

Перспективы применения материалов спутников Terra (MODIS, ASTER) и Aqua(MODIS) при развитии минерально-сырьевой базы России

Горный Виктор Иванович

*ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук»*

E-mail: V.I.Gornyuy@mail.ru






*Двадцать третья международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
10–14 ноября 2025, ИКИ РАН
Москва*

Главное
требование при геологическом дешифрировании
материалов аэрокосмических съемок:

Знание объекта исследования.

**Достоинства
материалов съемки спутниками
Terra(MOGIS, ASTER) и Aqua(MODIS)
с позиции применения
при геологоразведочных работах**

Спектрорадиометр MODIS.

- 36 спектральных каналов в видимом, ближнем, среднем и **тепловом инфракрасном** диапазонах;  Дистанционная геотермия, спектрометрия
- Пространственное разрешение в надире :
 - 250 м (каналы 1-2);
 - 500 м (каналы 3-7);
 - 1000 м (каналы 8-36); Генерализация изображений, региональные исследования,
- Цифровая регистрация, динамический диапазон: 12 бит;  Высокая чувствительность и регистрация без искажений
- **Ширина полосы съемки: 2330 м;**  Обзорность: континентальный уровень исследования;
- **Повторяемость съемки двумя спутниками: 2-4 раза/сутки.**  дистанционная геотермия,

Спектрорадиометр ASTER

Спутниковая спектрометрия

Количество спектральных каналов:

- видимый и ближний ИК: 2;
 - средний ИК: 6;
 - ИК - тепловой : 5.
- } Картирование
вещественного
состава обнажений

Спектры минералов в ИК-тепловом диапазоне



Пространственное разрешение в надире:

- видимый и ближний ИК: 15 м;
- средний ИК: 30 м;
- ИК – тепловой: 90 м.

} Дешифрирование
геол. структуры при
крупномасштабном
геол. картировании

Динамический диапазон регистратора:

- видимый и ближний ИК: 8 бит;
- средний ИК: 8 бит;
- ИК - тепловой : 12 бит.

} Высокая чувствительность
и регистрация без
искажений

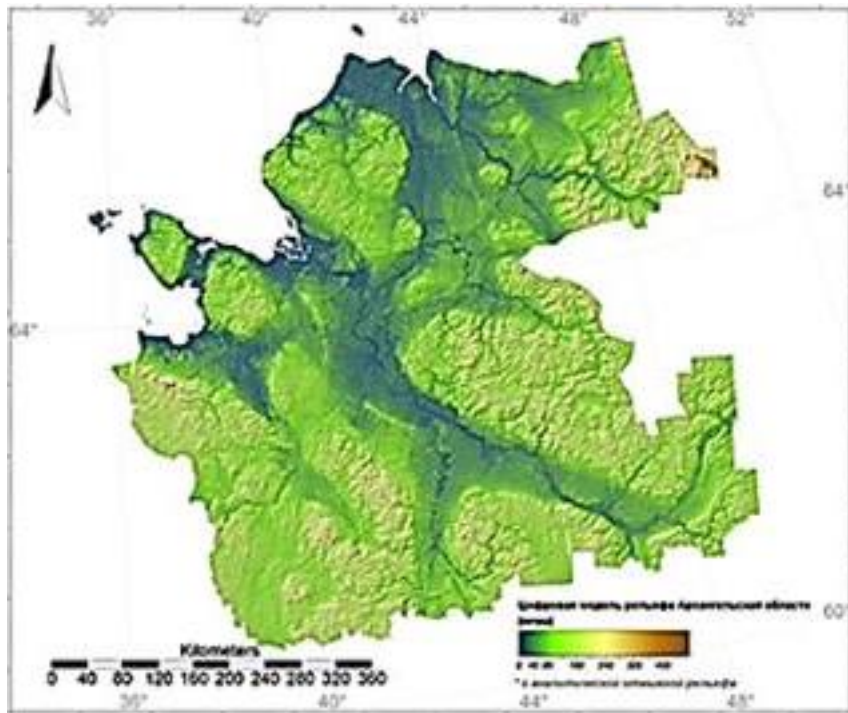
Спектрорадиометр ASTER

Стереоскопическая съемка и построение цифровой модели рельефа дневной поверхности

Global Digital Elevation Model,
ASTER GDEM Version 2):

- размер ячейки сетки: 30x30 м
- абсолютная точность по высоте: 12–30 м

} Дешифрирование
геологической структуры.



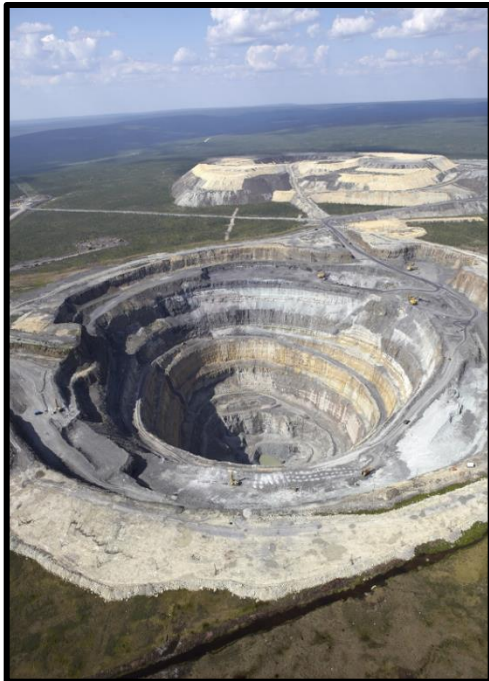
Полякова Е.В. и др. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ
ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
НА ОСНОВЕ ASTER GDEM V. 2 // Современные проблемы науки и
бразования. 2015. № 2-2. ;

**Проблема
минерально-сырьевой базы России
перед запуском спутников Terra/Aqua**

Отработка месторождений полезных ископаемых

- Большинство месторождений, выходящих на поверхность в России открыты, а многие и отработаны;
- Прирост запасов минерального сырья стал возможным только за счет погребенных месторождений («слепых» рудных тел). **В результате экономически выгодно открытие только крупных и уникальных по запасам месторождений.**

Месторождение алмазов
Айхал, Якутия.
Начата подземная добыча.



Месторождение бурых углей.
Коркино, Челябинская обл.
Добыча остановлена. Запожаренный разрез обводнен.

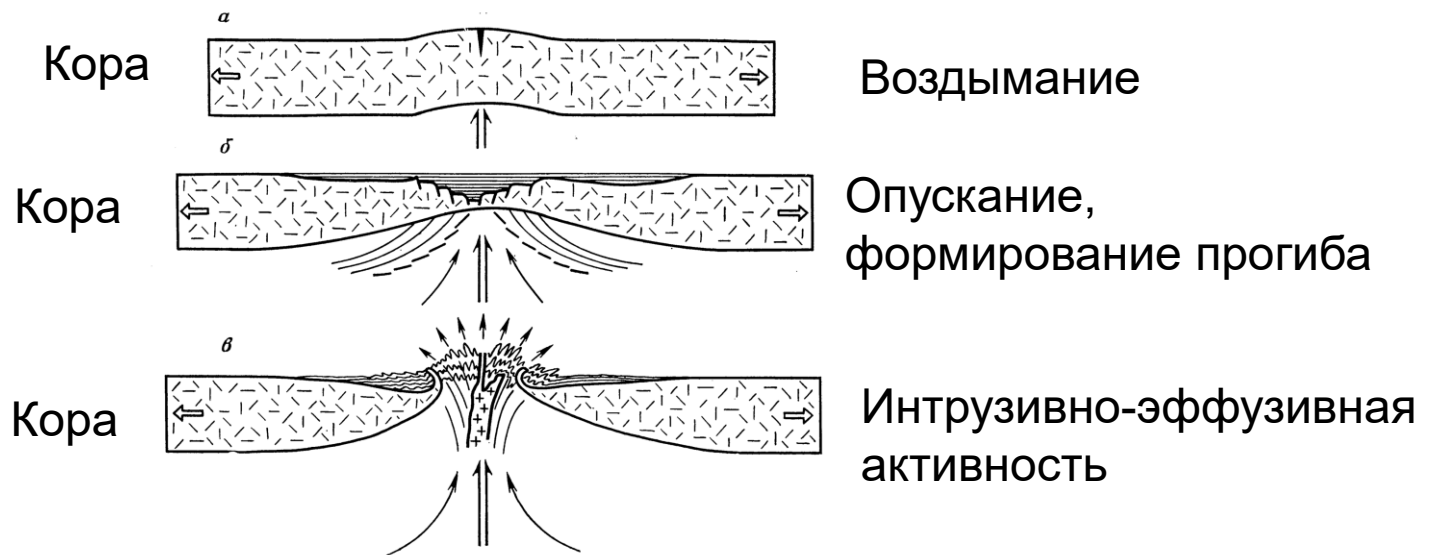


**Революционные изменения
геологической науки
к началу третьего тысячелетия**

Смена концепции фиксизма на тектонику плит

Представления о фиксированном, неизблемом положении континентов и **решающей роли вертикальных движений** в развитии земной коры

Модель формирования **геосинклинали** (по С.Кери)



«... в современном состоянии тектоносферы не могут быть выделены геосинклинальные режимы. Дело в том, что геосинклиналь понятие историческое... **По современным признакам выделить геосинклиналь НЕВОЗМОЖНО**».

Стр. 144. Белоусов В. В. Основы геотектоники. 2-е изд. М.: Недра, **1989**. 382 с.

.....

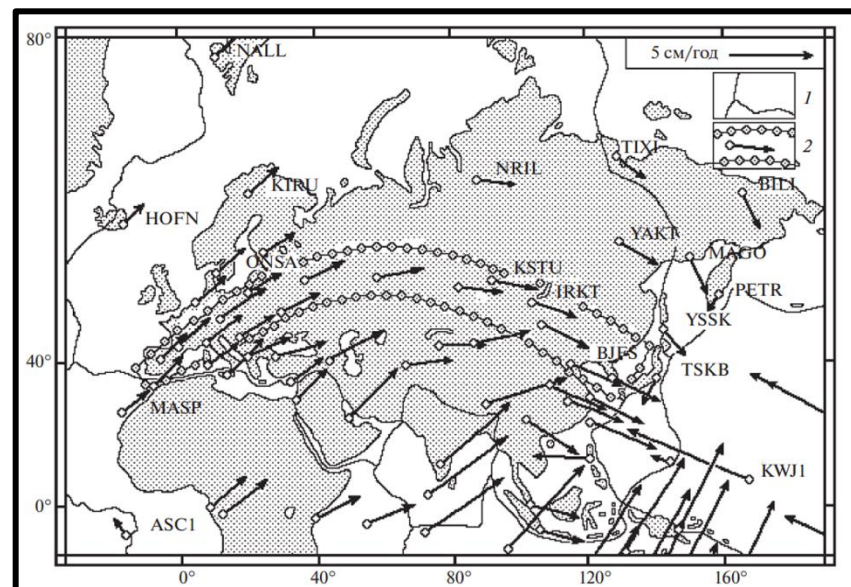
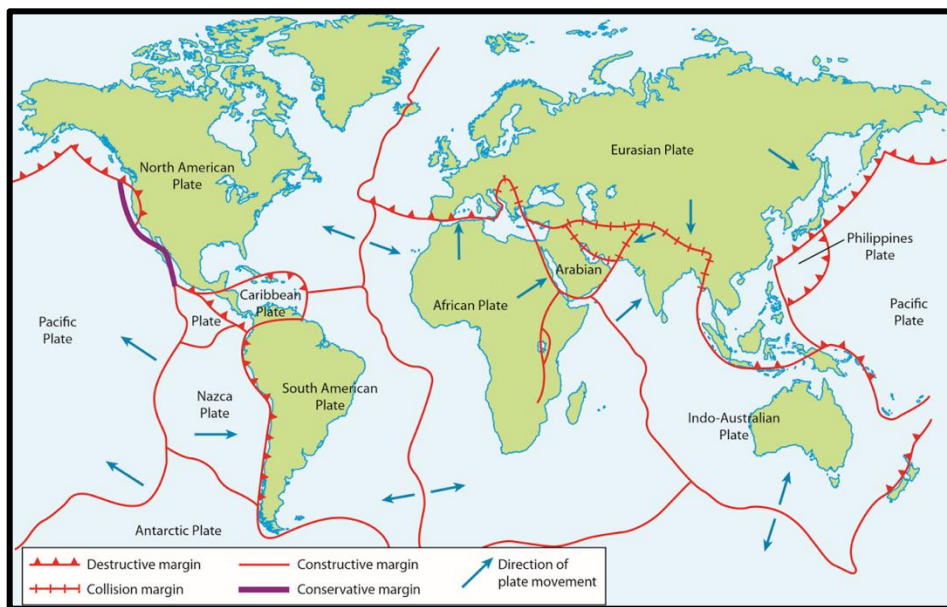
Тектоника плит

Альфред Вегенер (1880-1930) – немецкий геофизик и метеоролог – выдвинул концепцию тектоники плит.

*Plag H.P. et al. Scientific objectives of current and future **WEGENER** activities // Tectonophysics. Vol. 294, Issues 3–4, 15 September **1998**, P. 177-223*

Тремя высокоточными методами **измерены вектора перемещения литосферных плит:**

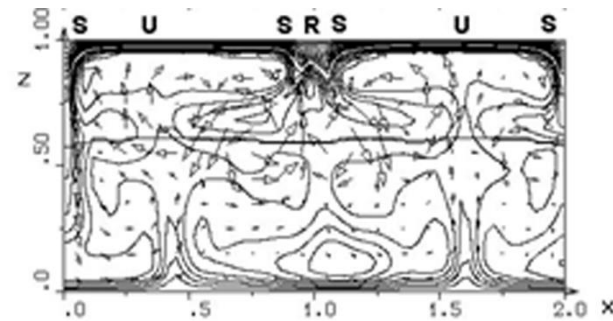
- GPS;
- VLBI – интерферометрия с длинными базами;
- Лазерная локация.



В. И. Шевченко, И. С. Крупеникова, А. А. Лукк, GPS-КИНЕМАТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЕВРАЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА И ЕЕ ВОЗМОЖНАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ // ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2021, № 6, с. 10–19.

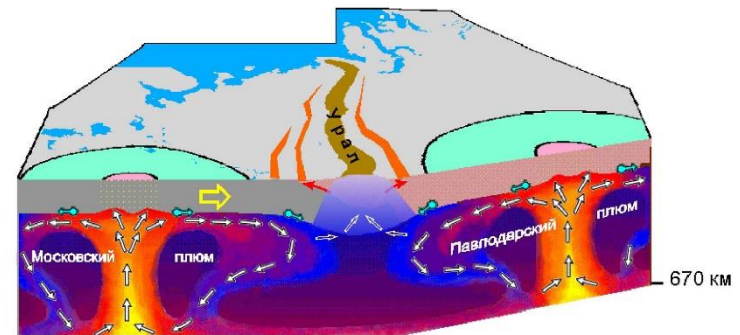
Мантийная конвекция: плюмы и горячие мантийные струи

Моделирование мантийной конвекции
(по Валерию Петровичу Трубицыну)



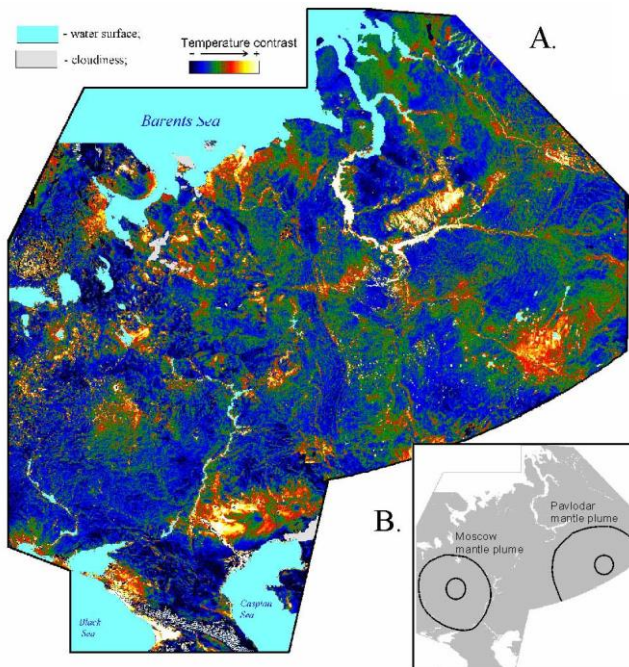
h - высота свободной поверхности мантии;
 Z - вертикальная координата;
 X - горизонтальная координата;

Модель восходящей мантийной конвекции под западной частью Евразийской плиты



- | | | |
|---|--------------------------------|---|
| - В-Европейская плита; | - направление движения флюида; | - направления мантийной конвекции; |
| - С-Сибирская плита; | - прогретые области; | - силы действующие на литосферу со стороны мантии; |
| - литосфера, обогащенная мантийным веществом; | - термальные линии Урала; | - генеральное направление движения литосферной плиты; |

Цифровая мозаика
ночных температурных
контрастов

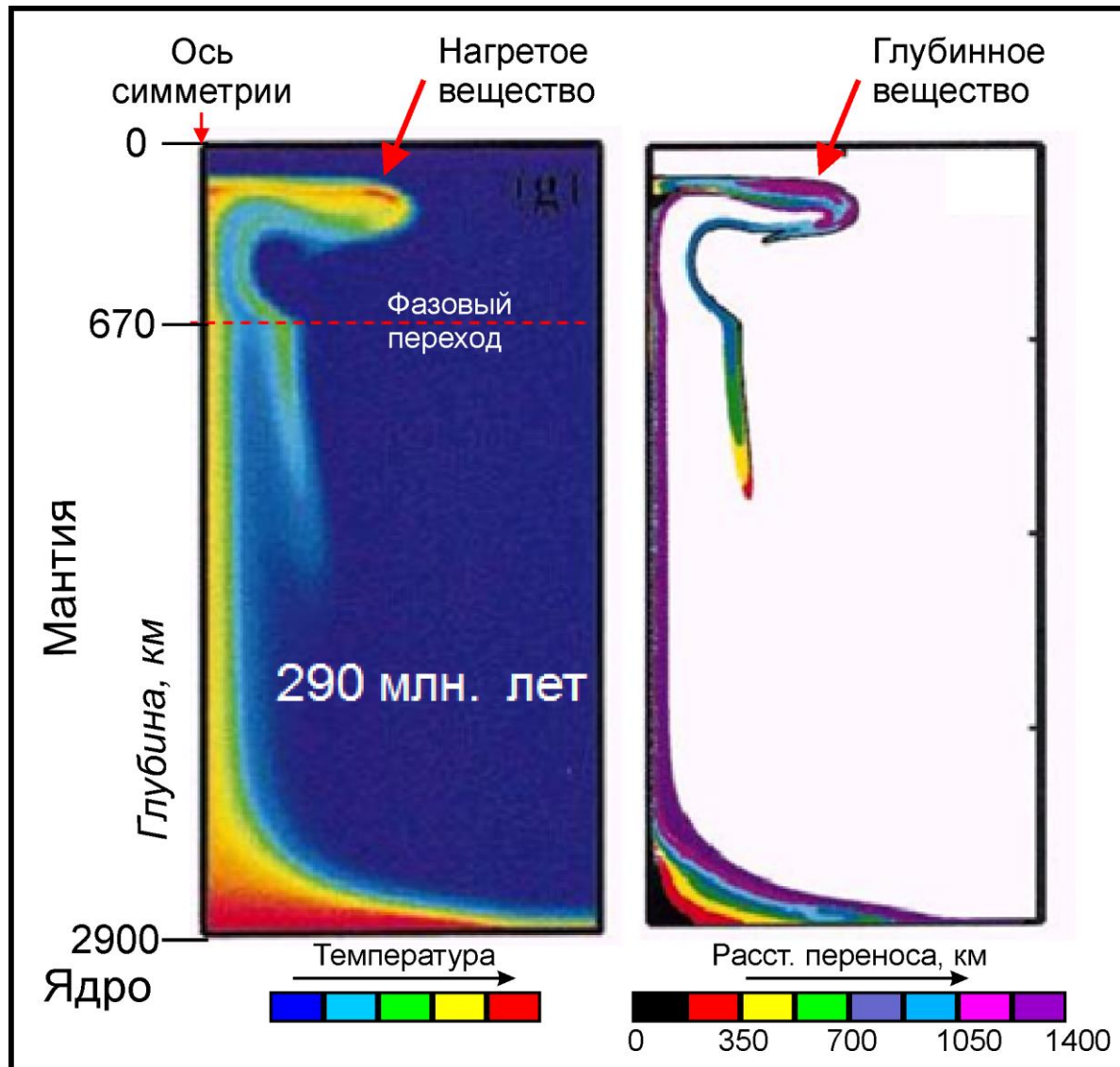


Температурный контраст

Горный В.И. Геодинамика Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ (по данным Дистанционного геотермического метода // Региональная геология и металлогения. №12, 2000 г. с. 76-86.

Горячие мантийные струи

Математическое моделирование
(по C.G. Farnetani et al.)



Состав земного ядра

(Ringwood, 1977, Ringwood&Kesson, 1977, Wanke et al, 1984)

Fe	86.2 %
Ni	4.8 %
Co	0.27 %
S	1.0 %
O	8.0 %
Si, Mn, Cr	14.00%

+

Au, Pt

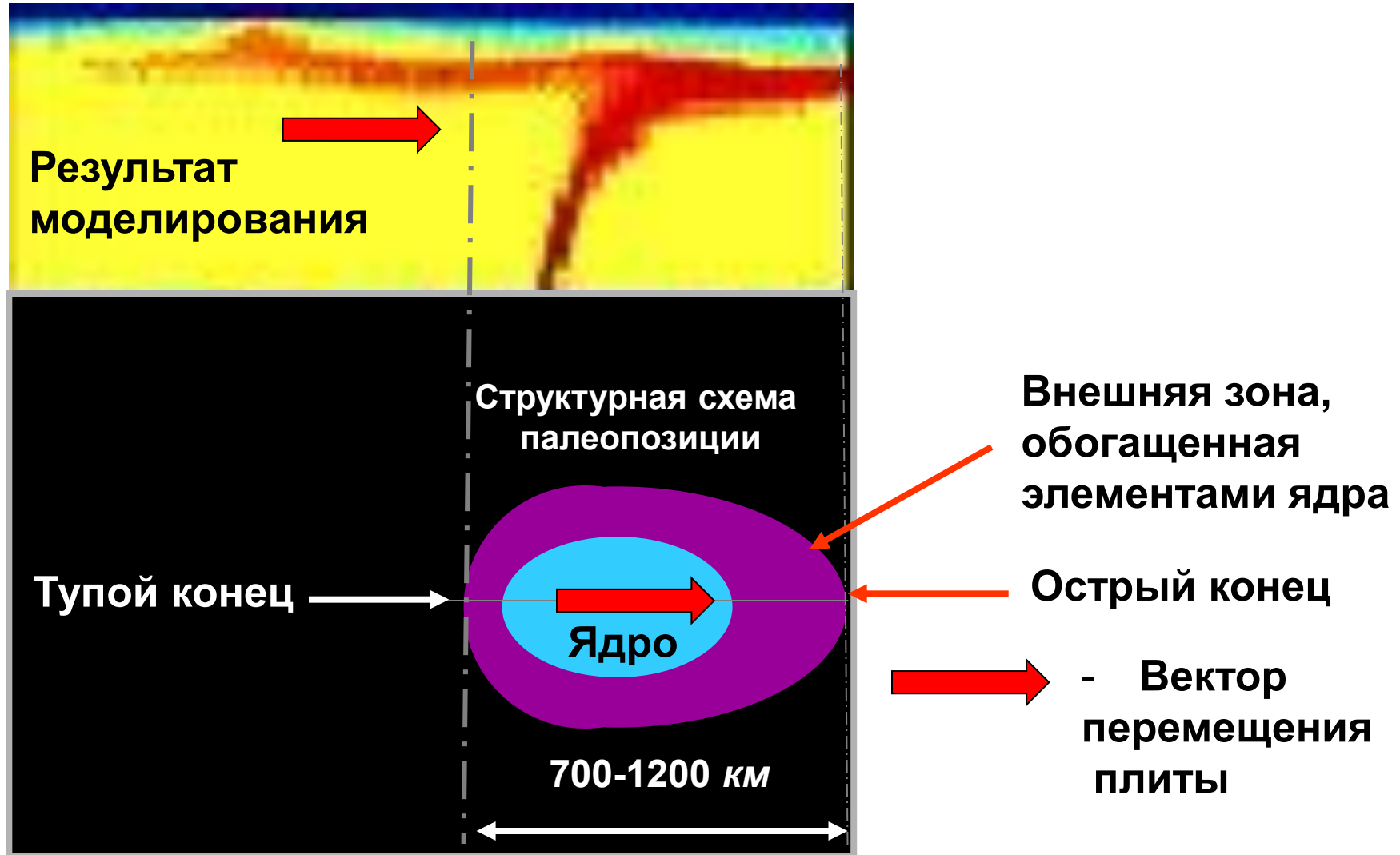
+

? U ?

C.G. Farnetani et al. Mixing and deformations
in mantle plumes // Earth and Planetary
Science Letters 196 (2002) 1¹⁵

Форма палеопозиции «горячей точки»

Исландская горячая точка,
математическое моделирование
Лос-Аламосской Лаборатории



Отклонение Исландской горячей мантийной струи в направлении перемещения плиты

Цифровая модель рельефа дна
Северной Атлантики

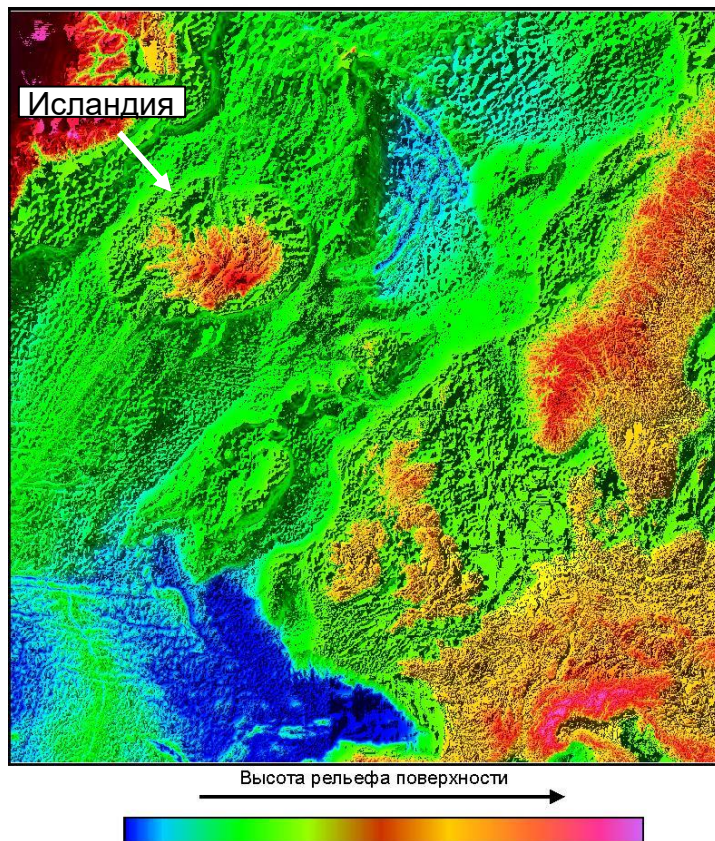
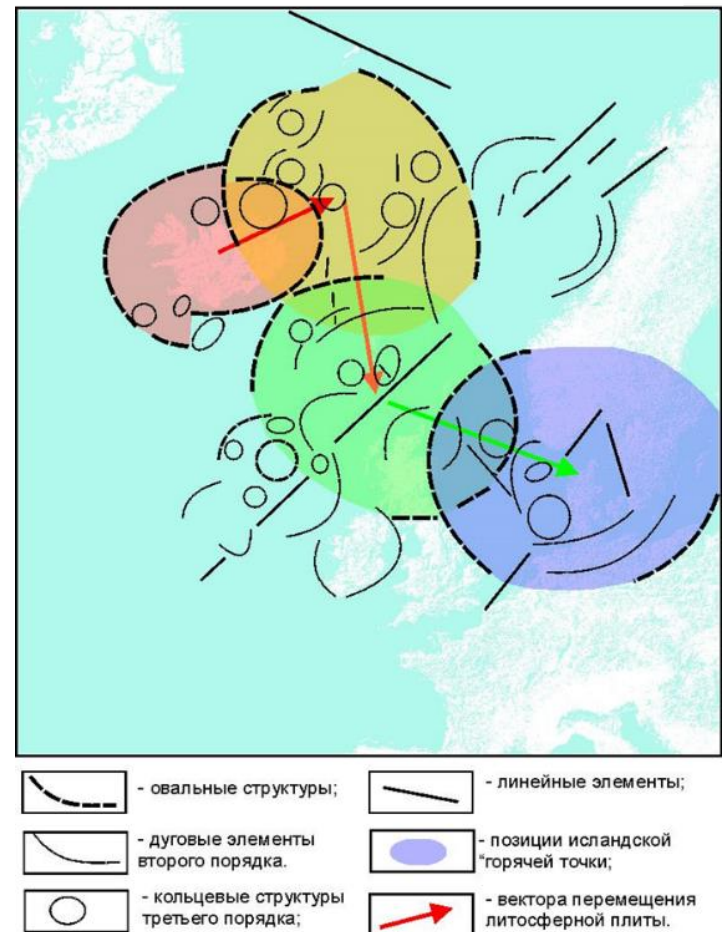


Схема
дешифрирования



Овальная структура Центрального Казахстана

Ночное тепловое изображение

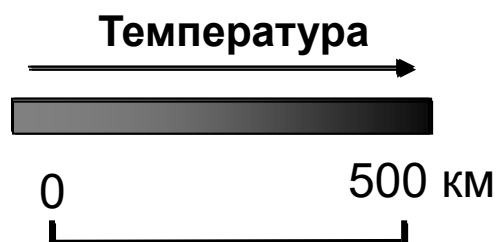
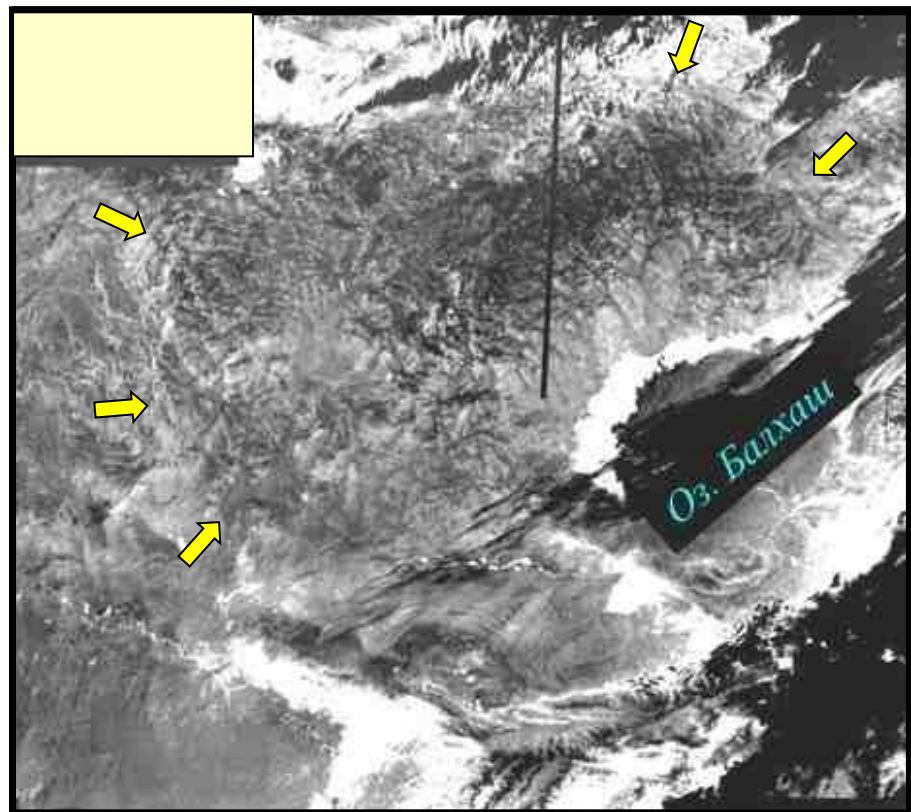
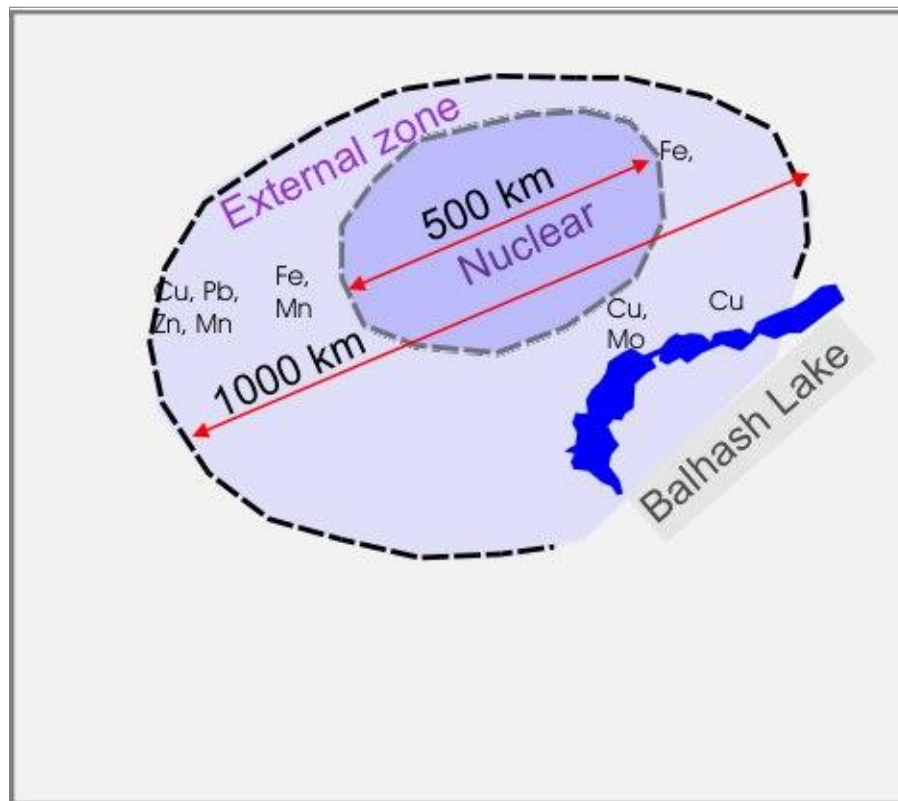


Схема дешифрования



Характеристика:

- размеры;
- овальная форма и внутренняя «ядерная часть»;
- обогащение коры элементами ядра.

Прикаспийская и Южноуральская овальные структуры

Цифровая модель рельефа
Южного Урала

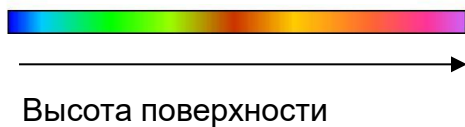
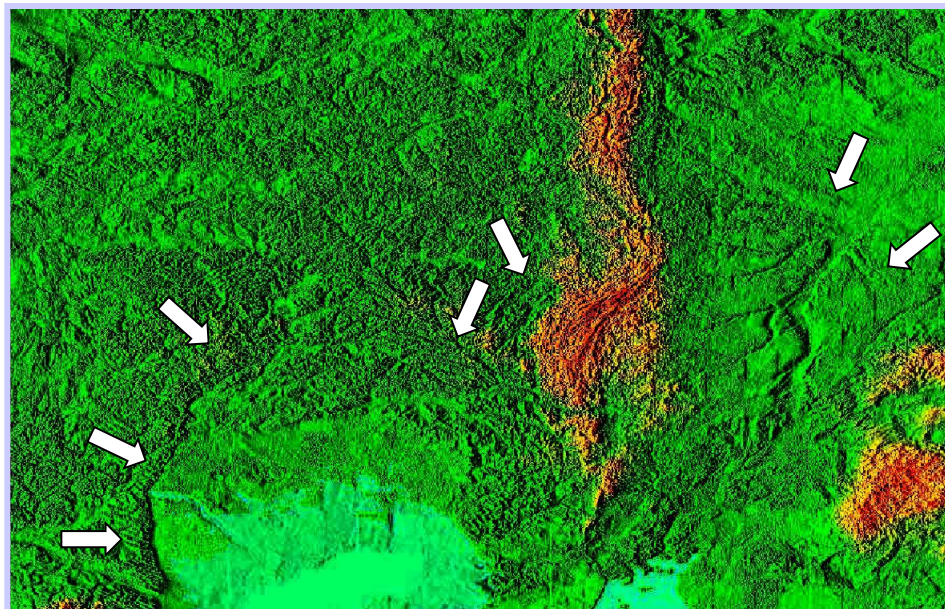
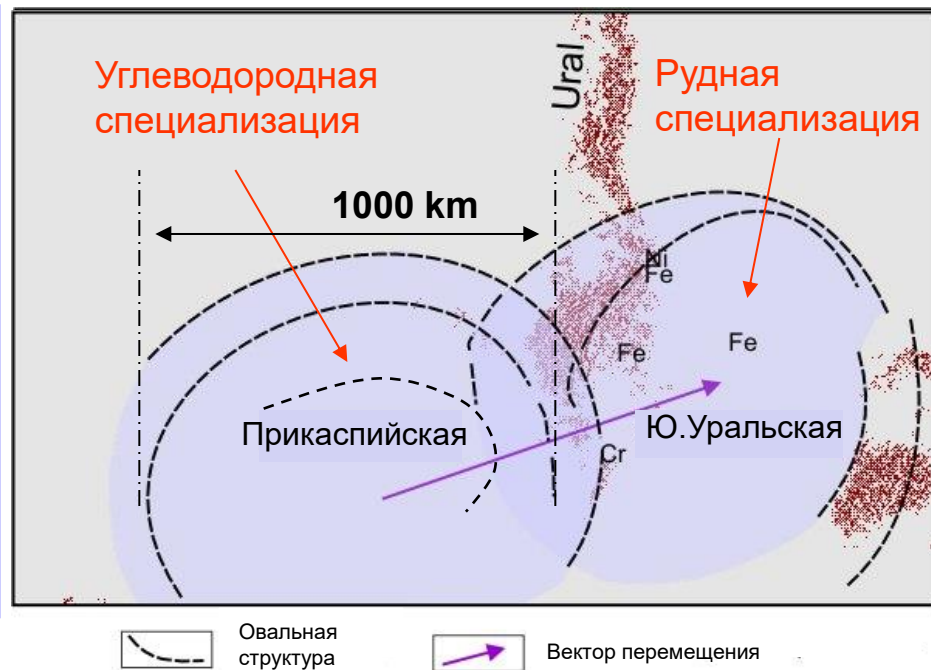


Схема дешифрирования



Характеристика:

- размеры;
- овальная форма и внутренняя структура;
- обогащение коры элементами ядра или углеводородами.

Овальная структура Кольского полуострова - рудная специализация

Ночная температура

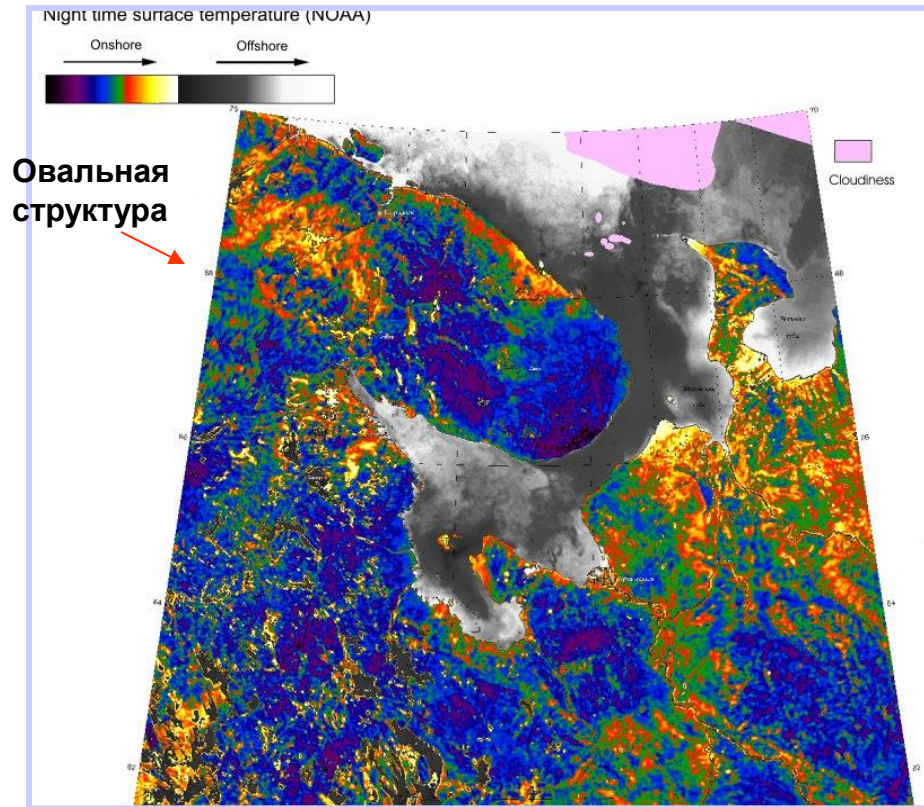
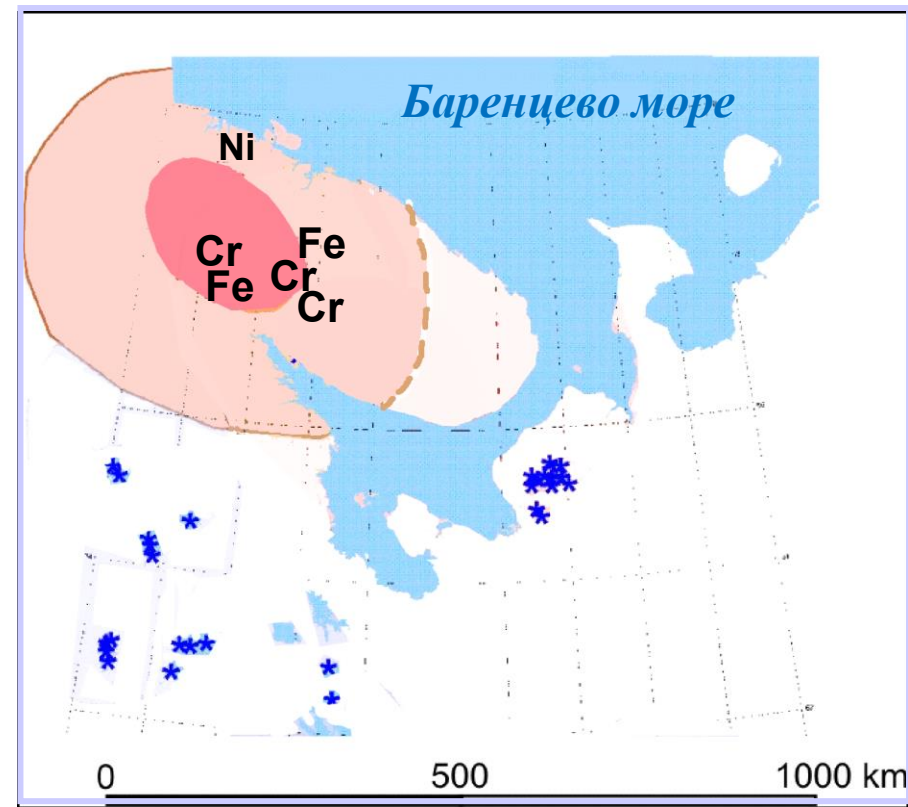


Схема дешифрирования



- обогащение коры элементами ядра;
- наличие кимберлитового магматизма.

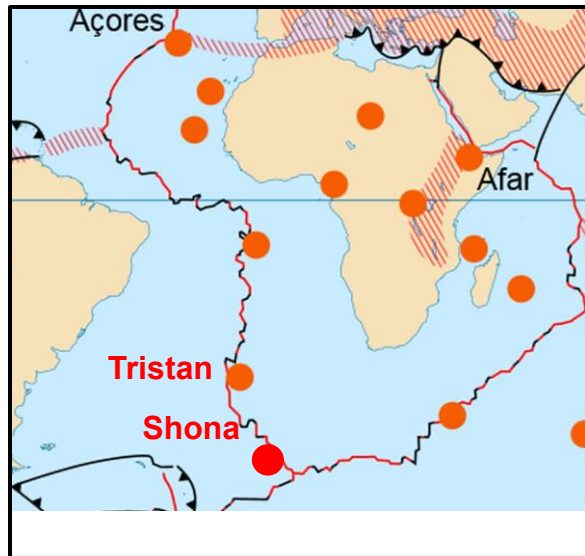
* - кимберлитовые/лампроитовые тела;

По Игорю Несторовичу Толстихину: соотношение изотопов инертных газов идентично таковому в плюме нижней мантии (горячей мантийной струе)

Tolstikhin I.N., Kamensky I.L., Nivin V.A., et al. RARE GAS ISOTOPES AND PARENT TRACE ELEMENTS IN ULTRABASIC-ALKALINE-CARBONATITE COMPLEXES, KOLA PENINSULA: IDENTIFICATION OF LOWER MANTLE PLUME COMPONENT Geochimica et Cosmochimica Acta. 2002. T. 66. № 5. C. 881-901.

Палеопозиции «горячих точек» в Южной Атлантике

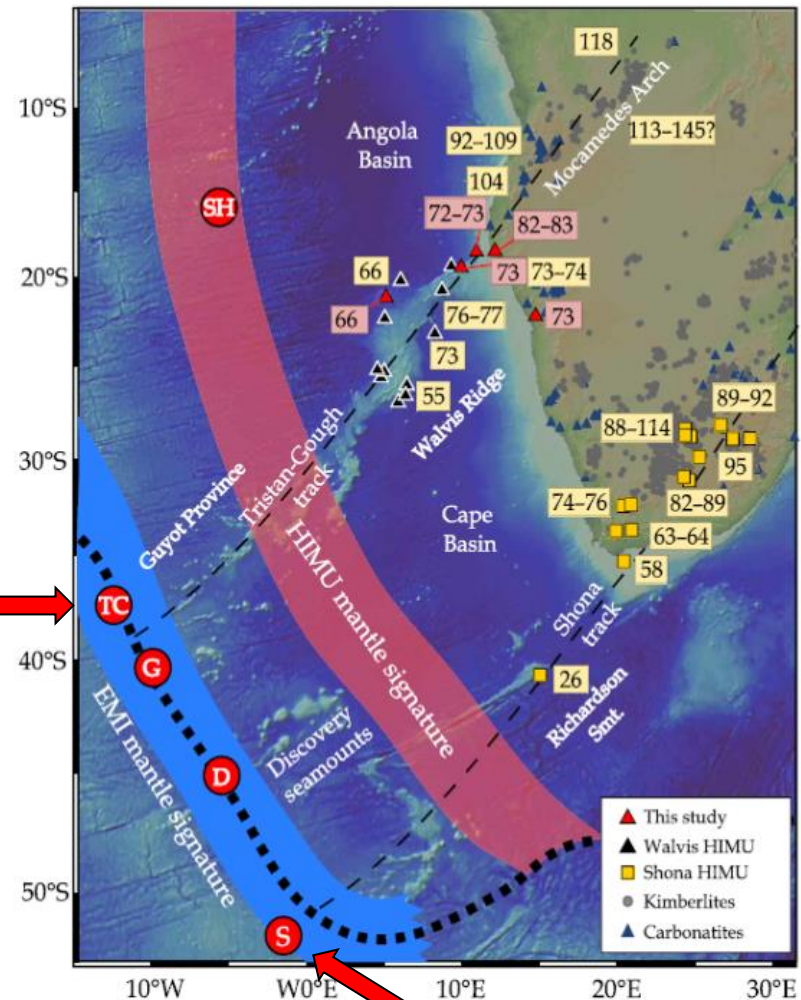
«Горячие» точки Южной Атлантики



● - «Горячие точки»

Траектории «горячих» точек Южной Атлантики

Homrighausen et al., Sci. Adv. 2020; 6 : eaba0282 8 July 2020



Tristan
Hot spot

Shona
Hot spot

Палеопозиции в Южной Африке

Минерагеническая специализация

Мозаика цифровых спутниковых снимков
в RGB представлении

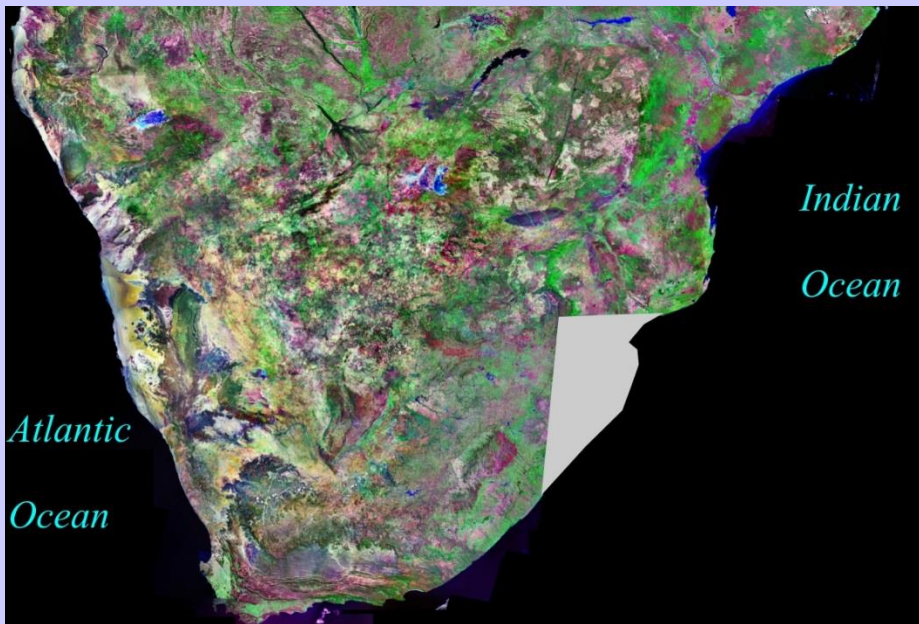
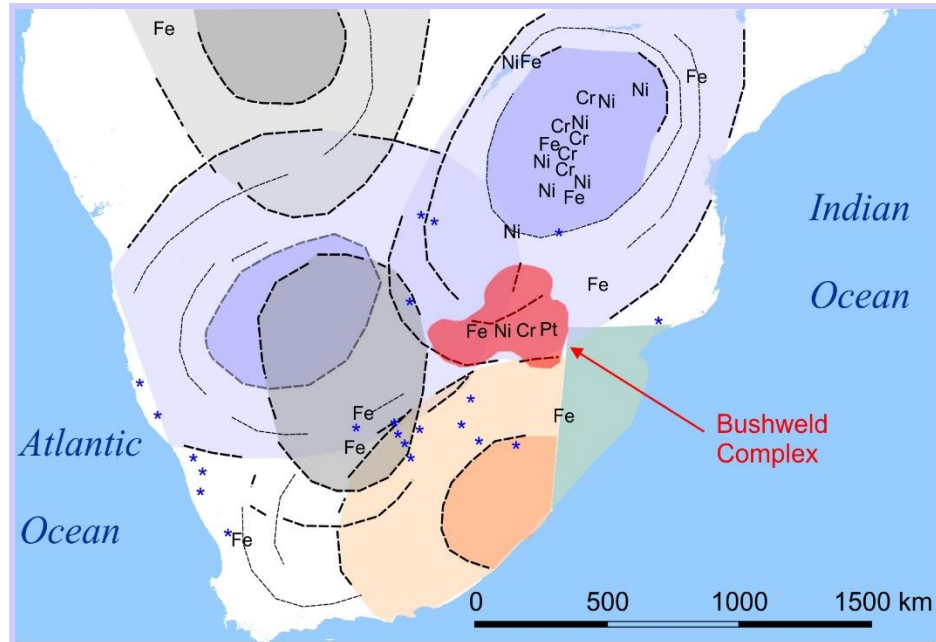


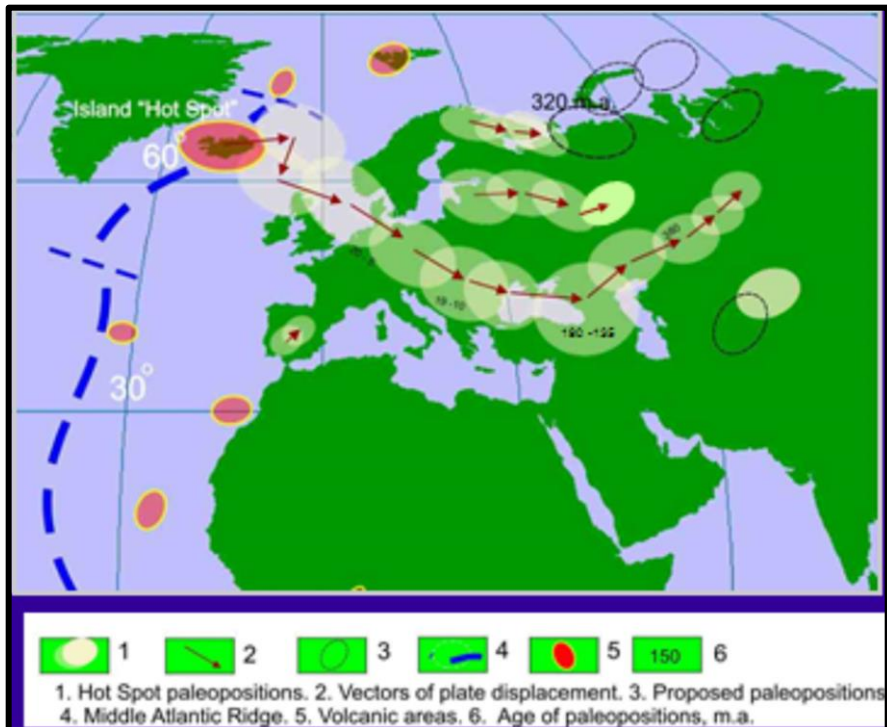
Схема дешифрирования



* - кимберлитовые/ лампроитовые тела
(по данным USGS)

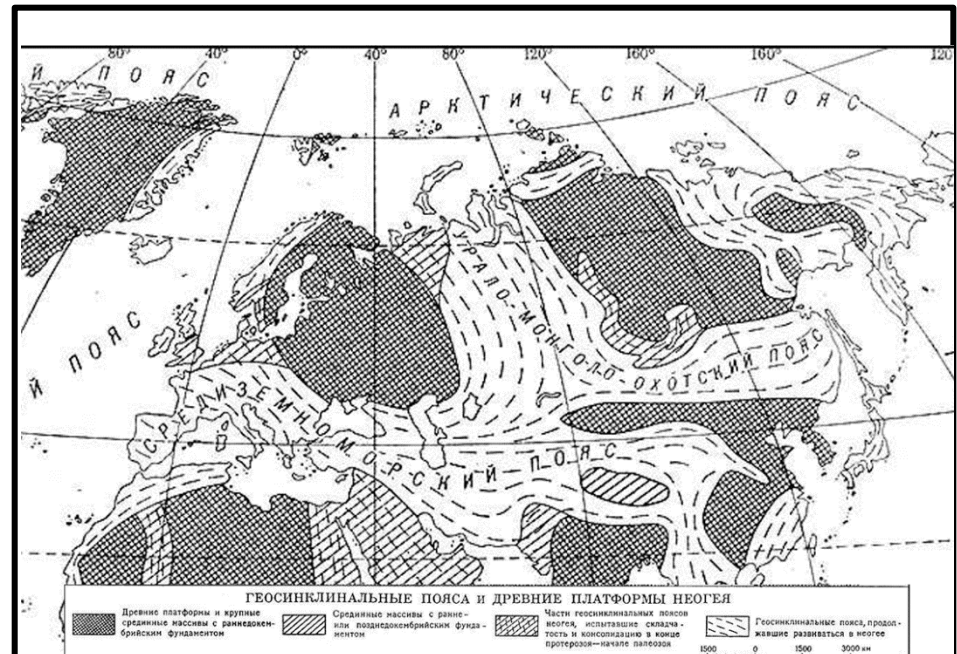
Зоны проработки континентальной коры горячими мантийными струями

Схема дешифрирования палеопозиций горячих точек



*Proceedings of the IGARSS 2002 & 24-th Canadian Symposium
on Remote Sensing. 24-28 June
2002.Toronto, Canada. 0-7803-7537-8/02/\$17.00© 2002 IEEE.
Vol.IV.pp.2029-2035.*

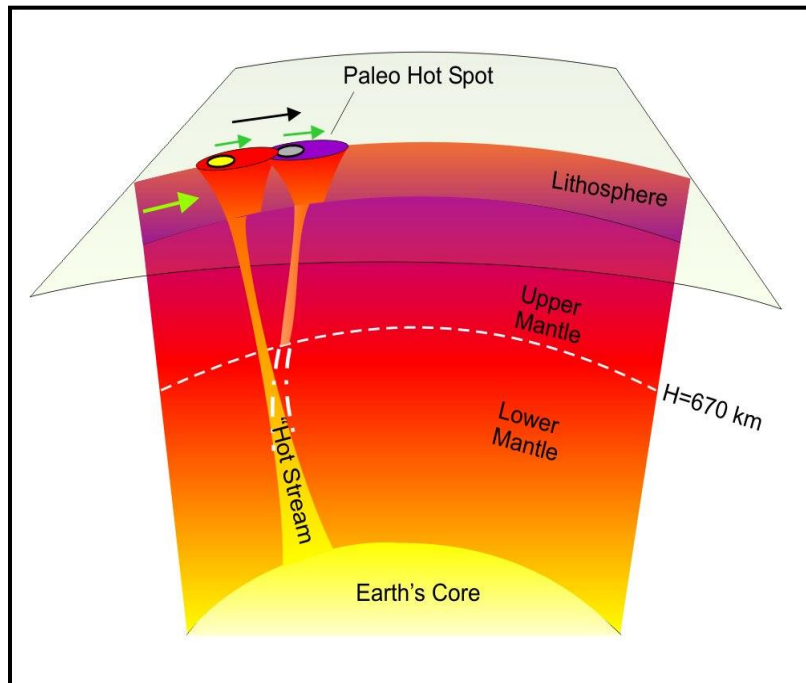
Геосинклинальные пояса и древние платформы Неогоя



По: В. Е. Хаину, М. В. Муратову, Е. В. Шанцеру.

Вопрос: «Не являются ли палеопозиции «горячих точек», тем, что концепция фиксизма квалифицировала как «геосинклинали», а цепь палеопозиций горячих точек как «геосинклинальный пояс»?»

Модель формирования цепочки палеопозиций восходящих мантийных конвективных структур



Модель 1. Монотонное движение плиты

Фазы:

1. Формирование «горячей точки».
2. Наклон струи.
- 3. Срыв струи.**
4. Остывание палео-позиции «горячей точки».
5. Формирование новой «горячей точки».

Модель 2. Прерывистое движение плиты.

Фазы:

1. Неподвижности и роста напряжений.
2. Срыва и быстрого перемещения плиты .

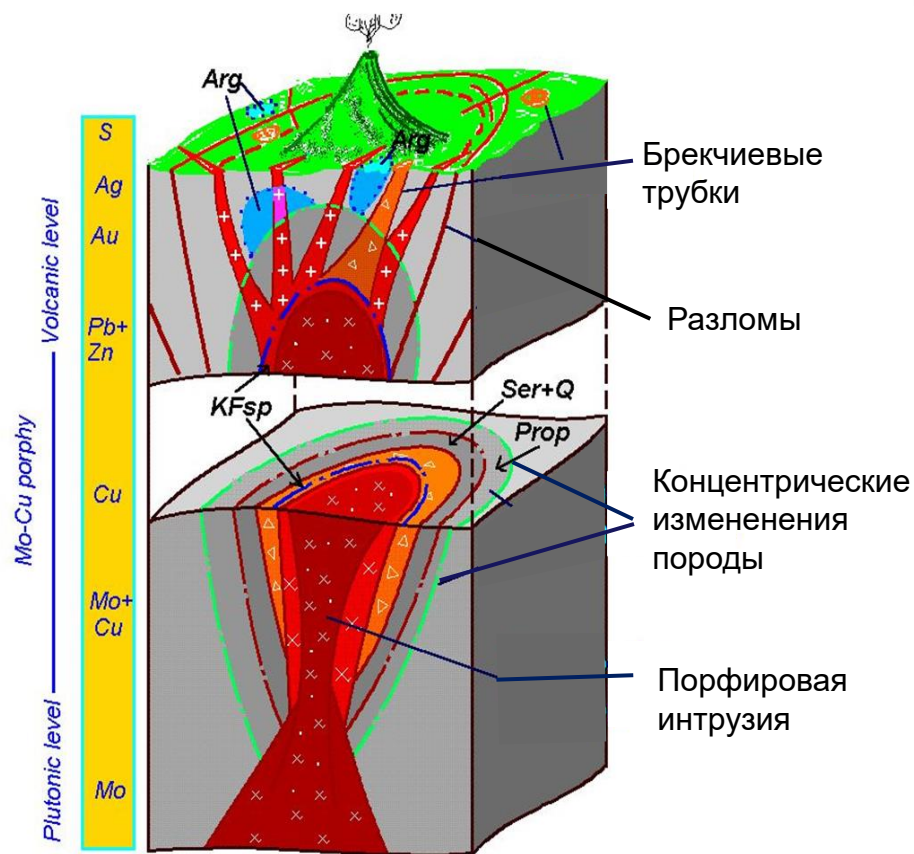
Вопрос: в какой фазе мы живем?

Рудно-магматические системы

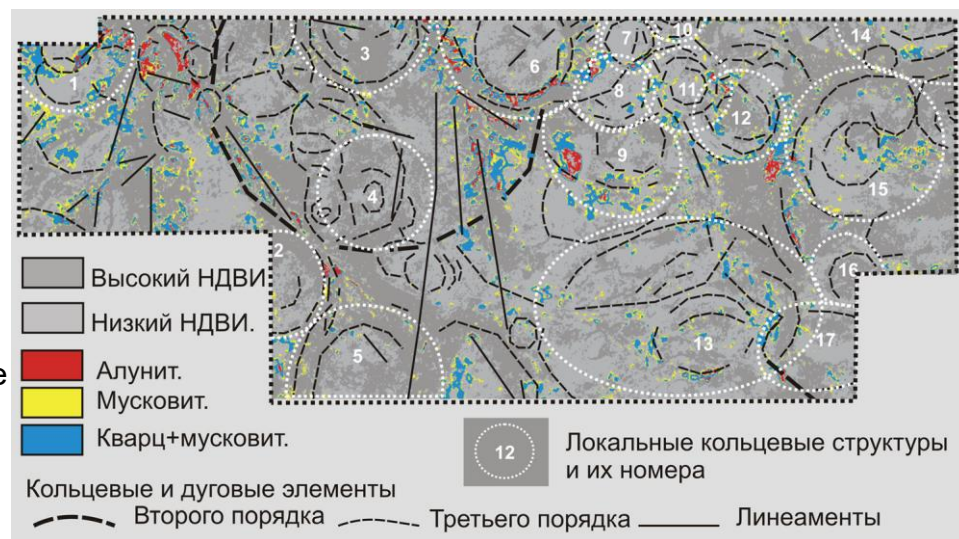
Рудно-магматические системы (РМС)

Совокупность рудных тел и магматических горных пород, которые возникли в едином геологическом процессе.

Медно-порфировая РМС (По И.Г.Павловой)



Материалы ASTER. Результаты спектрометрии гидротермально-метасоматических изменений вмещающих пород



В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов, А.А. Тронин.
Особенности минералогической зональности
рудно-магматических систем, Вмещающих кварцево-жильные
месторождения золота (по материалам спутниковой
спектрометрии)

Павлова И.Г. Геолого-генетические модели молибденовых порфировых месторождений // В кн. Генетические модели эндогенных рудных формаций. Т.1. Новосибирск: Наука. 1983. С. 127–135.

Коренные месторождения алмазов

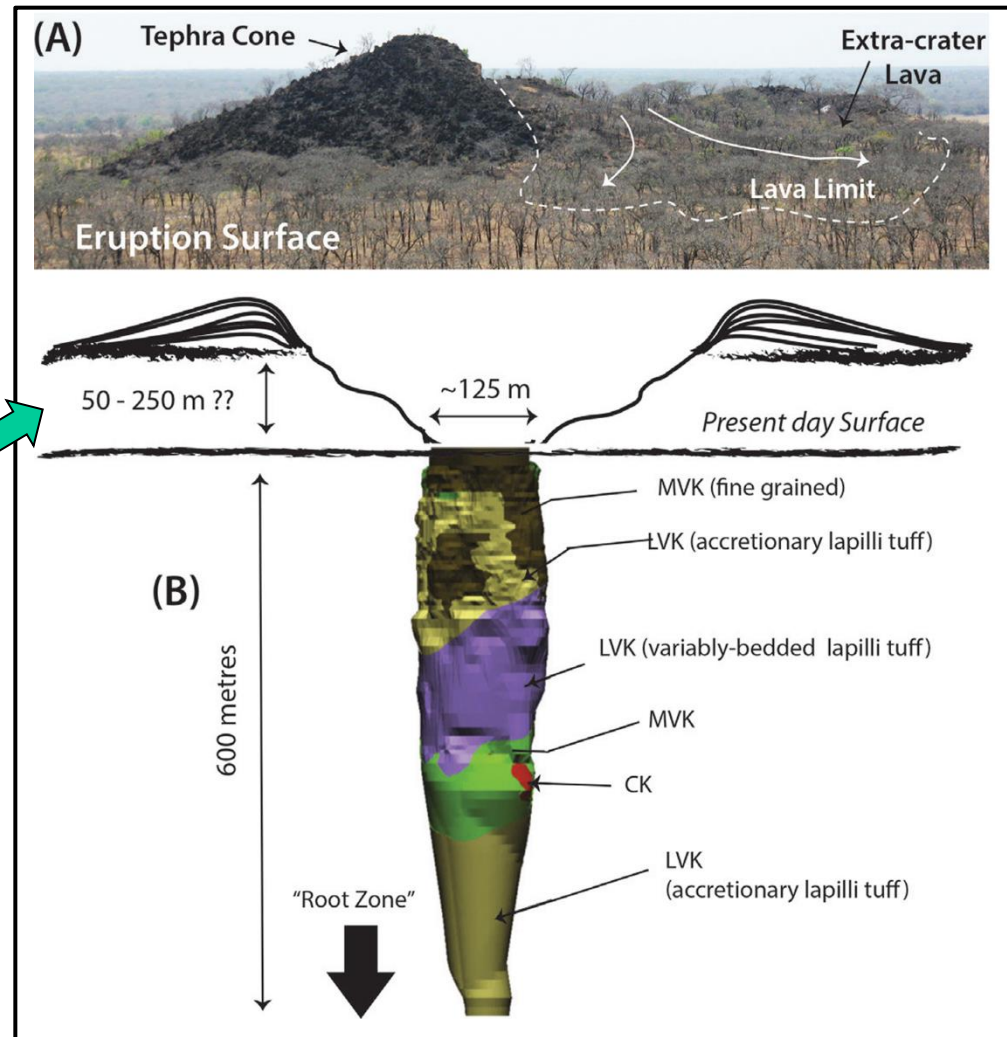
Кимберлитовые трубки

Скорость подъема кимберлитовой колонны: 100-150 км/ч

Время подъема кимберлитовой колонны: ~2,5–36 ч.

Толщина зоны закалки: 0,1-1,0 м —

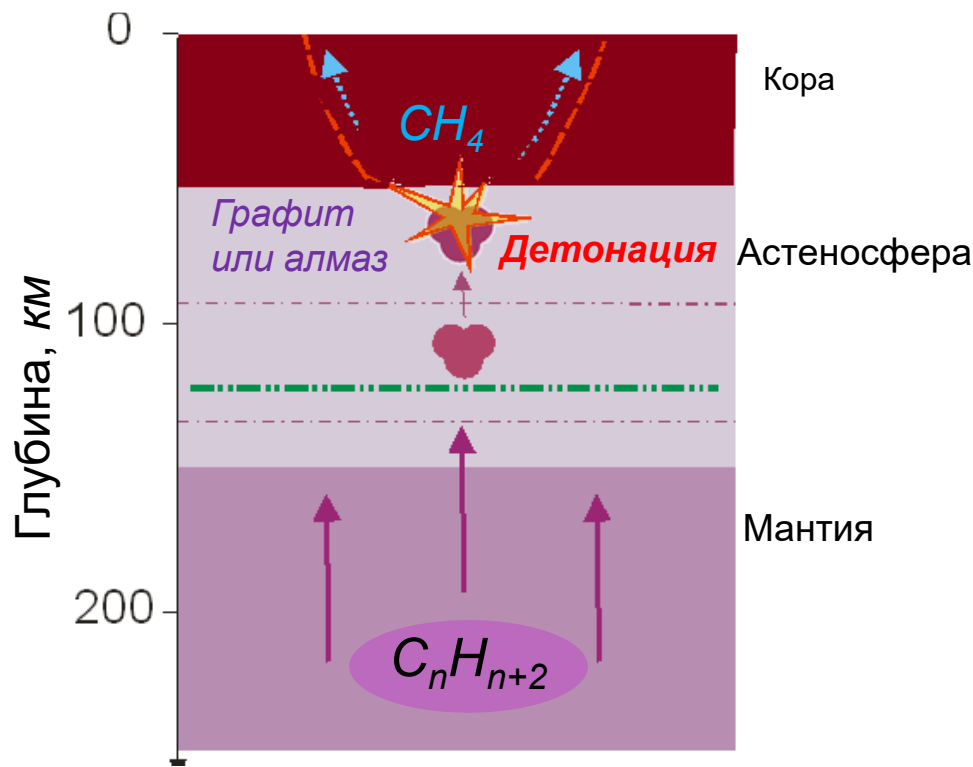
Признаки низкой температуры.



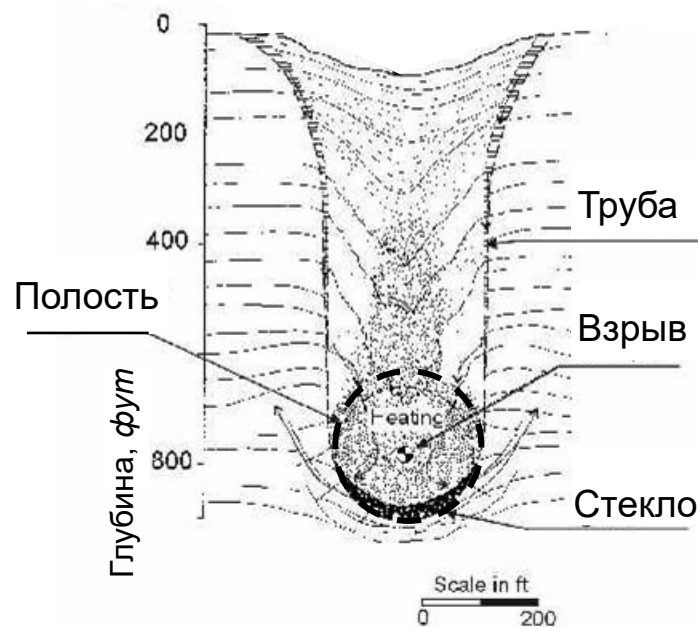
Взрывная гипотеза происхождения природных алмазов

Самопроизвольная детонация мантийных тяжелых углеводородов
(по И.К.Карпову и др.1998)

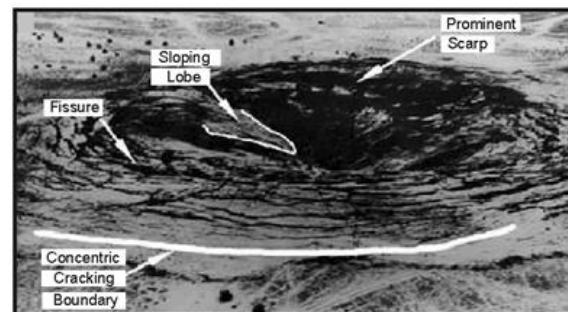
P-T условия: температура 4800 °C;
Давление $2 \cdot 10^{10}$ П;
Глубины: **90 – 30 км**



Разрез кратера, сформированного подземным ядерным взрывом

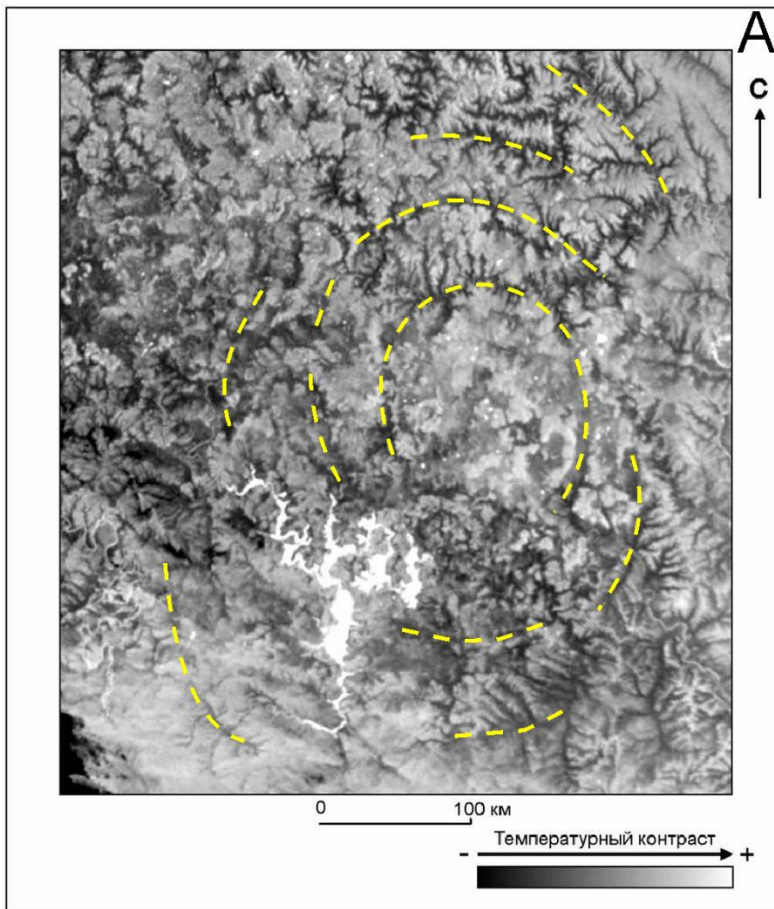


Перспективный аэроснимок кратера подземного ядерного взрыва, (Индия)

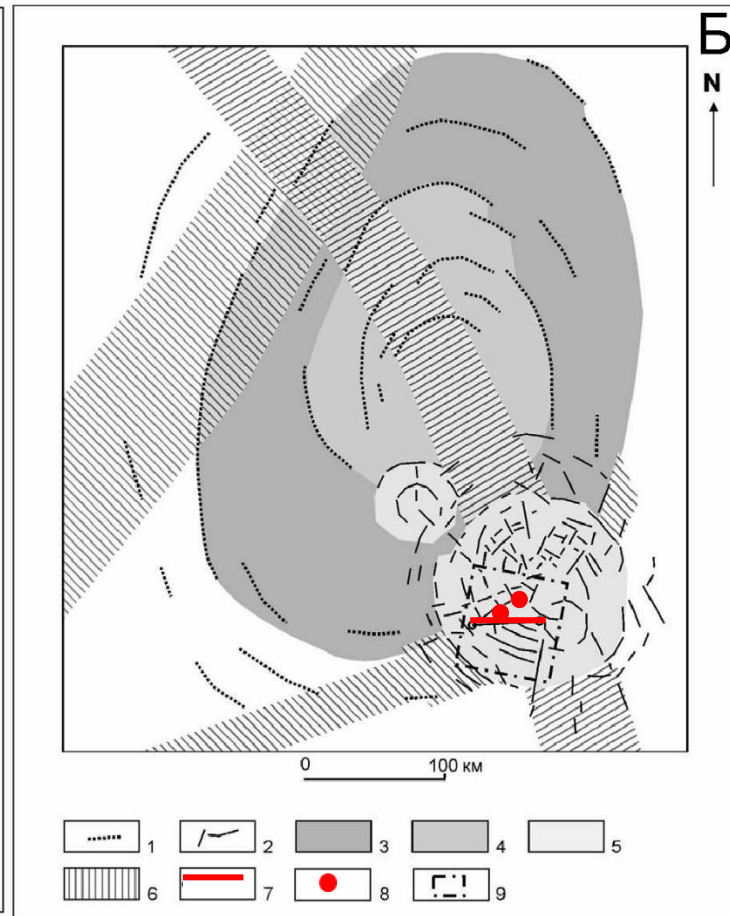


Модель формирования коренных месторождений алмазов (по дистанционным и геофизическим данным)

А. Карта ночных температурных контрастов региона Мирнинского кимберлитового поля (Якутия),



Б. Схема тектонического дешифрирования

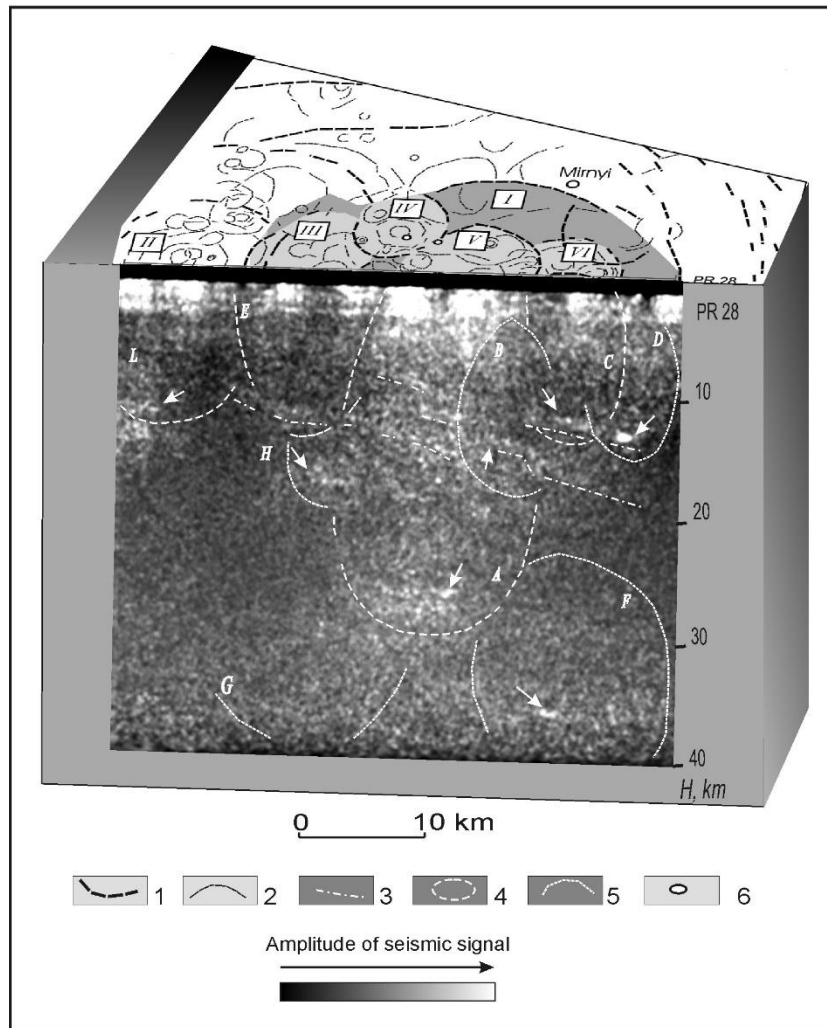


7. Сейсморазведочный профиль

8. Кимберлитовые тела.

Признаки камуфлетных взрывов

Модель Мирнинского алмазодобывающего района (Terra + сейсморазведка)



Макровключения битумов в монолитном кимберлите (Подземный рудник Айхал)

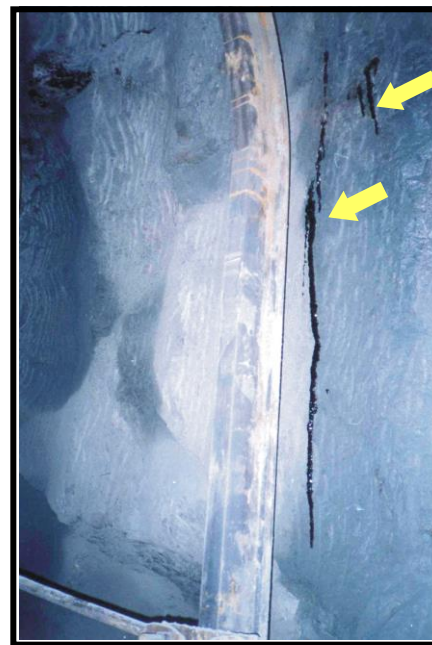
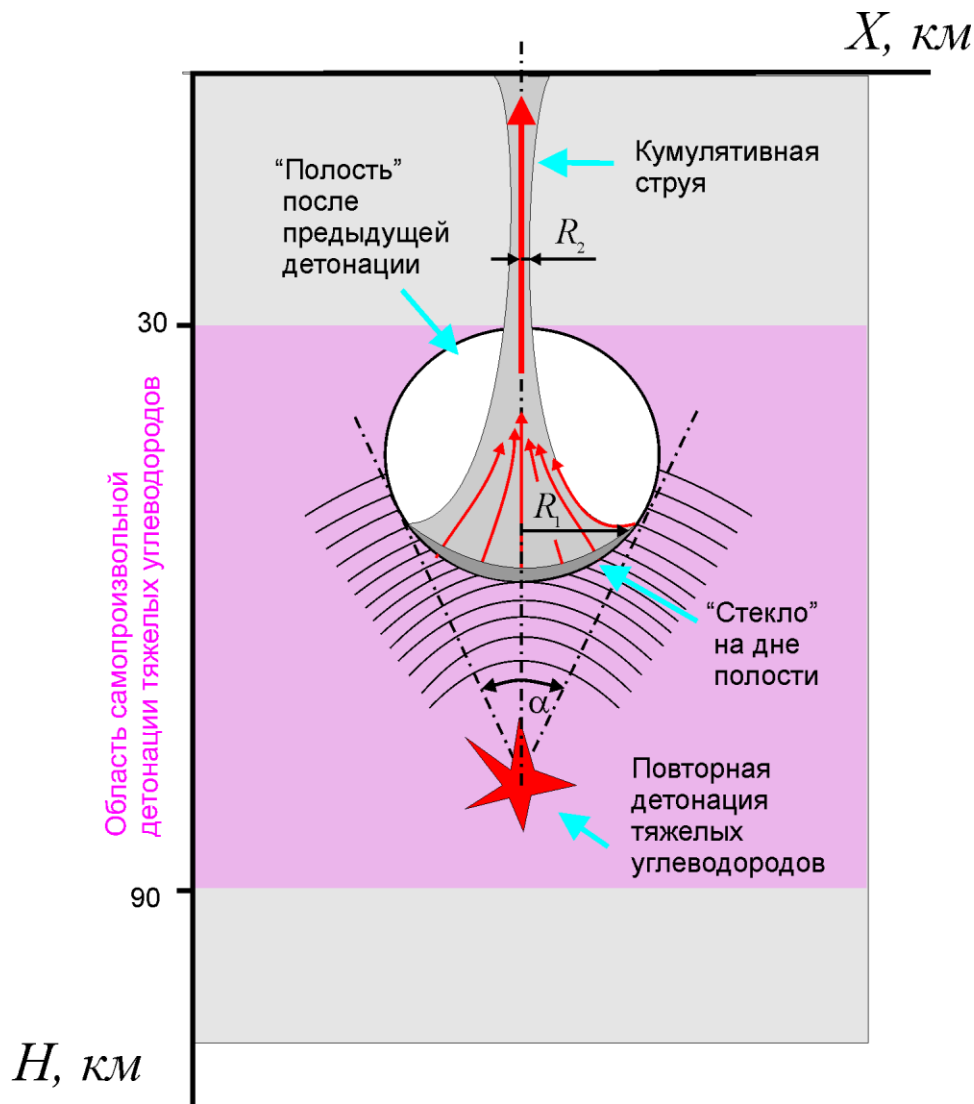


Фото гл. гидрогеолога рудника
В.С.Фролова

В.И. Горный, Н.А. Караев, Дж. Л. Ван Гендерен, В.С. Фролов. Камуфлетные взрывы как причина формирования структур, индицирующих алмазонасыщенные районы (по материалам дистанционных и геофизических методов). // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. В.3. Т.2. С. 225-241

Кумулятивная гипотеза транспорта алмазов



$$R_2 = \sqrt{2\delta} \sin(\alpha/2)$$

R_2 - радиус кимберлитовой колонны

δ - толщина зоны «стекала»

М.А. Лаврентьев, Б.В.Шабат. Методы теории функций комплексного переменного., Наука, 1973. 736 с.

При:

$$\delta = 1 \text{ км},$$

$$R_1 = 10 \text{ км}$$

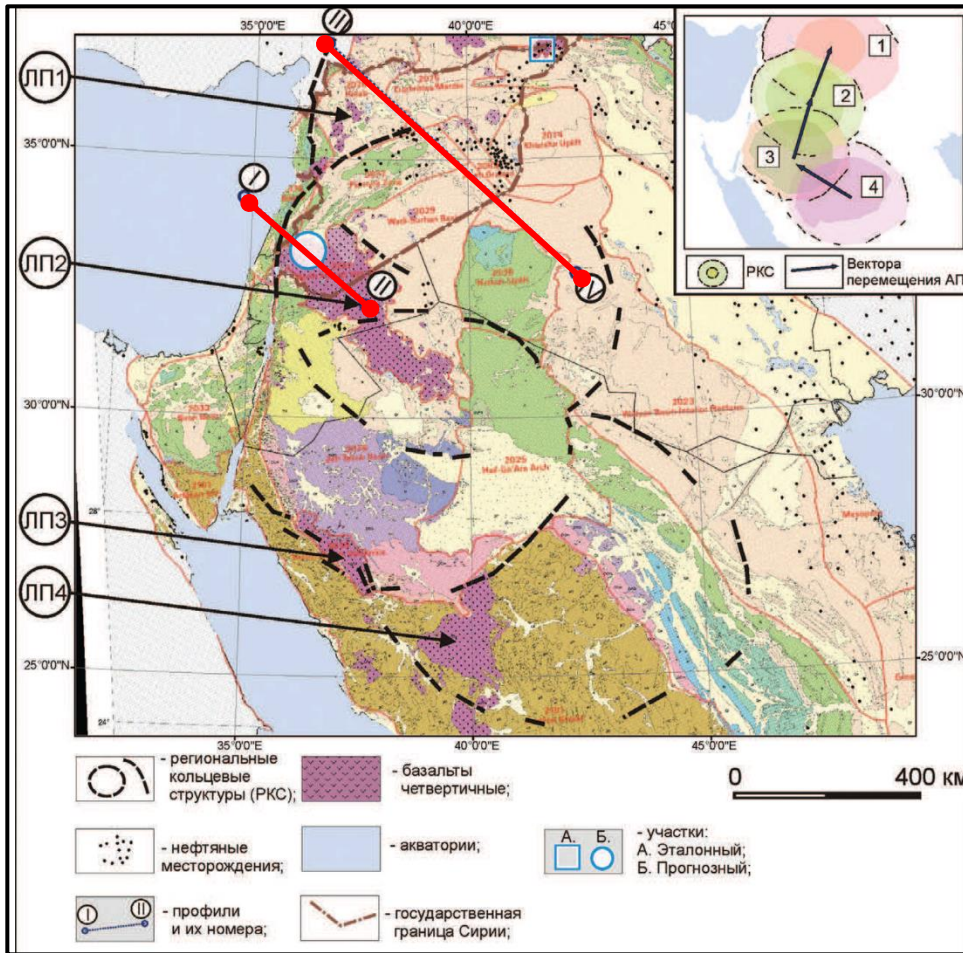
$$\alpha = 40^\circ$$

$$R_2 = 0,5 \text{ км}$$

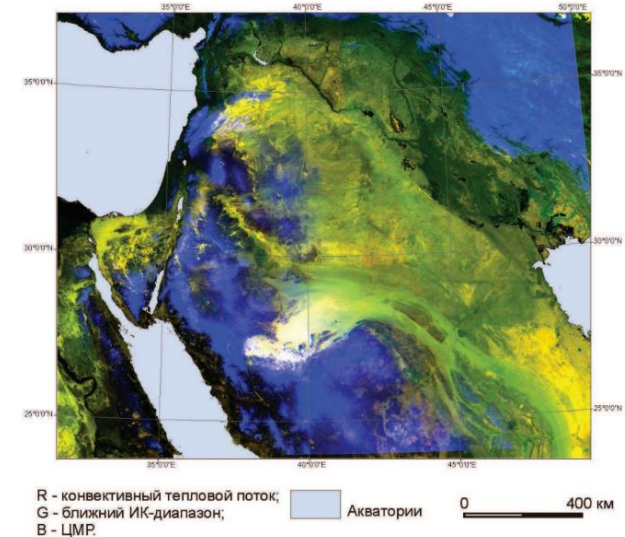
**Комплексирование материалов съе­мок
спутниками Terra/Aqua
с
материалами геофизических съе­мок**

Комплексирование материалов съемок спутниками Terra/Aqua с данными геофизических съемок

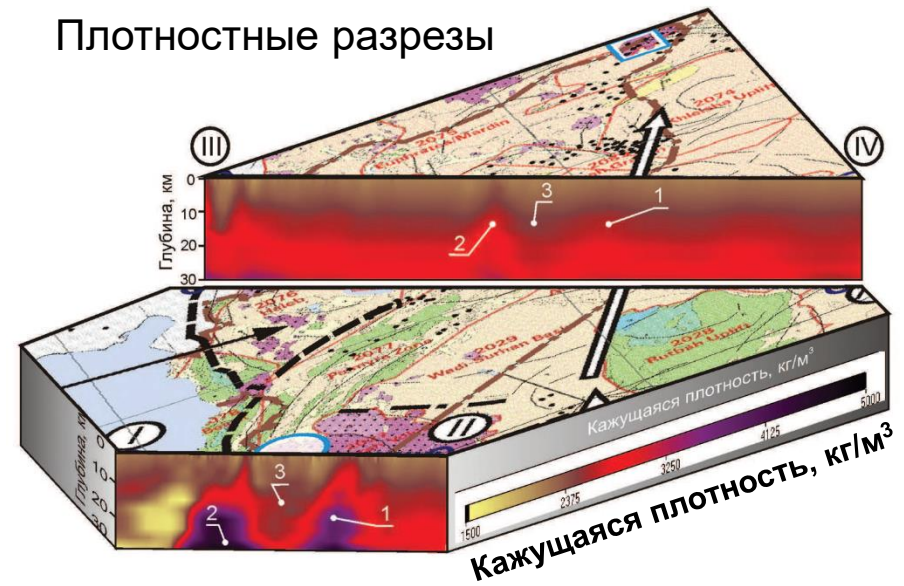
Геологическая карта Аравийского п-ва



RGB цветовой композит (Terra(MODIS))



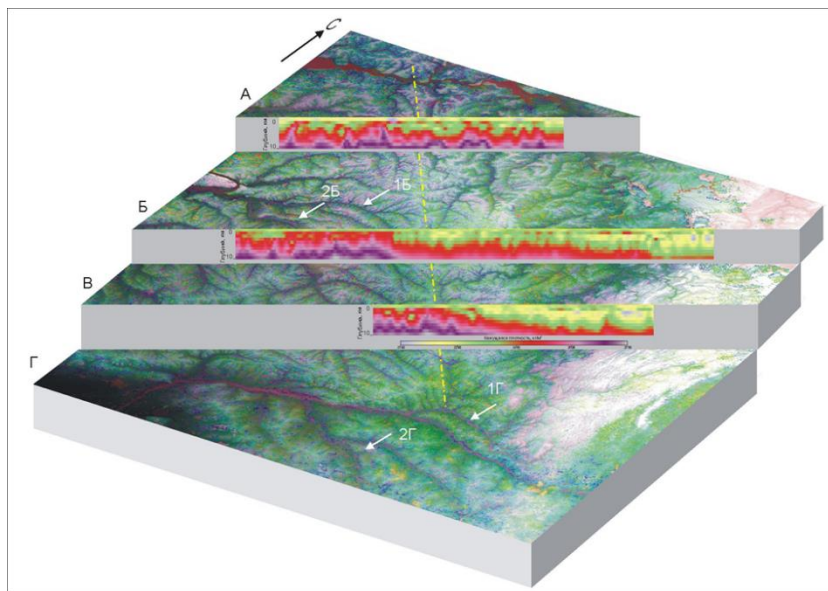
Плотностные разрезы



Горный и др. Региональное геологическое.... // Соврем. пробл. дист. зонд. Земли из космоса . Т.9.№1.2012. С. 305-312.

Волго-Уральская нефте-газоносная провинция

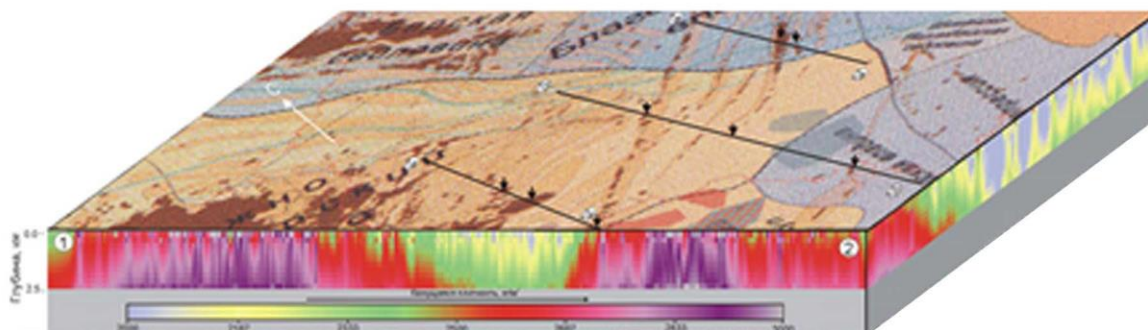
3-D диаграмма



Верх:
Дистанционная
основа.

Фронтон:
Кажущаяся плотность

3-D диаграмма



Верх:
Карта месторождений
углеводородов.

Фронтон:
Кажущаяся плотность

Цифровая дистанционная основа геологических исследований континентального уровня по архивным данным съемок спутниками Terra(MODIS/ASTER), Aqua(MODIS)

Цель создания: - выявить закономерности размещения уникальных по запасам месторождений полезных ископаемых по отношению к палеопозициям структур мантийной конвекции и выявить их структурно-вещественные индикаторы

Цифровая дистанционная основа для геологического картирования масштаба 1: 1 000 000 – региональный уровень

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЦВЕТОВОЙ RGB-КОМПОЗИТ
(с наложенным псевдоподсвеченным рельефом дневной поверхности)
Масштаб: 1: 2 500 000

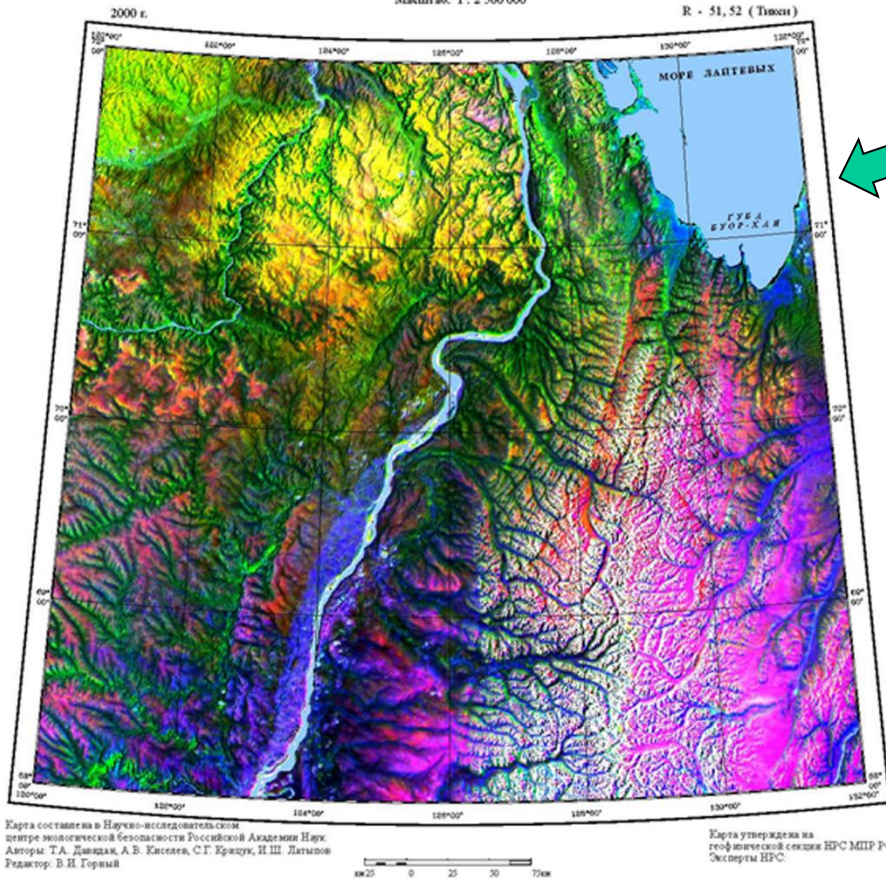
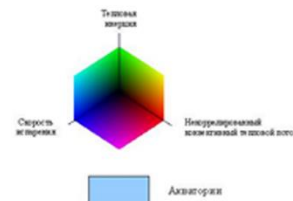


Схема расположения листов

Q-45,24 Левый	Q-45,23 Средний	Q-45,22 Правый
Q-45,26 Левый	Q-45,25 Средний	Q-45,24 Правый

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Проблема:
– недостаточная обзорность

Континентальный уровень исследований:
- проблема уравнивания цифровых мозаик :

Вопросы уравнивания цифровых мозаик: С.Г. Корниенко. ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ЛАНДШАФТОВ В РАЙОНЕ БОВАНЕНКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ LANDSAT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. №2. С. 106–129

Заключение

1. Для изучения и обобщения закономерной выраженности структурно-вещественных признаков проявления всех уникальных по запасам месторождений полезных ископаемых целесообразно в ИКИ РАН создать приведенную к единой системе координат уравненную цифровую основу **КОНТИНЕНТАЛЬНОГО** масштаба, включающую:
 - нормализованные материалы съемок спутниками Terra(MODIS/ASTER), Aqua(MODIS) и их трансформанты – результаты автоматизированного анализа линеаментов и кольцевых структур;
 - цифровую модель рельефа дневной поверхности (Terra(ASTER)) и ее трансформанты;
 - матрицу поля силы тяжести.
2. Предложить Российской академии наук, Минобрнауки и Министерству природных ресурсов поддержать проект по изучению и обобщению выраженности на геолого-геофизических материалах признаков погребенных уникальных по запасам месторождений полезных ископаемых.