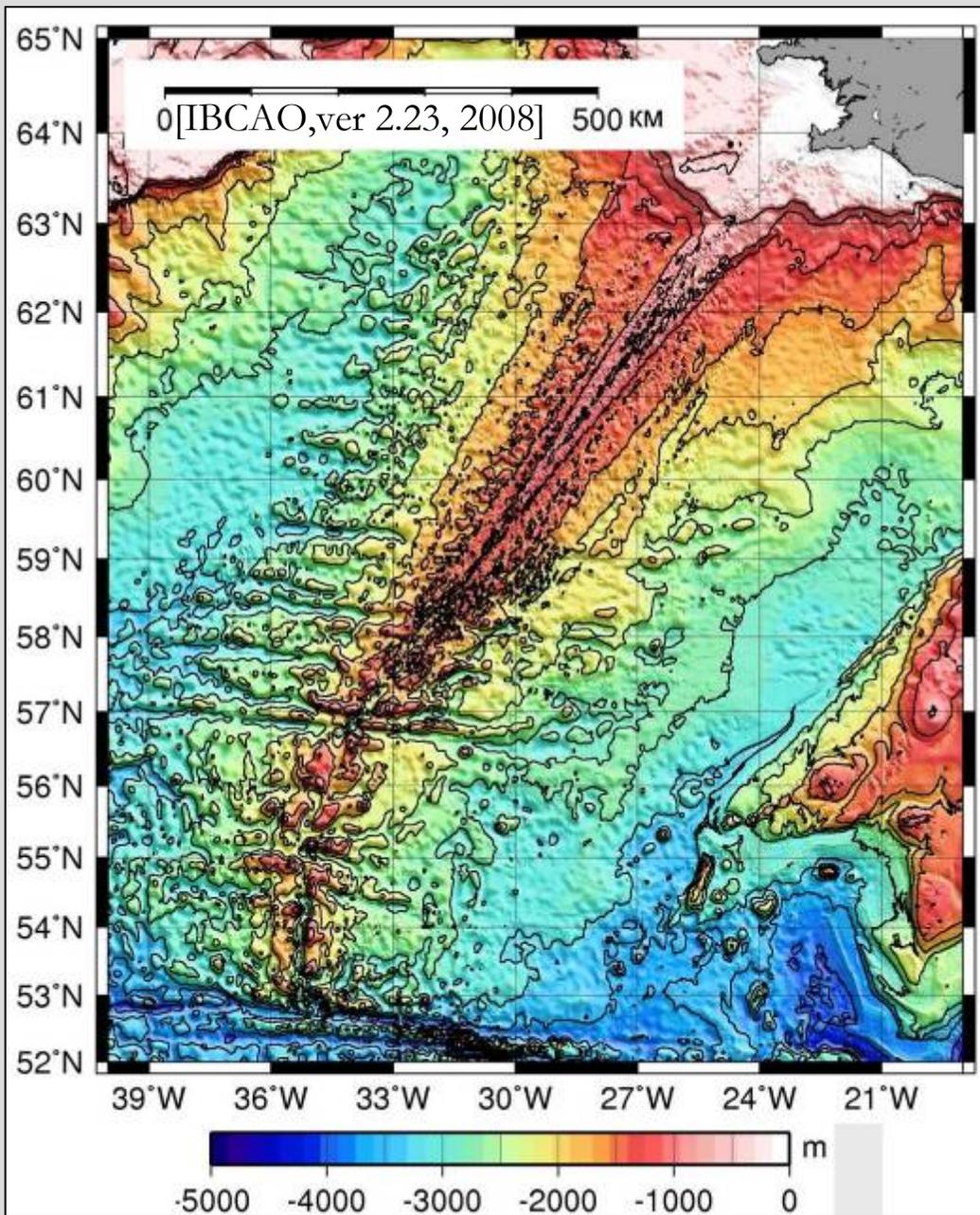
| Хребет | 1-я ЛМА | Возраст начала спрединга | $V_{\text{спр.}}$, мм/год | Простираание, ° | Азимут спрединга, ° | α , ° | длина, км |
|--------------|---------|--------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------|
| Рейкьянес | 24А | 55-56 млн. лет | 20 | 37 | 100 | 63 | 850 |
| Книппович юг | 22-24 | 53-55 млн. лет | 16 | 347 | 127 | 37 | 550 |
| север | 6-13(?) | 30-35 млн. лет | 15 | 3 | 127 | 56 | |
| Гаккель | 25 | 58-60 млн. лет | 9-13 | 40-120 | 130-135 | 50-105 | 1800 |

Все спрединговые хребты ультрамедленные ($V_{\text{спр}} < 20$ мм/год) и сравнительно молодые (палеоцен-эоцен)

Отличия:

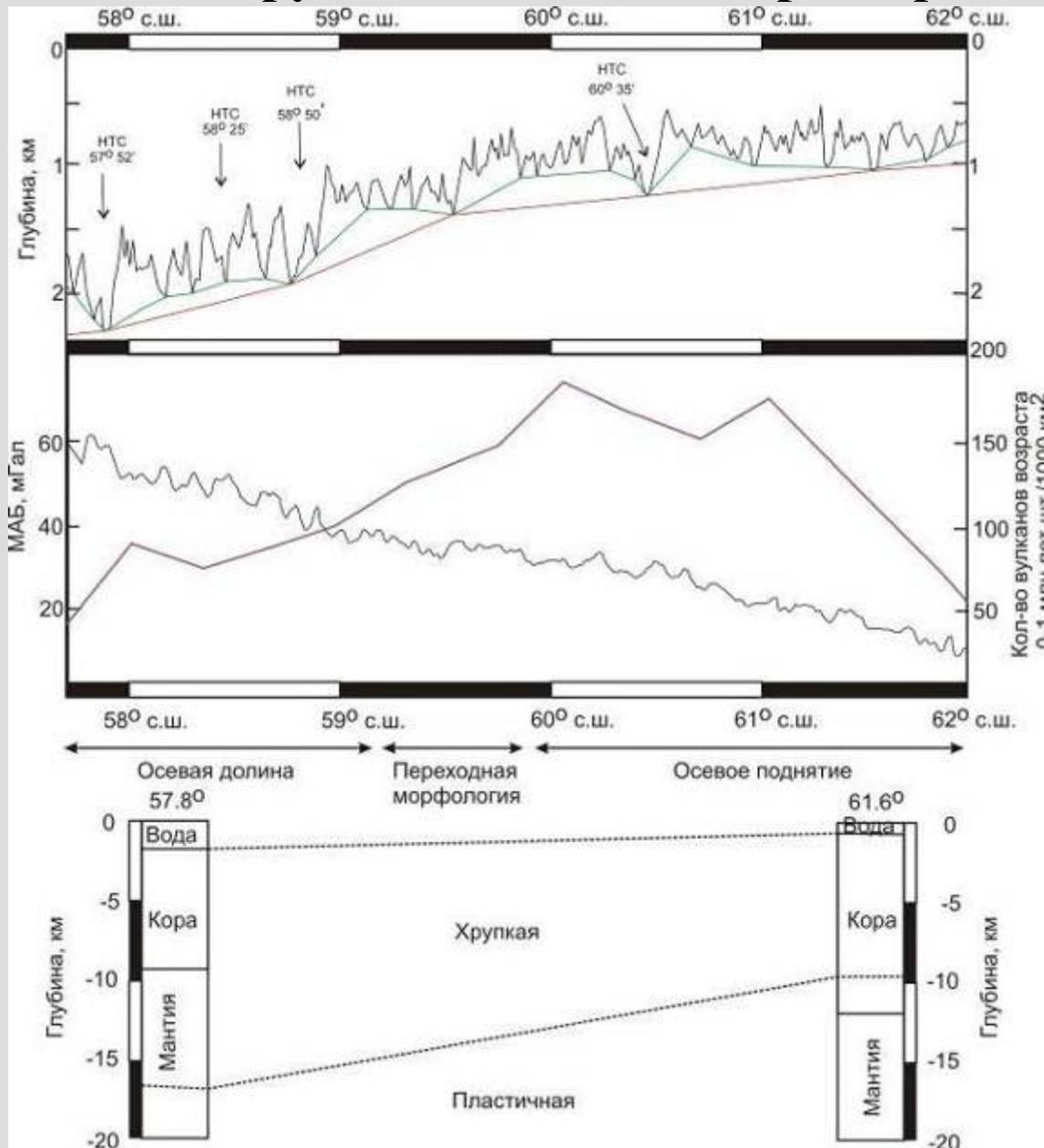
- в морфологии и морфоструктурной сегментации
- в истории развития
- в глубинном строении
- в геометрии и кинематике спрединга (угол α между направлением раздвижения плит и простиранием хребта, скорость растяжения)
- геодинамические особенности спрединга

Хребет Рейкьянес $V_{спр}=17-19$ мм/год, $\alpha=60^{\circ}-64^{\circ}$



- Хребет протягивается на 900 км и является самым протяженным центром косого спрединга в Атлантике.
- **Особенности:**
косой спрединг,
изменение морфологии
вдоль простирания,
высокая T подстилающей
мантии и коры на хребте,
отсутствие TR

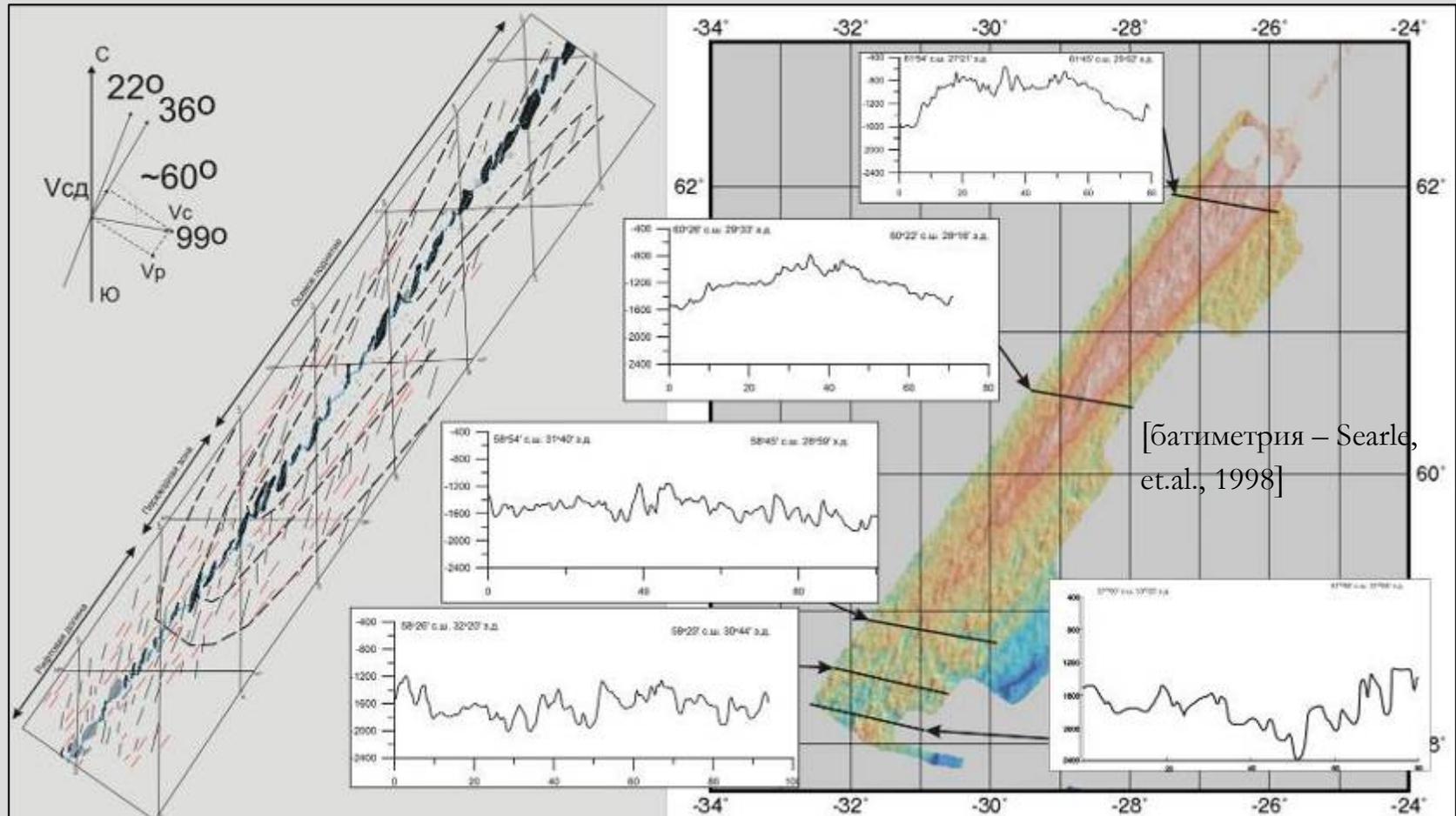
Изменение осевой глубины, мантийных аномалий Буге (МАНБ) и толщины хрупкого слоя вдоль простирания хр. Рейкьянес [Searle, et.al., 1998]



- Профиль длинноволновой сегментации (красный) резко заглубляется к югу от 59.5°. Изменяется изрезанность рельефа, происходит заглубление оси
- Граница морфологических провинций проходит в районе 59 -60 ° с.ш.
- Мантийные аномалии Буге изменяется монотонно, возрастая при удалении от Исландии.
- При удалении от Исландии увеличивается Н хрупкого слоя литосферы и уменьшается Т мантии (по оценкам на 30-35°C).

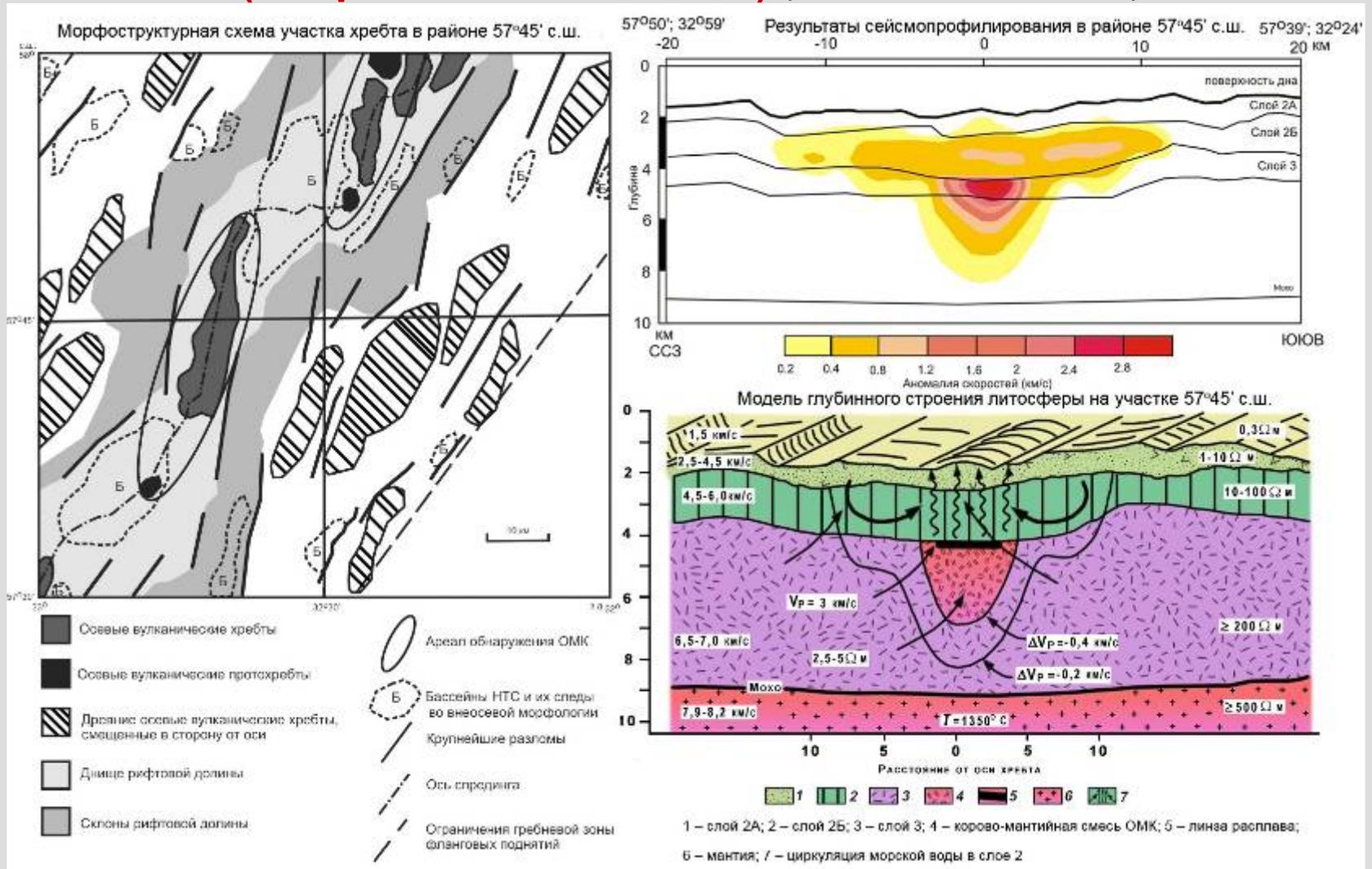
Изменения морфологии и осевой сегментации хр. Рейкьянес

Морфология хребта меняется по мере удаления от Исландии от осевого поднятия до рифтовой долины. **Основной особенностью осевого рельефа является наличие S-образных осевых вулканических хребтов**



Азимут направления спрединга составляет 99° , простирание хребта - 36° , осевые вулканические хребты имеют азимут простирания 22° .

Хр. Рейкъянес $57^{\circ}45' \text{с.ш.}$ $V \approx 2 \text{ см/год}$ (геофизическая модель) (Constable et al., 1997)

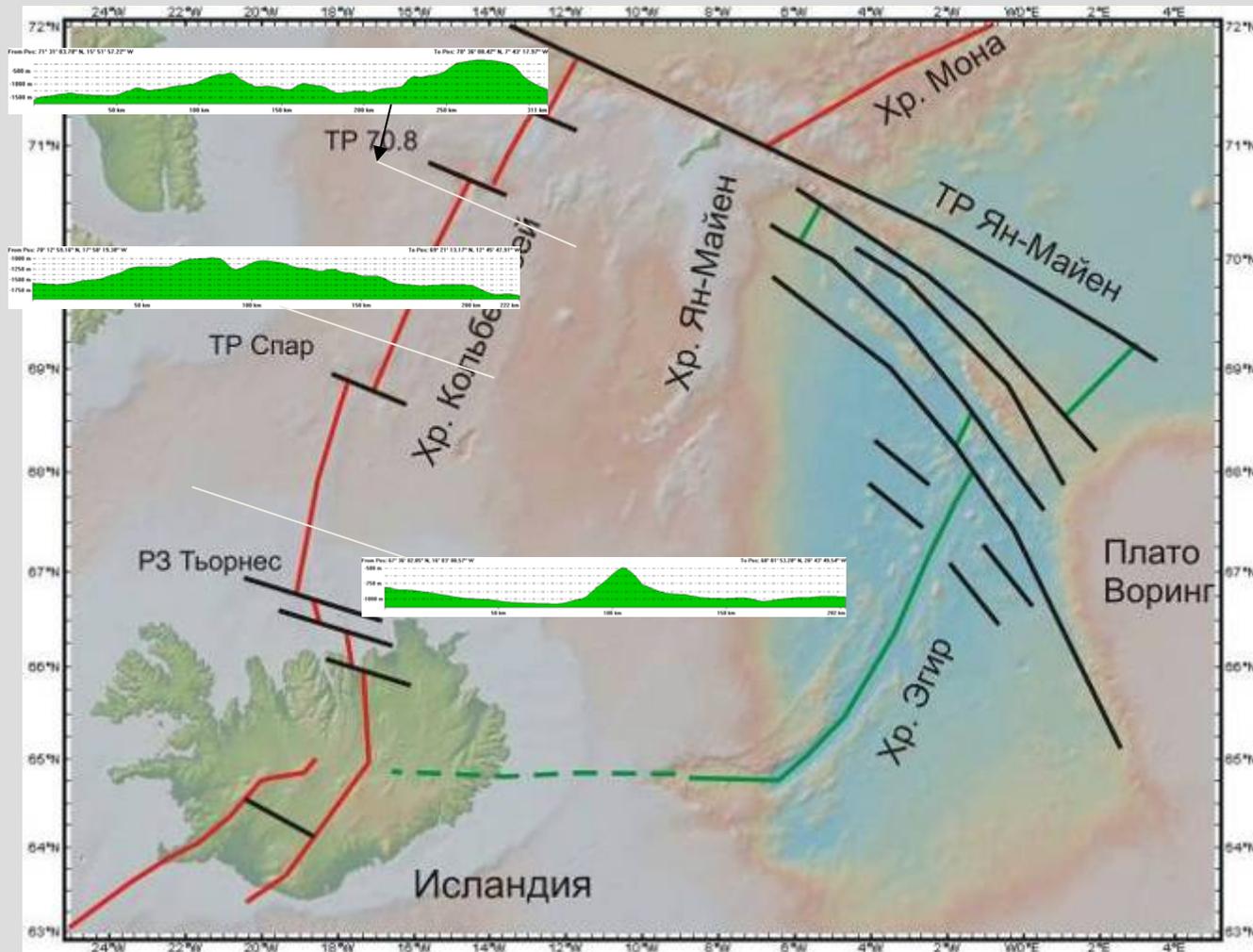


30% плавления (влияние Исландского мантийного плюма)
При каких условиях возможно формирование коровых магматических очагов в ультрамедленных хребтах?

Выводы по хр. Рейкъянес

- **Осевая морфология, особенности распределения и геометрия осевых трещин изменяются с севера на юг по мере удаления от Исландского плюма.**
- **На хр. Рейкъянес отсутствует сегментация на уровне ТР. НТС разбивают хр. Рейкъянес на сегменты связанные с эшелонами осевых трещин, к которым приурочены осевые вулканы.**

Хребет Кольбенсей $V_{\text{спр}} = 1,8-1,7$ см/год



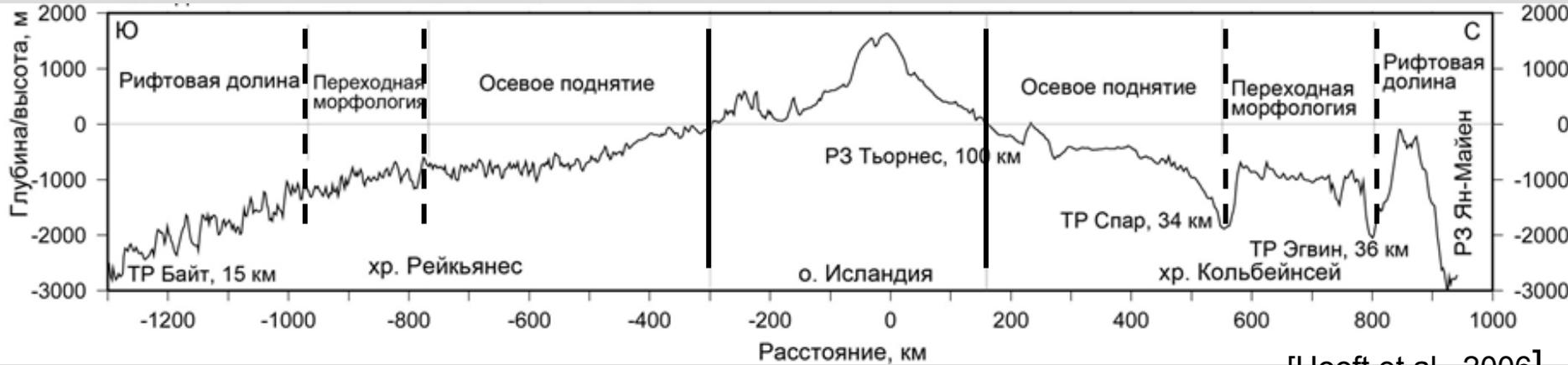
Влияние Исландского плюма менее выражено на хр. Кольбенсей по сравнению с хр. Рейкьянес, что демонстрирует асимметрию потока вещества от Исландского плюма

Асимметричное воздействие Исландского плюма на морфологию хребтов Рейкьянес и Кольбейнсей

Хр. Рейкьянес

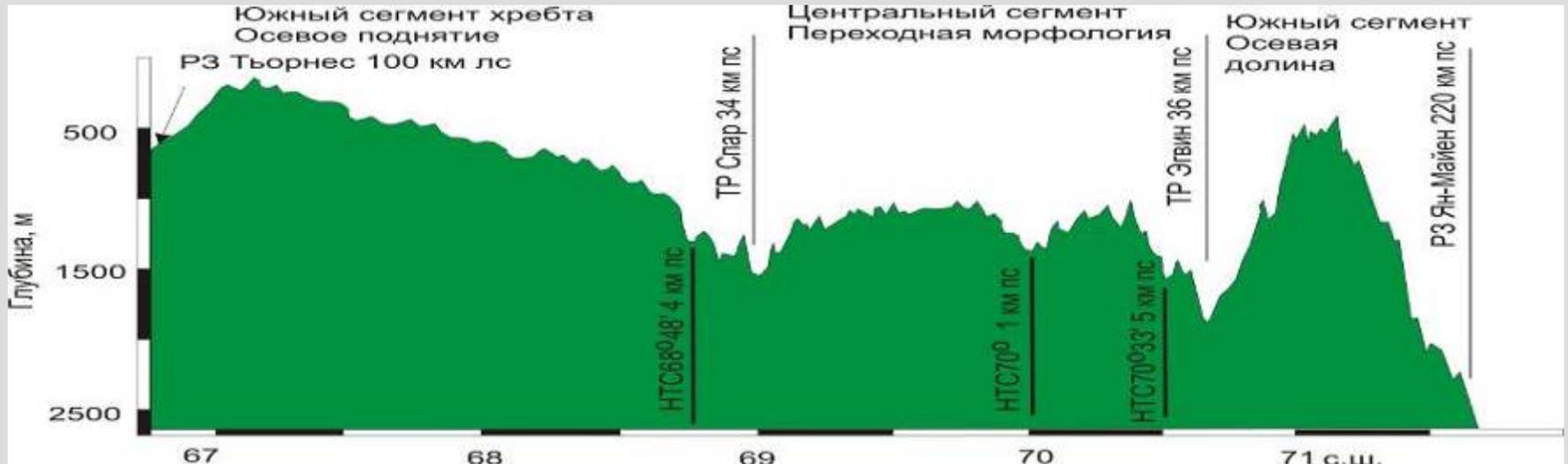
Исландия

Хр. Кольбейнсей

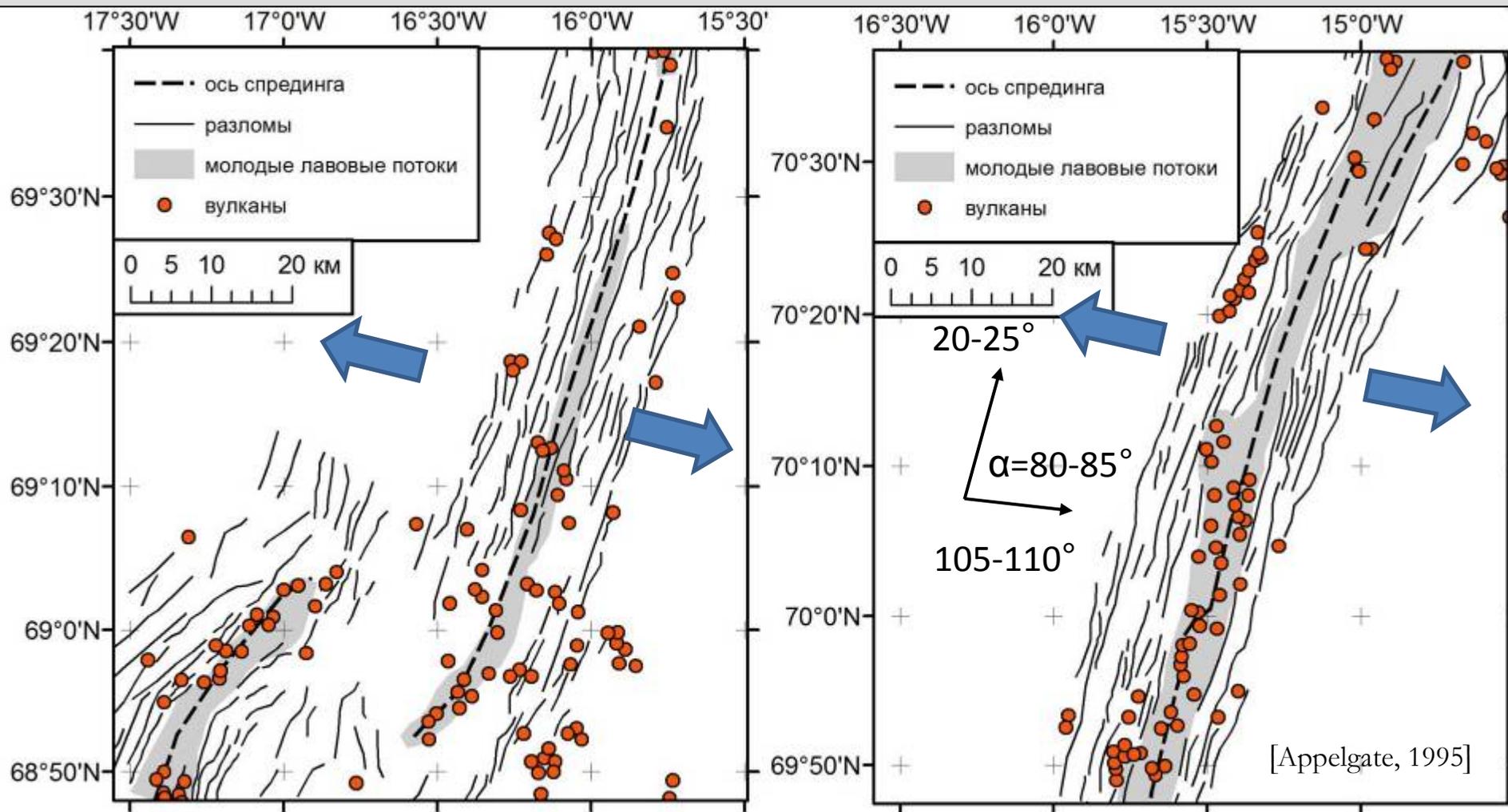


[Hoof et.al., 2006]

Изменение осевого рельефа вдоль простираия хр. Кольбенсей (Appelgate, 1994)

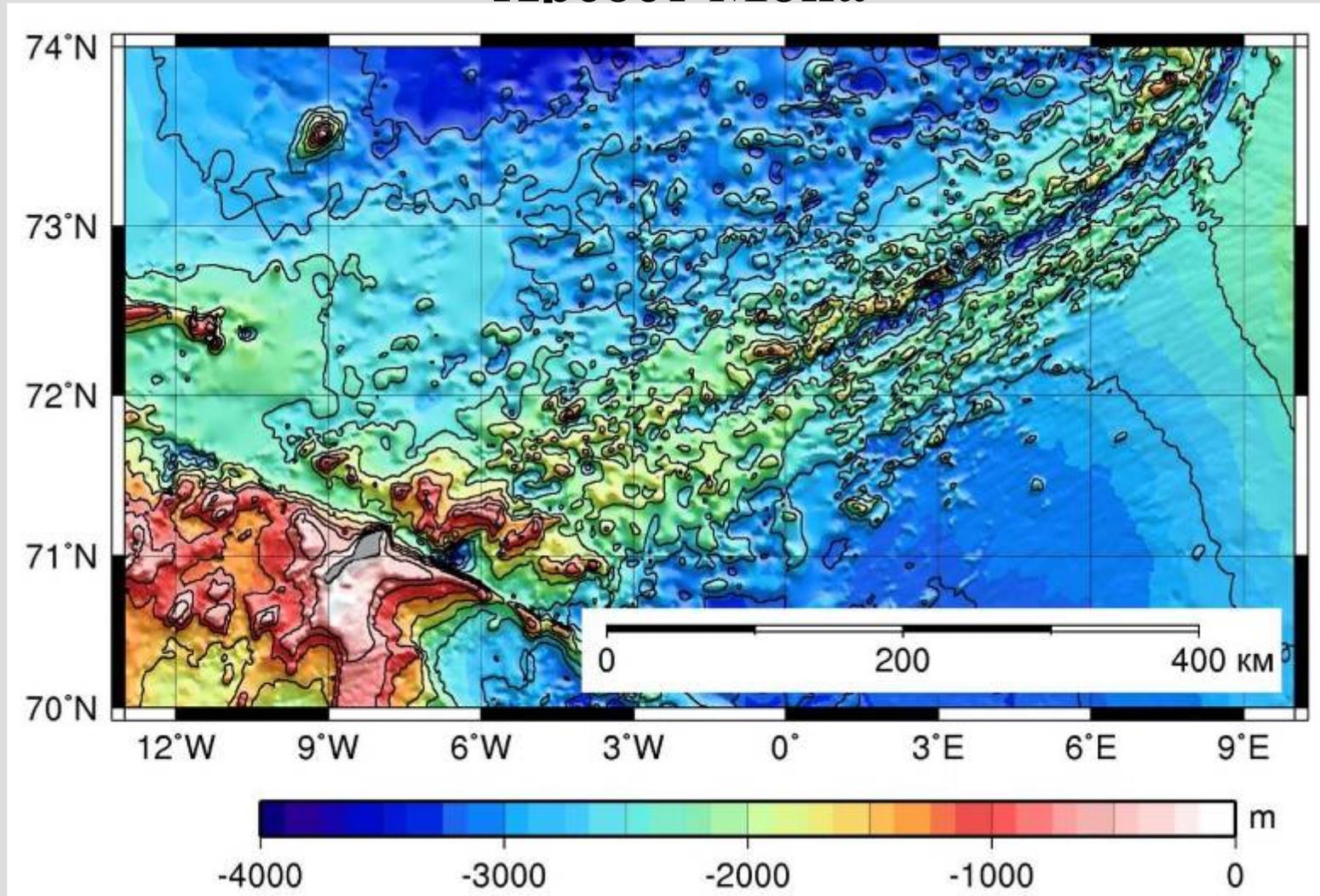


Изменения морфологии и осевой сегментации хр. Кольбейнсей



Азимут направления спрединга составляет $105-110^\circ$, простирание хребта – $80-85^\circ$.

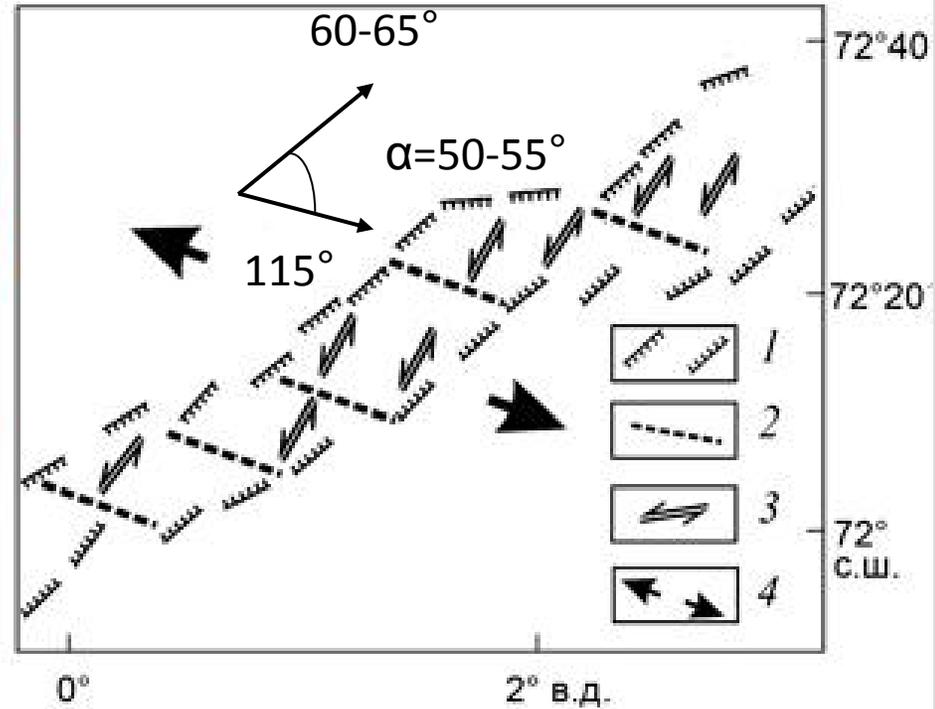
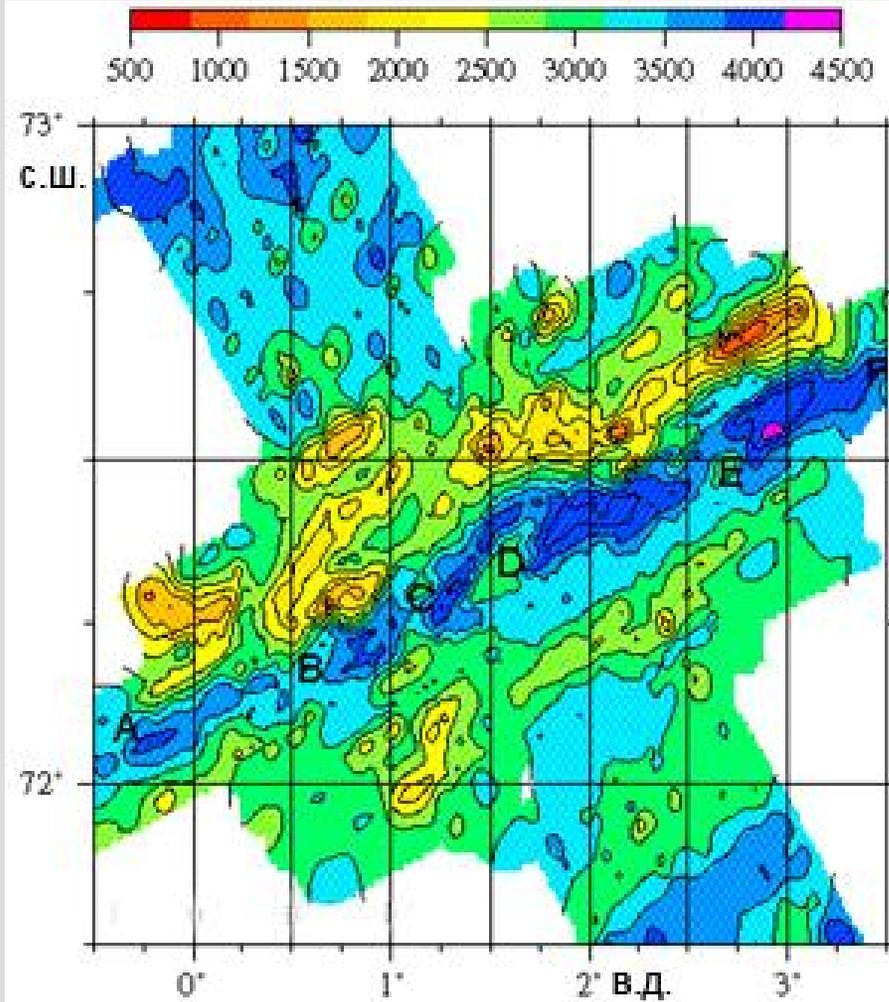
Хребет Мона



[ИВСаО, ver 2.23, 2008].

Особенности: Сильно косой спрединг, узкая рифтовая зона, редуцированный магматизм. Угол между направлением спрединга и простиранием хребта – 55°

Рельеф дна осевой зоны хребта Мона



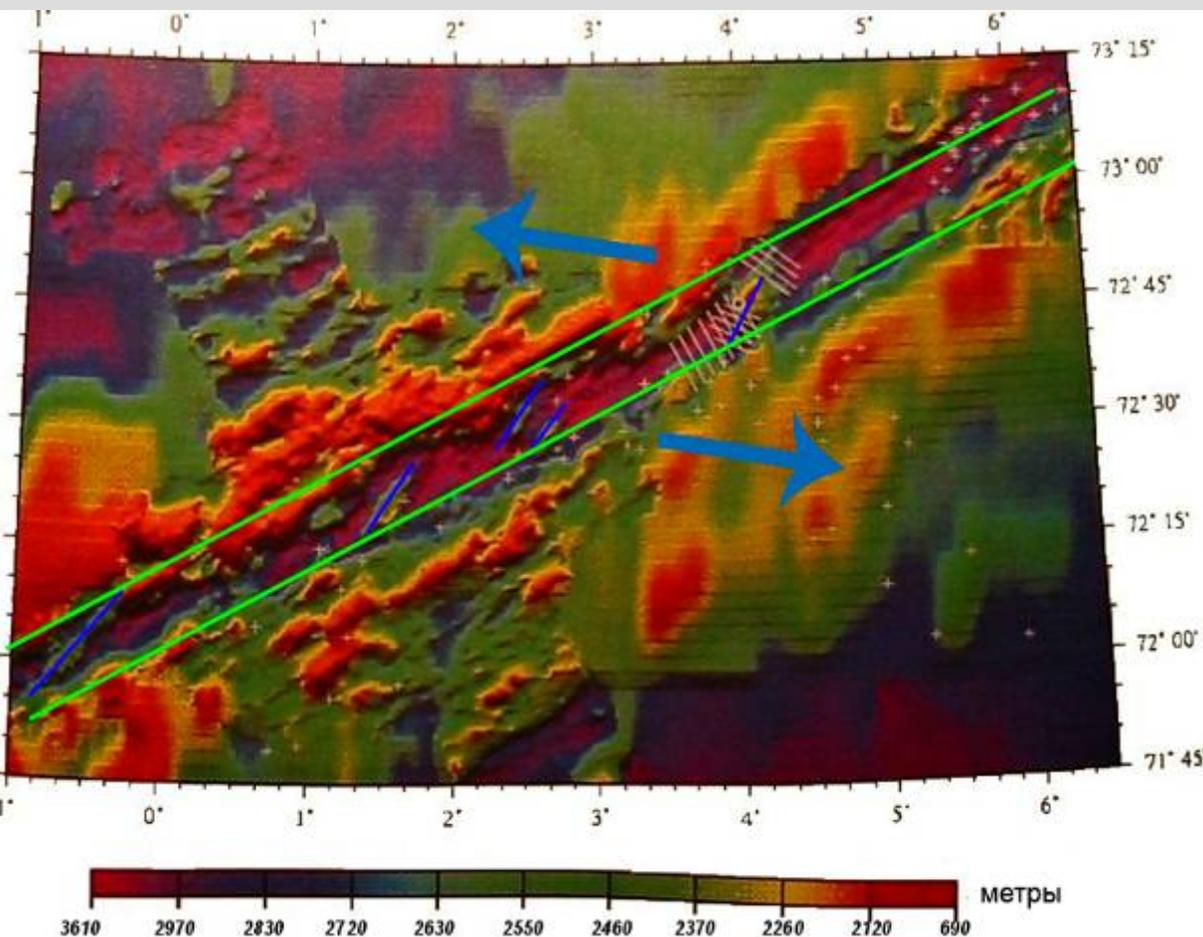
1 – сбросы, 2 – амагматические впадины, 3 – вулканические хребты, 4 – направление спрединга [Geli et al., 1994; Пейве, 2009]

Система вулканических хребтов, ориентированных субортогонально спредингу и амагматических сдвигово-раздвиговых зон, выраженных в рельефе в виде переуглубленных впадин, выстраивающихся субпараллельно спредингу.

Хребет Мона $V_{\text{спр}} = 1,6-1,7$ см/год

Особенности Хр. Мона:

1. **Сильно косой спрединг (как на хр. Рейкьянес), угол между направлением спрединга и простиранием хребта – 55°**
2. **Узкая переуглубленная рифтовая долина, хребты короткие, сильно удалены друг от друга, на 30-40 км**



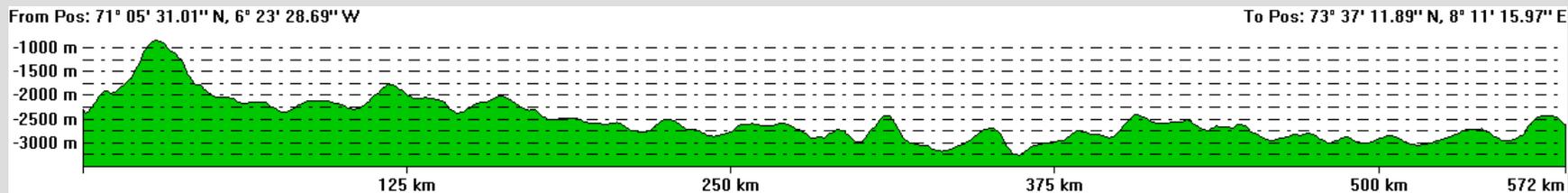
[Geli, Renard, 1994]

Хребет Мона – морфология рифтовой долины

ЮЗ

СВ

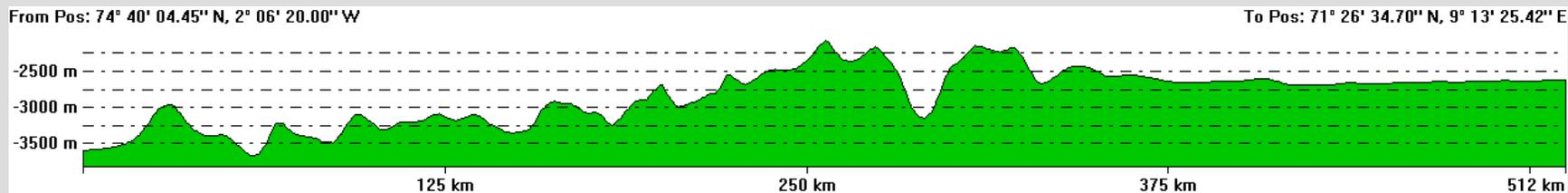
А



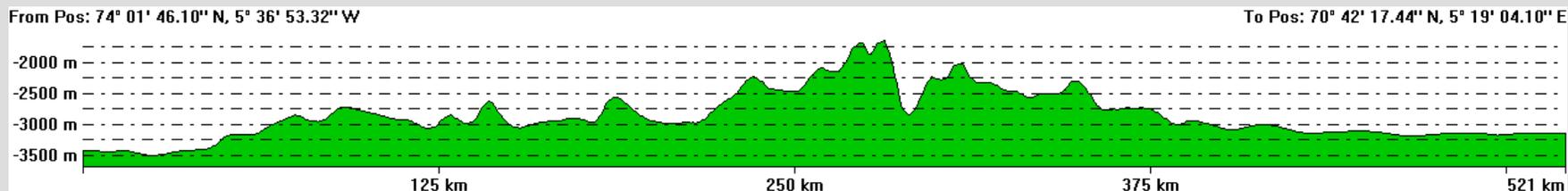
СЗ

ЮВ

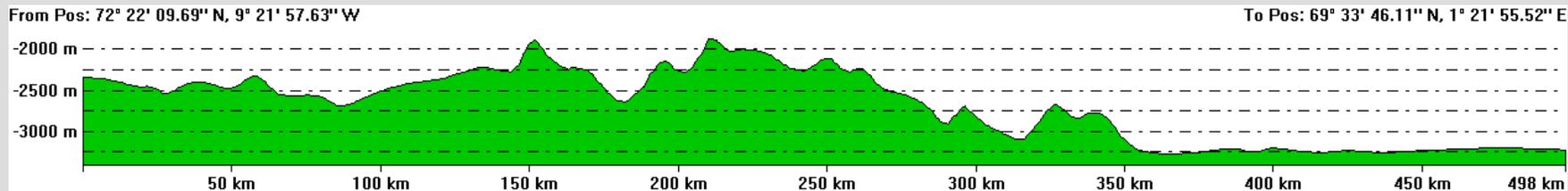
Б



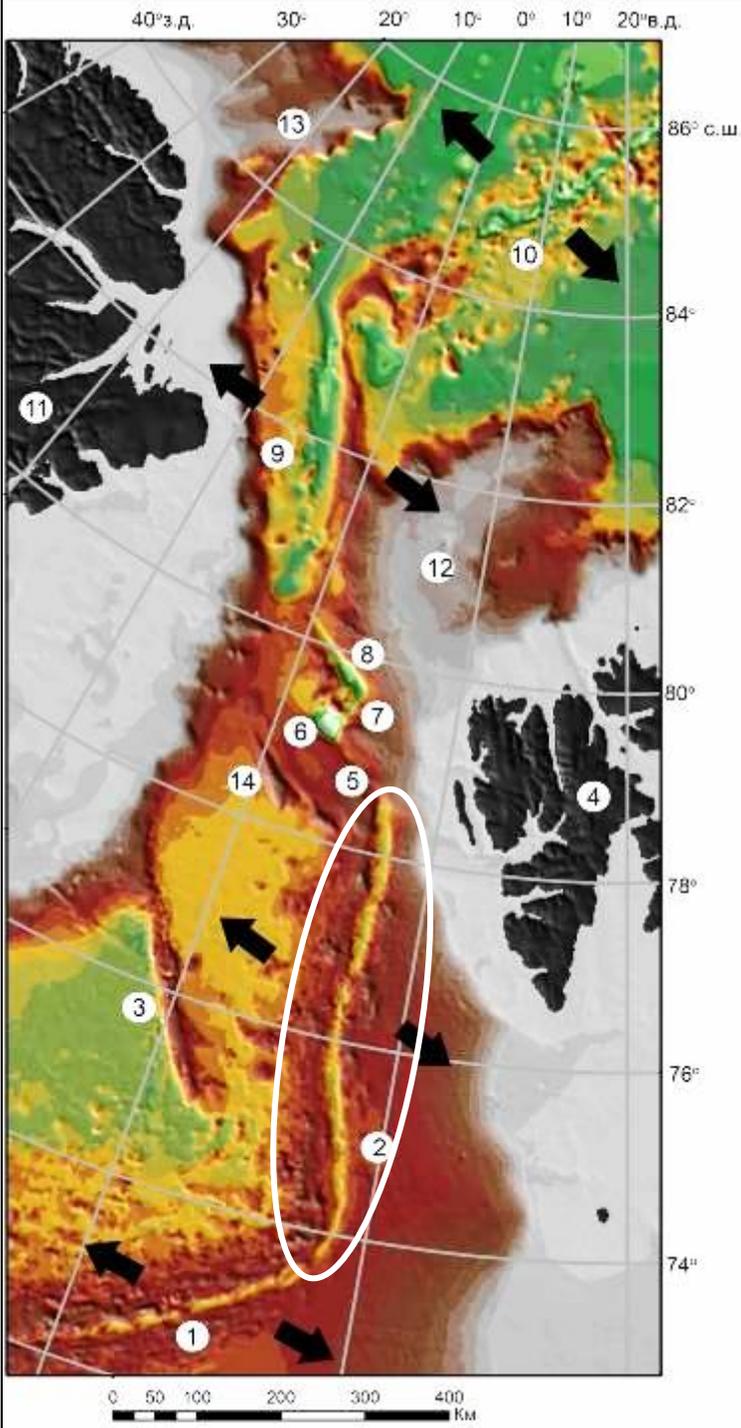
В



Г



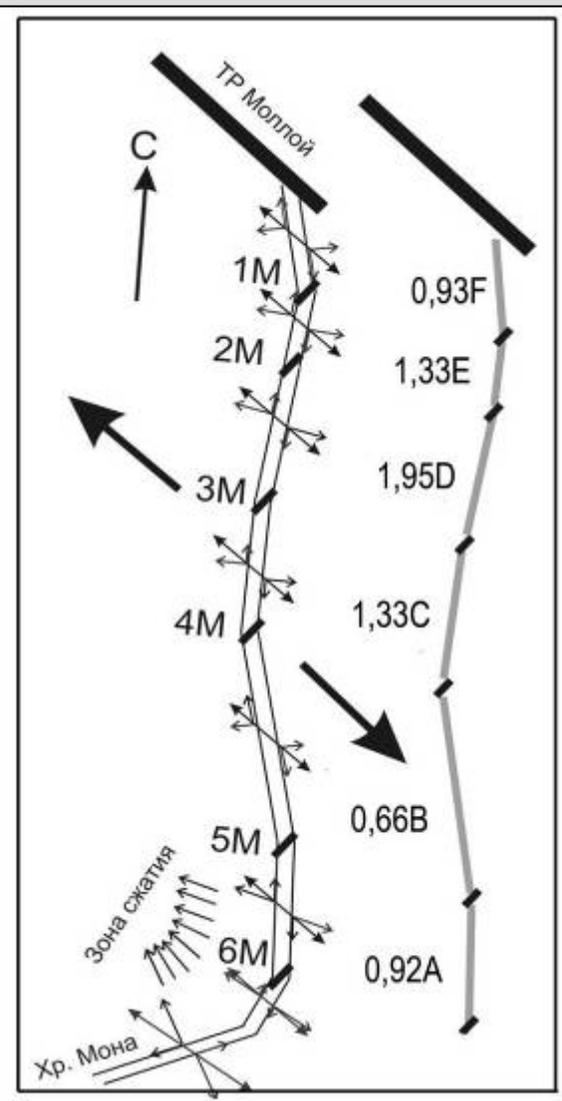
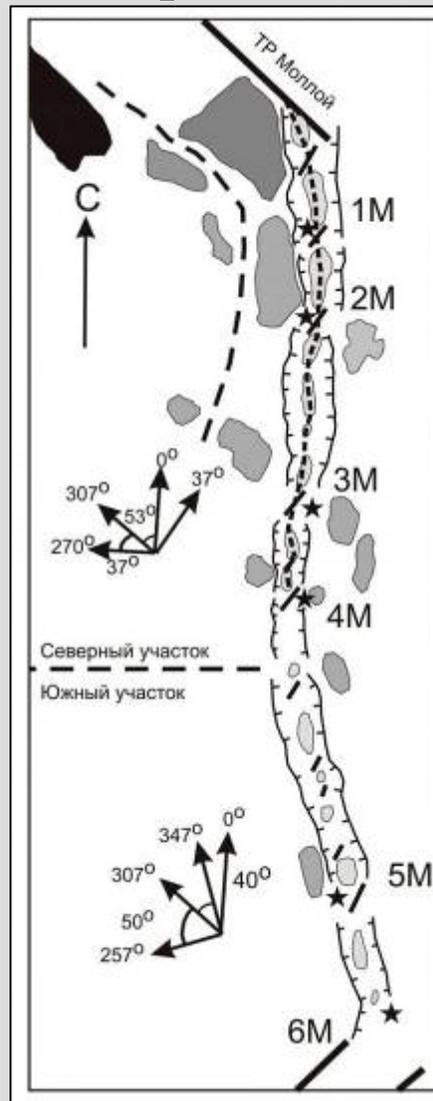
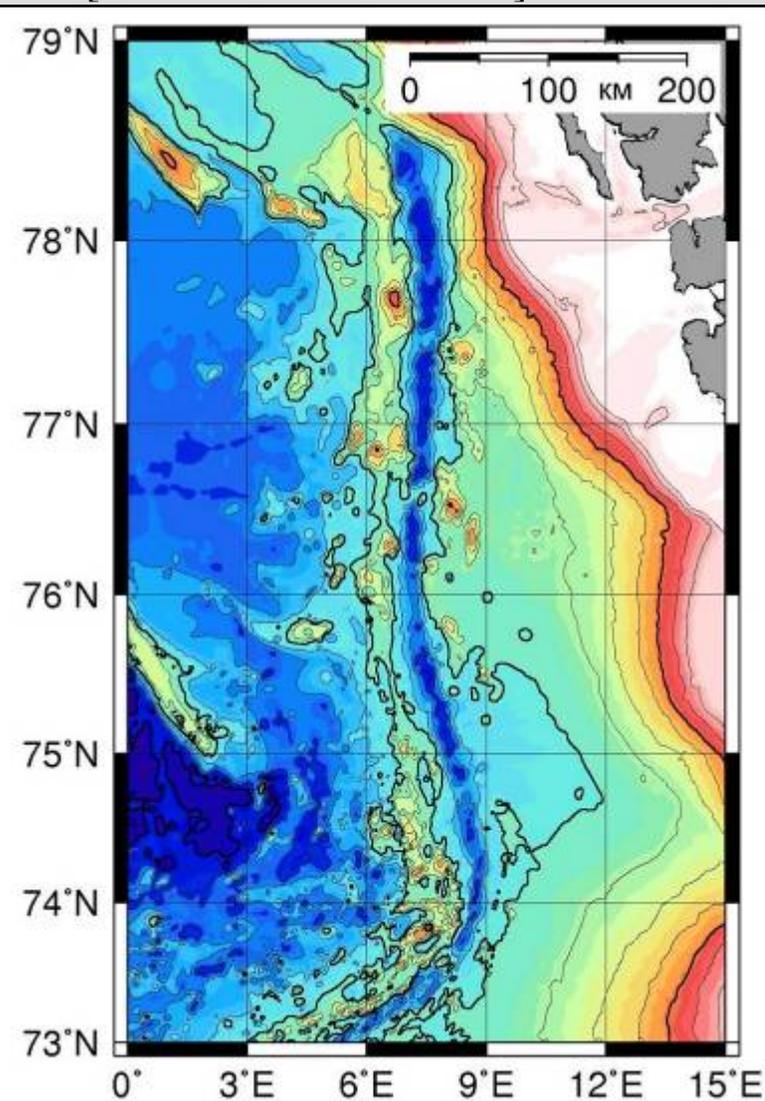
Вдольосевой профиль (а), поперечные профили: Северная часть (б)
Центральная часть (в), Южная часть (г).



Батиметрическая схема северной части Норвежско–Гренландского бассейна (по Э.В.Шипилову, 2008)

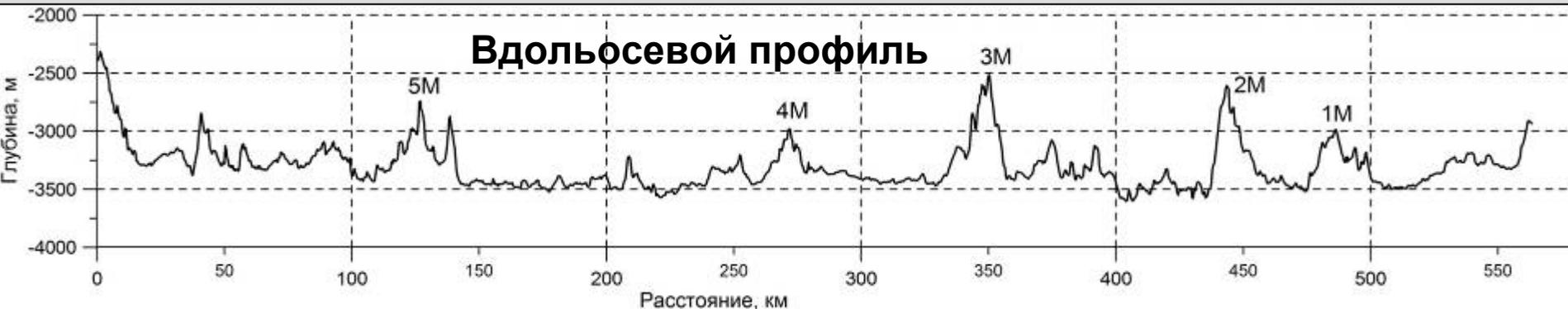
Основные структурные элементы региона:

- 1 - хр. Мона,
 - 2 - хр. Книповича
 - 3 - Гренландский хребет,
 - 4 - архипелаг Шпицберген,
 - 5 - ТР Шпицбергенский,
 - 6 - впадина Хесса,
 - 7 - хр. Моллой,
 - 8 - ТР Моллой,
 - 9 - трог Лена,
 - 10 - хребет Гаккеля,
 - 11 - о. Гренландия,
 - 12 - плато Ермак,
 - 13 - плато Моррис-Джесуп
 - 14 - хребет Ховгард
- (батиметрия [ИВСаО, ver 2.23, 2008])



Рифтовая долина разбита на ряд эшелонированных бассейнов h до 3-3,7 км, длиной ~60 км (± 30 км), и шириной 8-12 км, бассейны разделены косо ориентированными поднятиями и сменами направления рифтовой долины с превышением над прилегающими бассейнами от 0,6 до 1,1 км.

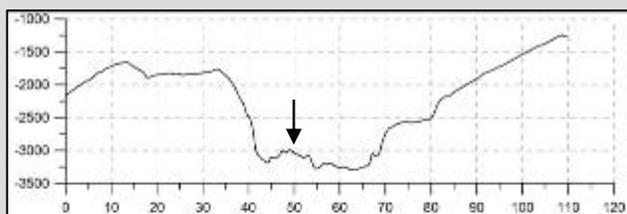
Сегментация хребта Книповича



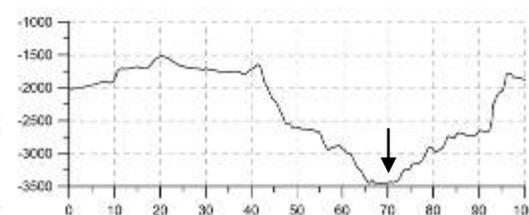
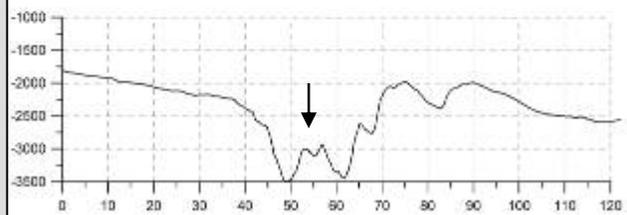
Магматические

Амагматические сегменты

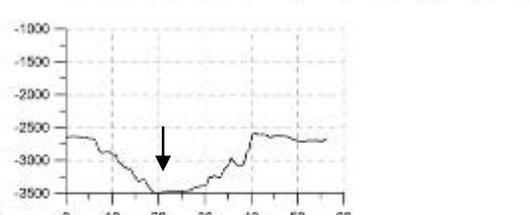
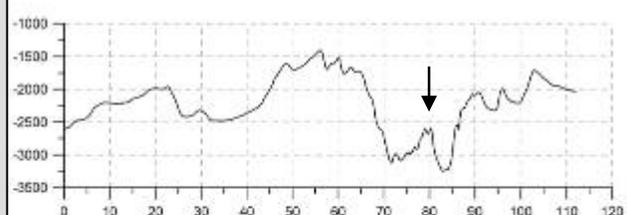
1M



2M



5M



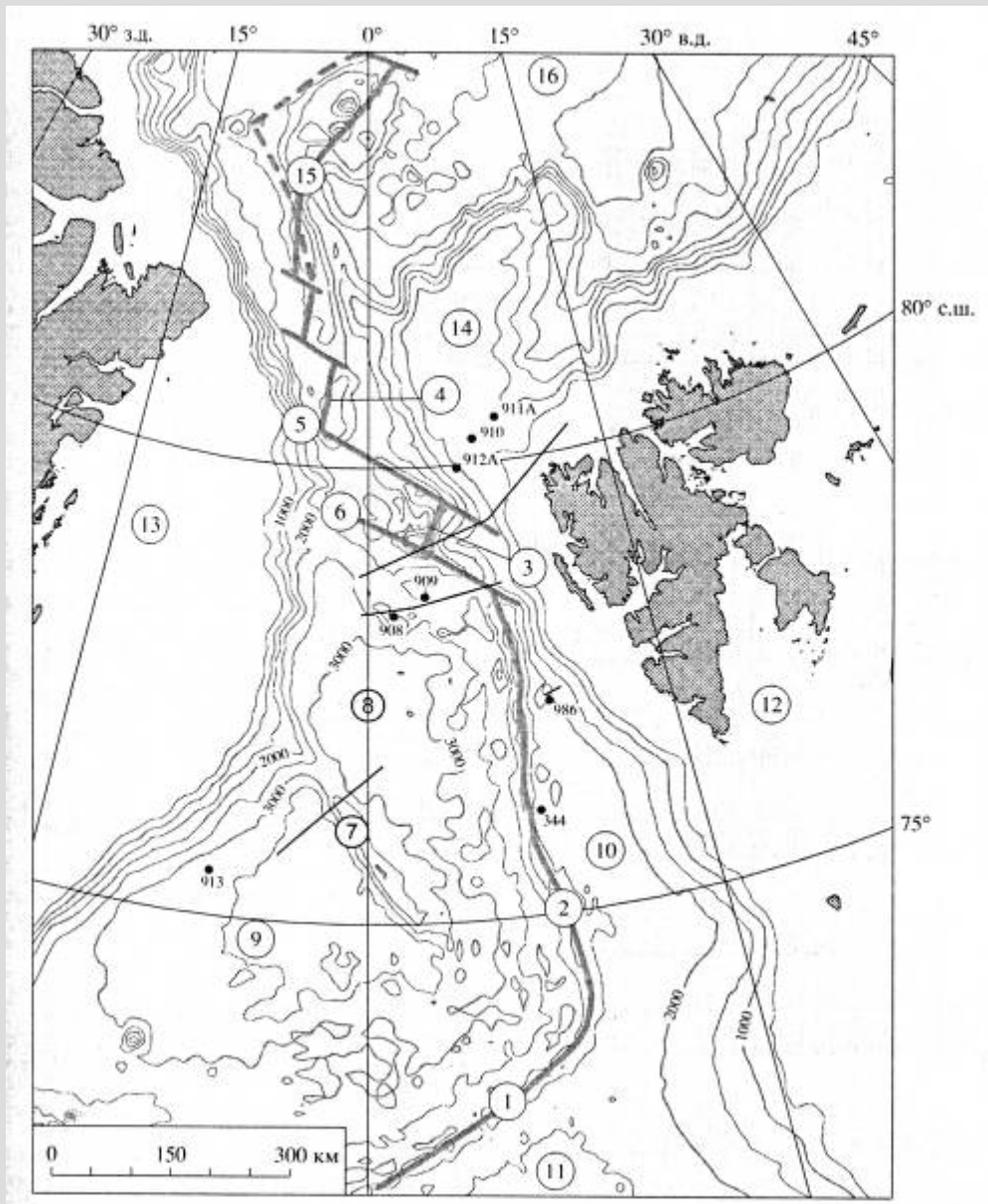
С
е
в
е
р

Ю
г

- Расстояние между магматическими сегментами больше на юге – 100-120 км (более сдвиговая кинематика), меньше на севере – 50-100 км.

- В рельефе поднятия выражены в виде вулканических построек высотой 250-300 м, а трого в виде переуглубленных впадин, глубина бортов долины больше на юге хребта (более древний раскол) [Зайончек и др., 2010].

Батиметрическая схема северной части Норвежско–Гренландского бассейна (по Э.В.Шипилову, 2008)



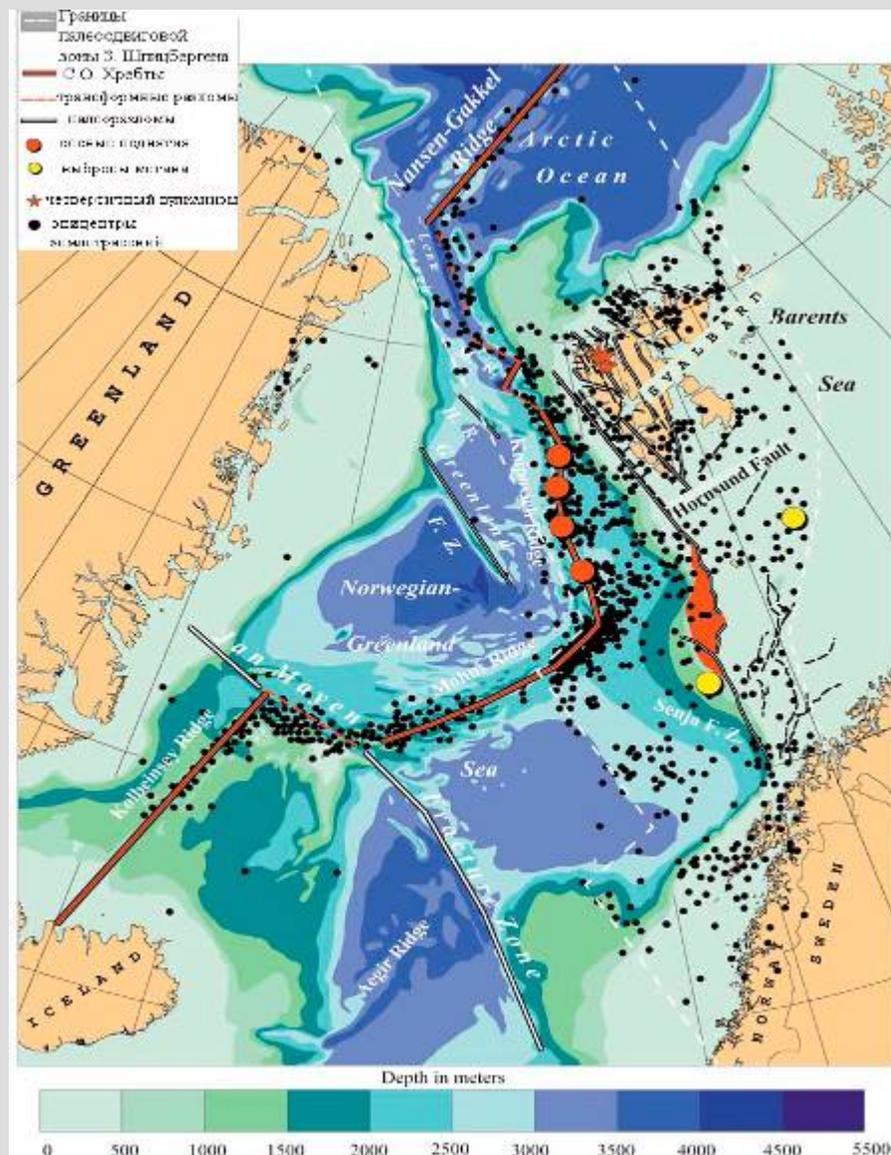
Спрединговые центры: 1 – хр. Мона, 2 – хр. Книповича, 3 – Моллой, 4 – трог Лена.

Трансформные разломы: 5 – Шпицбергенская, 6 – Моллой. 7 – Гренландский хребет, 8 – Бореальная впадина, 9 – Гренландская впадина, 10 – Поморский прогиб, 11 – Лофотенская впадина, 12 – Шпицбергенская окраина, 13 – Гренландская окраина, 14 – плато Ермак, 15 – хр. Гаккеля, 16 – впадина Нансена Евразийского бассейна.

Черные точки – скважины глубоководного бурения.

Положение хребта Книповича в системе Арктических структур

Вспр = 15-17 мм/год

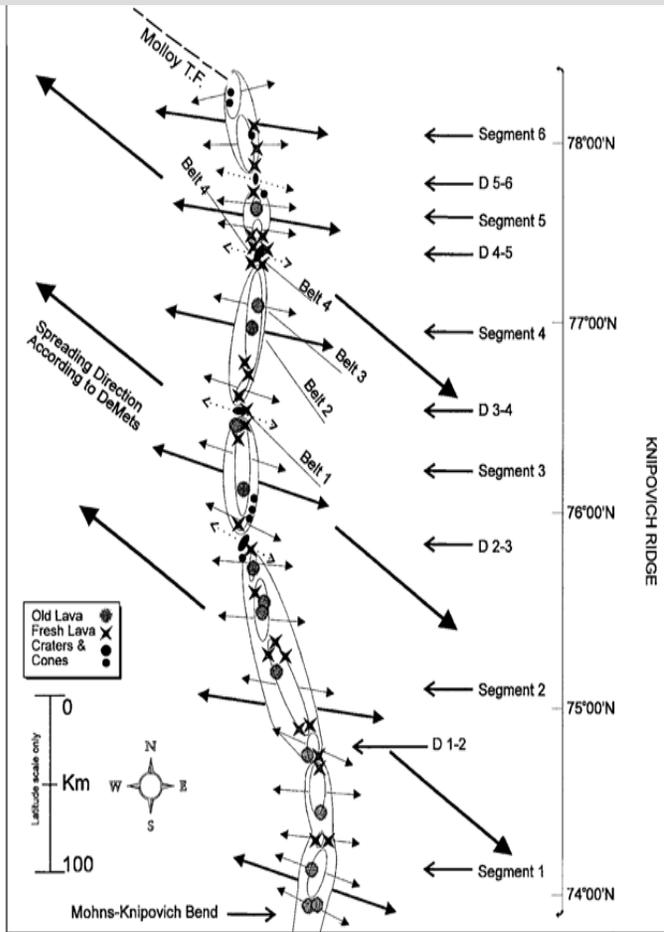


Особенности:

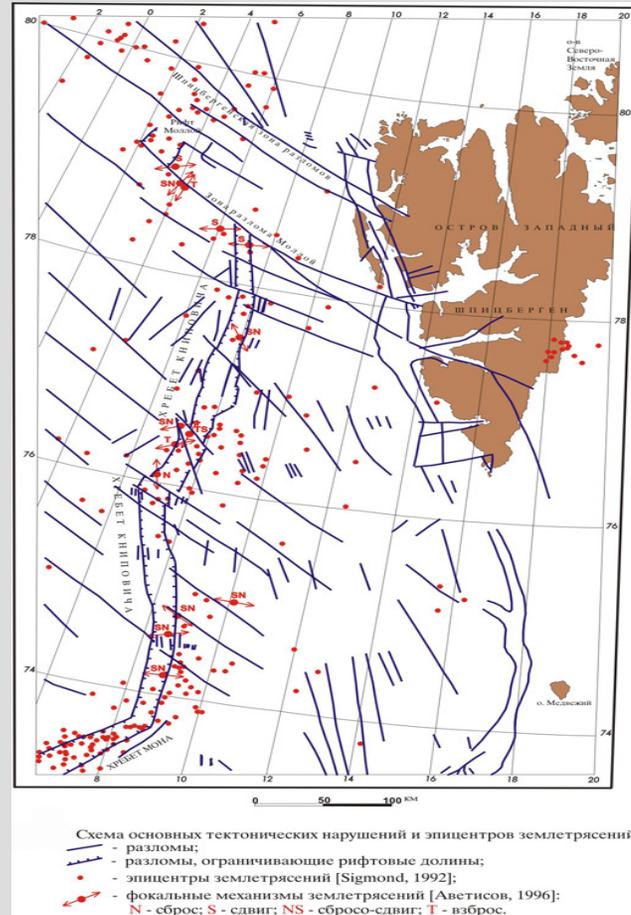
1. Асимметричное положение в бассейне Гренландского моря - **близость к континентальной окраине Шпицбергена.**
2. Ультрамедленная Вспр, а так же "косое" простираие рифтовой долины по отношению к направлению спрединга. Отклонение от нормального направления спрединга в северной части хребта равно 35° , а в южной 49°
3. Ограничен хребтом Мона на юге, с которым сочленяется под углом 115° , на севере он сочленяется по системе ТР со спрединговым центром – хр. Моллой.

Чем же считать хр. Книповича и всю транзитную систему ТР или СОХ?

Кинематика спрединга и сегментация хребта Книповича



[Crane et al., 2001]

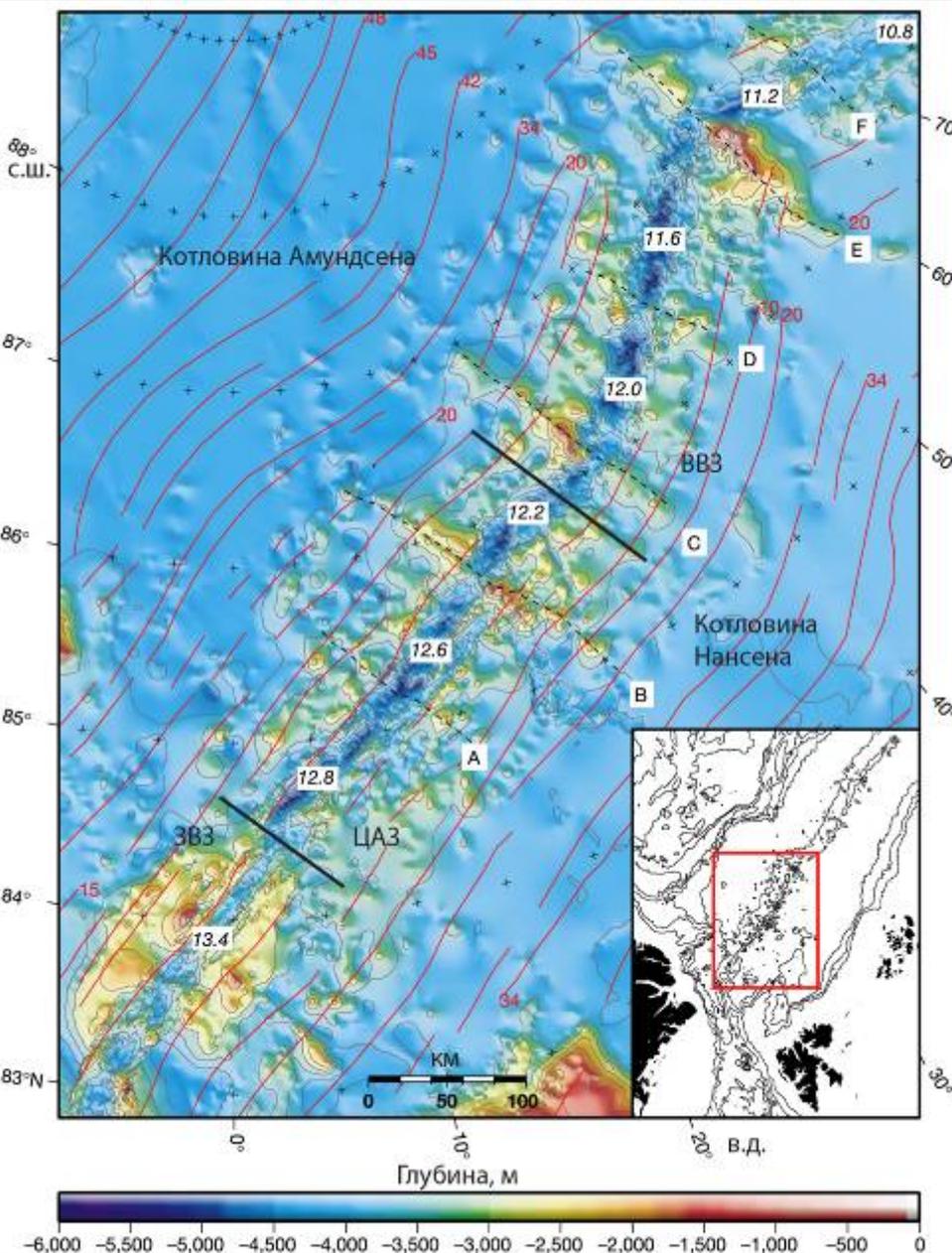


[Гусев, Шкарубо, 2001].

Рифтовая долина разбита на ряд эшелонированных бассейнов h до 3-3,7 км, длиной ~ 60 км (± 30 км), и шириной 8 км, бассейны разделены косо ориентированными поднятиями и резкими сменами направления рифтовой долины с превышением над прилегающими бассейнами от 0,6 до 1,1 км.

Анализ морфологии и морфоструктурной сегментации системы, заключенной между хр. Мона и хр. Гаккеля, показал, что она является неустойчивой границей плит, в которой на протяжении большей ее части осуществляется ультрамедленный и косой спрединг. В результате в формировании ее морфоструктур конкурируют раздвиговые и сдвиговые напряжения.

Хребет Гаккеля

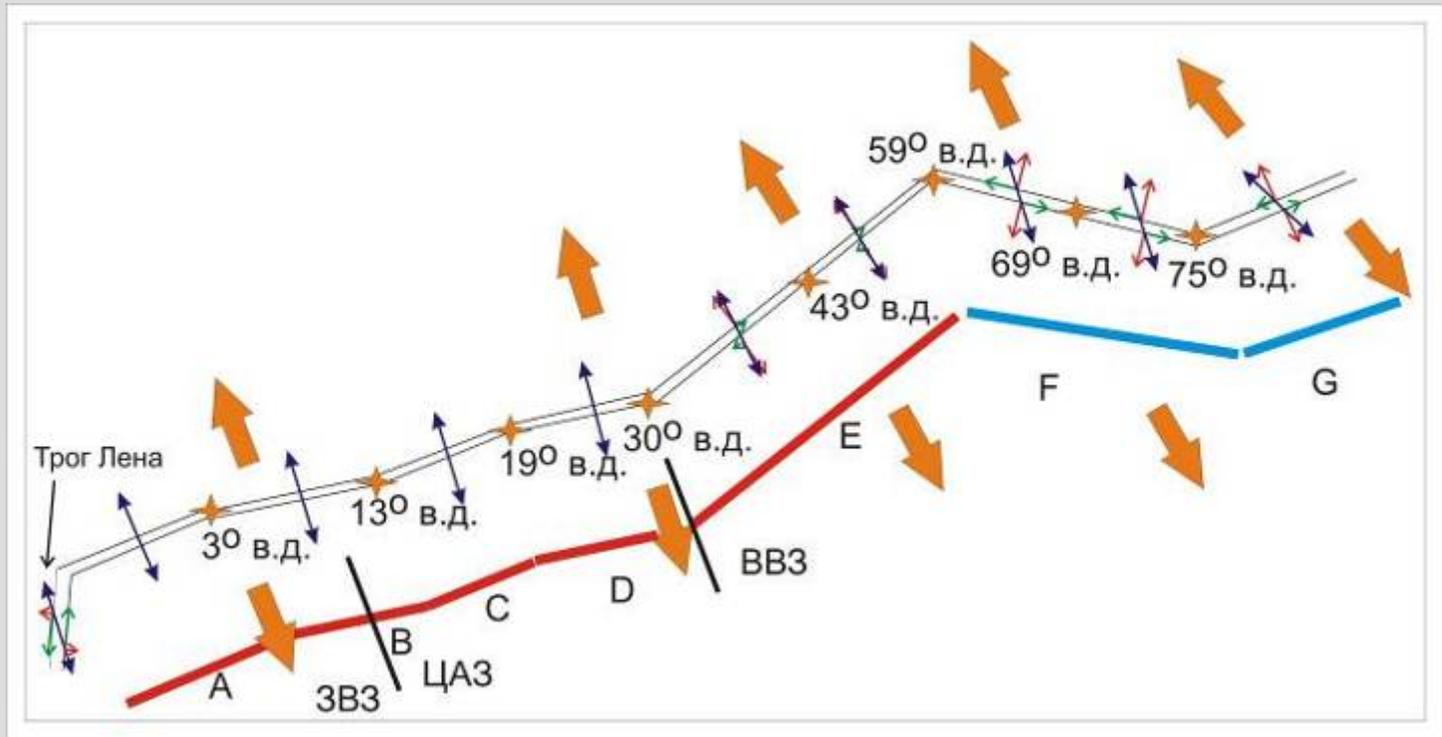
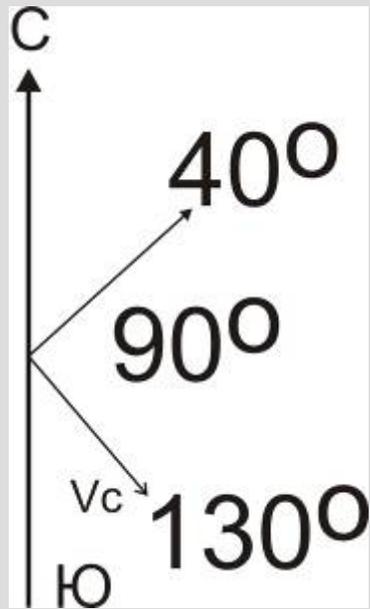


- Спрединг ортогональный и самый медленный из всей системы СОХ. $V < 1,3$ см/год.

Ареалы вулканизма приурочены к перпендикулярным оси поднятия, стационарным на протяжении последних 20 млн. лет, расстояние между ними – 110-130 км.

[Michael, et.al., 2003]

Кинематическая схема хр. Гаккеля



Хр. Гаккеля – ортогональный спрединг:

Простиране хребта -40°

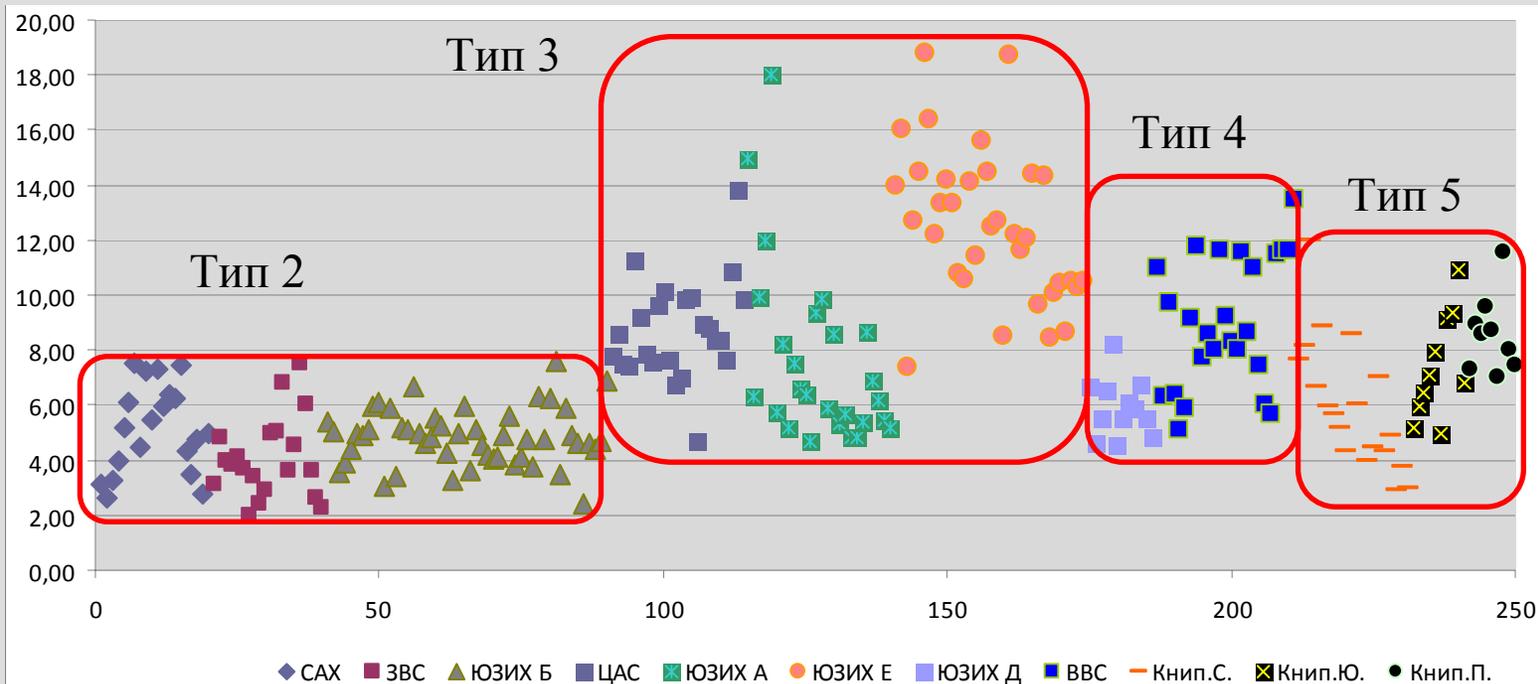
Направление спрединга -130°

Угол = 90°

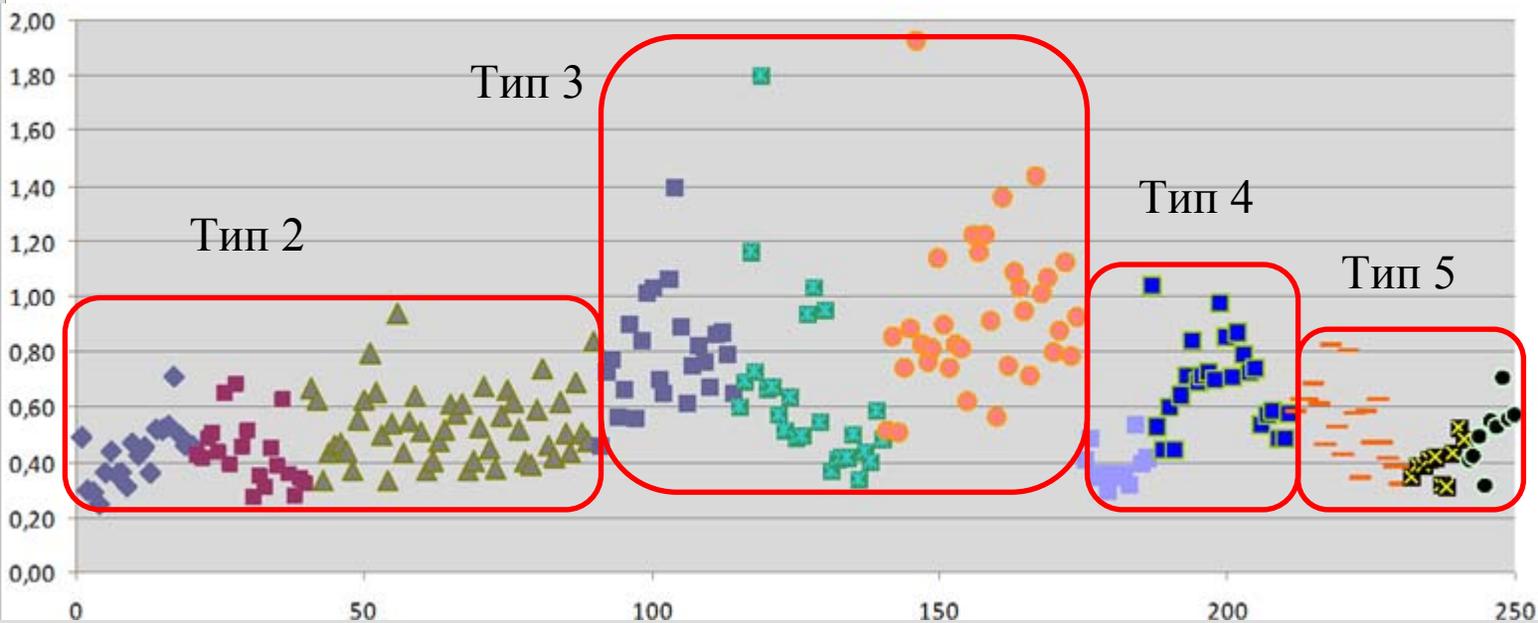
Но на хребте есть и участки со сдвиговой компонентой в спрединге – крайние восточные сегменты Е, F, G.

Также на схеме видно, что многие из крупнейших вулканических поднятий (звездочки) приурочены к изгибам оси спрединга

Сравнение морфометрических характеристик сбросов

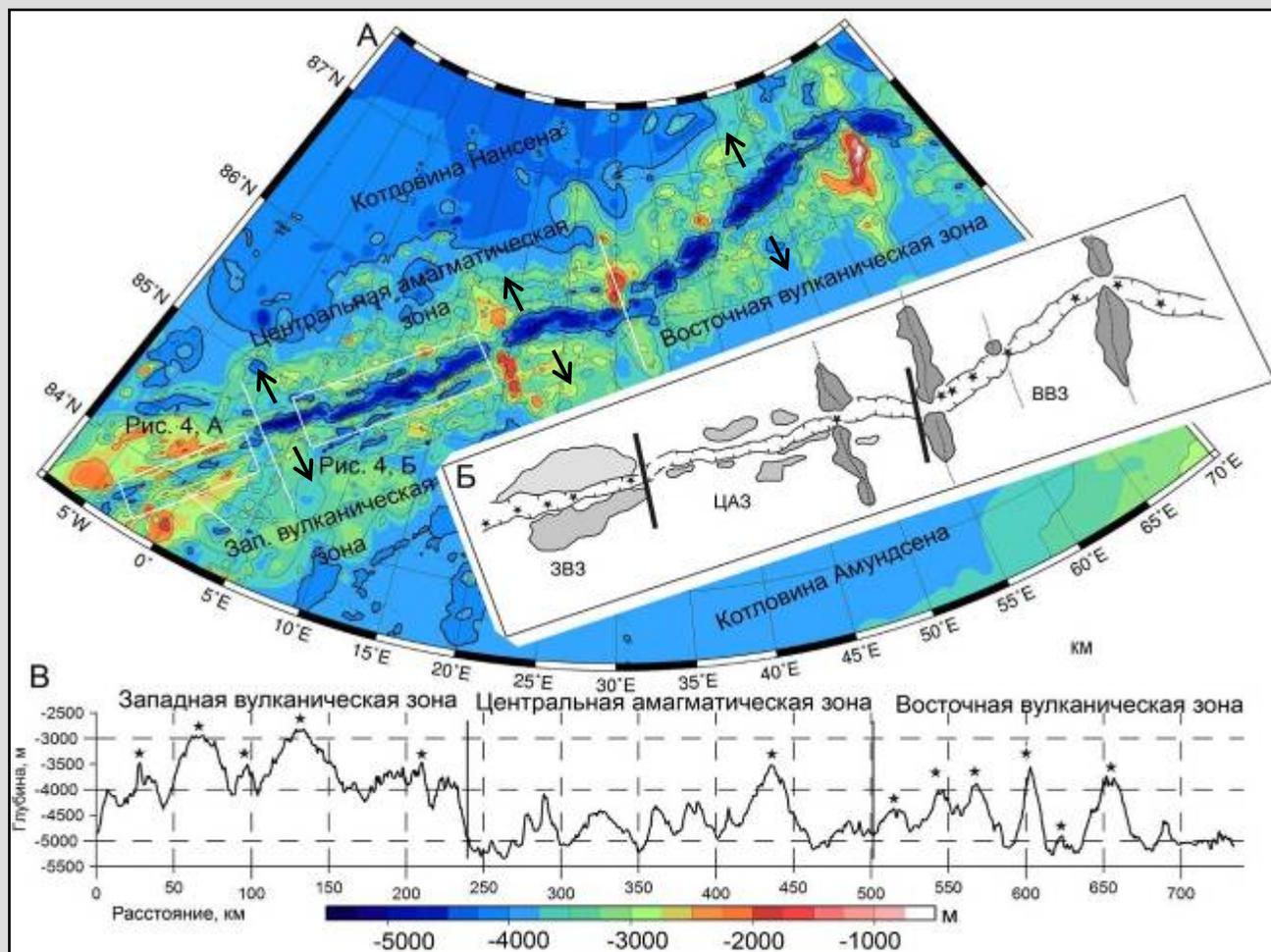


Среднее
расстояние
между
сбросами



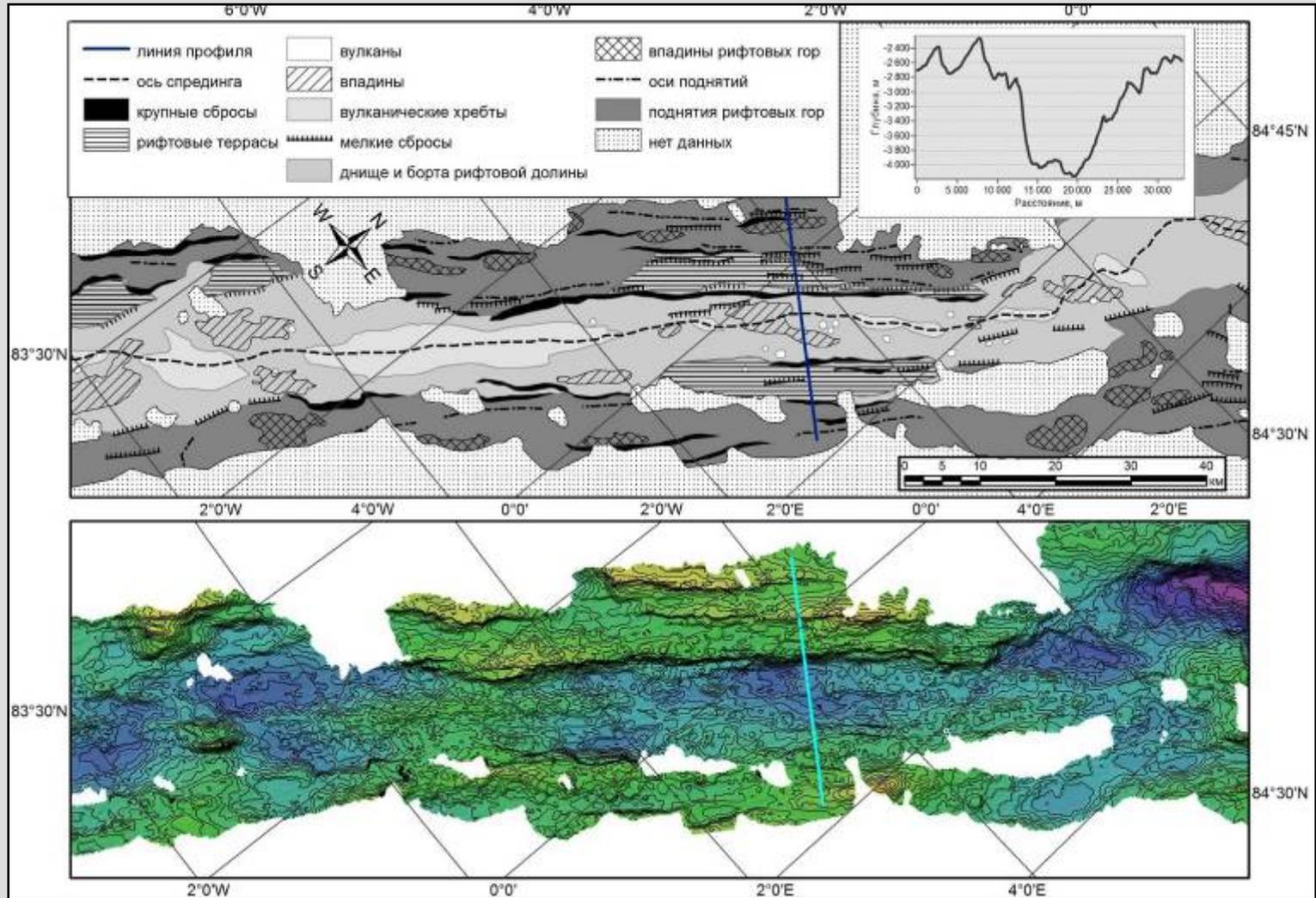
Средняя
величина
смещения по
сбросам

Хребет Гаккеля – три провинции: западная вулканическая, центральная амагматичная и восточная вулканическая. Отмечаются региональные различия рельефа



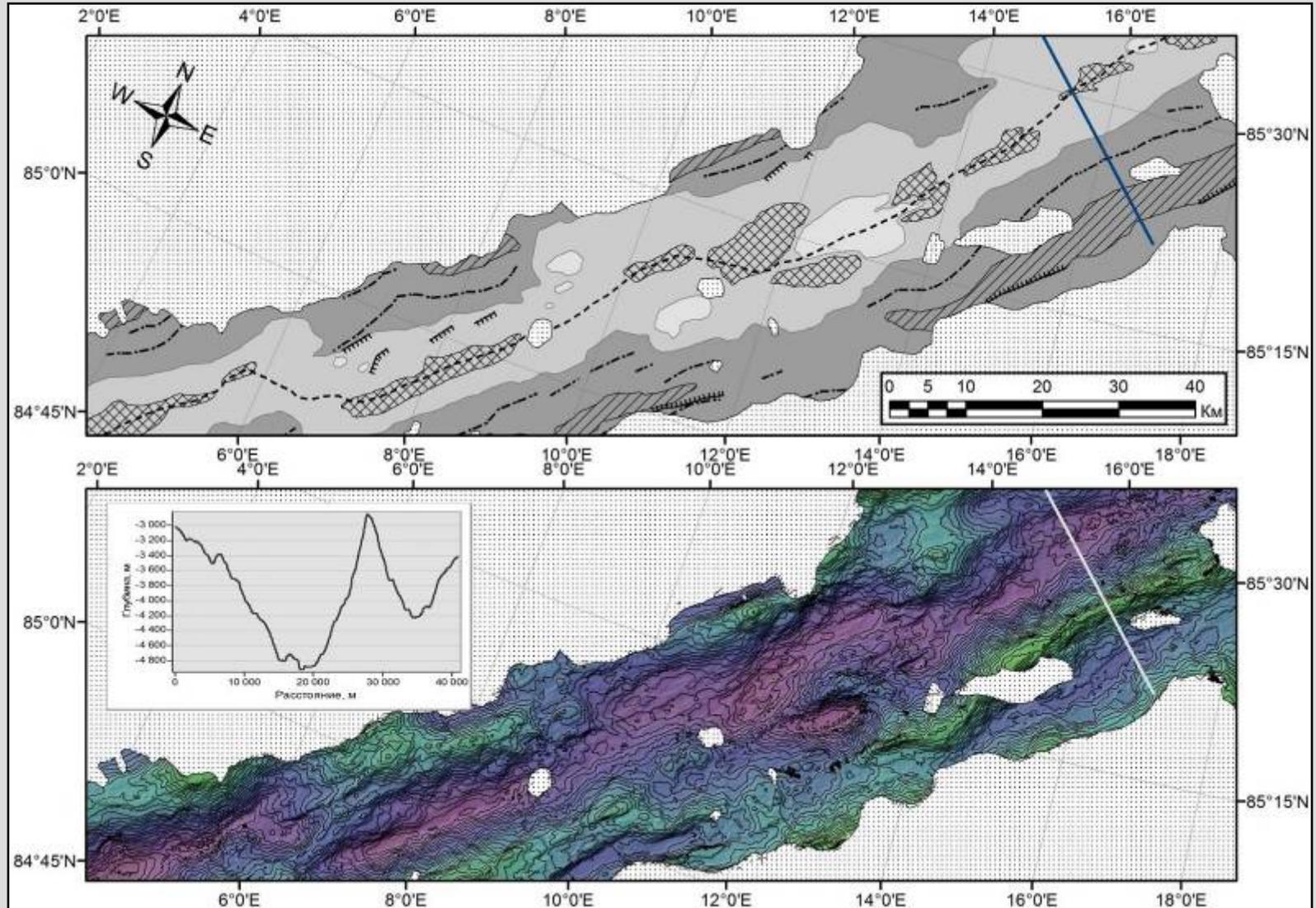
По [Michael et al., 2003], рельеф [ИВСаО, 2008]

Рельеф и морфоструктурная схема западной вулканической зоны



Батиметрия [Schenke, Gauger, 2007]

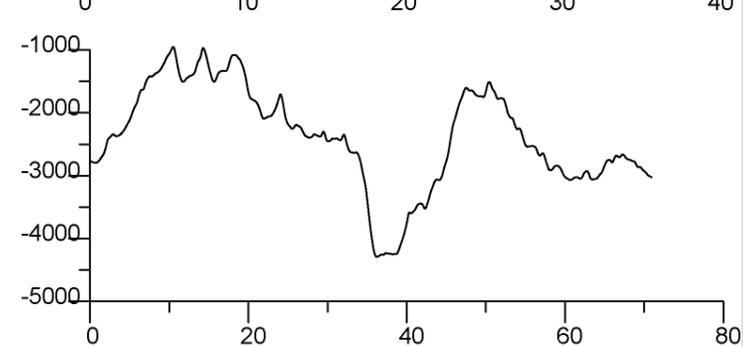
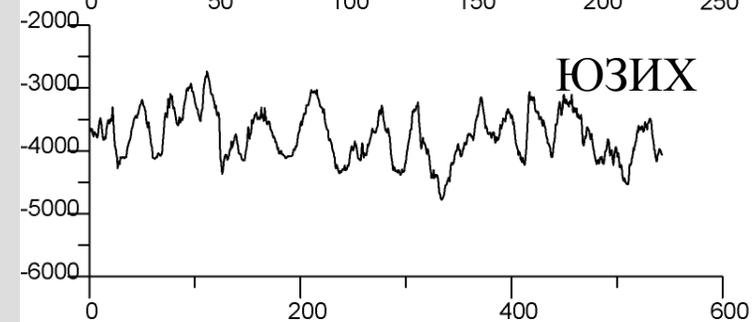
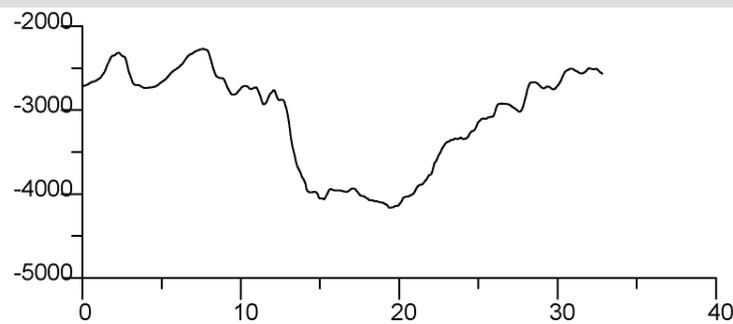
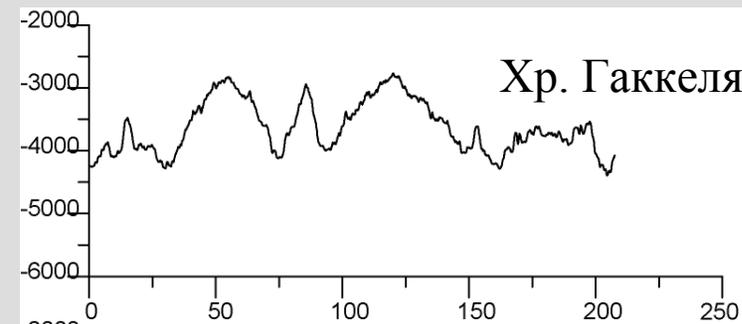
Рельеф и морфоструктурная схема центральной амагматической зоны



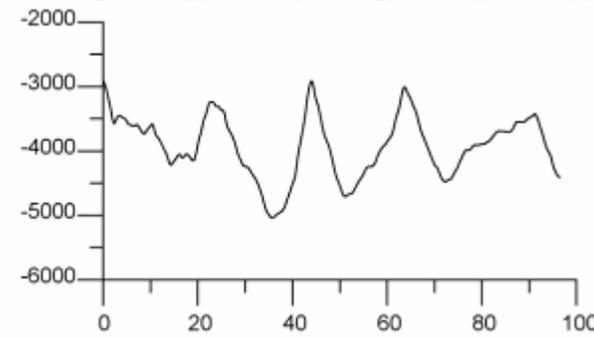
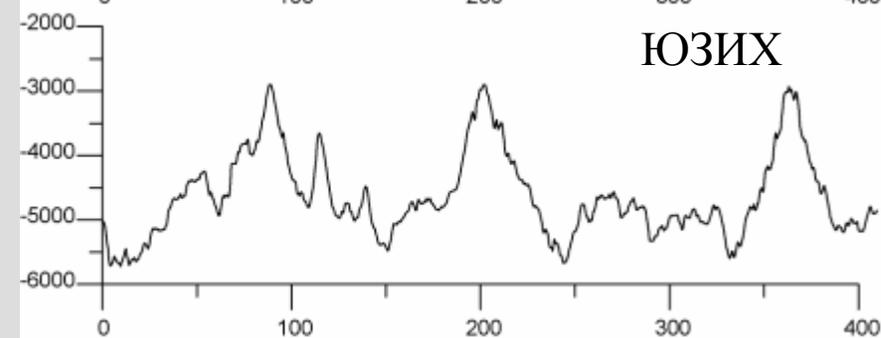
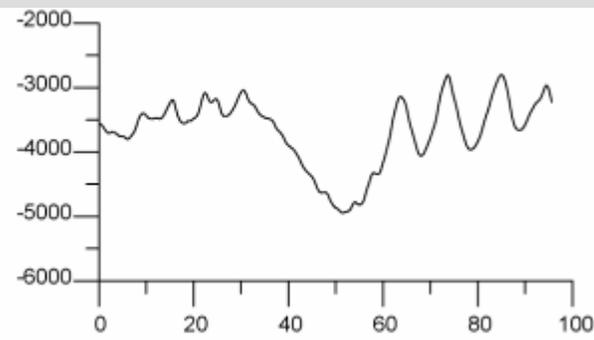
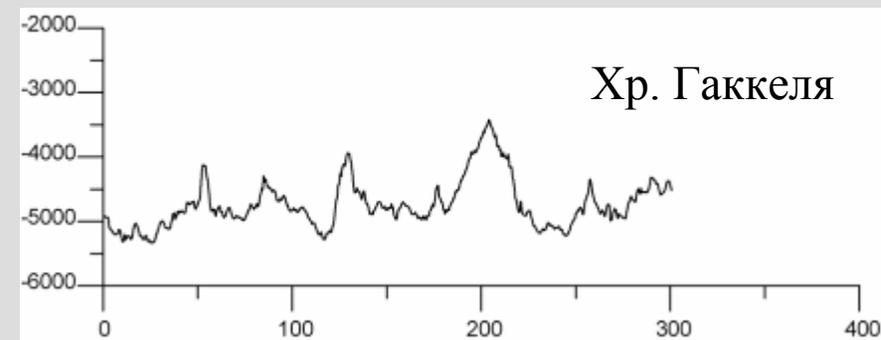
Батиметрия [Schenke, Gauger, 2007]

Сравнение батиметрических профилей

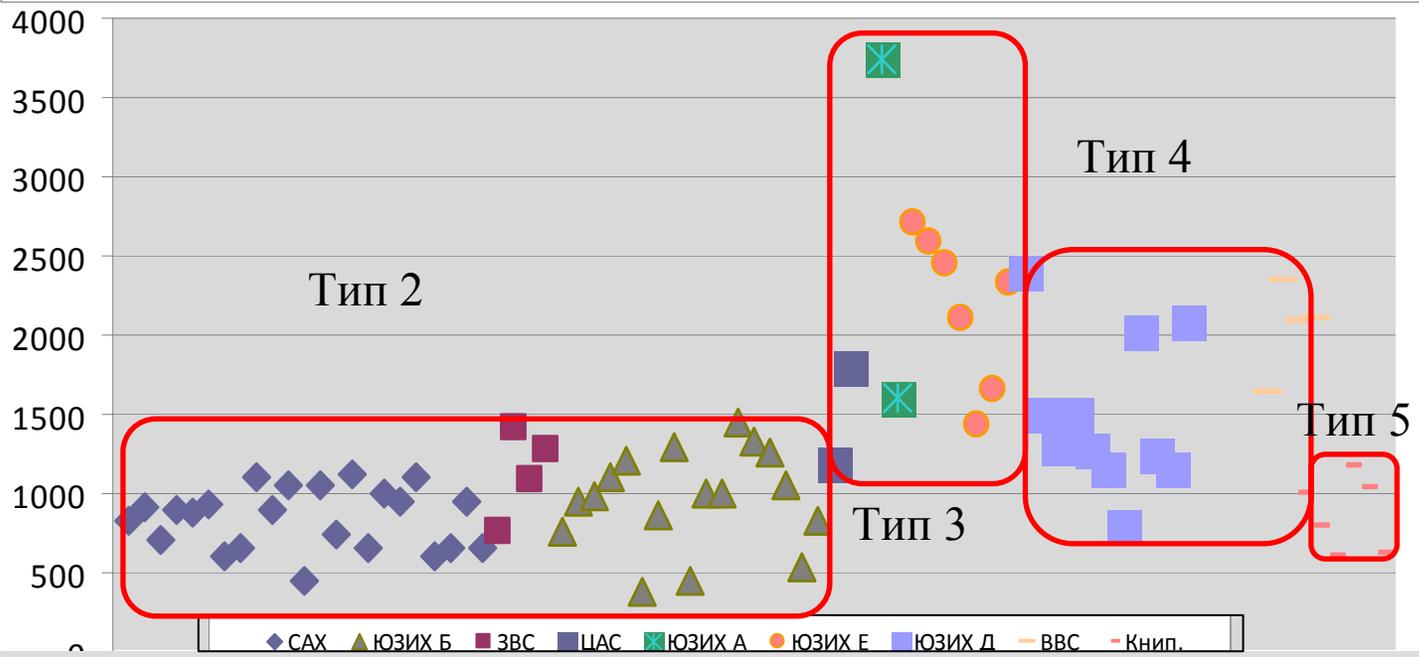
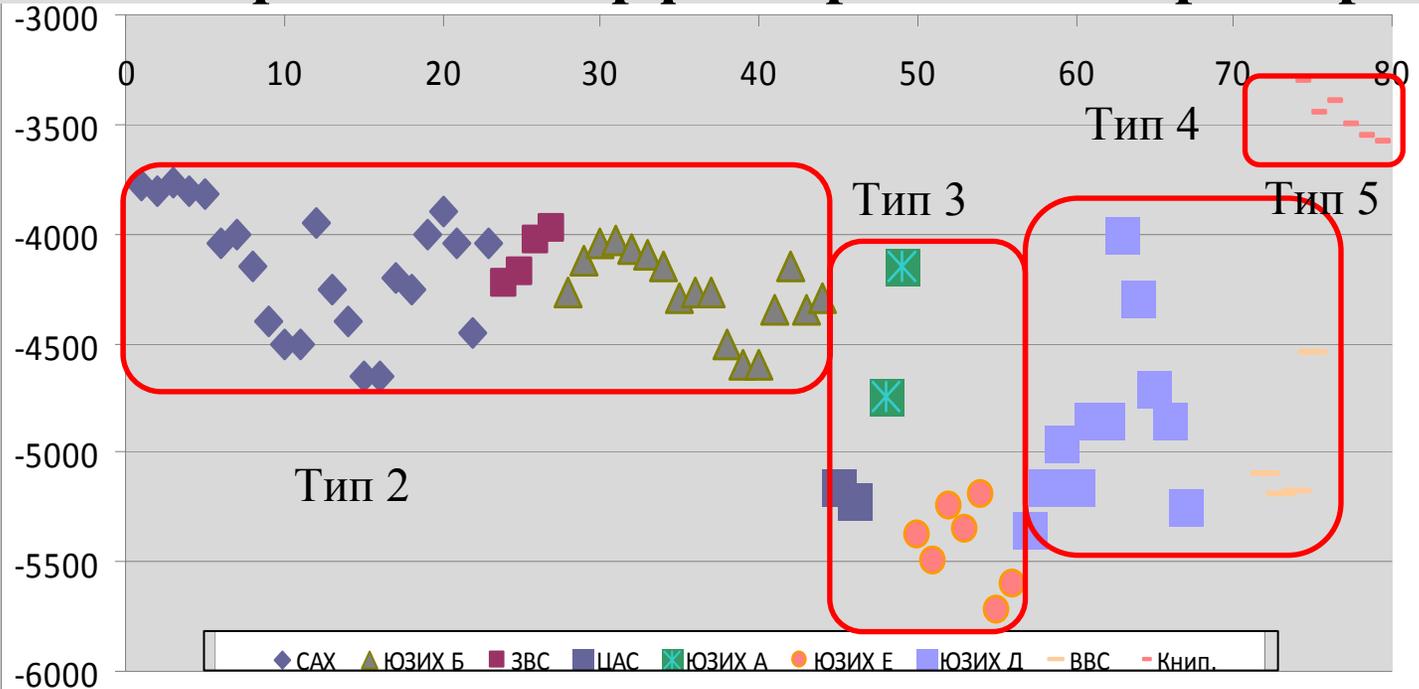
Тип 2
«Горячий» УМС



Тип 3
«Холодный» УМС



Сравнение морфометрических характеристик ОВХ



Особенности структурообразования в рассмотренных спрединговых хребтах, приводящие к формированию их естественной сегментации

Хр. Рейкьянес – рельеф осевой зоны, эшелон S-образных трещин, распределение и сегментированность которых напрямую зависят от ширины ослабленной зоны, прогретости мантии, толщины и прочности хрупкого слоя.

Хр. Кольбенсей – молодость развития, меньшая степень воздействия Исландского плюма.

Хр. Мона – очень косой спрединг при малой ширине ослабленной зоны спрединга.

Хр. Книповича - нестабильная система раздвиговых структур типа пулл-эпарт, соединенная сдвиговыми сегментами, роль сдвиговой компоненты сокращается при увеличении угла наклона ослабленной зоны по отношению к направлению растяжения, близость континентальной окраины и наличие зоны сжатия на стыке с хр. Мона.

Хр. Гаккеля - система прямолинейных трещин, с небольшими изгибами и смещениями, наличие перпендикулярных оси линеаментов, связанных с первоначальными нарушениями прямолинейности трещин.

Дополнительная литература для углубленного изучения:

Вержбицкий Е.В., Кононов М.В., Бяков А.Ф., Гринберг О.В. Генезис литосферы Исландского региона (Северная Атлантика) по геофизическим данным // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 2. С. 248-261.

Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю. и др. Строение зоны перехода континент-океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24, 25 и 26 рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006-2009 гг.) // *Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный Полярный Год*. Т. 4. М.: Paulsen, 2010. С. 111-157.

Кохан А.В., Дубинин Е.П., Грохольский А.Л. Геодинамические особенности структурообразования в спрединговых хребтах Арктики и Полярной Атлантики // *Вестник КРАУНЦ. Науки о земле*. 2012. № 1. Выпуск № 19. С.59-77.

Пейве А.А. Аккреция океанической коры в условиях косоугольного спрединга // *Геотектоника*. 2009. № 2. С. 5-19.

Шпилов Э.В. Генерации спрединговых впадин и стадии распада вегенеровской Пангеи в геодинамической эволюции Арктического океана // *Геотектоника*. 2008. № 2. С. 32-54.