

Состояние и перспективы применения спутниковых методов ДЗЗ при решении геологических задач

В.И.Горный

НИЦЭБ РАН

Санкт-Петербург

E-mail: img@at1895.spb.edu

Содержание

- Характеристика минерально-сырьевой базы России
- Специфика современного состояния ДЗЗ
- Методы ДЗЗ
- Методология
- Перспективы

Краткая характеристика современного состояния минерально-сырьевой базы России

- Дефицит запасов по ряду полезных ископаемых: марганец, хром, уран;
- Отрицательный прирост запасов;
- Асимметрия размещения минеральных ресурсов по отношению к местам их переработки и потребления;
- Высокая геологическая изученность приповерхностной части недр.

Вывод:

Необходима разработка методов прогнозирования, поисков и разведки:

- рудных месторождений, залегающих на глубинах до 1-2 км;
- месторождений углеводородов в фундаменте и на шельфе.

Специфика современного состояния ДЗЗ

Переход от аэрокосмической фотографии
к измерительным, метрологически обеспеченным
цифровым съемочным системам

Преимущества:

- Высокие чувствительность и динамический диапазон регистратора
- Линейность передаточной характеристики
- Компьютерная совместимость

Выделение слабых эндогенных сигналов на фоне интенсивных экзогенных помех

Космические фотоснимки:

Landsat TM:

NOAA (AVHRR):

Terra MODIS:

ASTER:

- не более 16 градаций (4 бит);
- 256 градаций (8 бит);
- 1024 градаций (10 бит);
- 4096 градаций (12 бит);
- 16384 градации (16 бит).



Специфика современного состояния ДЗЗ

Космическая
фотосъемка



Ландшафтный подход
к геологическому
дешифрированию

Измерительные
методы ДЗЗ



Формализованные
методы извлечения
геологической
информации

Вывод:

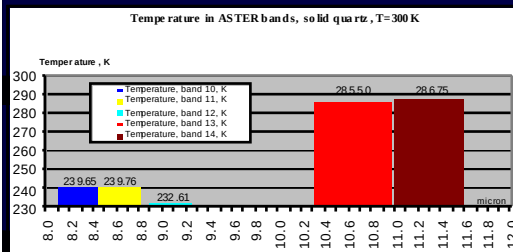
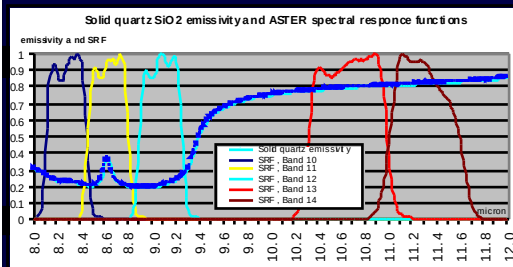
Современные методы ДЗЗ - разновидность геофизических

Спектральный метод

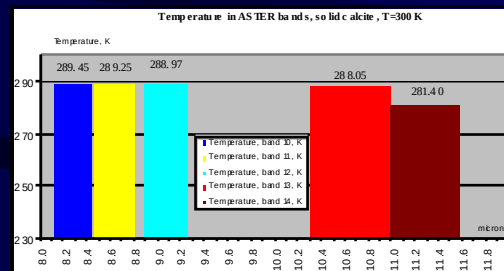
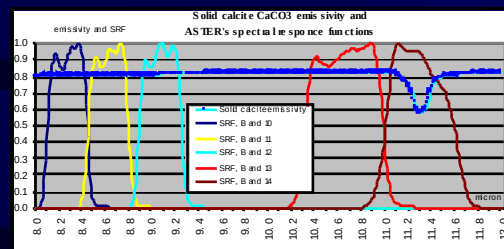
Предложен академиком К.Я.Кондратьевым

ИК-тепловые спектры минералов

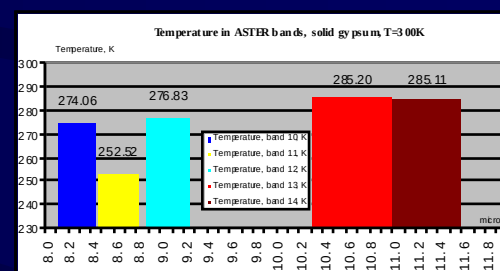
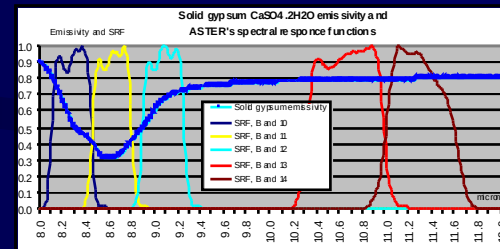
Кварц



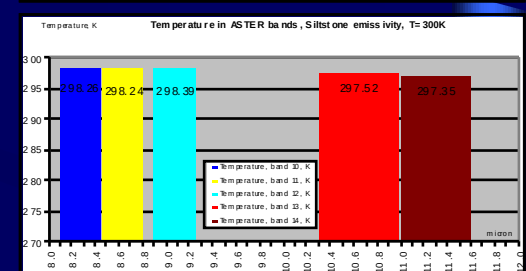
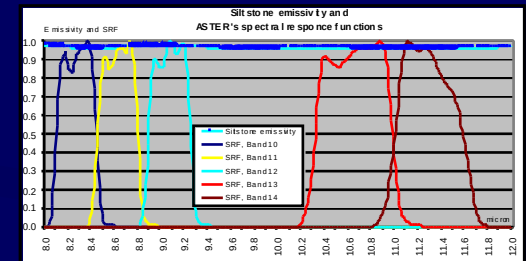
Карбонаты



Гипс

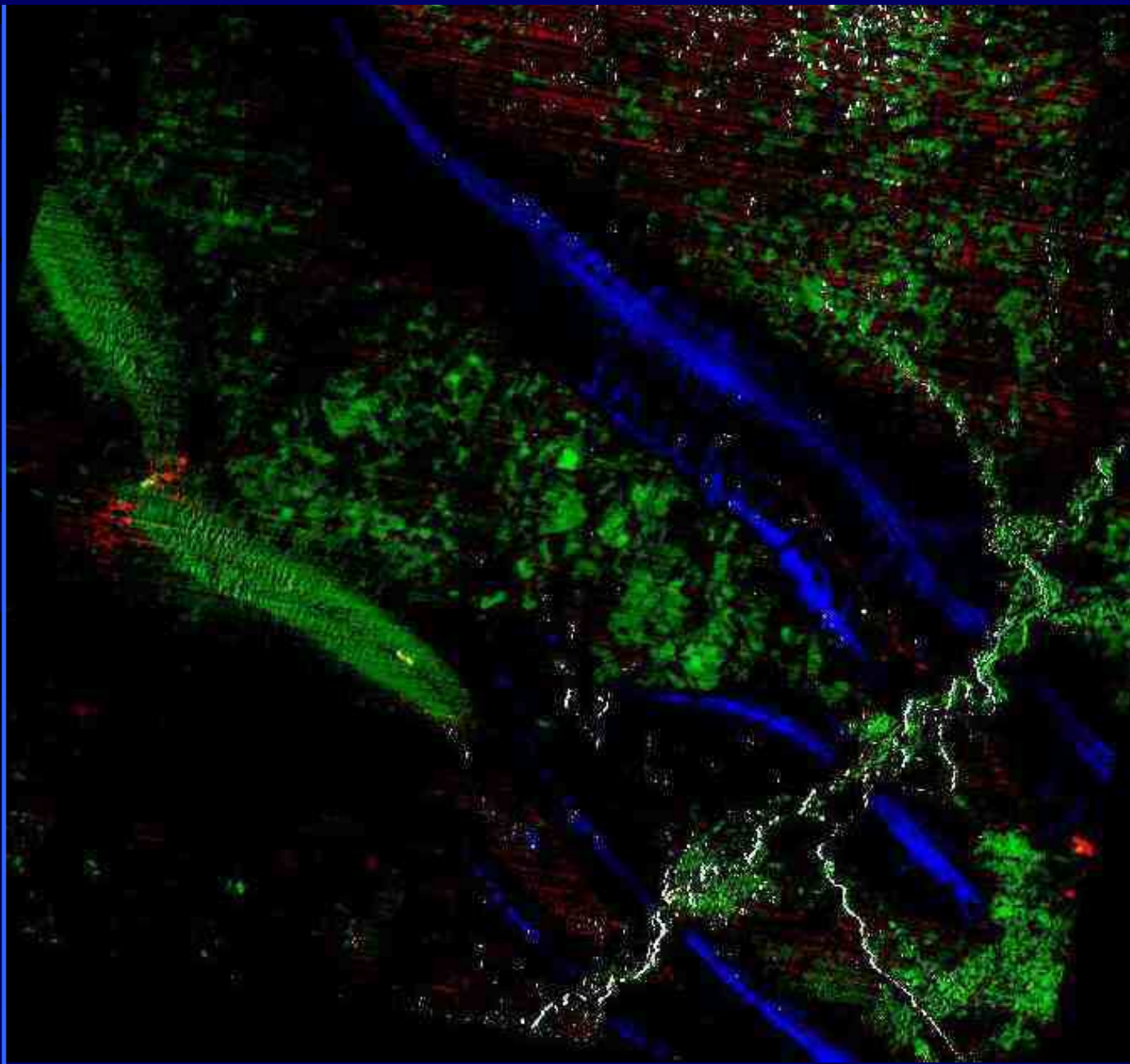


Глина



Некорректная обратная задача - определение коэффициента излучения

Месторождение нефти Киркук (Ирак)



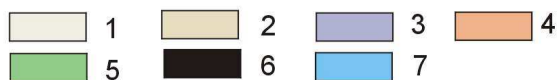
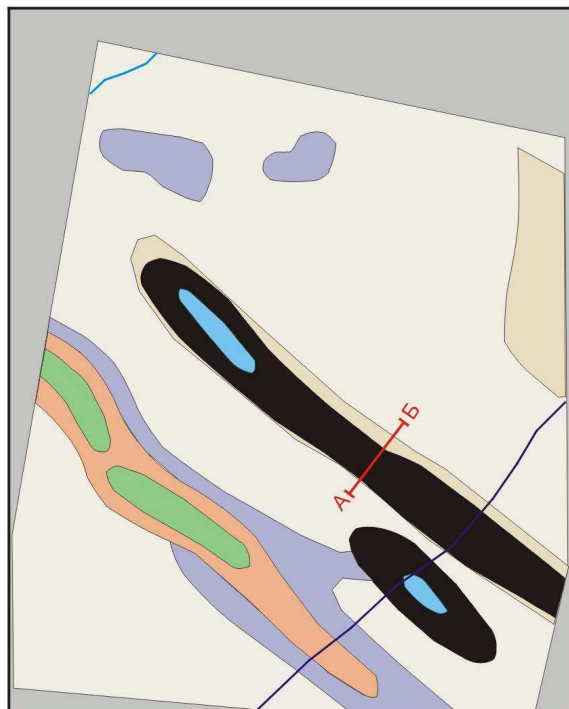
← RGB Цветовой
КОМПОЗИТ
Terra(ASTER)

Индексы:

- -Сульфатный
- - Карбонатный;
- - Силикатный;

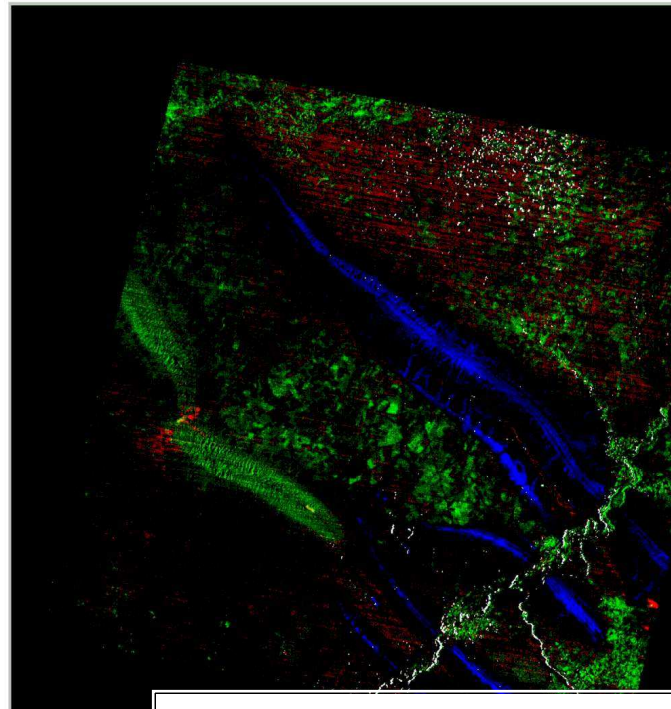
Космическая спектроскопия в ИК-тепловом диапазоне (спутник Terra (ASTER))

Схематическая геологическая карта

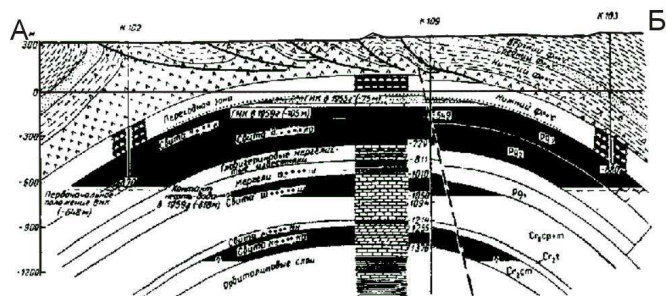
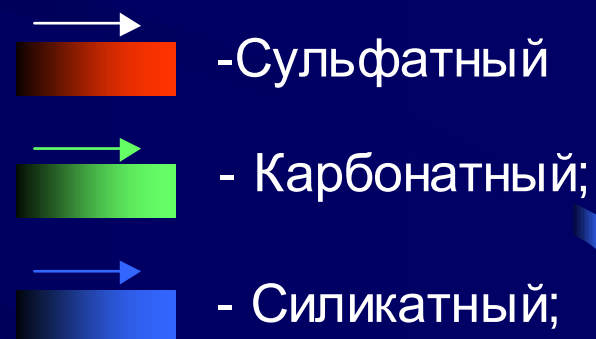


1. Аллювий. 2. Свита Бахтиари. 3. Красноцветные песчаники, глины, алевролиты. 4. Ангидриты, известняки с прослоями алевролитов. 5. Известняки оолитовые, органогенные. 6. Нефть. 7. Газ.

Цветовой композит



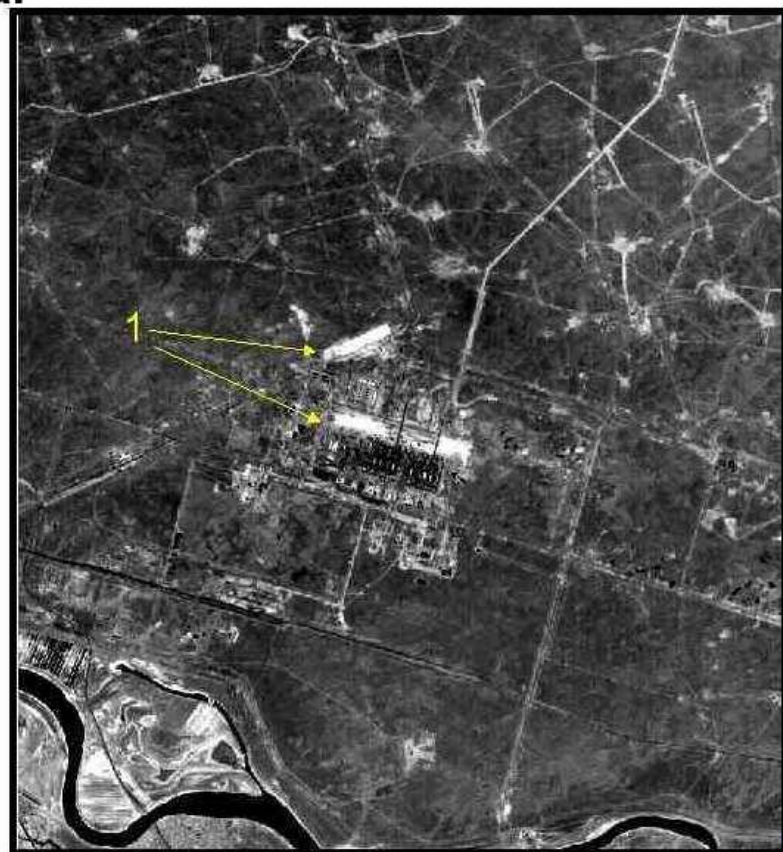
Индексы:



Геологический разрез

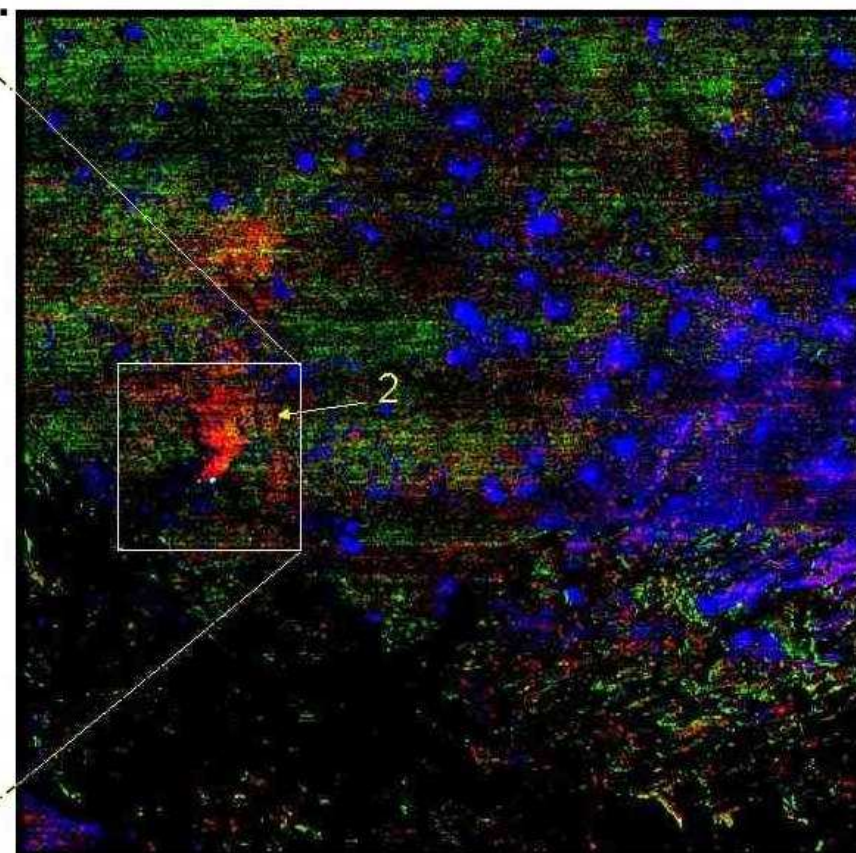
Загрязнение почвы сульфатами на Астраханском газовом промысле

Снимок видимого диапазона



Р. Волга

RGB-цветовой композит



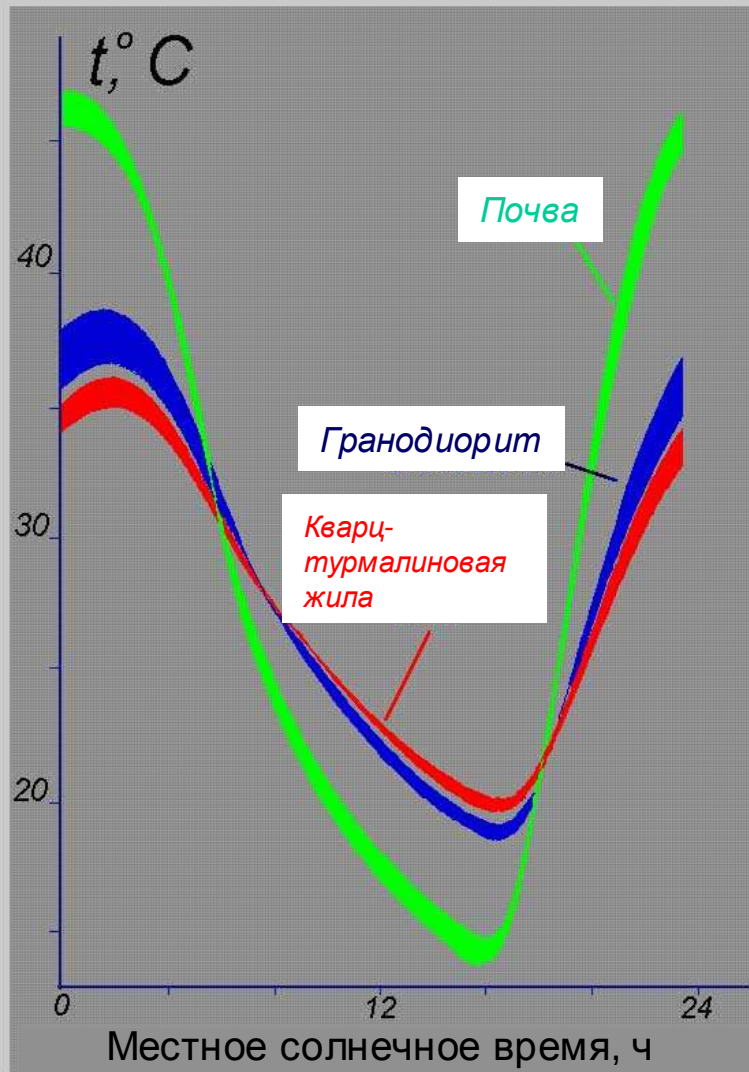
- sulphate index.
- carbonate index.
- silicate index.
- sulfur index.

1 – Бурты серы; 2 – Сульфатное загрязнение.

Дистанционный геотермический метод

Предложен К. Ватсоном (K. Watson)

Математическое моделирование суточного хода температуры поверхности



Тепловой поток на поверхности

$$q = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} [A_i \cos(i\omega_i \tau + \varphi_i) + B_i \sin(i\omega_i \tau + \varphi_i)]$$

Упрощенное выражение

$$q = q_0 \sin(\omega \tau)$$

Где: q - тепловой поток на поверхности;

q_0 - амплитуда теплового потока;

ω - угловая скорость;

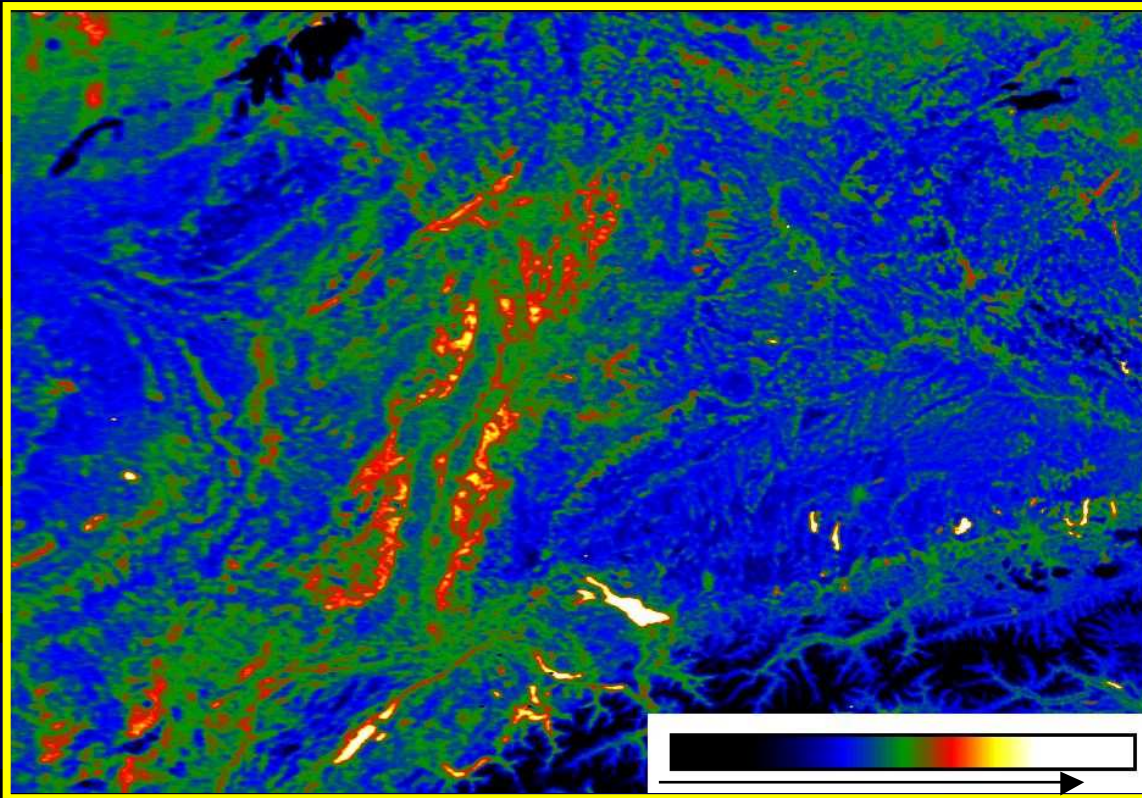
τ - время.

$$\vartheta(\tau, h) = [q_0 / p(\omega)^{1/2}] \sin(\omega \tau - \pi/4),$$

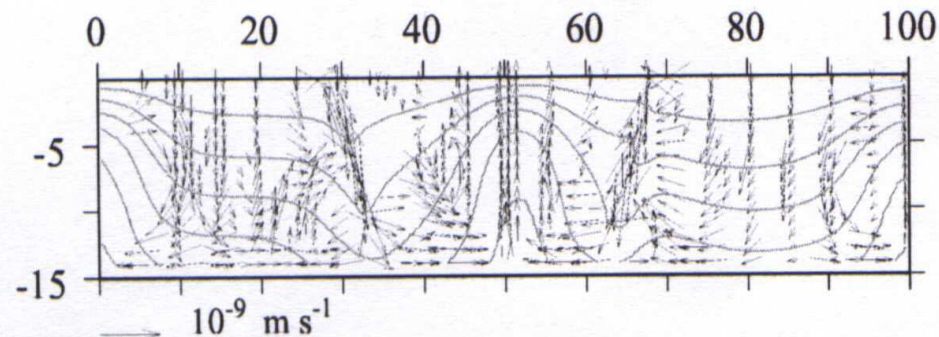
Где: $p = (\lambda c \rho)^{-1/2}$ - тепловая инерция;

Рейнский грабен

Карта ночной температуры поверхности



Результаты математического моделирования распределения температуры пород при наличии конвекции (по С. Clauser)



Тектоническая схема с картой температур (измерения в скважинах (по С. Clauser))

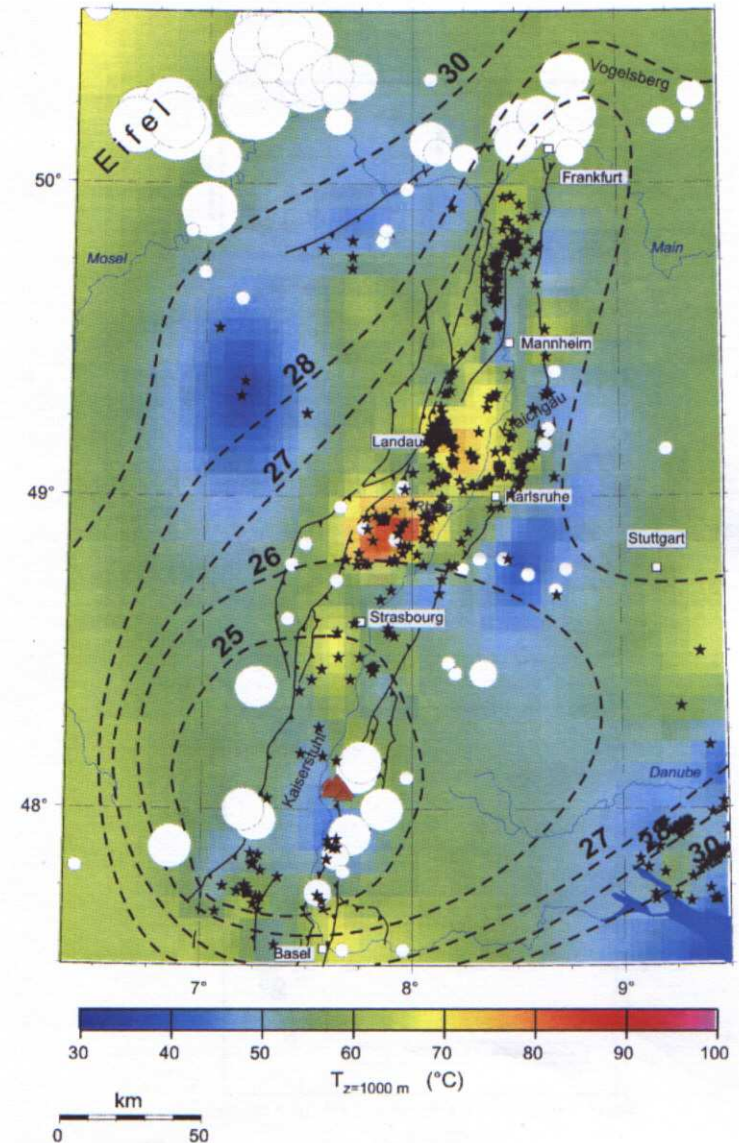
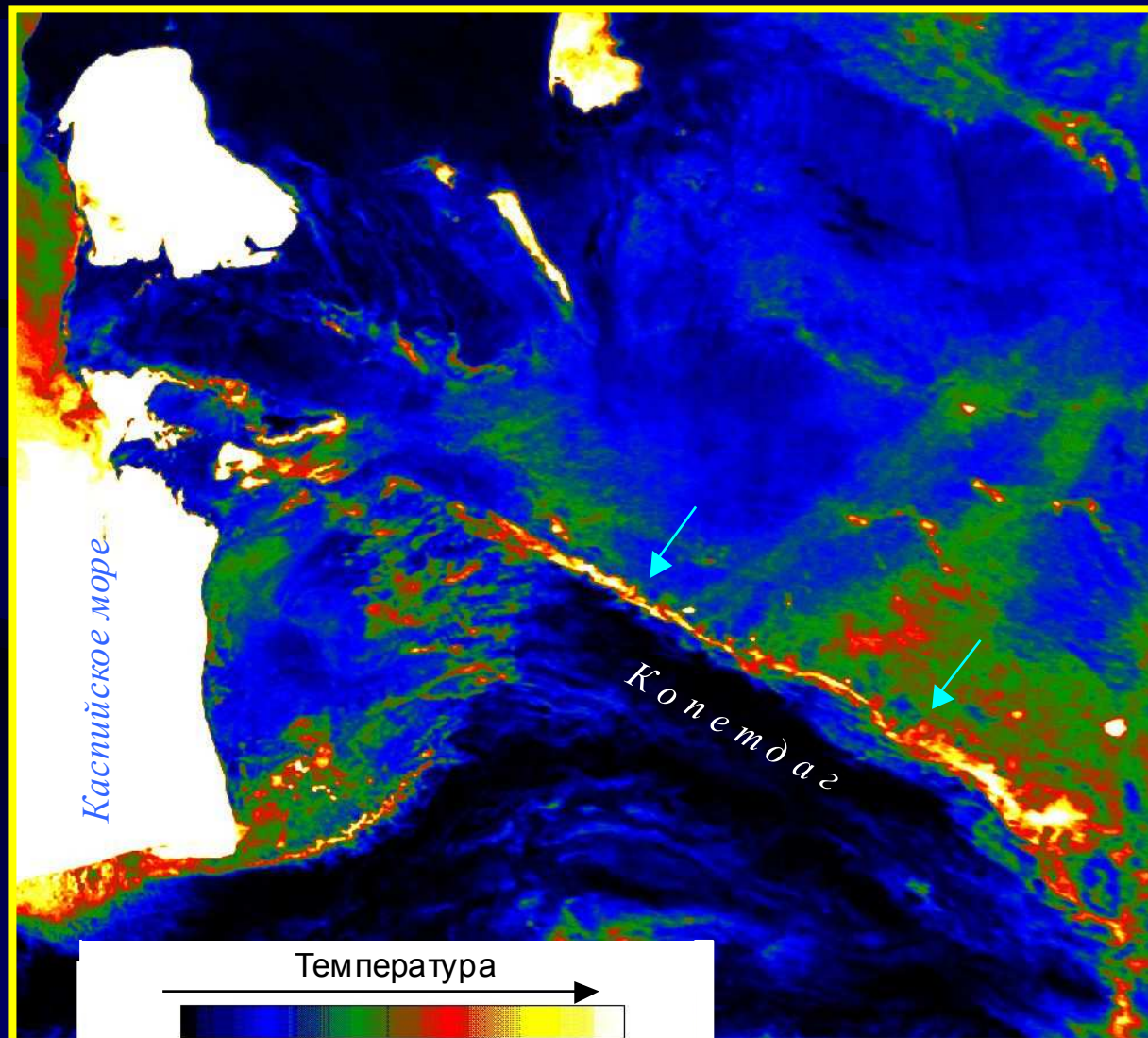


Figure 4

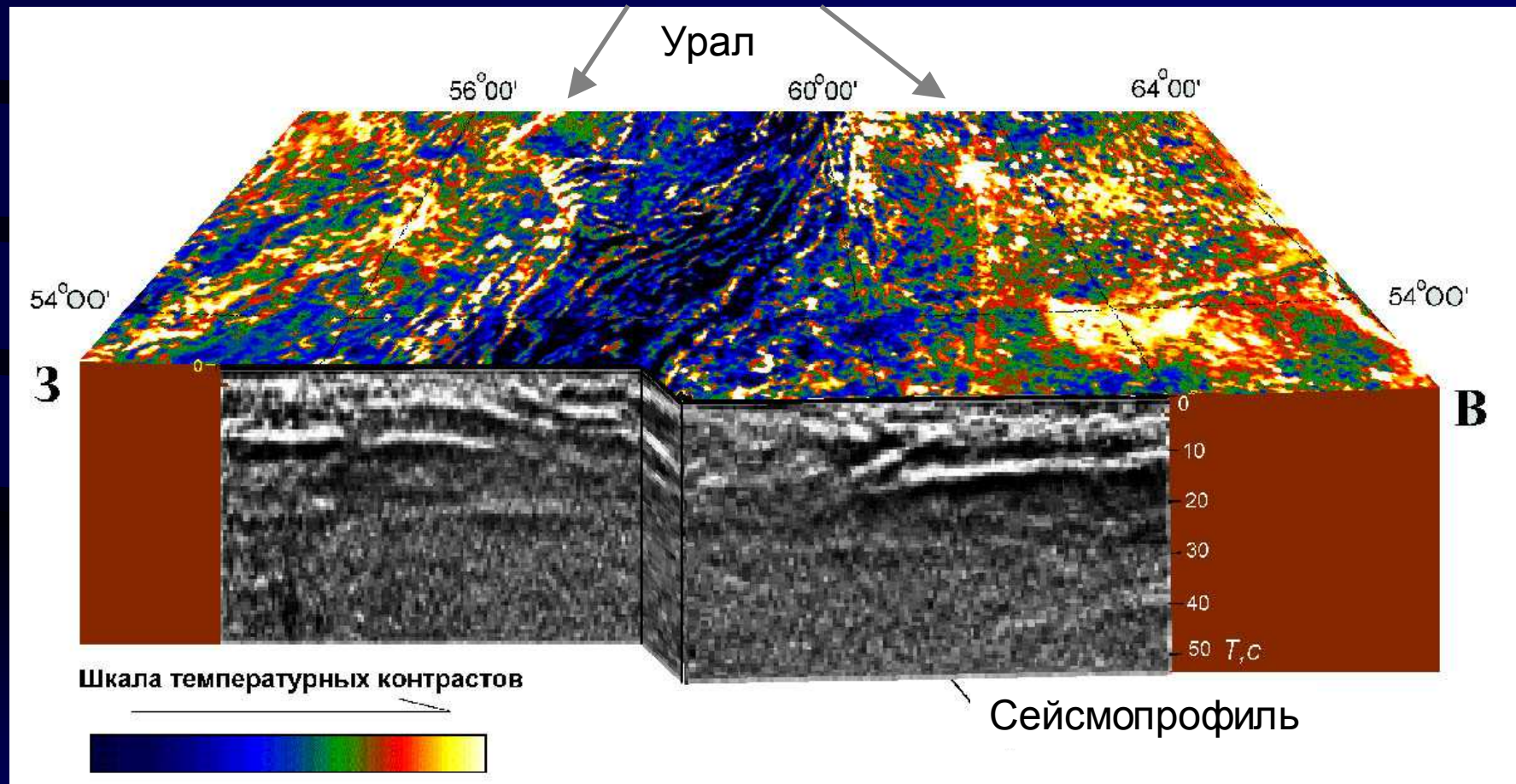
Термальная линия Копетдага

Карта ночных температурных контрастов

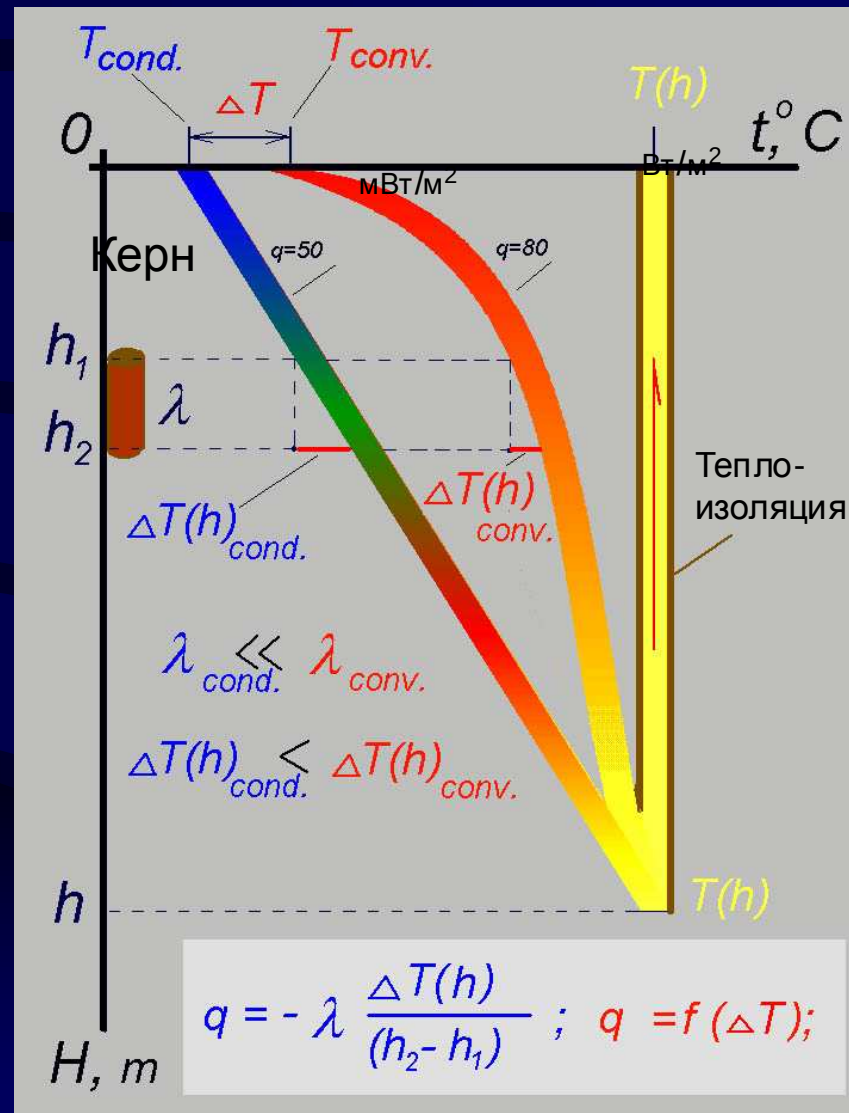


Профиль УРАЛСЕЙС

“Термальные линии”



Определение ТП по результатам измерений в скважинах



Энергия эндогенных источников тепла (по Г.А. Череменскому)

Вид	Энергия, выделенная за 4.5 млрд. лет * 10^{31} Дж
Радиогенная	1.6 - 2.8
Гравитационная (образование Земли)	30
Потенциальная гравитационная	25
Упругая (сжатия)	2
Гравитационной дифференциации	1.5 - 2.0
Ротационная: <i>замедление скорости вращения</i> <i>колебание скорости вращения</i>	0.36 2

Всего: $\sim 60 * 10^{31}$ Дж

Оценка среднего теплового потока

по энергии внутренних источников тепла: $\sim 8 \text{ Вт/м}^2$

???

Средний наблюдаемый
ТП Земли (Pollack et al):

$87 \pm 2.0 \text{ мВт/м}^2$

Методы ДЗЗ

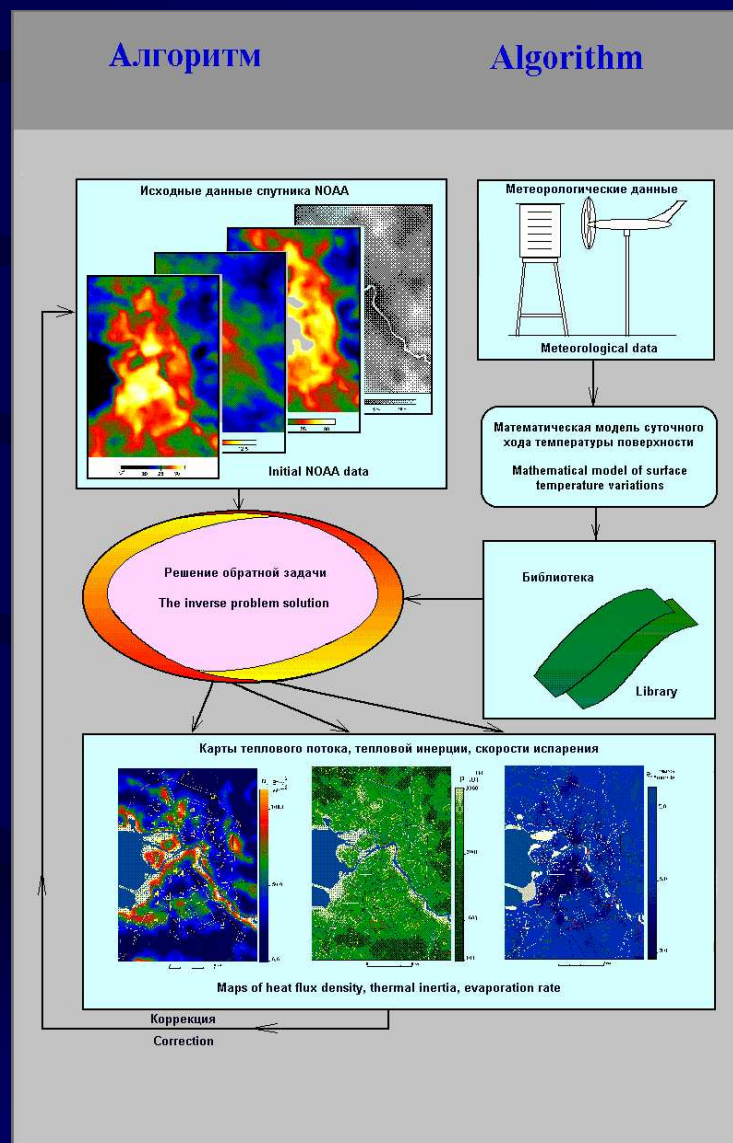
Дистанционное определение теплового потока, тепловой инерции и скорости испарения влаги с дневной поверхности

Исходные материалы:

- * многократная тепловая ИК аэро-космическая съемка;
- * срочные данные метеонаблюдений;

Измеряемые характеристики:

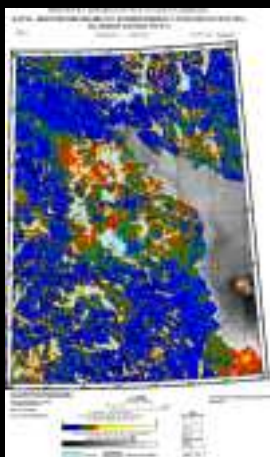
- * тепловой поток, $Вт/м^2$;
- * тепловая инерция, $ЕТИ$;
- * скорость испарения, $мм/сут$.



Стандартный набор карт Лист Q - (35)36

Масштаб: 1:1 000 000

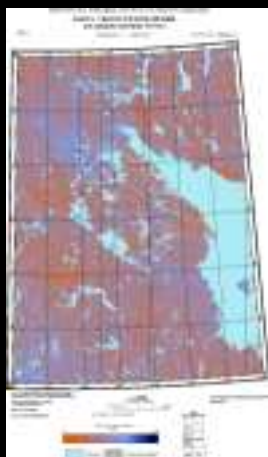
Конвективный
тепловой
поток



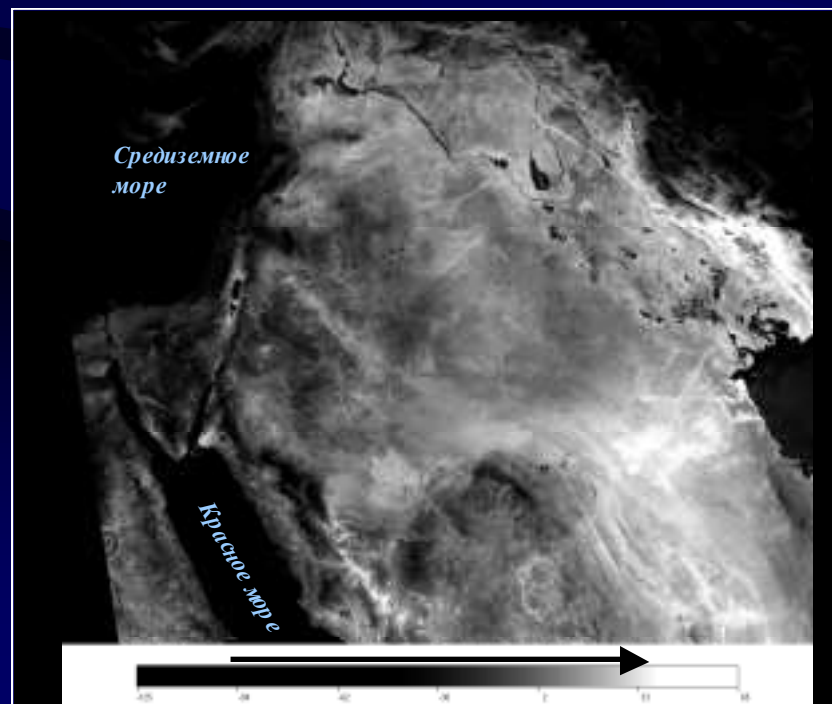
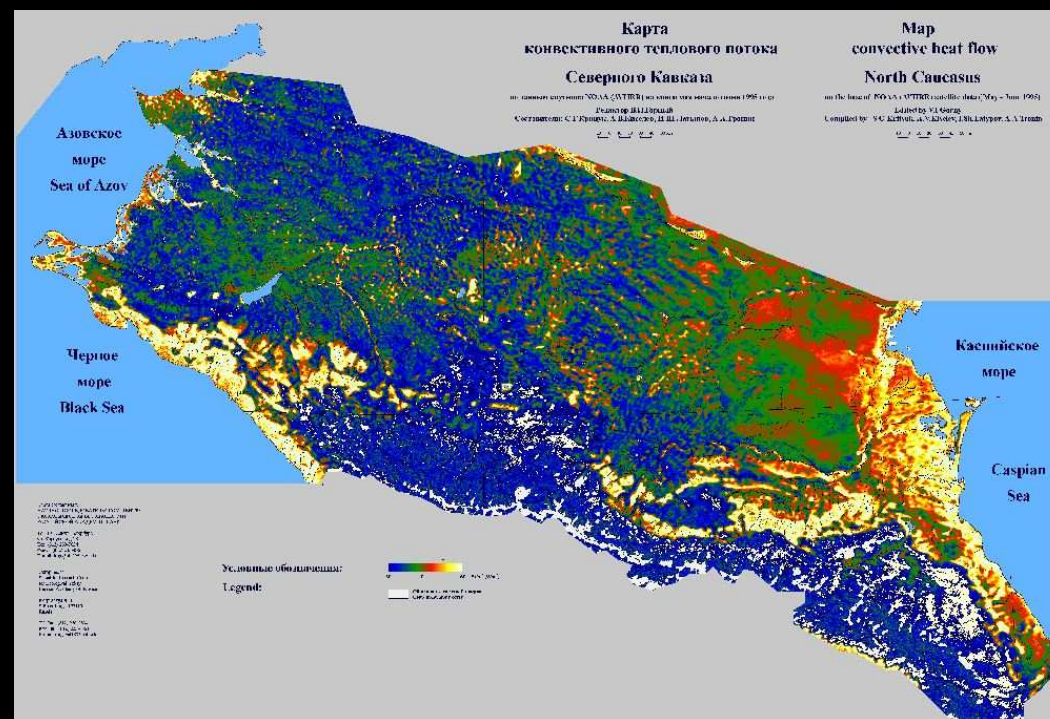
Тепловая
инерция



Скорость
испарения



Карта КТП Северного Кавказа



Карта КТП
северной части
Аравийской плиты

Влияние эндогенного тепла на формирование экосистем



Б. Заяцкий остров - тундра

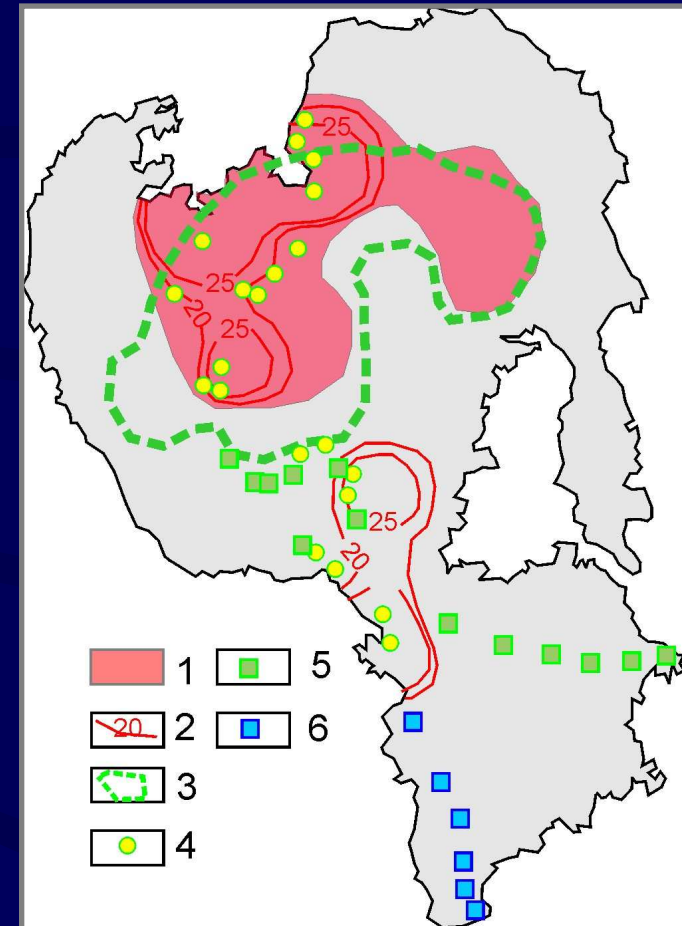
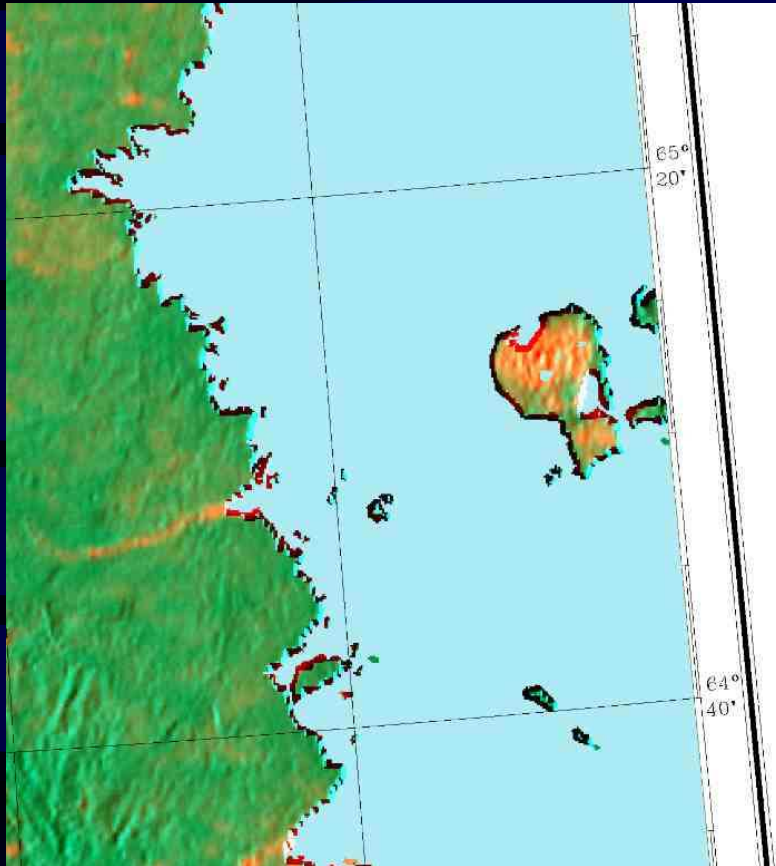


Б. Соловецкий остров - тайга



Сопоставление тепловых аномалий и участков распространения экстрazonальных лесов (По Ю.Г.Шварцману и В.И.Горному).

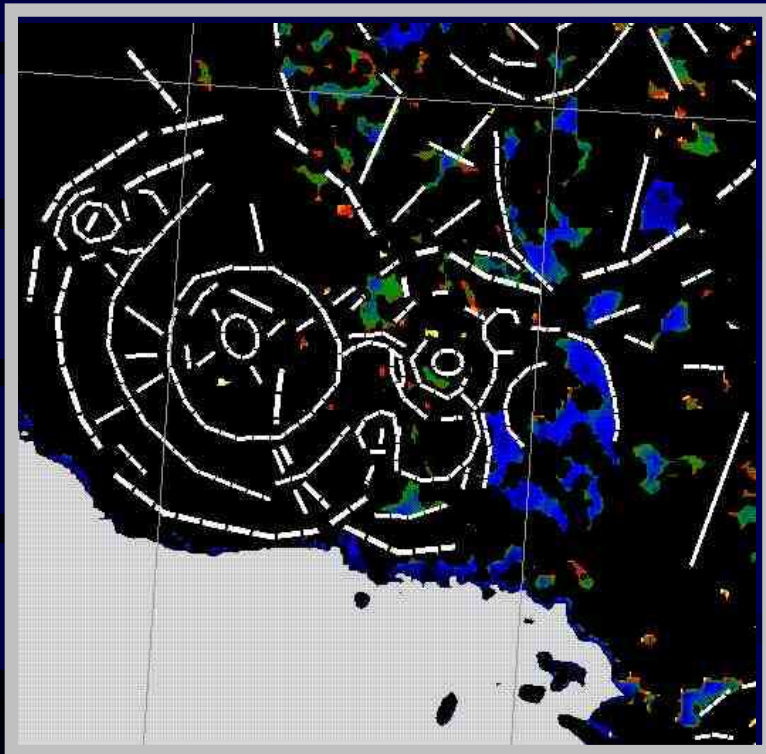
Карта конвективного теплового потока



1. Аномалия конвективного теплового потока по данным спутника NOAA (более 30 Вт/м²);
2. Изолинии относительных аномалий среднесуточной температуры почво в летний период (% от минимального значения);
3. Контур распространения экстрazonальных лесов (по комплексу наземных и космических данных);
- 4-6. Группы лесных биоценозов, выделенные на основе кластерного анализа геоботанических описаний, близкие :
6 – к среднетаежным; 7 – к северотаежным; 8 – к притундровым.

Результаты полевых измерения температуры поверхности озер

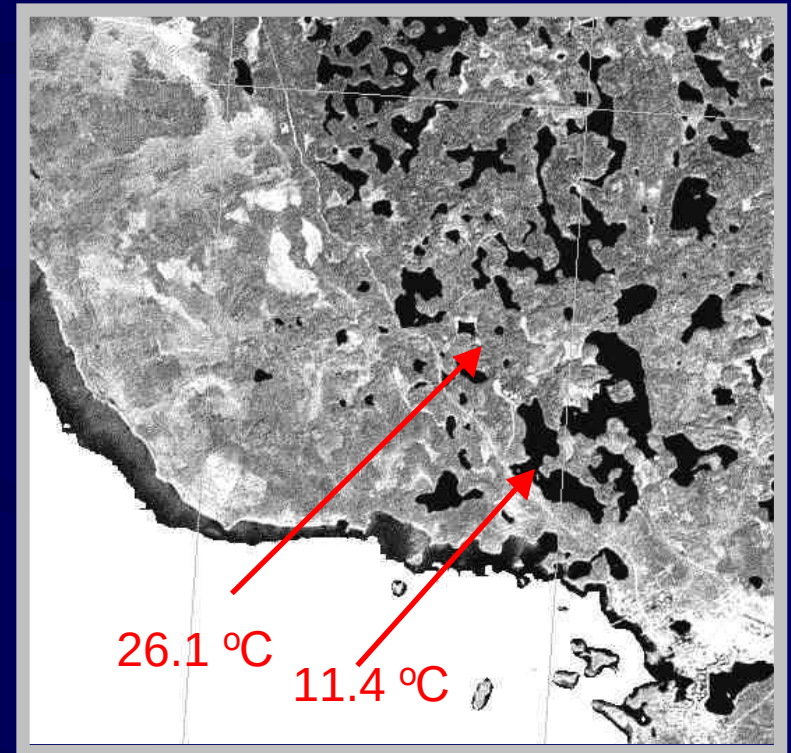
Фрагмент схемы геологического
дешифрирования



Теплое озеро 6-2



Температура поверхности воды в озерах
по результатам полевых измерений
в 12ч 00 мин 25.07.2003г.



Вдали от «теплых» озер



Тепловой баланс Земли

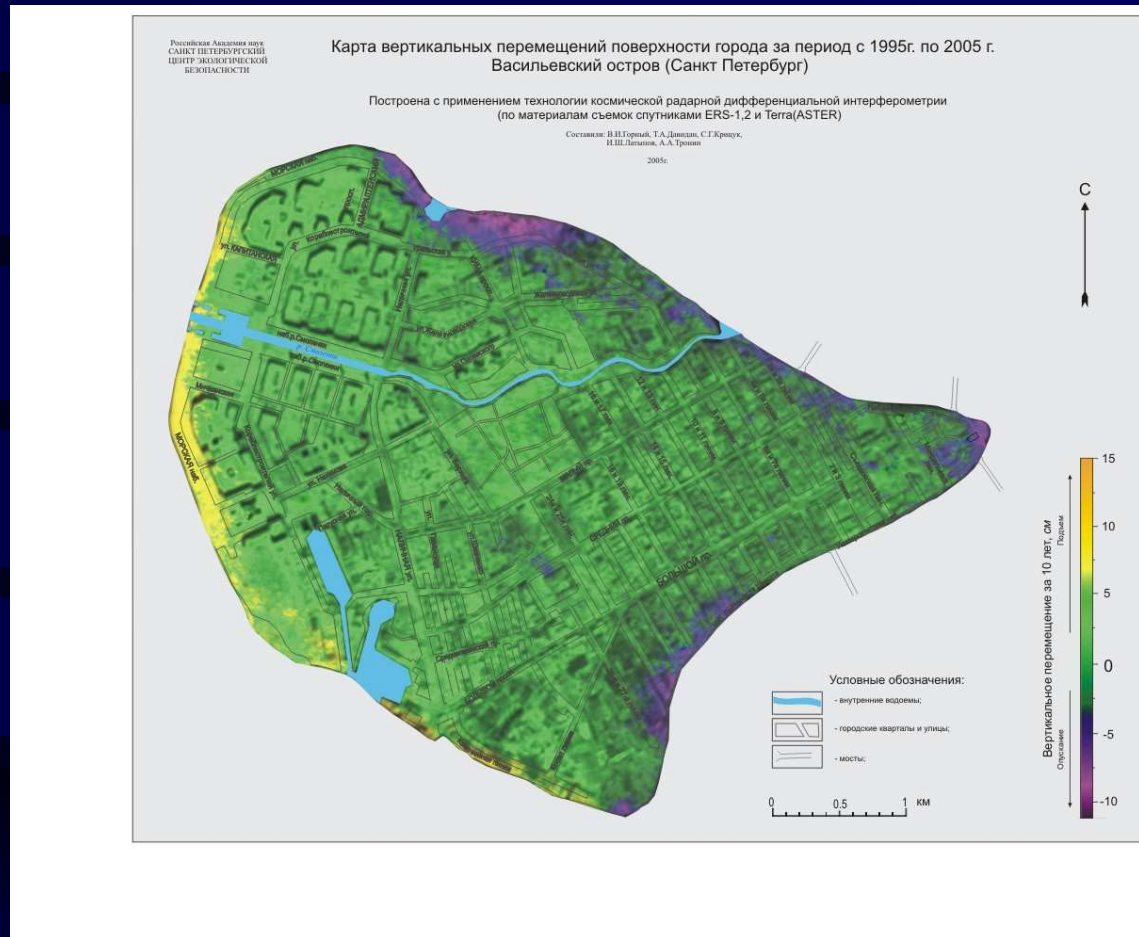
Оценка среднего теплового потока
по энергии внутренних источников тепла: $\sim 8 \text{ Вт/м}^2$

5-10% площади Земли - тепловой поток $\sim 10 \text{ Вт/м}^2$

Новая оценка среднего теплового потока: $\sim 10 \text{ Вт/м}^2$

Фотограмметрические методы

Космическая дифференциальная радиолокационная интерферометрия

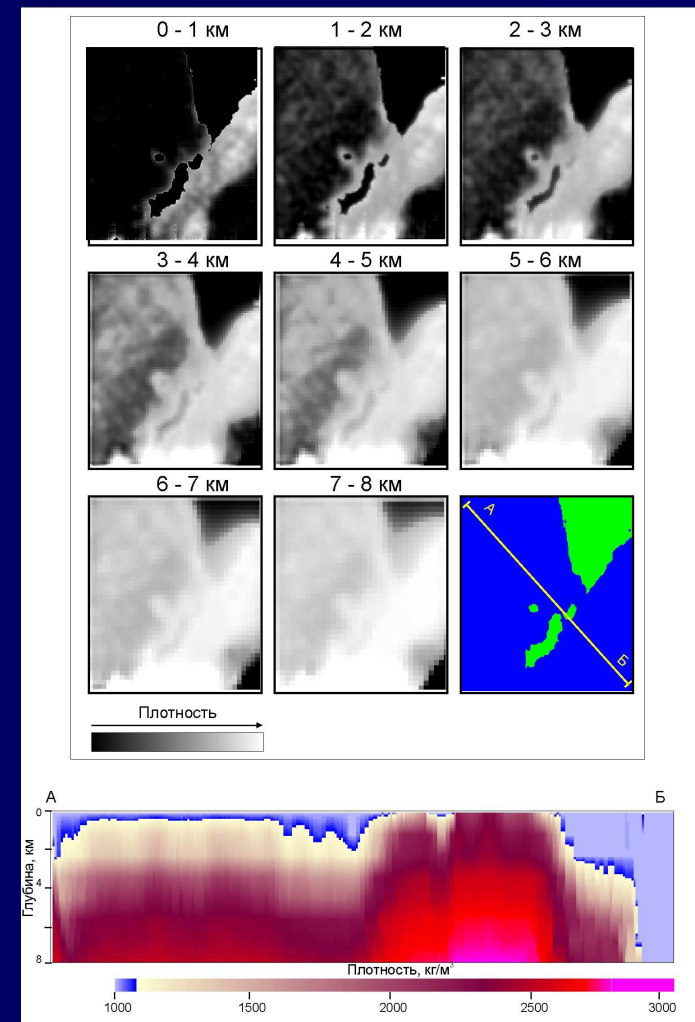
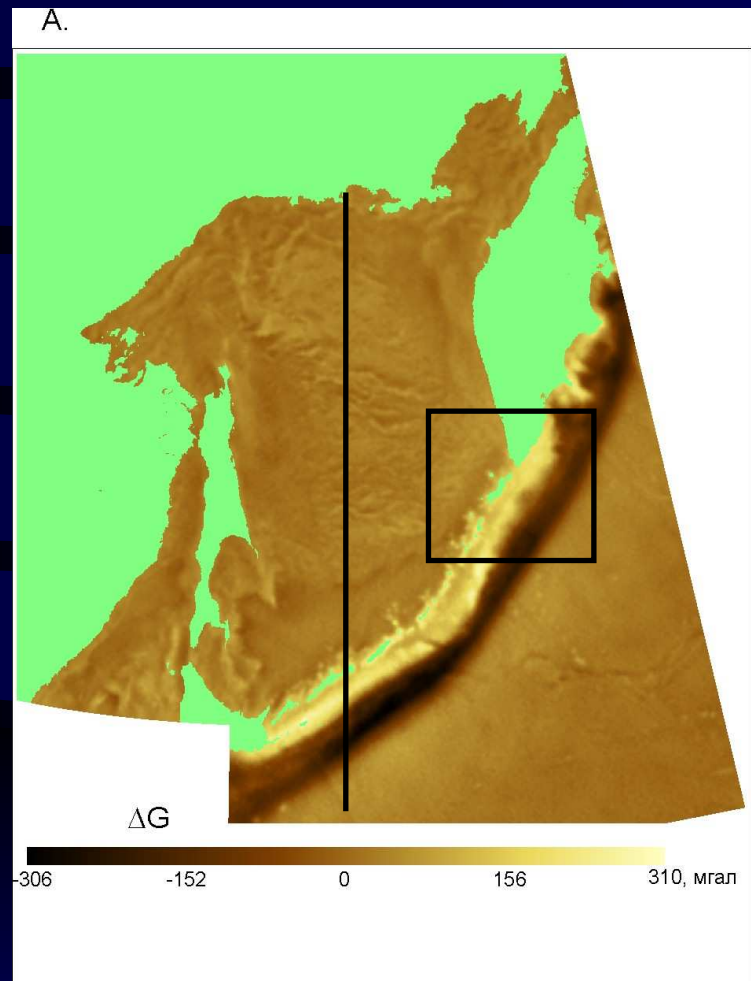


Некорректная обратная задача - восстановление фазы

Спутниковая альтиметрия

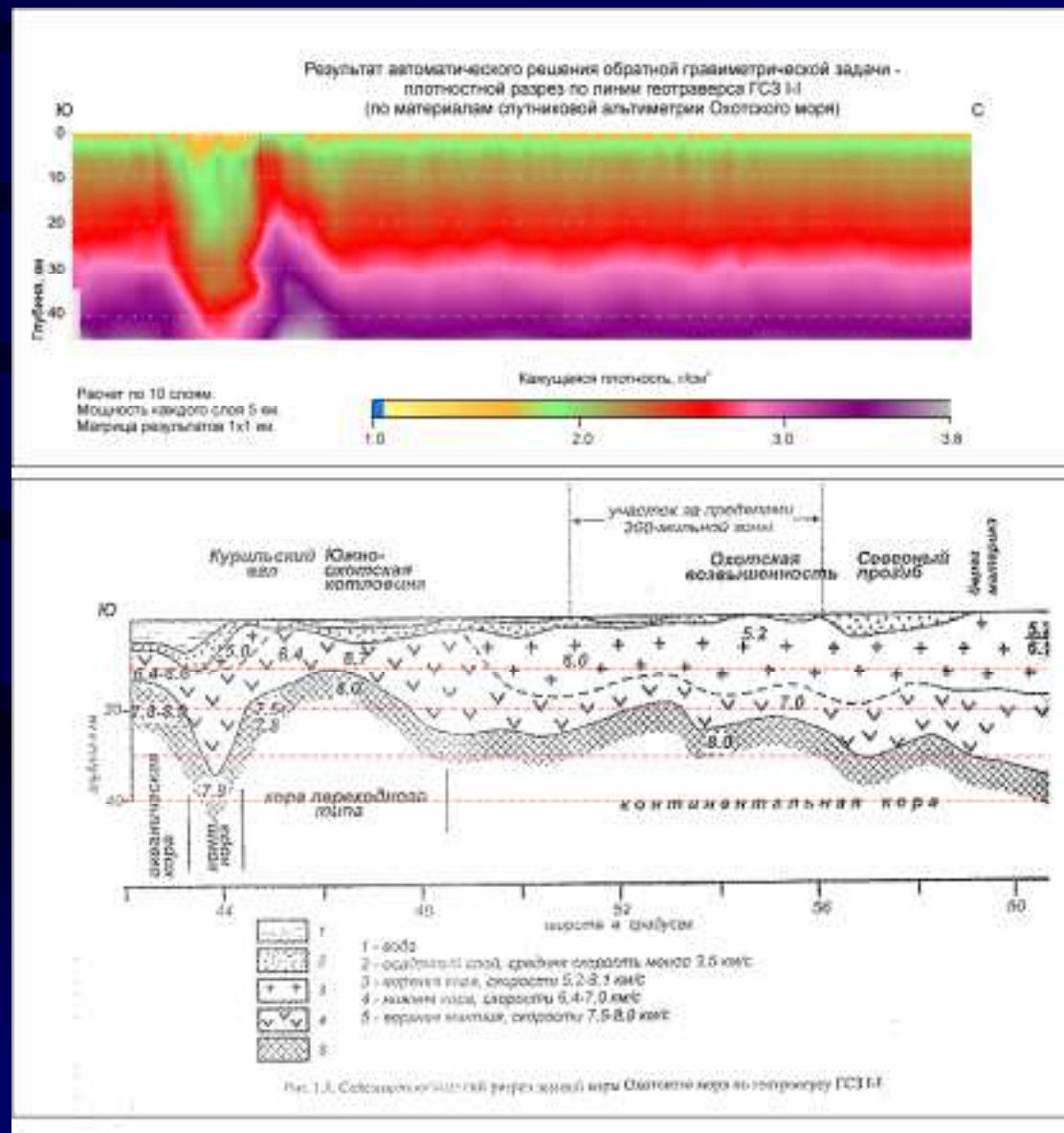
Результат автоматического Решения обратной задачи гравиметрии

Поле ΔG Охотского моря



Некорректная обратная задача - определение
плотности пород земных недр

Геотраверс Магадан - Курилы



Преимущества спутниковых методов ДЗЗ:

- Выполнение глобальных съемок одной и той же технической системой
- Высокая обзорность
- Возможность получения материалов на любую минерагеническую провинцию, любое месторождение мира

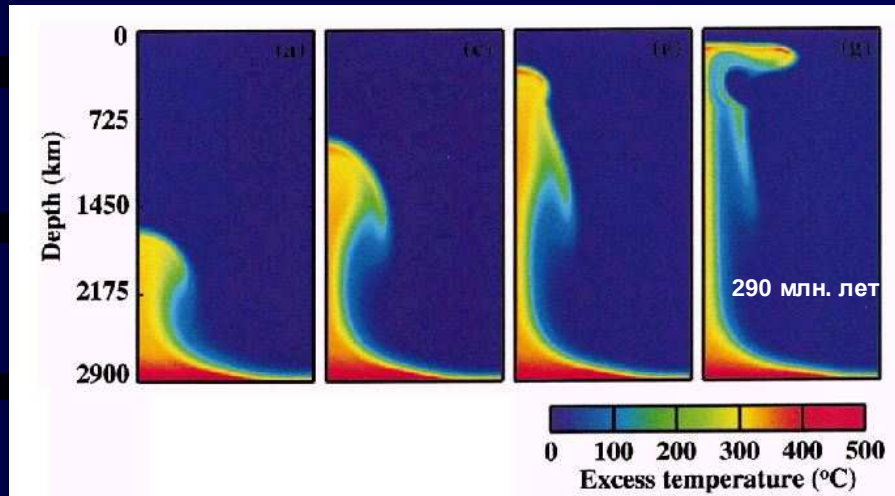
Два подхода к прогнозированию месторождений полезных ископаемых:

- На основе генетических представлений (моделей)
- Метод аналогии

Генетические модели

«Горячие» мантийные струи

(по C.G. Farnetani et al.)



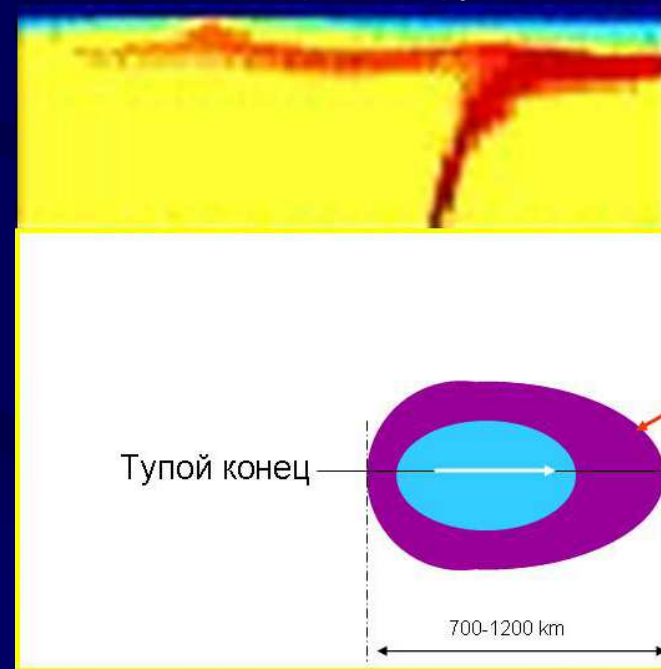
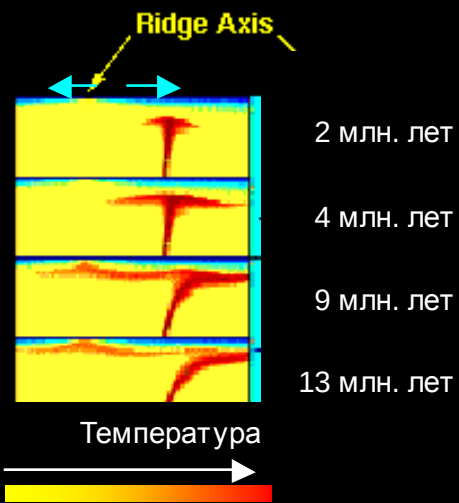
Состав земного ядра

(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%

Схема формирования овальной структуры над «горячей струей»

Отклонение «горячей» струи в направлении перемещения плиты



Внешняя зона

Острый конец

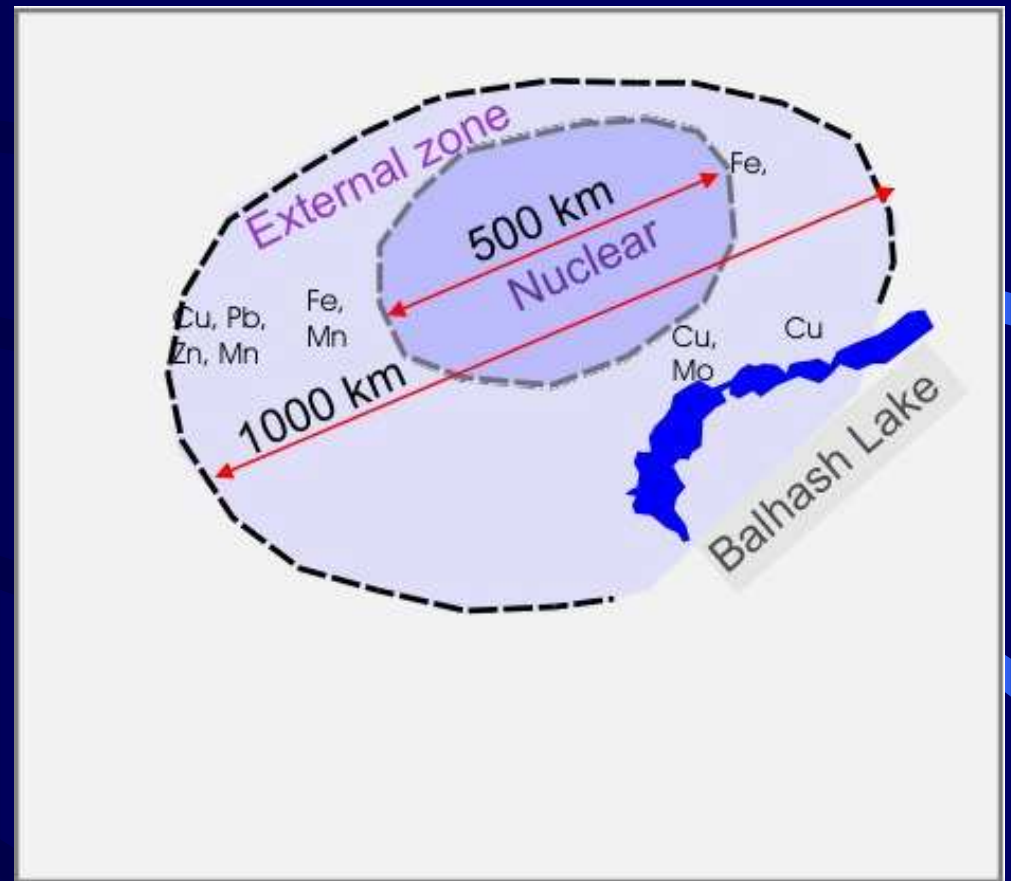
Вектор перемещения плиты

Овальная структура Центрального Казахстана

Ночное тепловое изображение (NOAA)



Схема дешифрирования



Температура



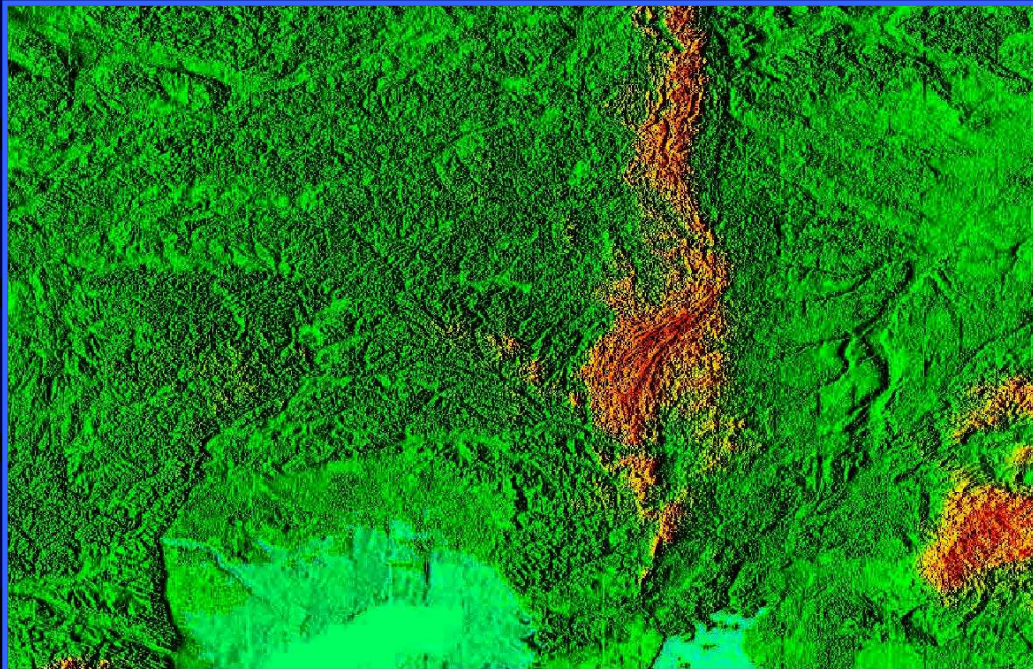
0

500 км

Генетические модели

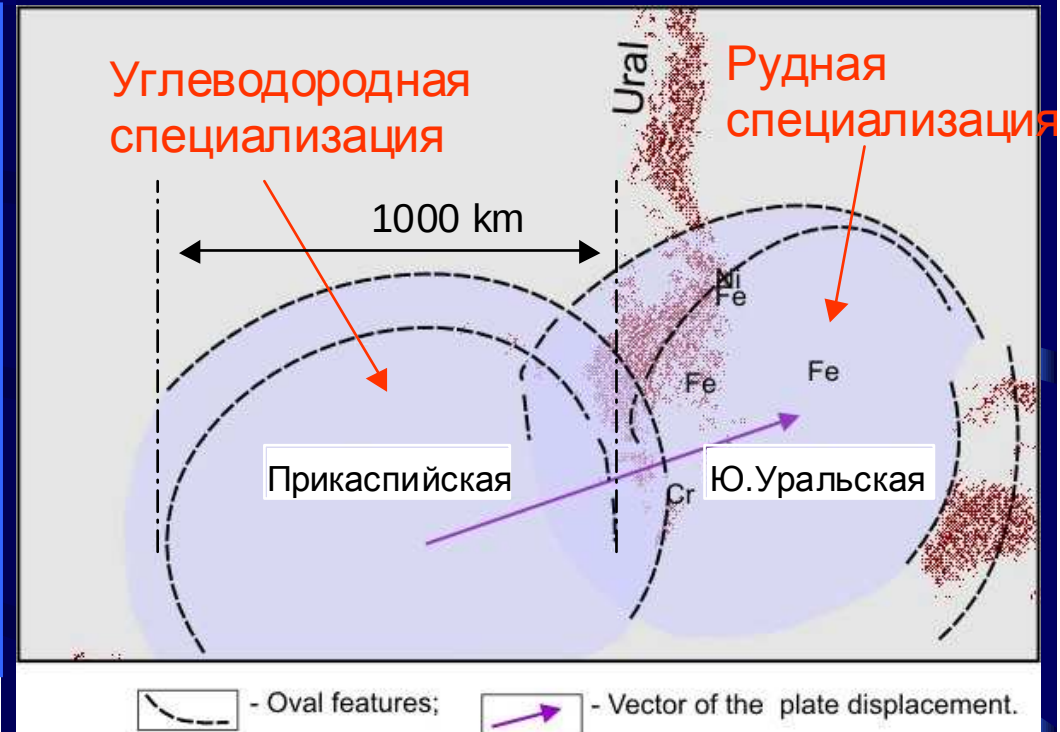
Прикаспийская и Южноуральская овальные структуры

Цифровая модель рельефа
(по W.Smith and D.Sandwall)



Высота поверхности

Схема деширирования



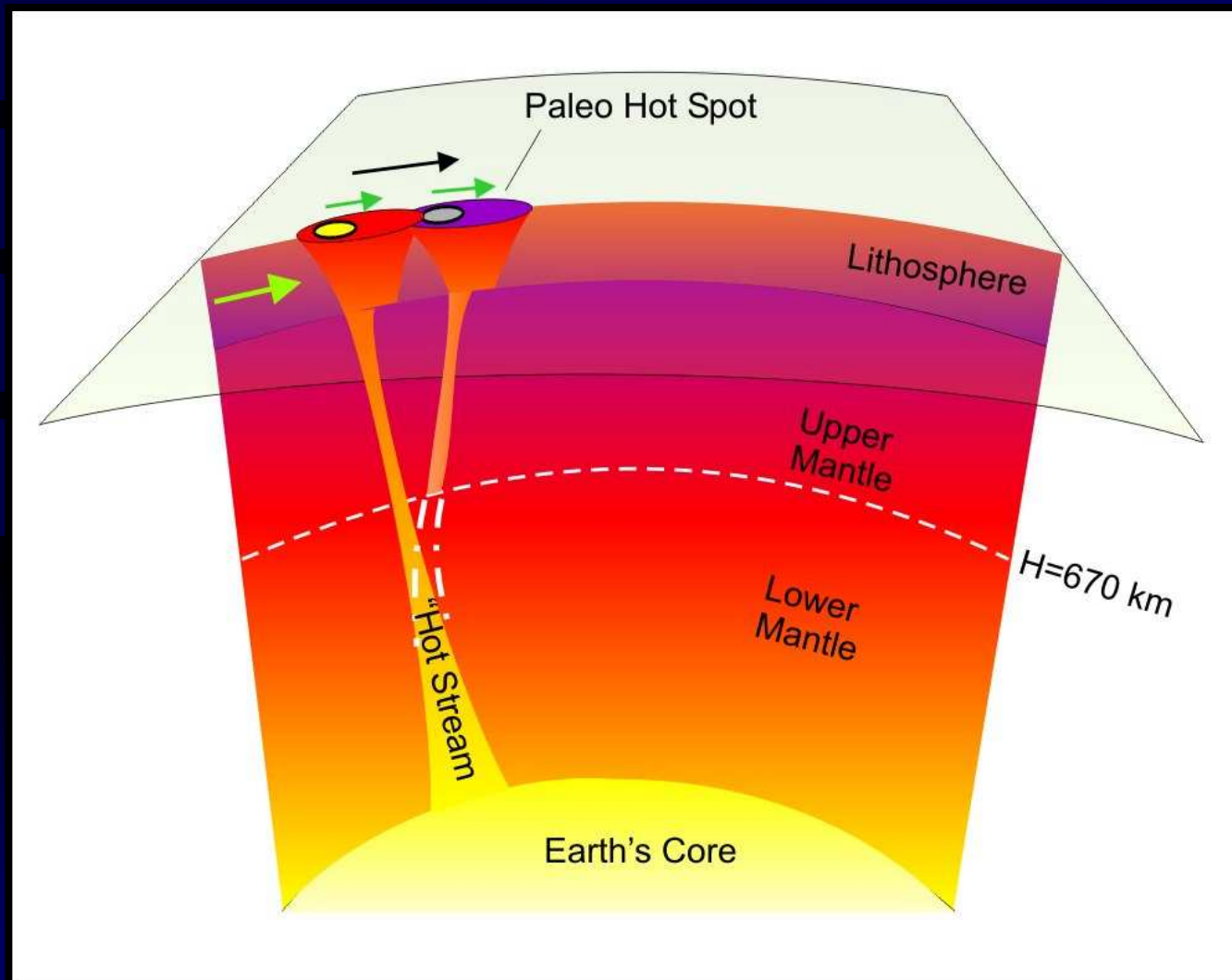
Характеристика:

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

Модель формирования цепочки палеопозиций восходящих мантийных конвективных структур

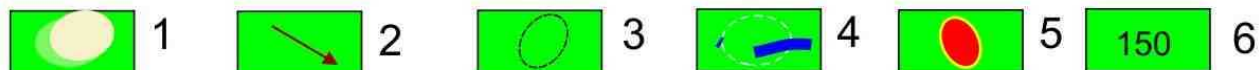
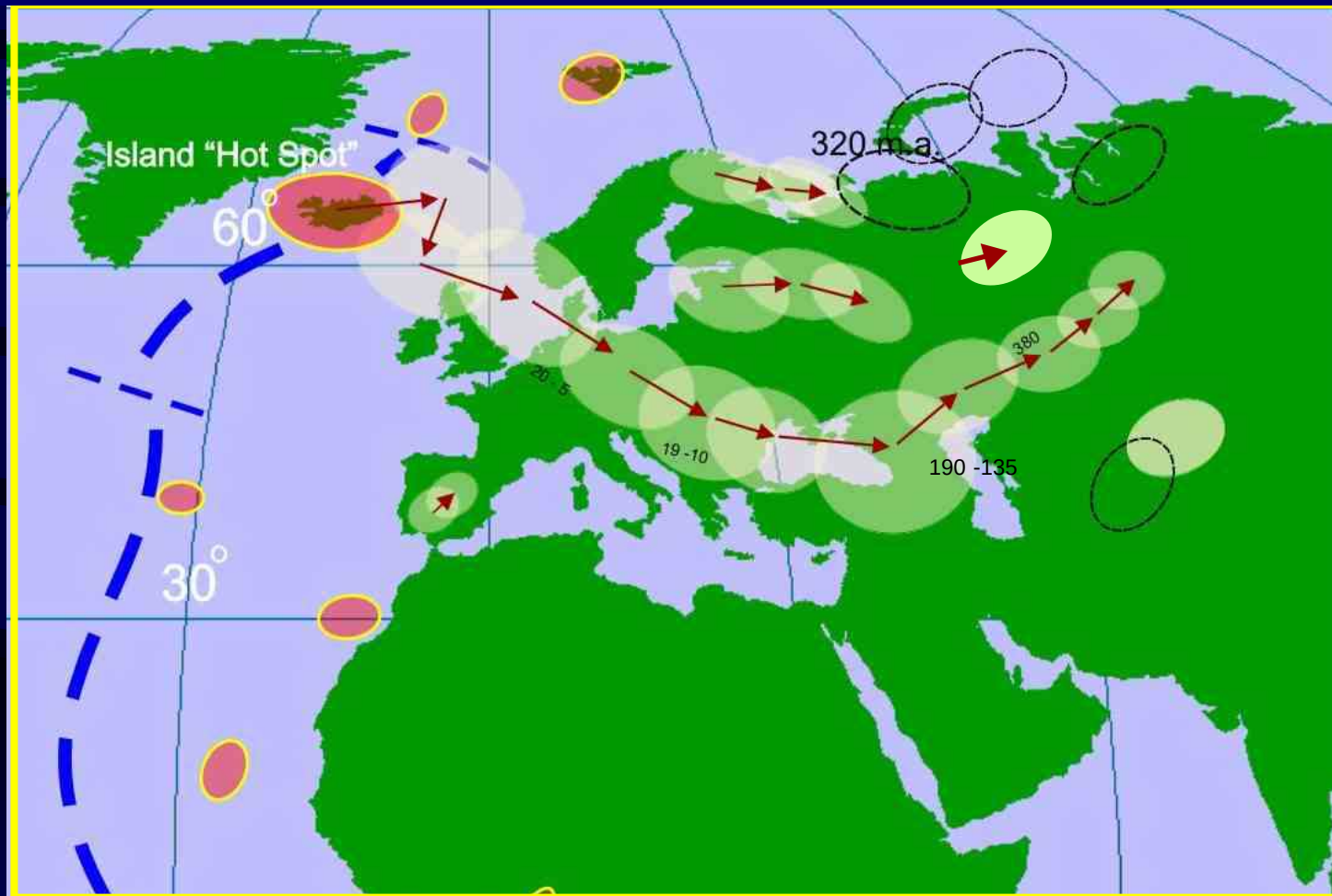
Фазы:

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



Генетические модели

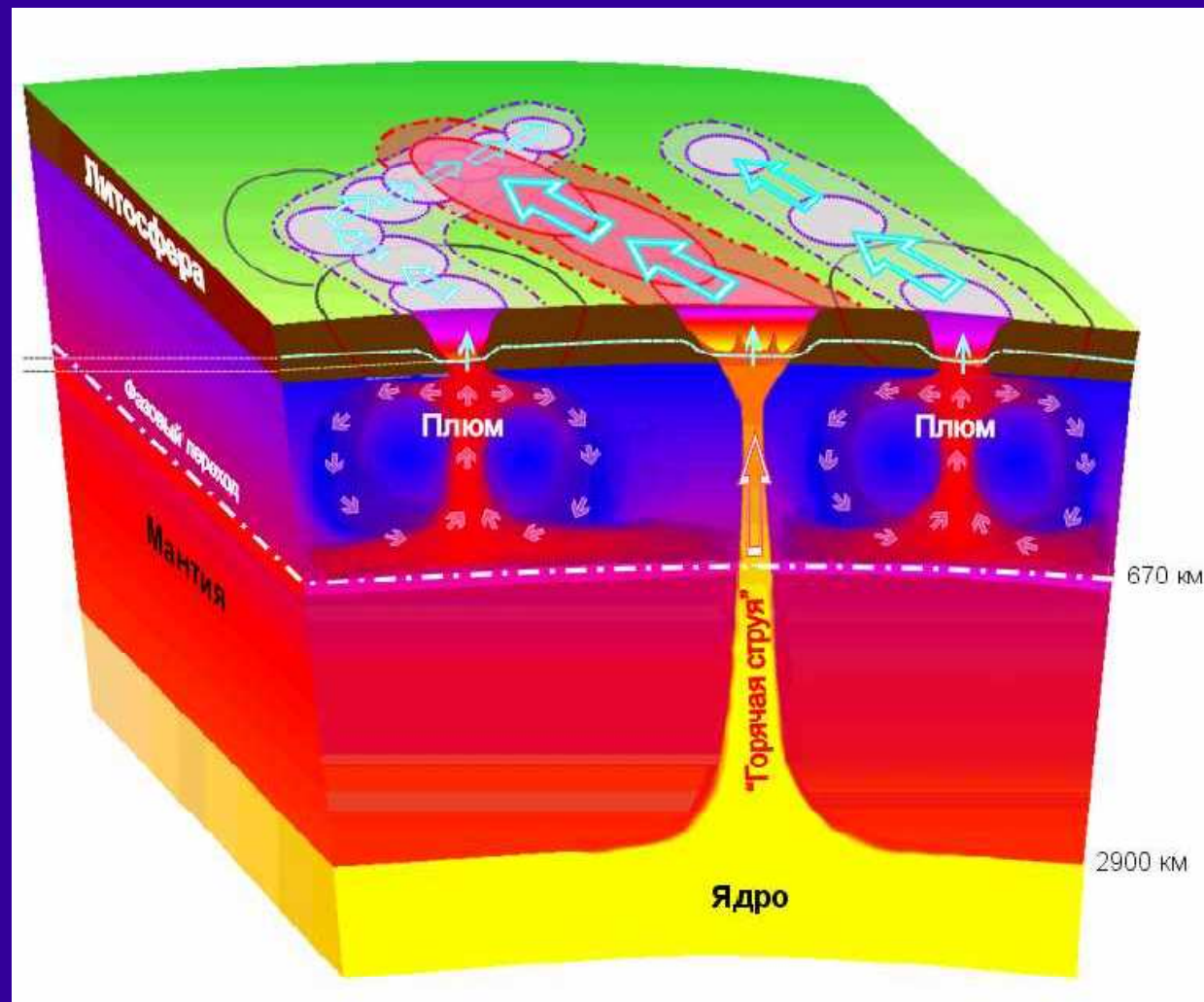
Схема палеопозиций “горячих точек” в западной части Евразийской плиты



1. Hot Spot paleopositions. 2. Vectors of plate displacement. 3. Proposed paleopositions. 4. Middle Atlantic Ridge. 5. Volcanic areas. 6. Age of paleopositions, m.a.

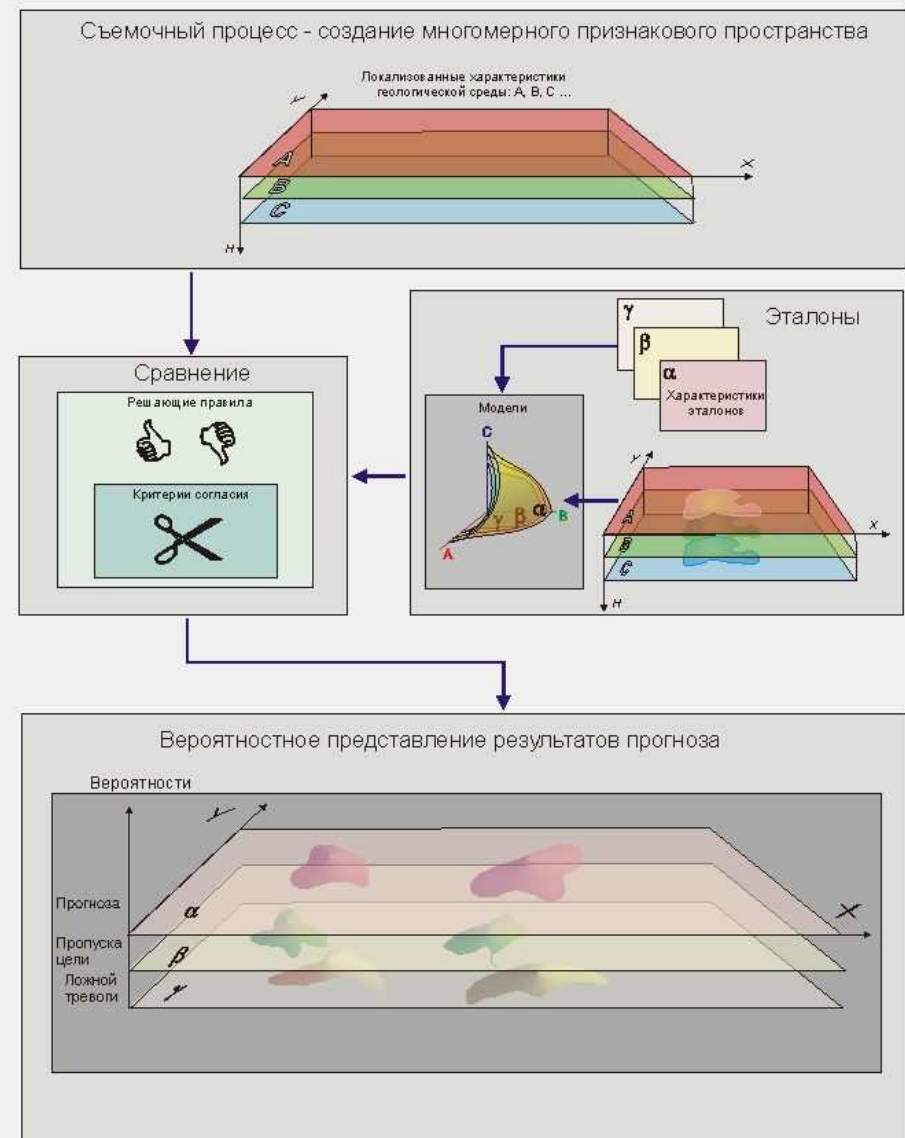
Генетические модели

Модель формирования минерагенических провинций,
сформированных мантийной конвекцией



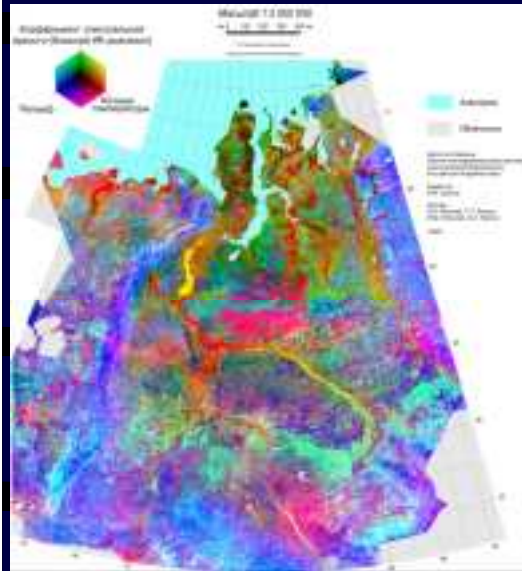
Метод аналогий

Методология
комплексной обработки МДЗЗ и
геофизических материалов
при оценке перспектив
территорий.

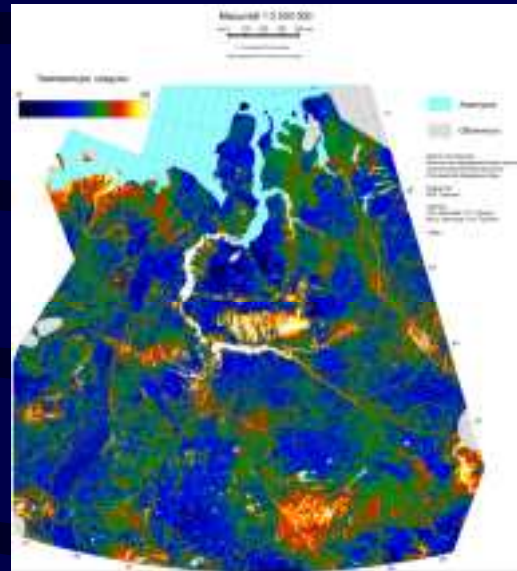


Комплексный подход к прогнозированию

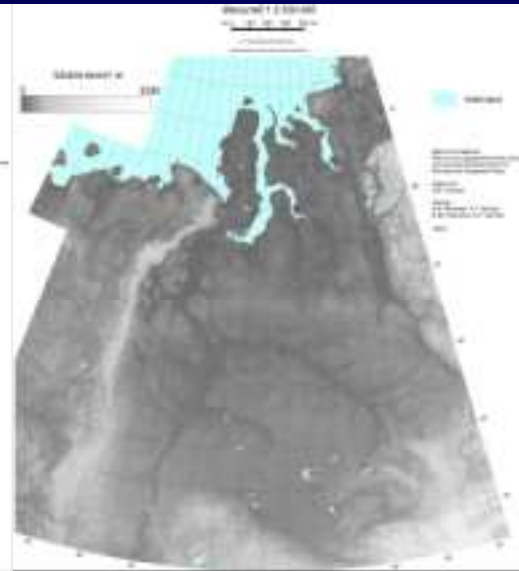
RGB –цветовые
КОМПОЗИТЫ



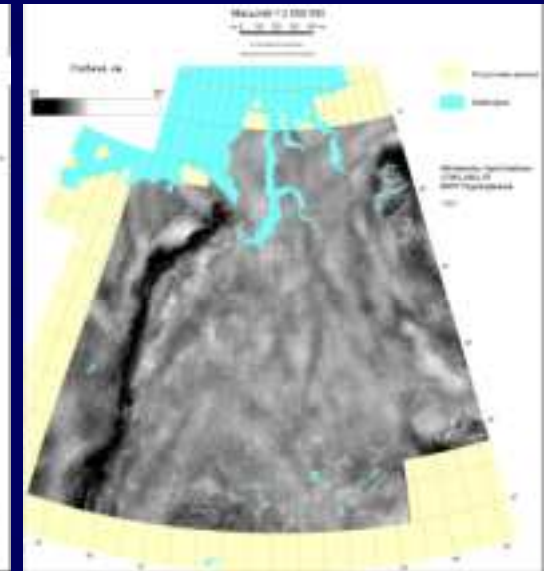
Ночная температура



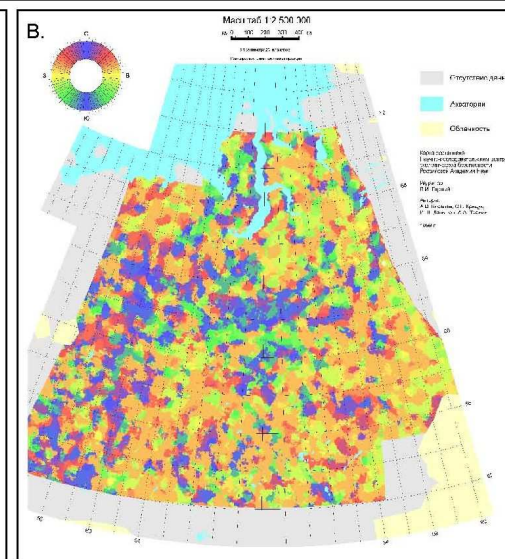
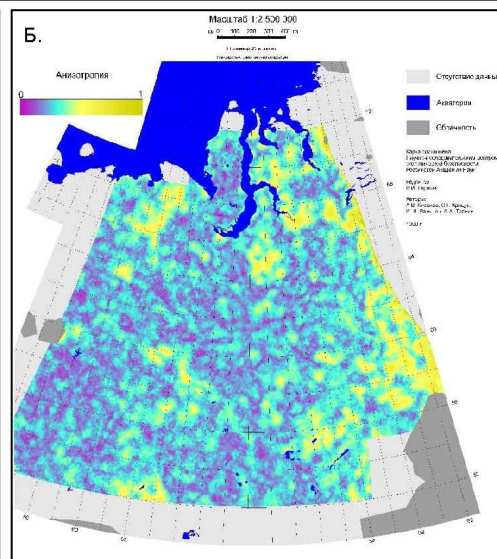
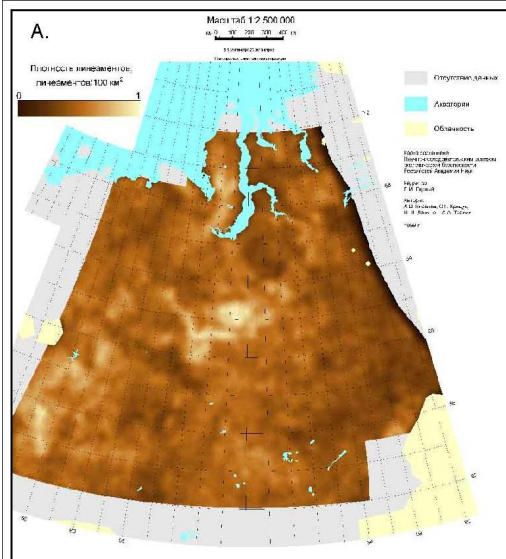
ЦМР



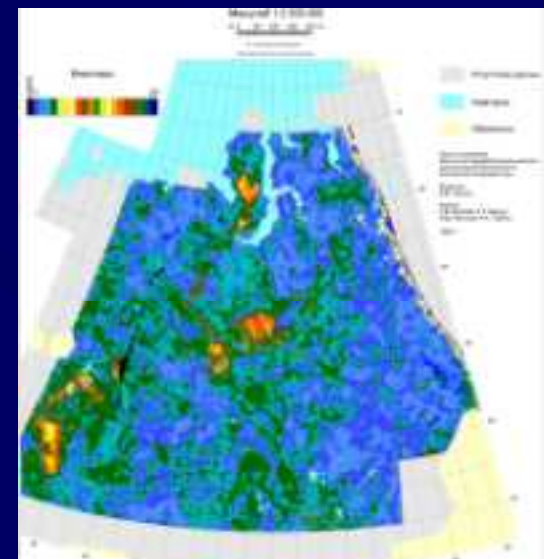
Глубина Мохо



Автоматизированный линейный анализ

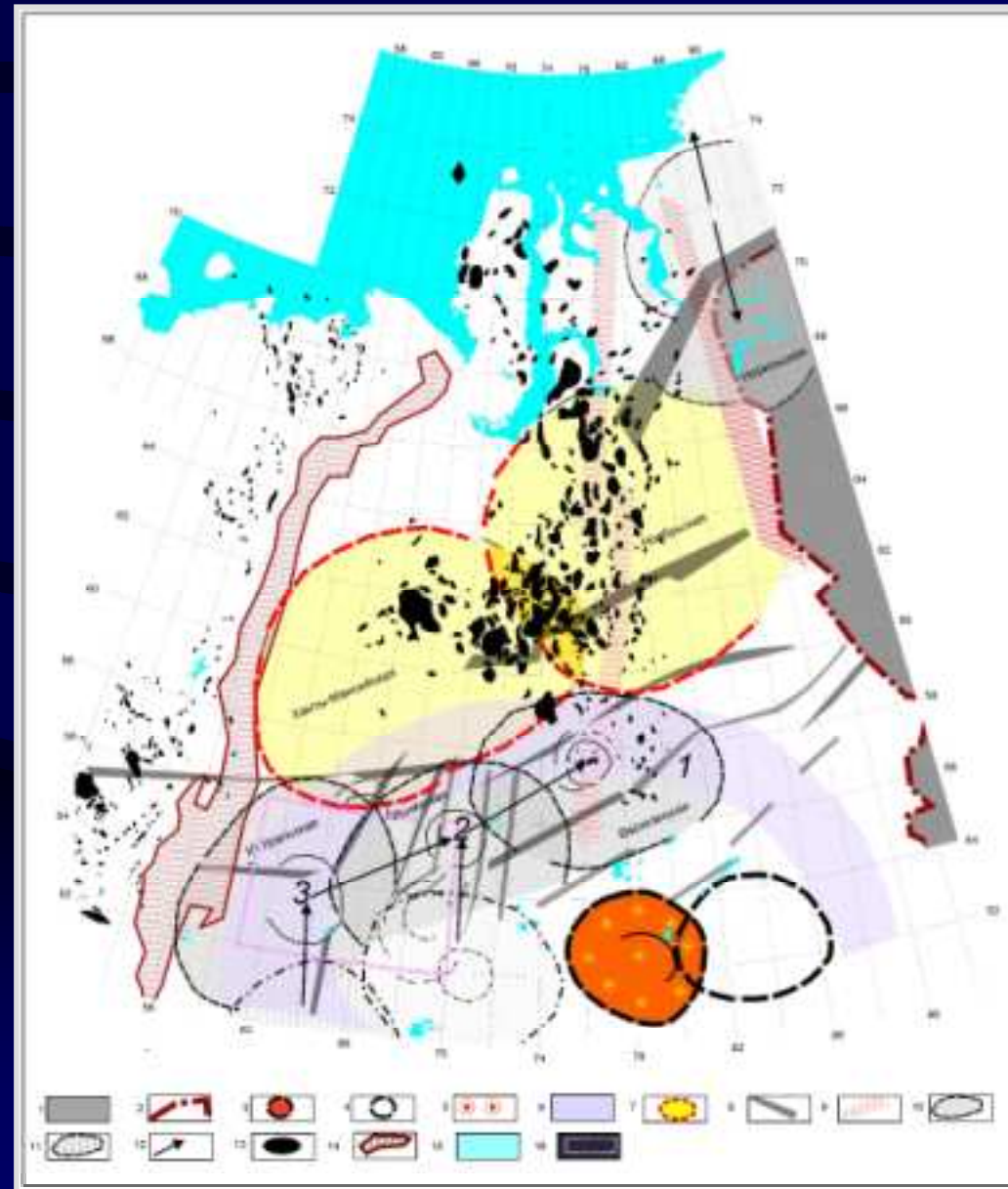


Безэталонная классификация



Комплексный подход к прогнозированию

Упрощенная схема тектонического дешифрирования
цифровых материалов спутника NOAA(AVHRR)



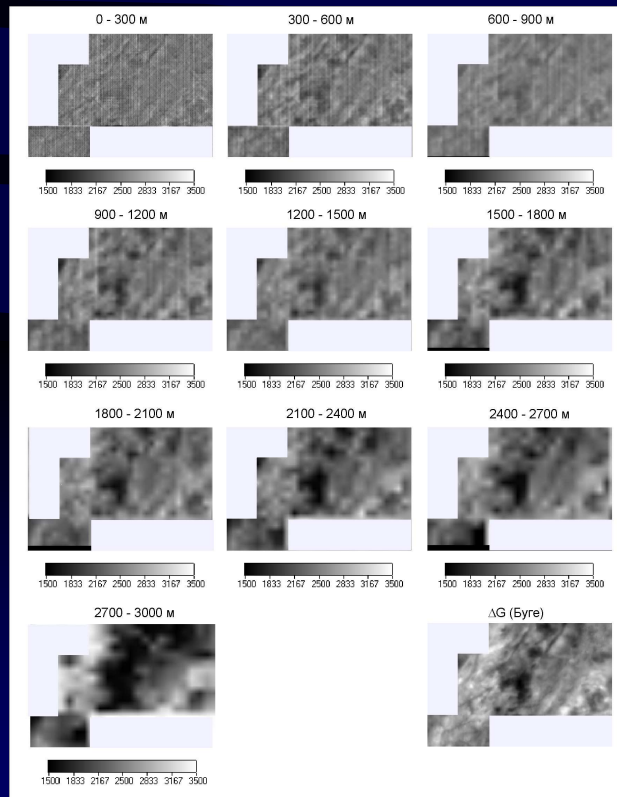
Комплексный подход к прогнозированию



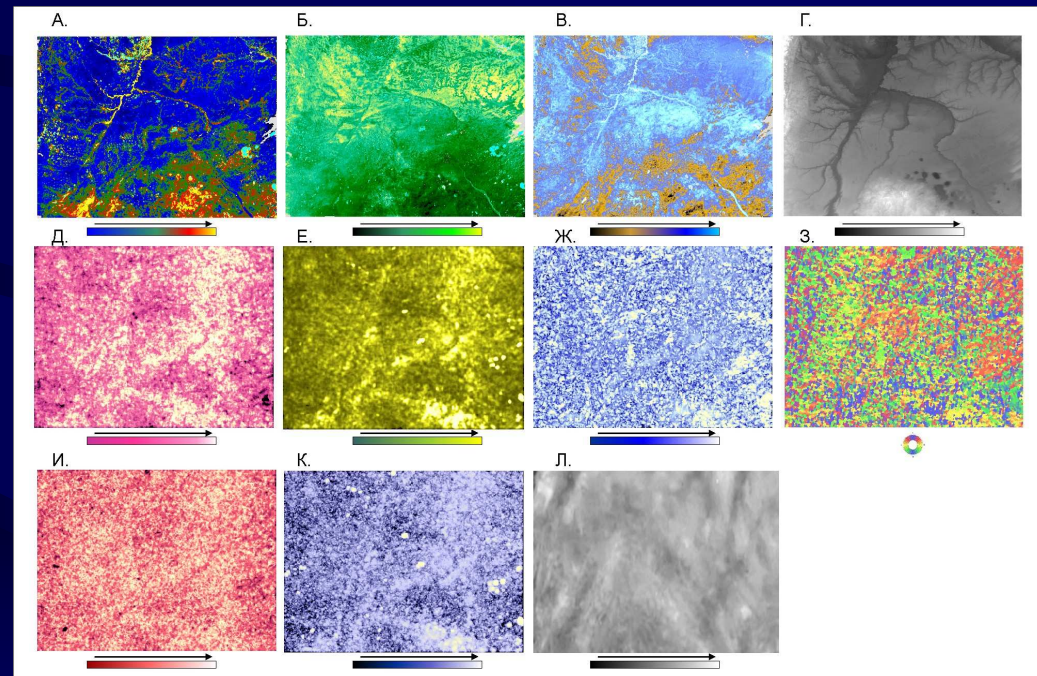
1. Область подготовки данных
2. Прогнозный участок

«Куб данных»

Гравиразведка

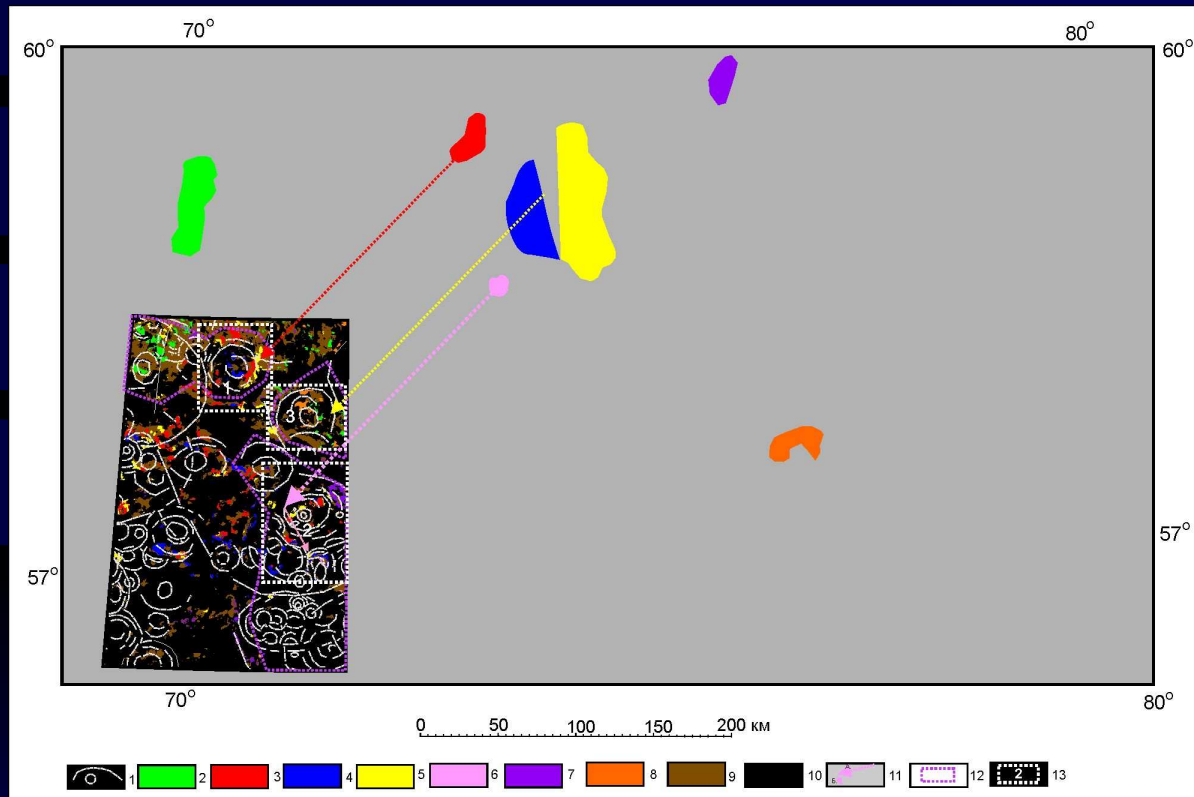


ДЗЗ

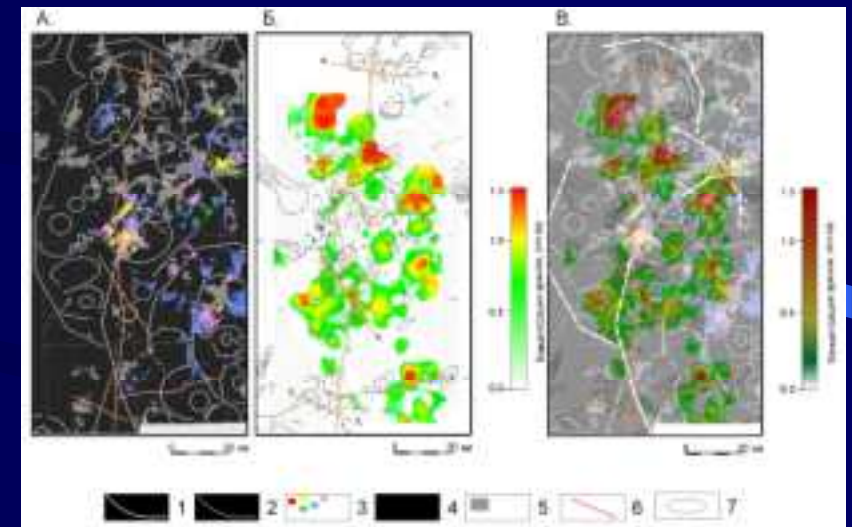


Комплексный подход к прогнозированию

Схема прогноза нефтегазоперспективных площадей по результатам качественного и количественного анализа МДЗЗ и геофизических материалов



Сопоставление результатов комплексной обработки МДЗЗ и геофизических данных с материалами наземной геохимической съемки.



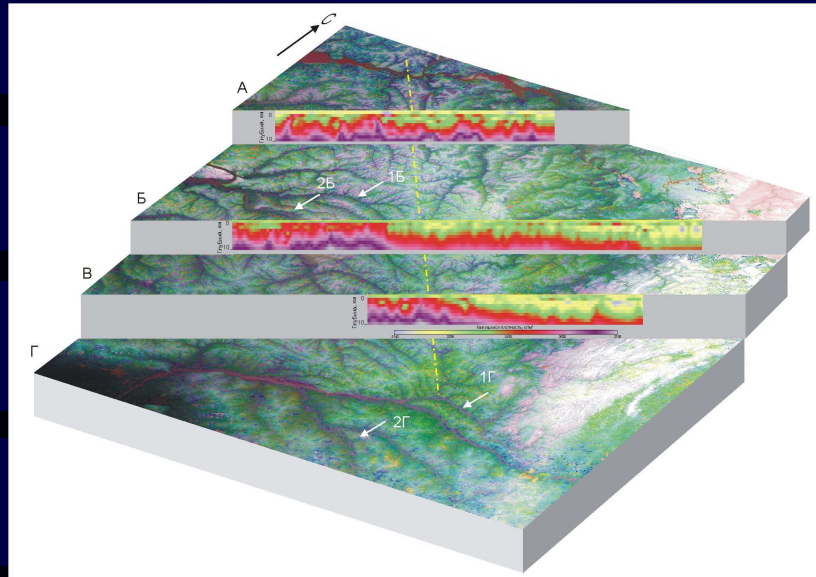
Вероятности

Опознавания, P_d	Пропуска объекта, P_g	Ложной тревоги, P_f
0.65	0.11	0.11

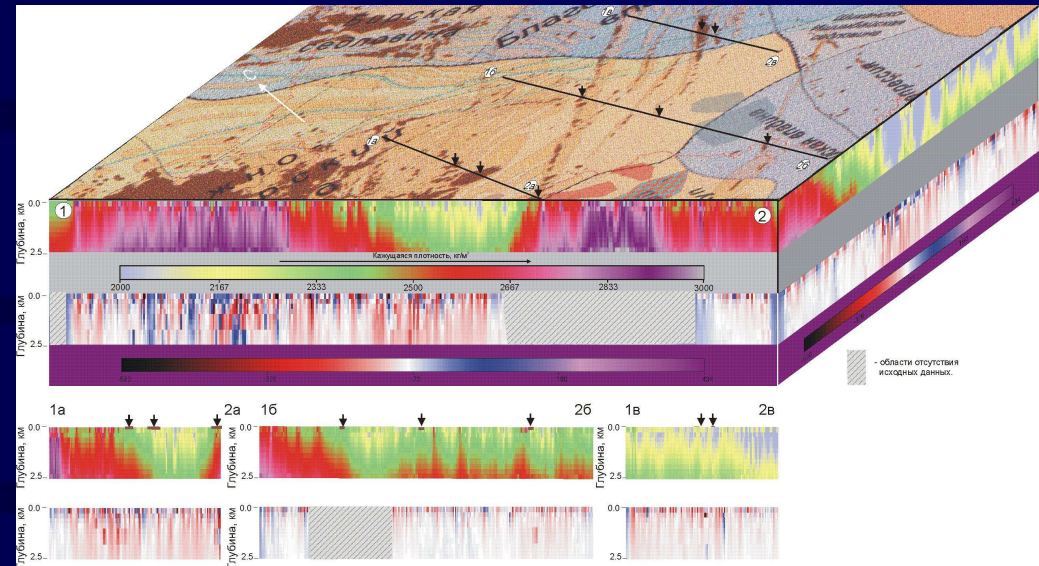
Волго-Уральская НГП

3-D диаграммы

Анализ структуры



Анализ закономерностей размещения МПИ



Анализ структурной позиции выделенных участков



Перспективы

1. Дополнение традиционной геологической карты:
 - «кубом» пространственно распределенных локализованных характеристик свойств земных недр, полученных по результатам наземных, авиационных и спутниковых съемок;
 - многомерными моделями геологических тел;
 - алгоритмами и программами распознавания.
2. Решение обратной задачи, направленное на построение трехмерных моделей геологической среды по результатам спутниковых съемок.
3. Совместная обработка дистанционных и геофизических материалов с целью построения трехмерных моделей геологической среды.