

Строение литосферы центральной и арктической частей Кольского региона по новым сейсмологическим данным

А.Г. Гоев

ИДГ РАН, Москва

Москва, 2024

Цели и задачи исследования

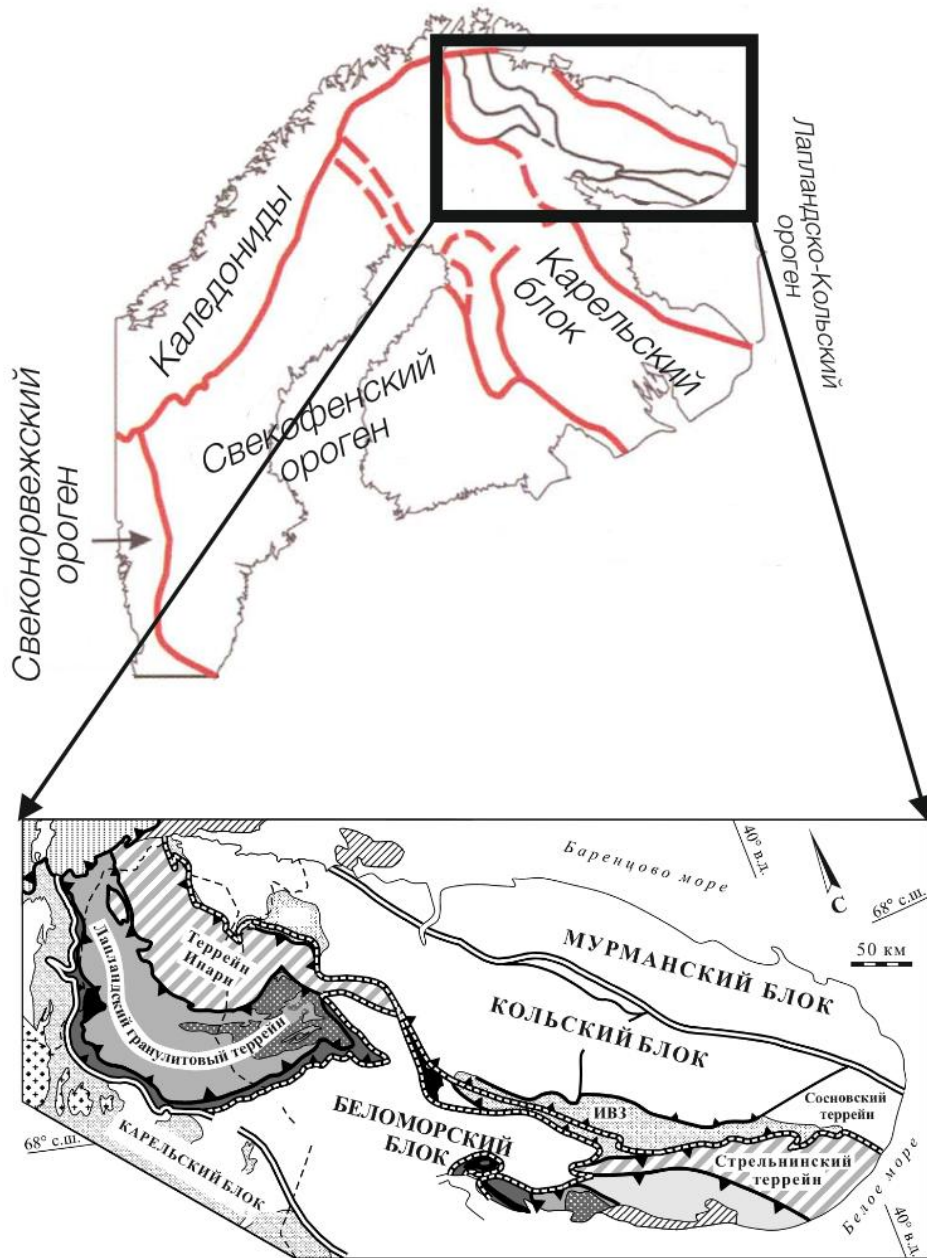
Цель:

Выяснение взаимосвязи глубинных геологических структур и тектонических процессов на разных глубинных уровнях – консолидированной части земной коры и верхней мантии с современной сейсмической активностью и рудогенезом в различных частях арктической зоны Кольского полуострова, в которых расположены разного типа месторождения: цветные металлы (Никель-Печенга), железная руда (Оленегорск), апатит-нефелиновые руды (Апатиты), редкоземельные элементы (Ловозеро) и другие известные месторождения.

Задачи:

1. Создание площадной наблюдательной сети сейсмических станций;
2. Моделирование глубинных сейсмических разрезов земной коры и верхней мантии;
3. Интерпретация выявленных аномалий;
4. Создание структурной модели Кольского региона.

Геолого-тектоническая схема изучаемого региона



Фенноскандинавский (Балтийский) щит — один из самых хорошо изученных докембрийских регионов Земли. Его основная, центральная, часть сформировалась в палеопротерозойское время: Свекофенская провинция (1.8 – 2.0 млрд. л.) и Трансскандинавский изверженный пояс (1.6 – 1.8 млрд. л.). Кроме того, на его юго-западной оконечности находится Свекогвардский пояс возрастом 0.9 – 1.2 млрд. л. Наиболее древние архейские породы обнажаются в северо-восточной части щита на территории Кольского полуострова, который в свою очередь состоит из трех основных тектонических элементов — Мурманского, Кольского и Беломорского блоков (Кольский и Беломорский блоки, совместно с более мелкими Умбинско-Терским и Стрельнинским террейнами некоторыми исследователями объединяются в Лапландско-Кольский ороген).

Daly J. S., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse M. J. The Lapland-Kola Orogen: Paleoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere // In: Gee D.G., Stephenson R. A. (eds.), *European Lithosphere Dynamics: Geological Society Memoirs*. 2006. V.32. Pp. 579–598.

Hjelt S.-E., Daly J. S., SVEKALAPKO colleagues. SVEKALAPKO: evolution of Palaeoproterozoic and Archaean Lithosphere // In: Gee D.G., Zeyen H. J. (eds) *EUROPROBE 1996 - Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents*. EUROPROBE Secretariat, Uppsala University. 1996. Pp. 56-67.

Мудрук С.В., Балаганский В.В., Горбунов И.А., Раевский А.Б. Альпинотипная тектоника в палеопротерозойском Лапландско-Кольском орогене // *Геотектоника*. 2013. № 4. С. 13–30.

Изученность региона исследования

Кольский полуостров изучен весьма неравномерно. Наиболее изученной его частью является северо-западная (Печенгский район)

На данный момент существуют два сейсмических профиля, глубина просвечивания вдоль которых превышает мощность коры – Кварц и Толстик-Хибины (часть траверса 1-ЕВ)

Профили пересекаются в районе Хибинской интрузии и не дают согласованных результатов. Так мощность коры по профилю Кварц составляет 43 км, по профилю 1-ЕВ – 40 км.

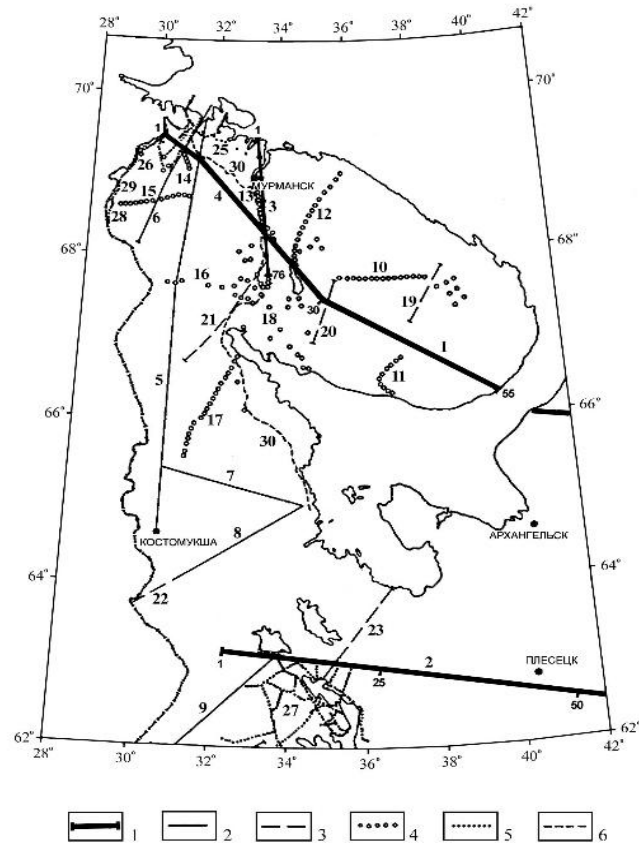


Рис.1.2 Схема расположения сейсмических профилей северо-восточной части Балтийского щита

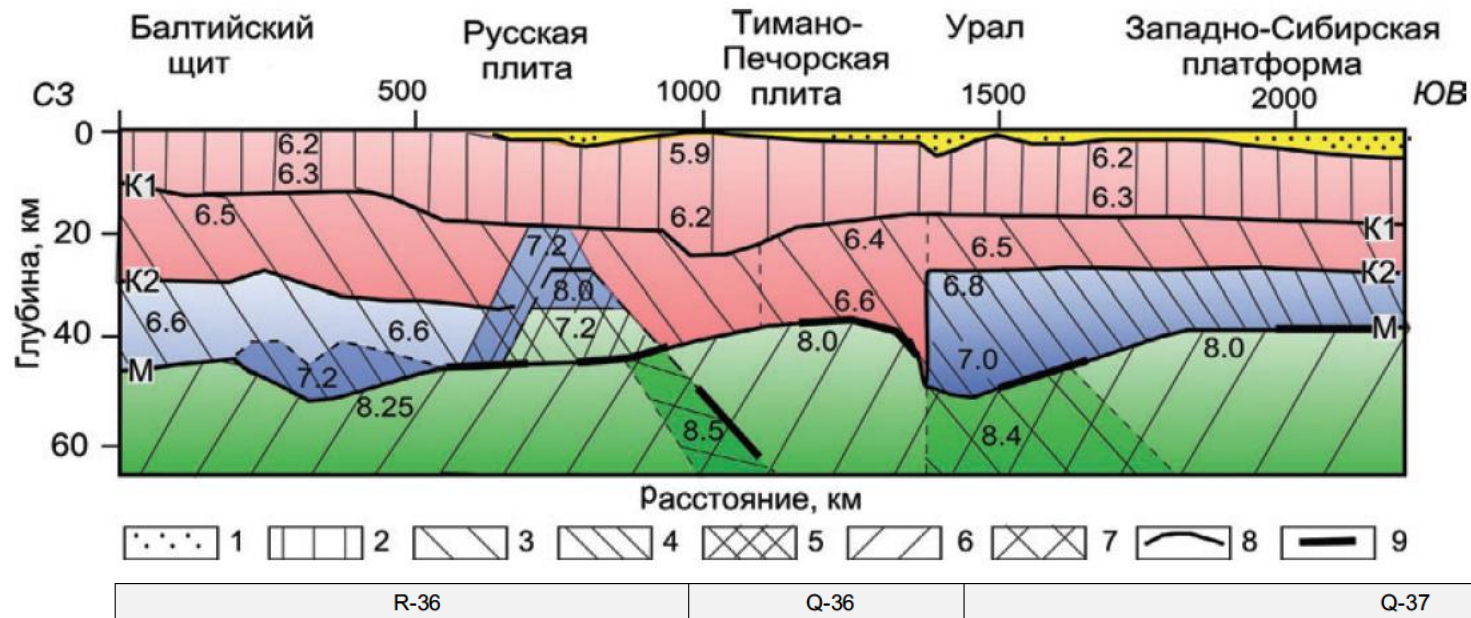
1 - профили МОВЗ - ГСЗ Центра ГЕОИ; 2 - профили ГСЗ;
3 - профили МОВ; 4 - приемные станции сейсмозондирования;
5 - профили МОВЗ; 6 - профили МОГТ

Названия профилей на следующей странице

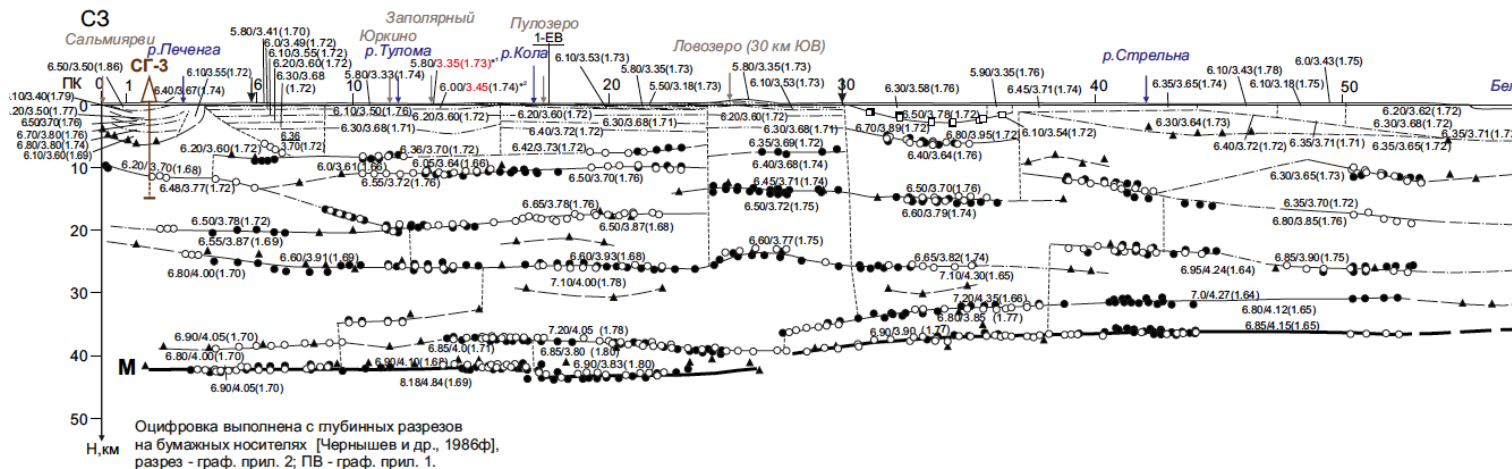
Золотов Е. Е., Костюченко С. Л., Ракитов В. А. Неоднородности верхней мантии Балтийского щита по данным сейсмической томографии // Разведка и охрана недр. 2000. № 2. С. 27–29.

Павленкова Г.А., Павленкова Н.И. Результаты совместной обработки данных ядерных и химических взрывов по сверхдлинному профилю “Кварц” (Мурманск–Кызыл) // Физика Земли. 2008. № 4. С. 62–73

Результаты интерпретации сверхдлинного профиля “Кварц”

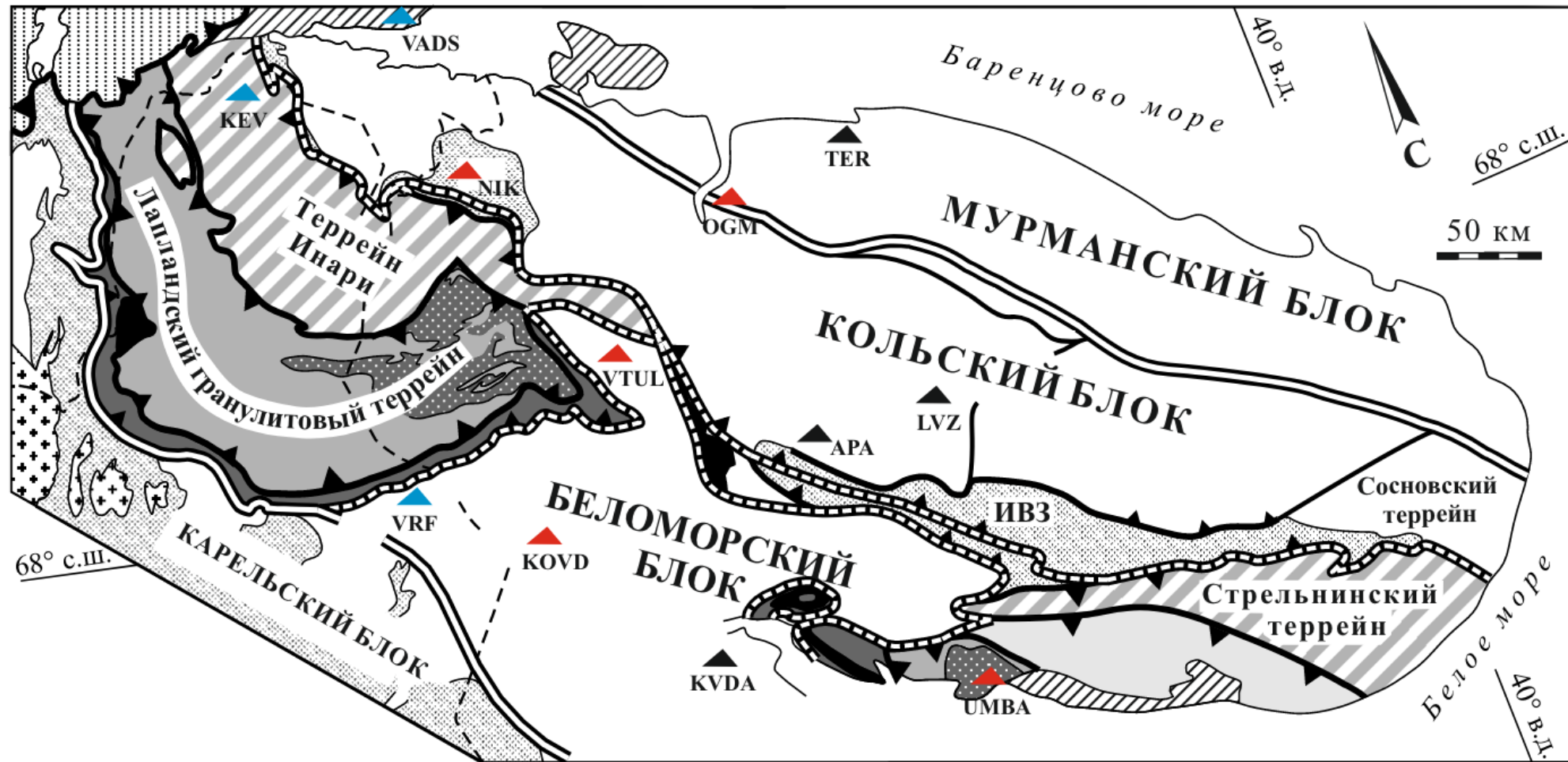


Типы земной коры циркумполярной Арктики / С. Н. Кашибин, Н. И. Павленкова, О. В. Петров [и др.] // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 5-20.



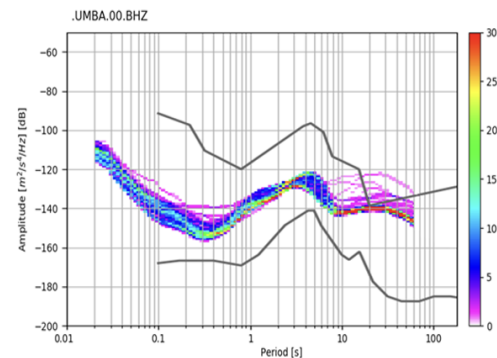
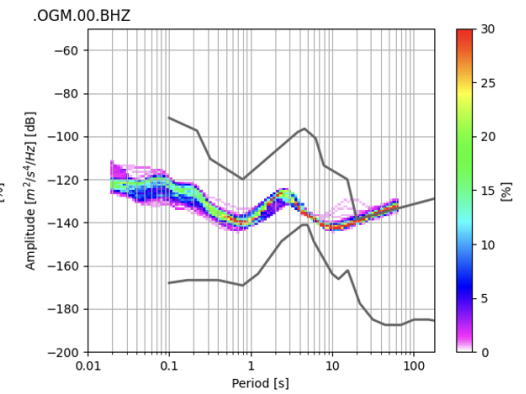
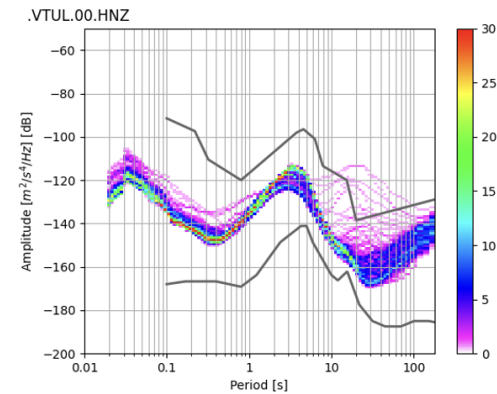
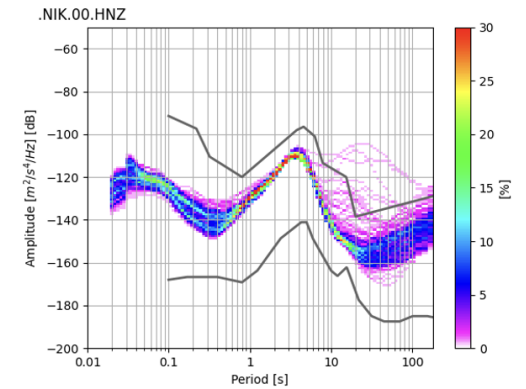
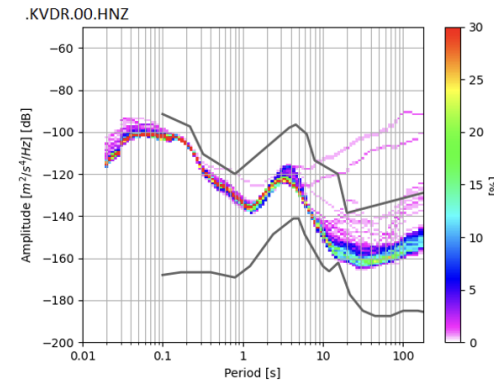
Атлас "Опорные геолого-геофизические профили России" // ВСЕГЕИ

Схема расстановки сейсмических станций

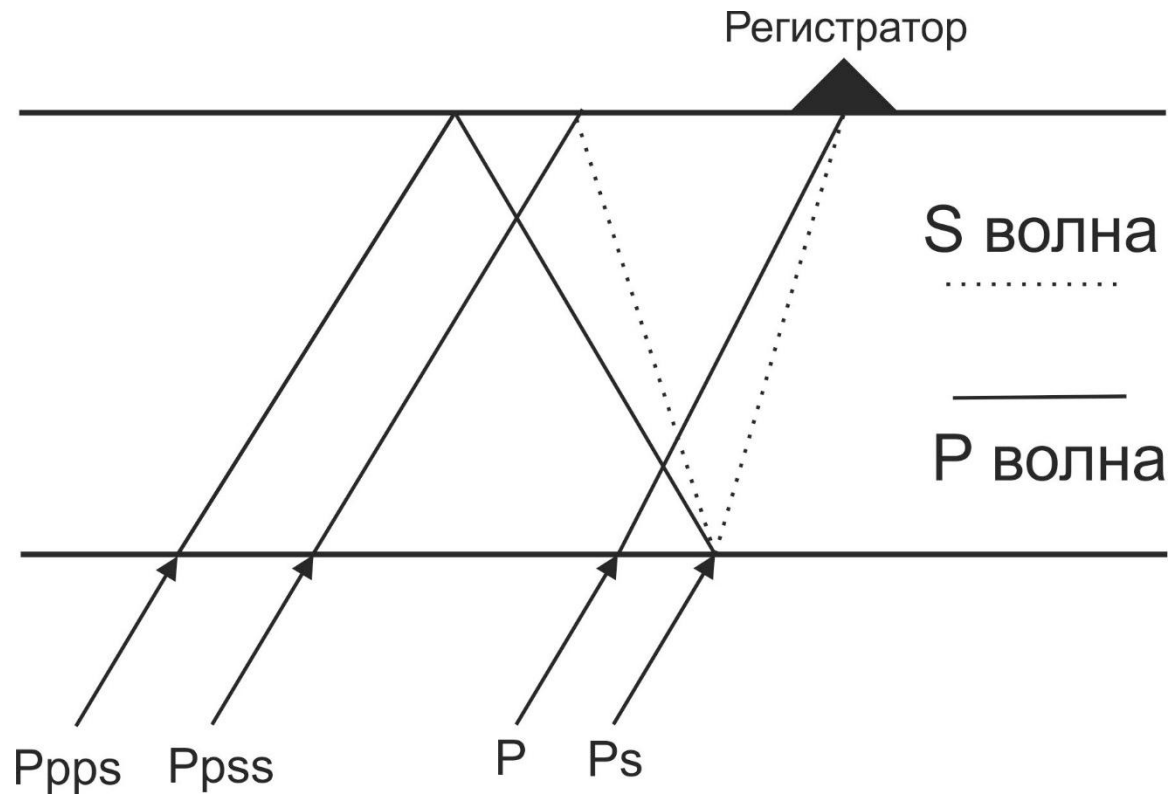


Мудрук С.В., Балаганский В.В., Горбунов И.А., Раевский А.Б. Альпинотипная тектоника в палеопротерозойском Лапландско-Кольском орогене // Геотектоника. 2013. № 4. С. 13–30.

Характеристики новых сейсмических станций



Метод функций приемника



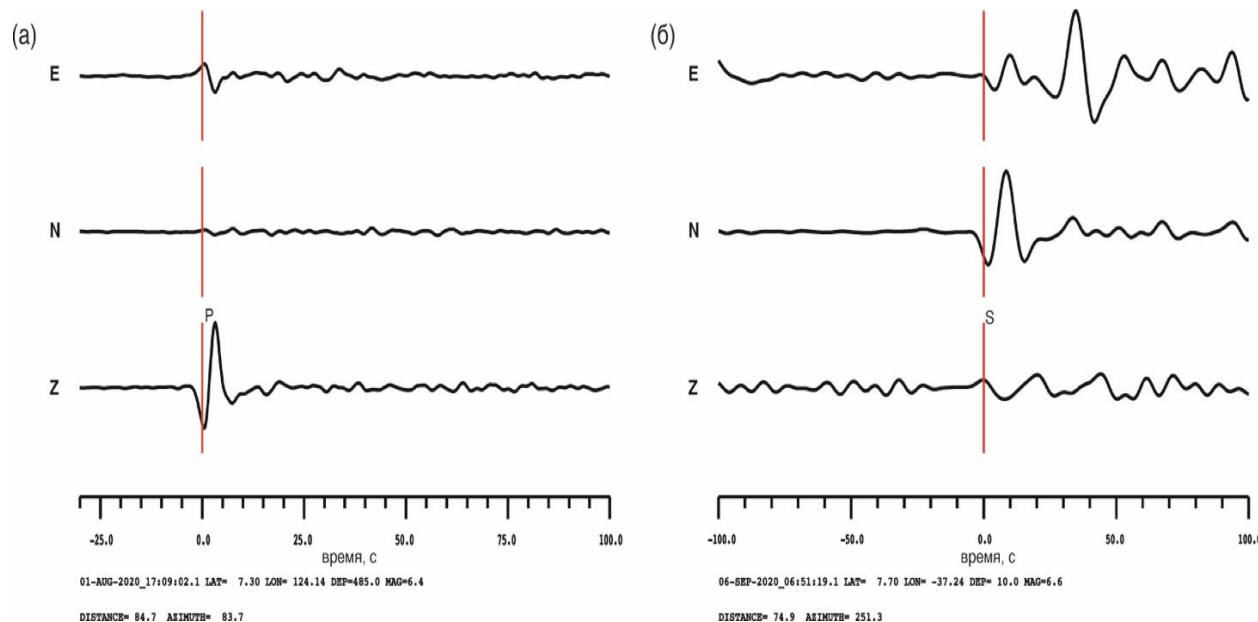
Использует обменные волны от контрастных сейсмических границ

Подразделяется на два направления по типам обменных волн

Позволяет смоделировать локальную скоростную структуру вблизи станции

Позволяет произвести оценки аномалий границ зоны фазовых переходов

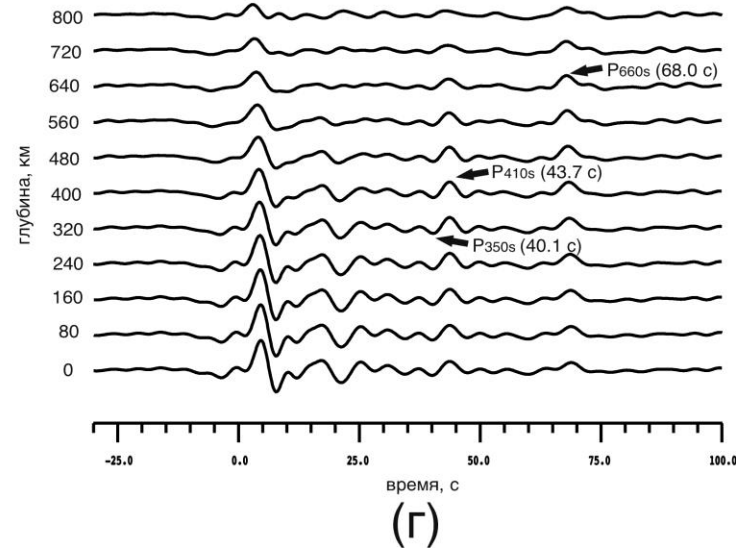
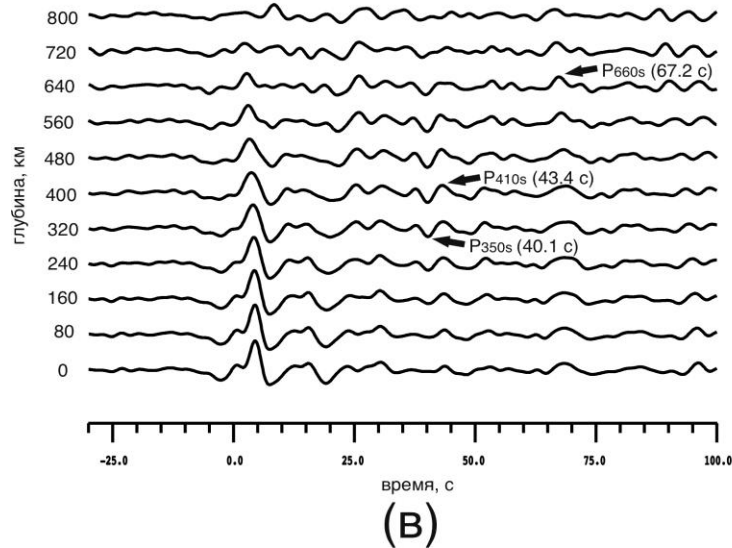
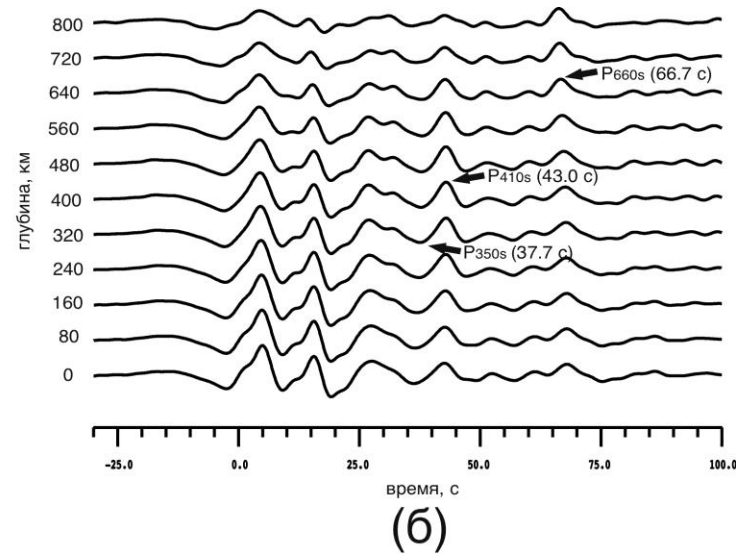
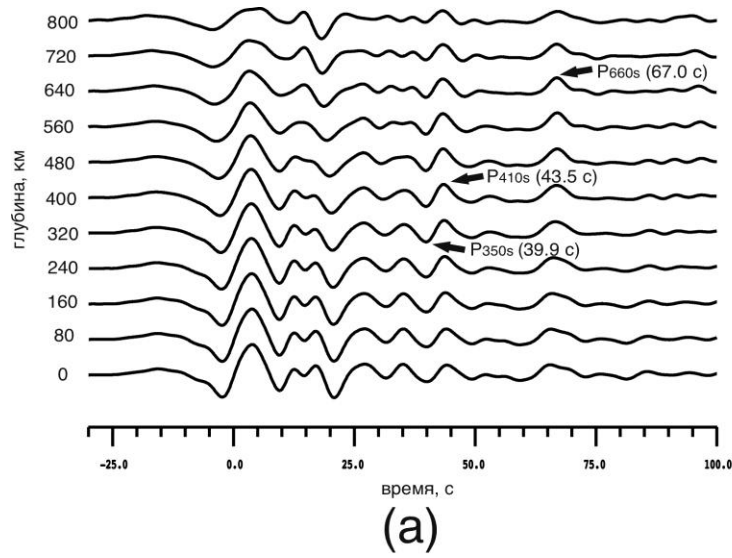
Критерии отбора исходных данных



Критериями пригодности сейсмических событий к обработке являются:

1. Импульсная форма первой падающей волны
2. Диапазон эпицентральных расстояний 40^0 - 100^0
3. Магнитуда события не менее 5.5
4. Высокое (более 3) отношение сигнал/шум
5. Изолированность целевой падающей волны (Р или S)

Исследования границ зоны фазовых переходов верхней мантии 410 и 660 км

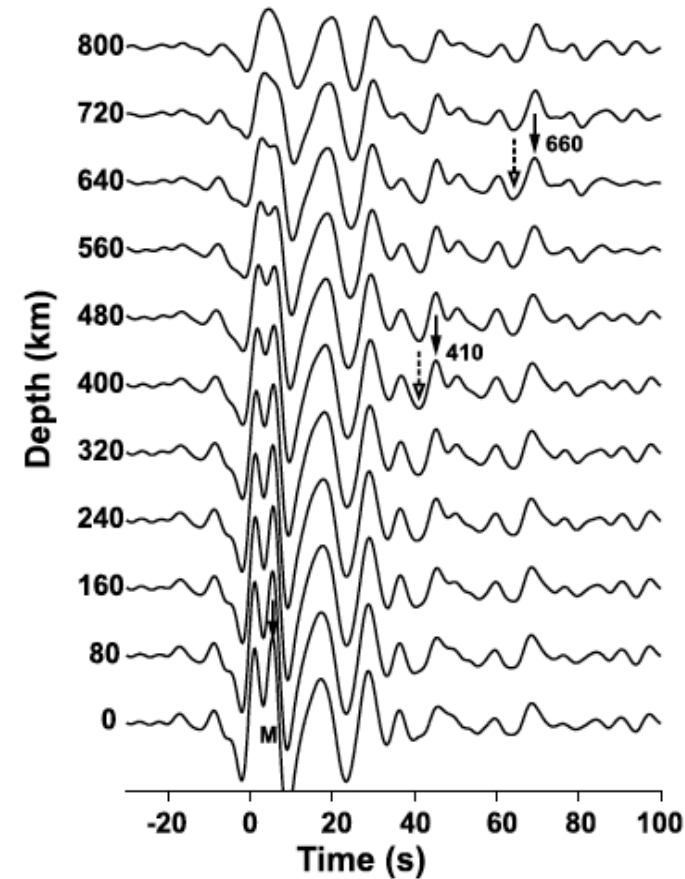
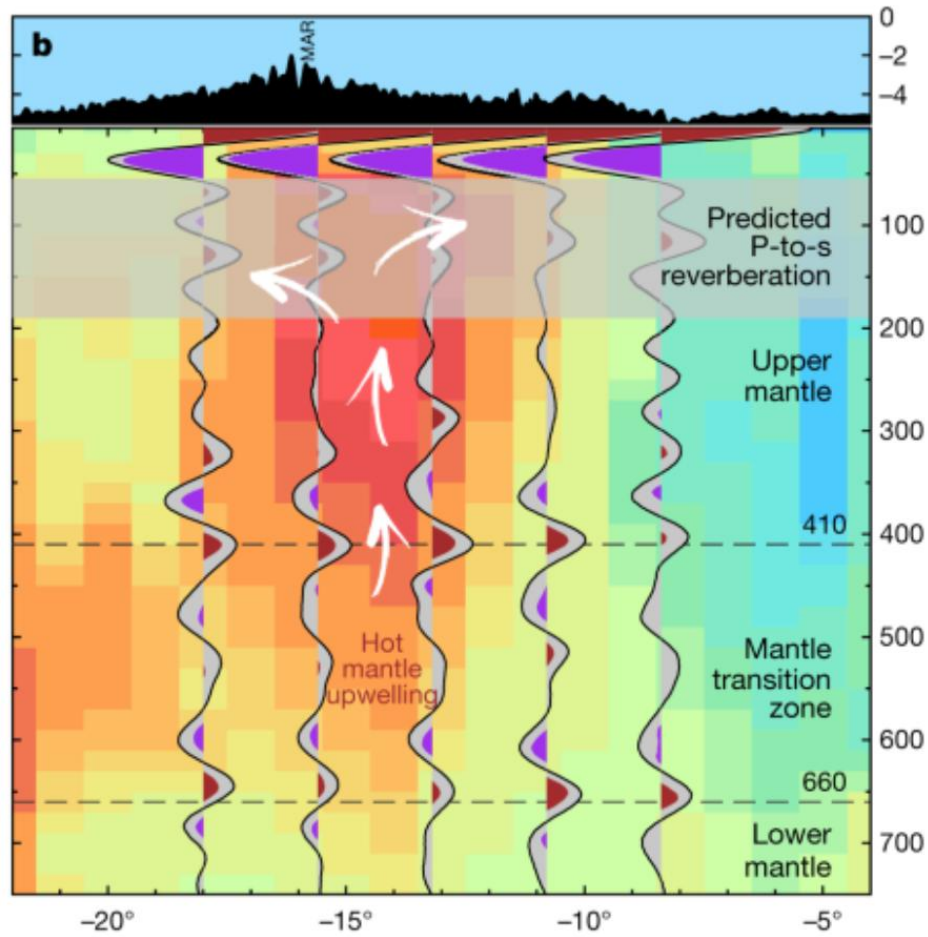


На стеках хорошо выделяются обменные волны от кровли и подошвы зоны фазовых переходов верхней мантии, что свидетельствует о высоком качестве данных;

Наблюденная стандартная разность времен вступления этих фаз свидетельствует о модельной мощности этой зоны – 250 км;

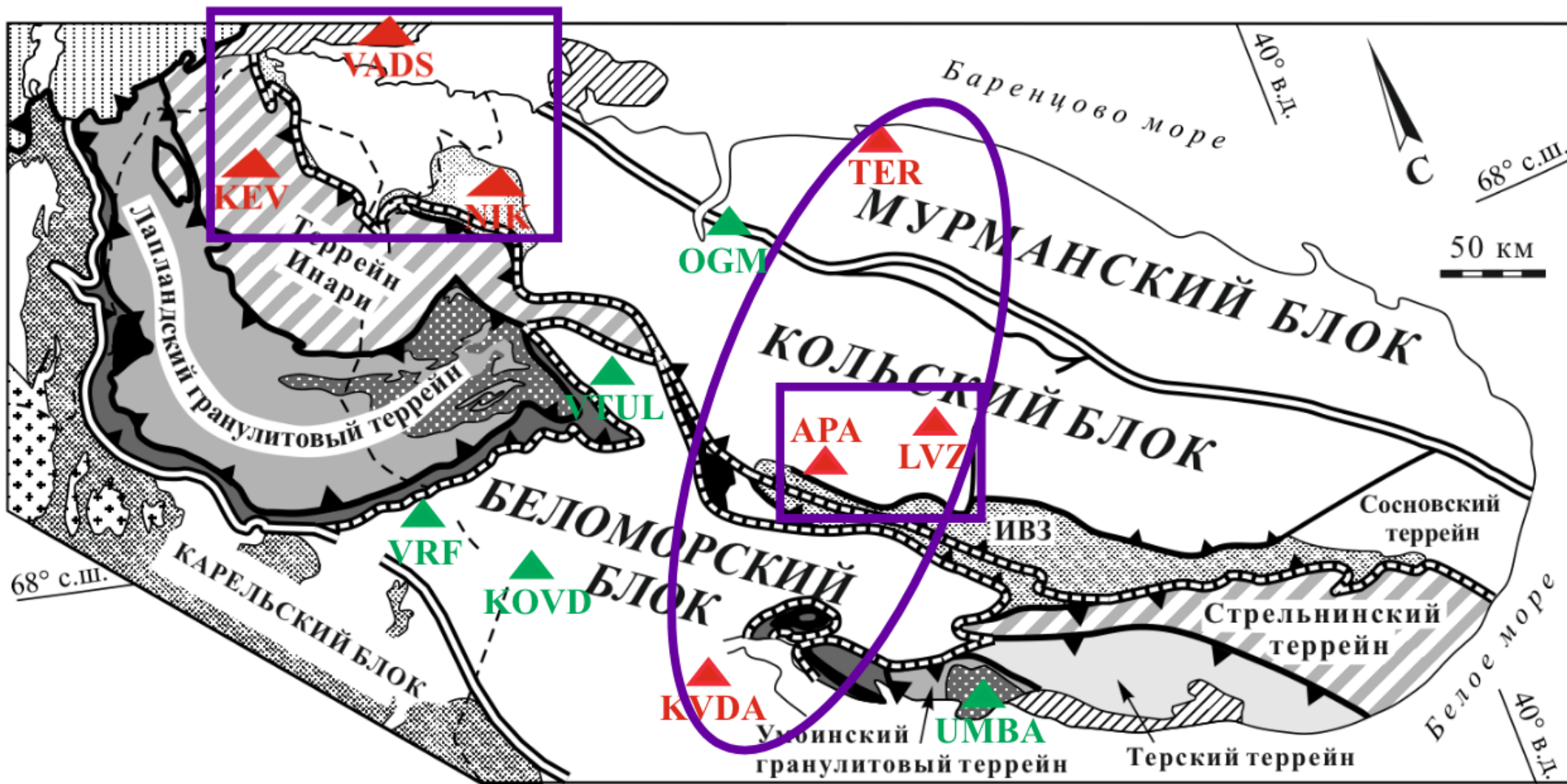
Выделяется отрицательная фаза, которая может свидетельствовать о наличии отрицательной границы на глубине около 350 км.
(а) – LVZ, (б) – VRF, (в) – TER, (г) – APA

Аномалии границ зоны фазовых переходов

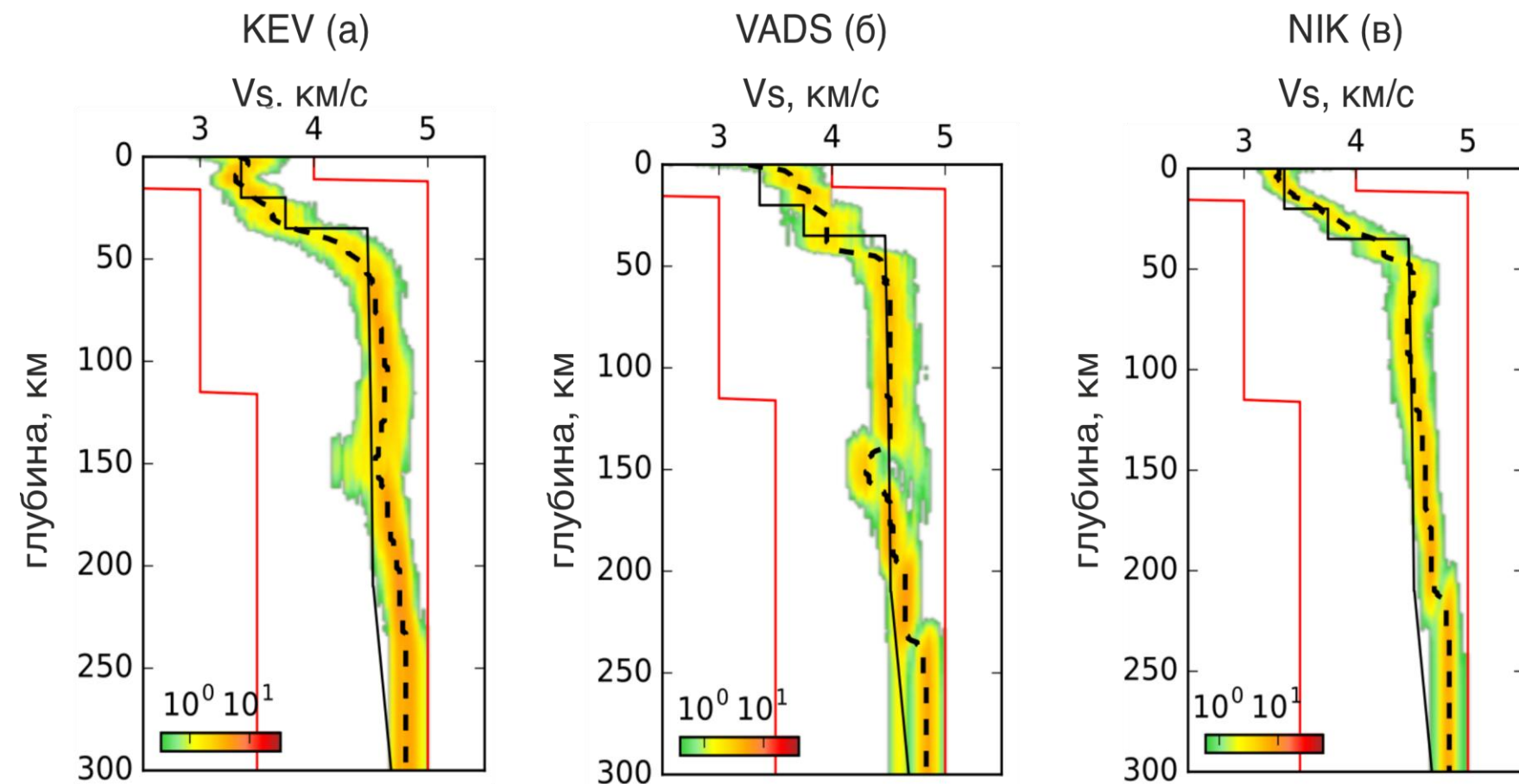


Agius, M.R., Rychert, C.A., Harmon, N. et al. A thin mantle transition zone beneath the equatorial Mid-Atlantic Ridge. *Nature* **589**, 562–566 (2021).
Erduran, M., Oreshin, S., Vinnik, L. et al. Mantle lithosphere, asthenosphere and transition zone beneath Eastern Anatolia. *J Seismol* **26**, 265–281 (2022).

Исследуемые районы



Глубинные модели скоростного строения земной коры и верхней мантии северо-западной части ЛКО



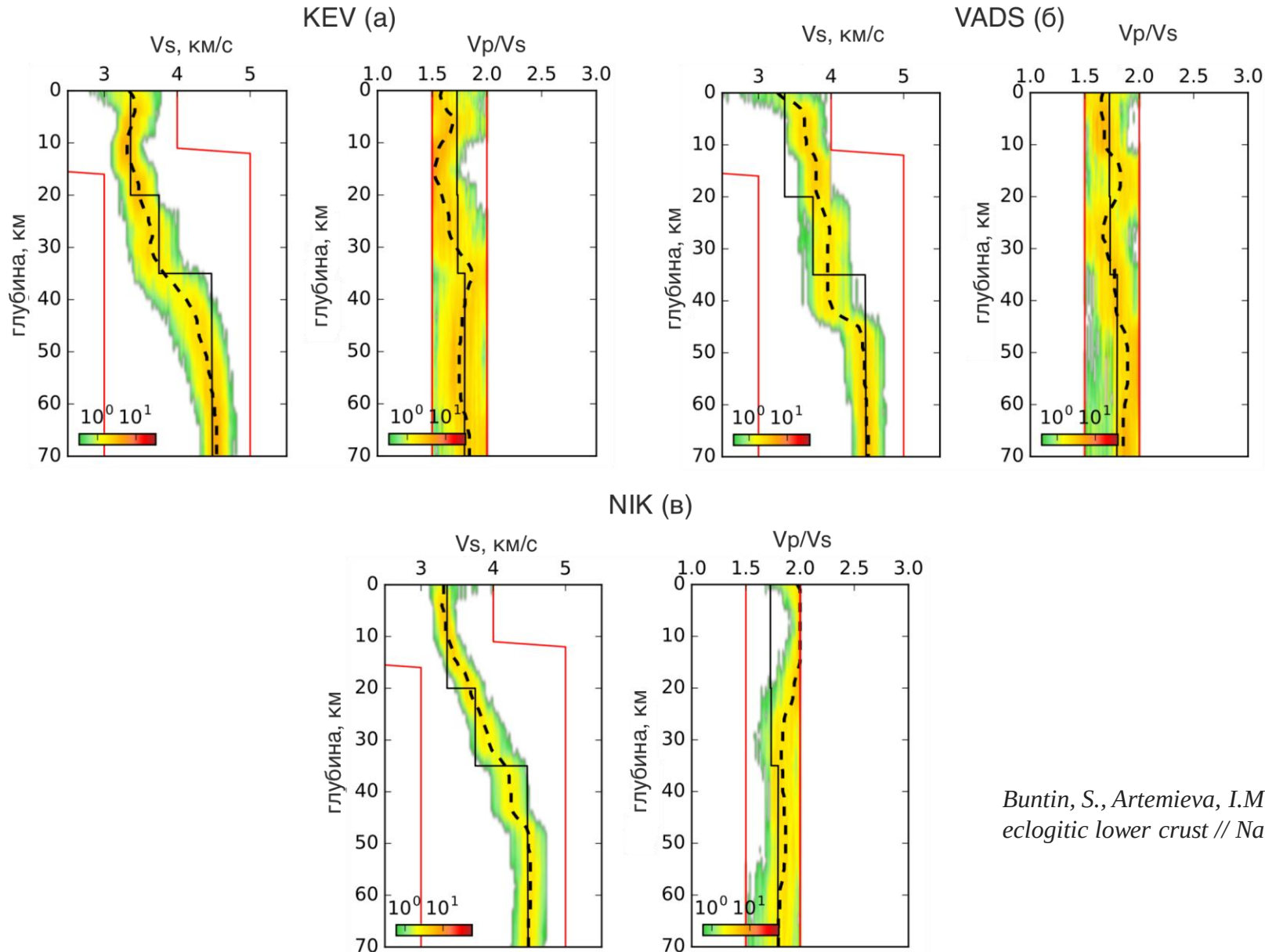
Несмотря на близость станций, модели существенно различны;

По модели станции VADS отчетливо выделяется слой пониженных скоростей на глубине около 150 км;

По данным станции KEV этот слой выделяется “условно”;

По данным NIK в строении верхней мантии отсутствуют особенности

Модели скоростного строения земной коры

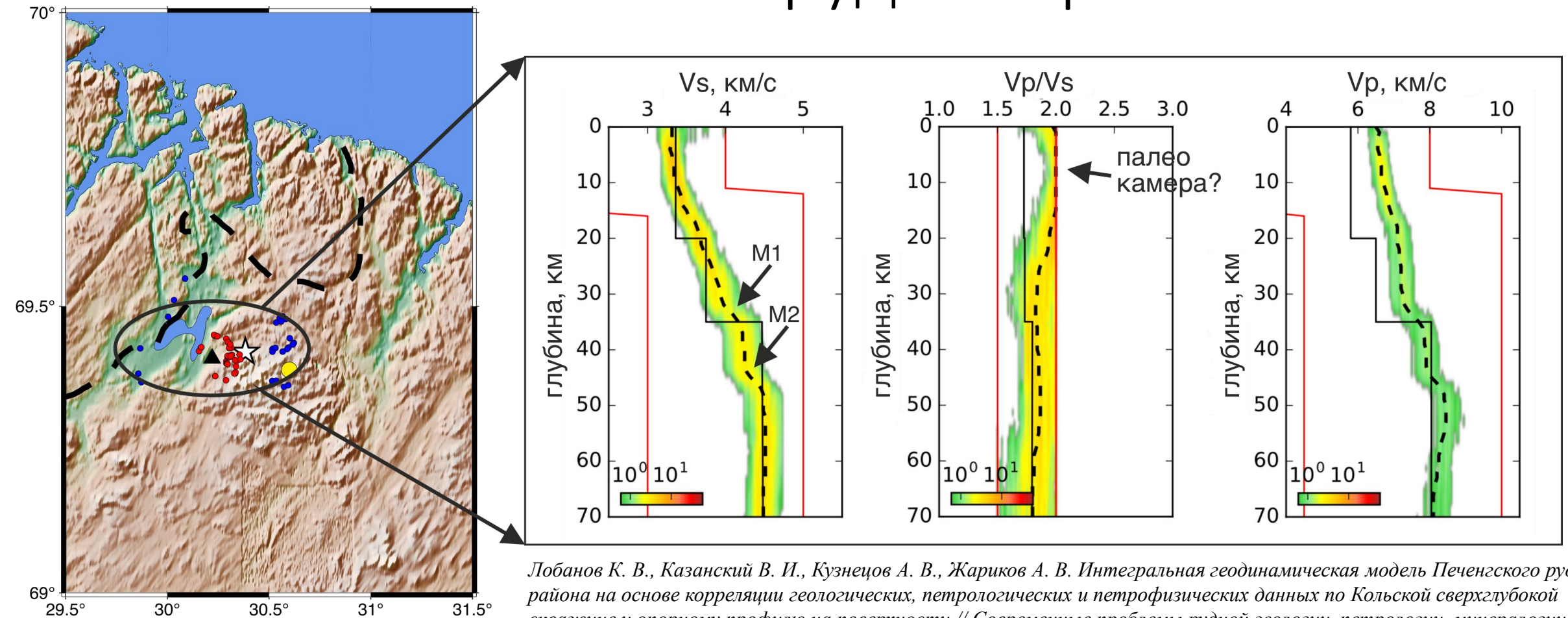


В изучаемом регионе граница кора-мантия неоднородна;
По данным станции KEV выявлен градиентный слой с выходом на стандартные значения на глубине около 55 км;
станция VADS – единый раздел на глубине около 46 км;
станция NIK – две границы на глубинах 37 и 47 км;

Граница Мохо стала резкой в этом регионе из-за потери эклогита?

Buntin, S., Artemieva, I.M., Malehmir, A. et al. Long-lived Paleoproterozoic eclogitic lower crust // Nature Communications. 2021. Vol. 12. № 6553

Локализация моделей глубинного строения Печенгского рудного района

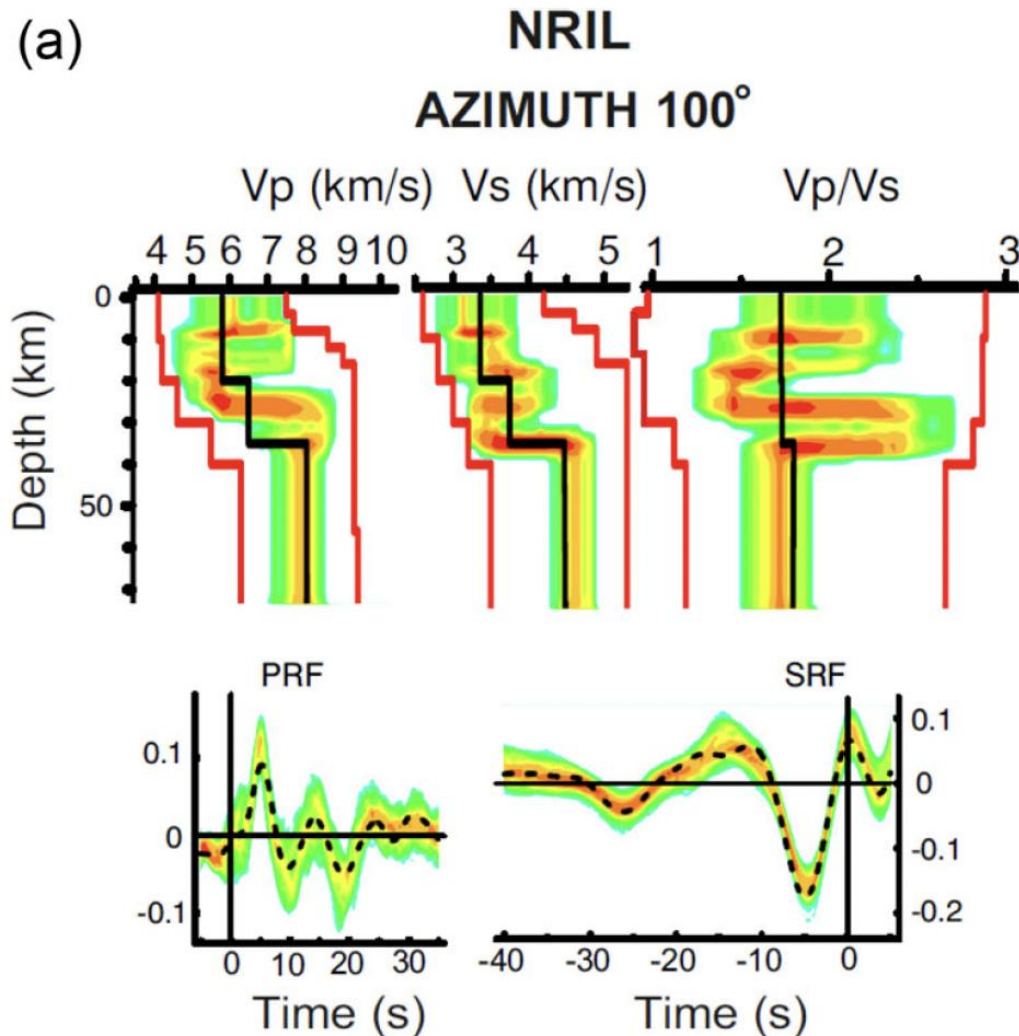


Лобанов К. В., Казанский В. И., Кузнецов А. В., Жариков А. В. Интегральная геодинамическая модель Печенгского рудного района на основе корреляции геологических, петрологических и петрофизических данных по Кольской сверхглубокой скважине и опорному профилю на поверхности // *Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии* / ИГЕМ РАН. — М., 2010. — С. 258—300.

Исанина Э.В. Сейсмологические исследования методом МОВЗ в районе Кольской скважины СГ-3//*Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Лапландско-Печенгский регион*/ Кол. авт. под ред. Н.В. Шарова. Апатиты. КНЦ РАН. 1997. С. 101-115.

Кольская сверхглубокая: Научные результаты и опыт исследования // Отв. ред. В.П. Орлов, Н.П. Лаверов. М., 1998. 260 с.

Глубинная модель в районе Талнахского месторождения (Норильск)



На глубине около 15 км выделяется слой мощностью 10 км, характеризующийся чрезвычайно высокими значениями V_p/V_s около 2.5

L. Vinnik, S. Oreshin, L. Makeyeva, S. DüNDAR Fluid-filled porosity of magmatic underplates from joint inversion of P and S receiver functions // Geophysical Journal International, 2017, Volume 209, Issue 2, May 2017, P. 961–968

Исследования в центральной части ЛКО (Хибинская и Ловозерская интрузии)



Регион представляет существенный интерес ввиду сложной тектоники.

Имандра-Варзугская зона представляет собой протерозойскую рифтогенную структуру;

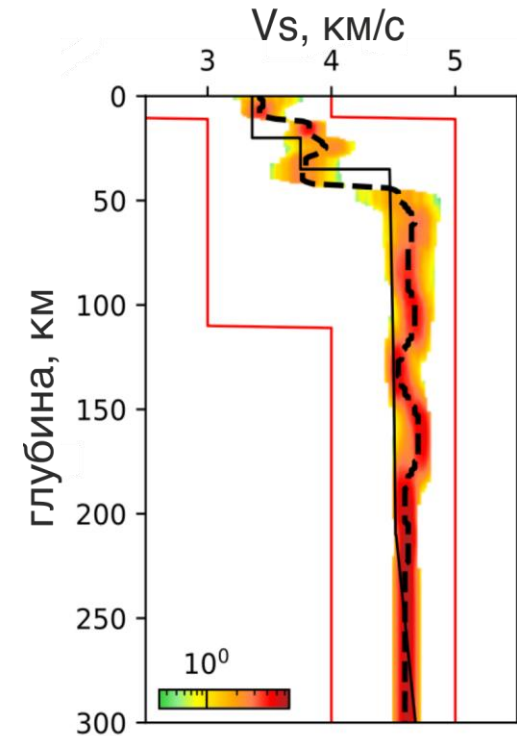
Хибины и Ловозеро – палеозойский плюмовый процесс;

Севернее залегают архейские породы Фенноскандинавского щита

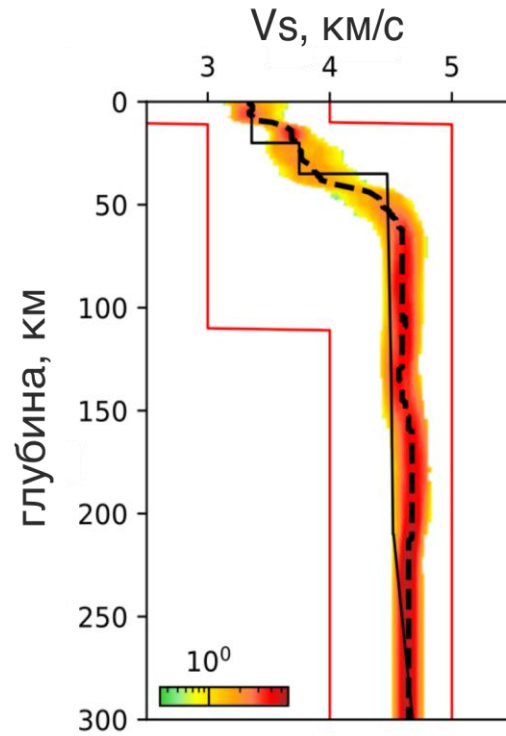
Шарков Е.В., Богатиков О.А., Красивская И.С. Роль мантийных плюмов в тектонике раннего докембрия восточной части Балтийского щита // Геотектоника. 2000. Т.2. С. 3-25

Глубинные модели скоростного строения земной коры и верхней мантии центральной части Фенноскандинавского щита

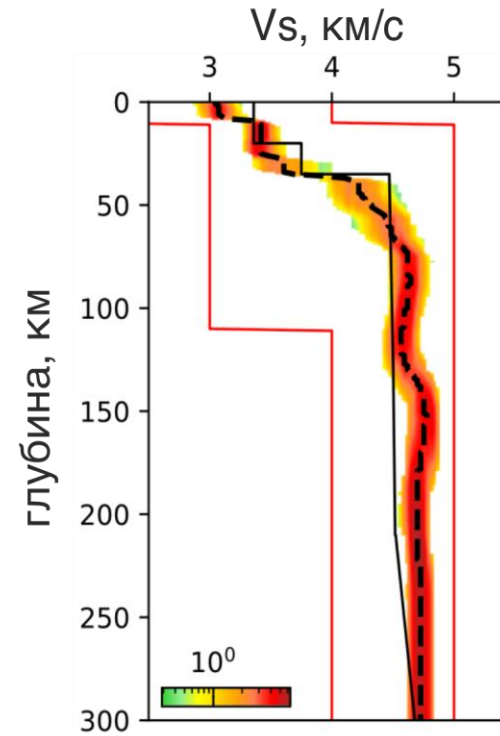
ИВЗ (а)



ПЛУТ (б)



ЩИТ (в)



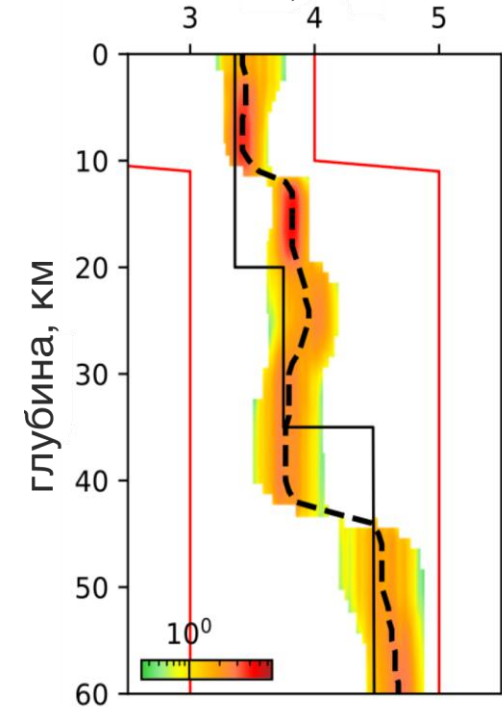
На моделях (а) и (в) отчётливо выделяется слой пониженных скоростей в верхней мантии.

В модели Имандра-Варзугской зоны (а) этот слой выделяется на глубинах около 120-150 км, а в модели Фенноскандинавского щита (в) на глубинах 90-140 км.

Модели скоростного строения земной коры

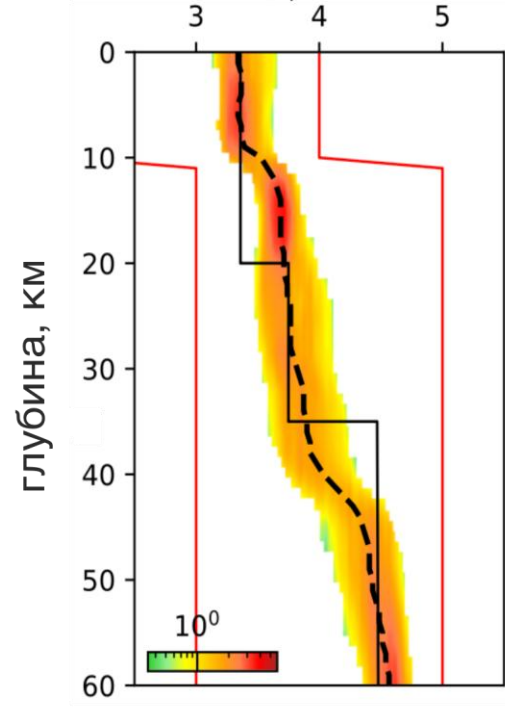
ИВЗ (а)

V_s , км/с



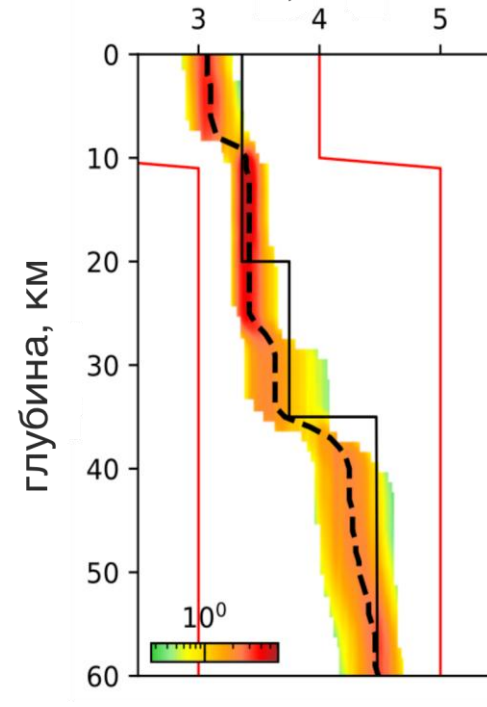
ПЛУТ (б)

V_s , км/с



ЩИТ (в)

V_s , км/с



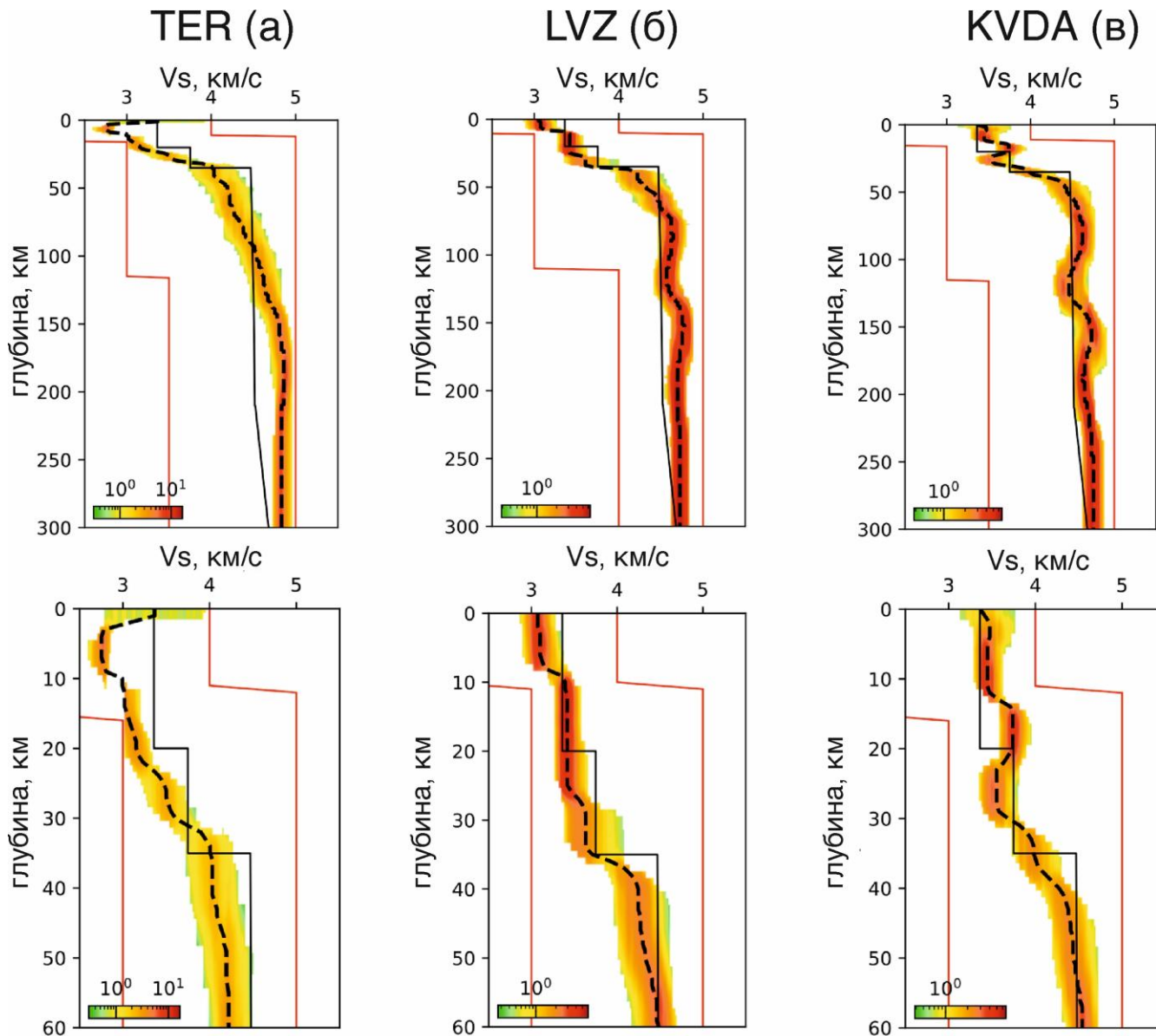
Во всех моделях строения земной коры выделяется граница на глубине около 10 км.

Коро-мантийный переход в (а) проявлен резкой границей на глубине около 45 км.

В (б) выделяется переходная зона Мохо мощностью около 7 км в диапазоне глубин 39 - 46.

В (в) граница Мохо выделяется единым разделом на глубине около 38 км.

Сопоставление глубинных скоростных моделей основных тектонических элементов Кольского региона



Данные станции TER характеризуют Мурманский мегаблок
LVZ – Кольский; KVDA – Беломорский;

На моделях Кольского и Беломорского блоков выделяется MLD на глубинах около 90-140 км, которая не прослеживается по данным станции TER;

Видно существенное различие в глубине залегания коро-мантийного перехода: 33 км по модели станции TER, 38 по модели станции LVZ и около 40 по модели станции KVDA

Схема глубины коро-мантийного перехода северо-восточной части Фенноскандинавского щита

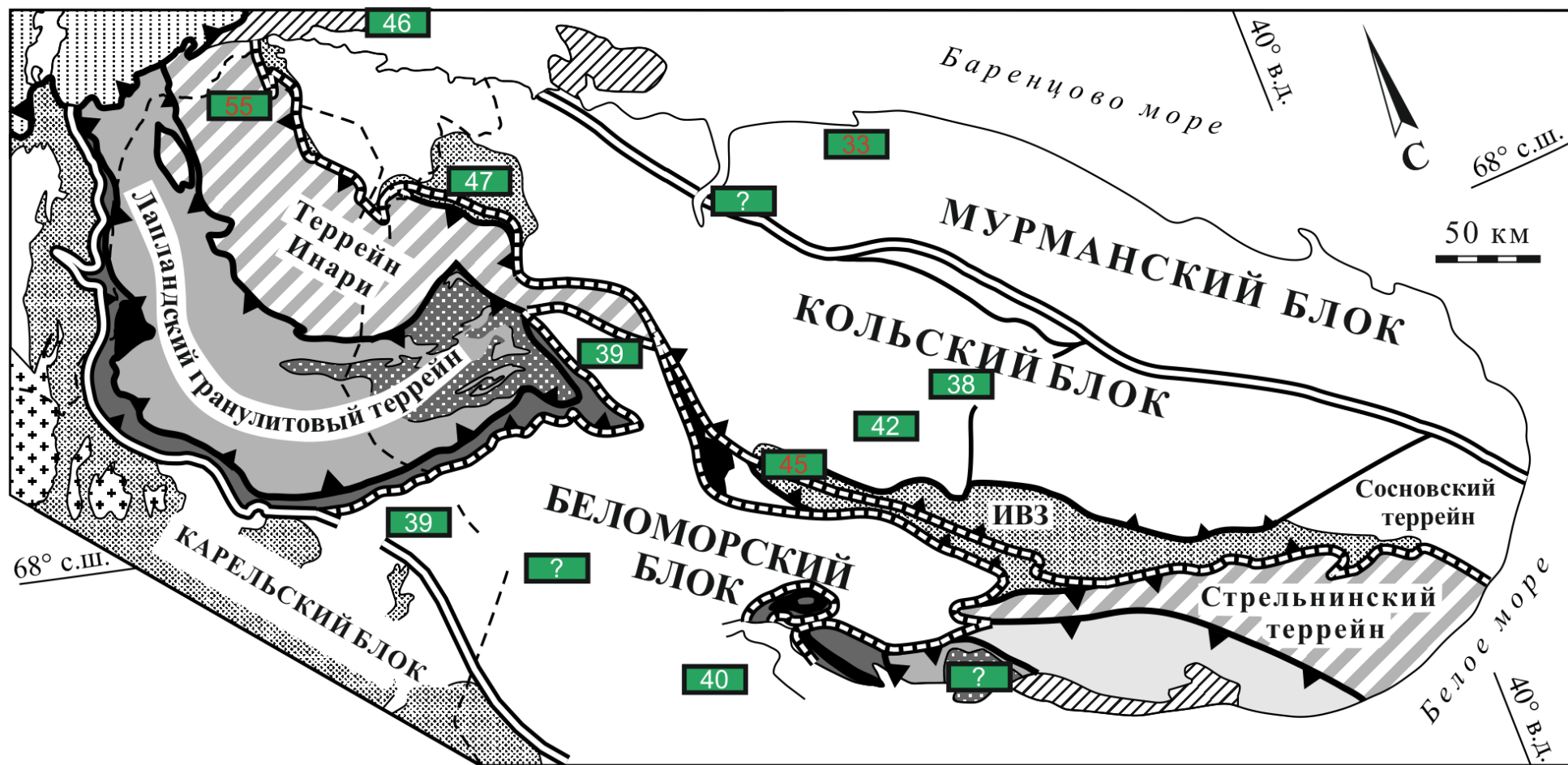


Схема глубины кровли MLD северо-восточной части Фенноскандинавского щита

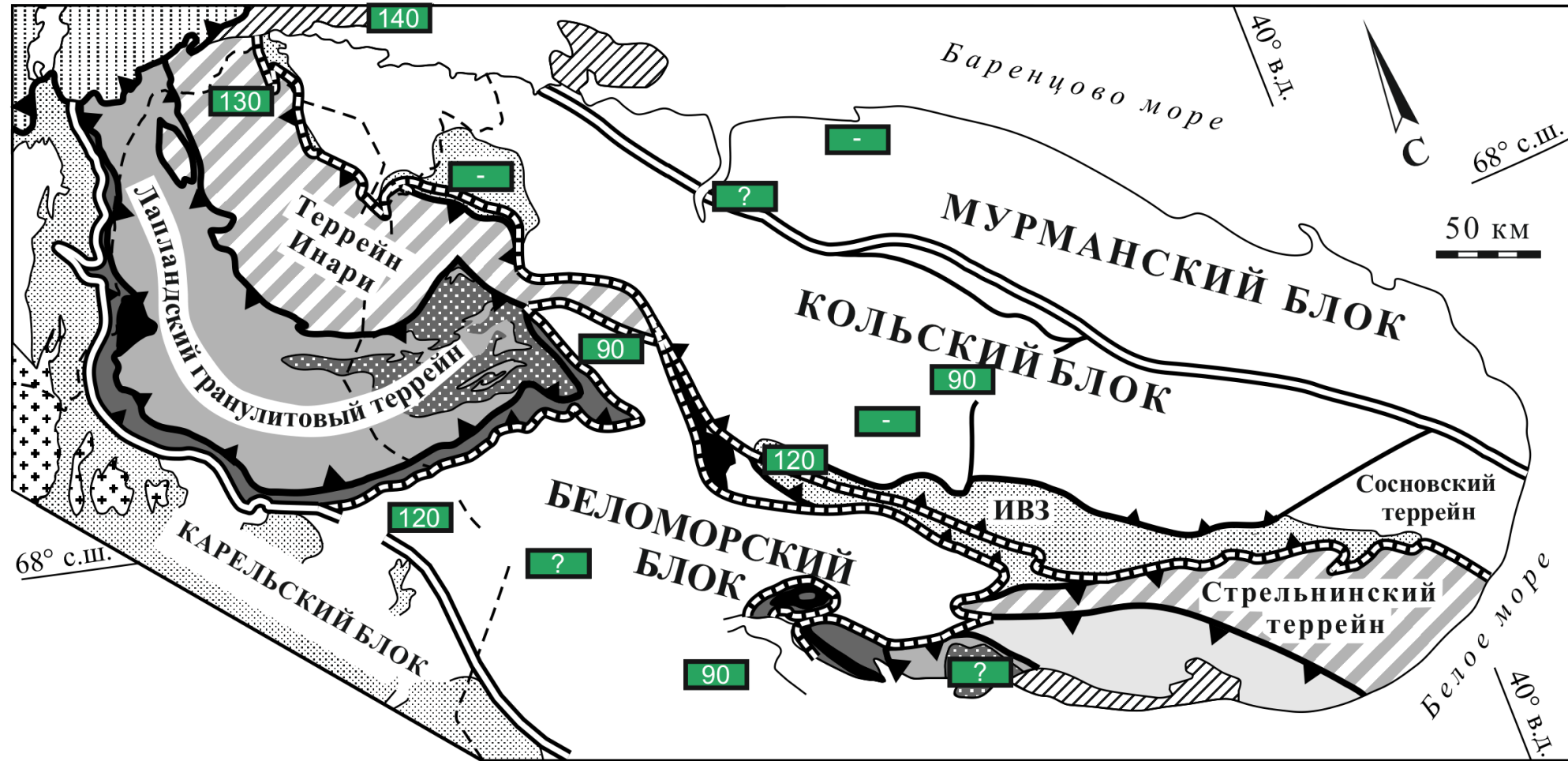


Схема глубины подошвы MLD северо-восточной части Фенноскандинавского щита



Основные результаты

- Показана существенная гетерогенность строения литосферы северо-западной и центральной частей Фенноскандинавского щита;
- В северо-западной части:
 - Выявлены отличия в структуре коро-мантийного перехода – градиентный для станции KEV; резкий для станции VADS и “двойной” для станции NIK;
 - Определено существенное увеличение мощности земной коры относительно региона исследований до значений в 55 км;
 - Установлено наличие “средне литосферной неоднородности” или MLD на глубине около 150 км; по данным станции NIK MLD не выявлено;
 - Высказано предположение о связи выявленных, по данным станции NIK, аномалий строения зоны Мохо, строения верхней мантии и значений V_p/V_s в коре с протерозойским рифтогенезом;
 - Различие в структуре коро-мантийного перехода в моделях VADS и KEV может быть связано с каледонским орогенезом
- В центральной части
 - Коро-мантийный переход имеет характер резкой границы в районе Имандра-Варзугской зоны и градиентный под Хибинской и Ловозерской интрузиями;
 - В районе Имандра-Варзугской зоны и прилегающей к изучаемой области части Фенноскандинавского щита прослеживается MLD, под Хибинской и Ловозерской интрузиями MLD не выявлено
 - В Хибино-Ловозерском тектоническом узле наблюдается увеличение мощности коры с северо-запада на юго-восток
- Сопоставление строения основных мегаблоков выявляет существенное отличие модели Мурманского блока от моделей Кольского и Беломорского – не прослеживается MLD. Кроме того существенно меняется мощность коры от значений 33 до 40 км с севера на юг

Спасибо за внимание!