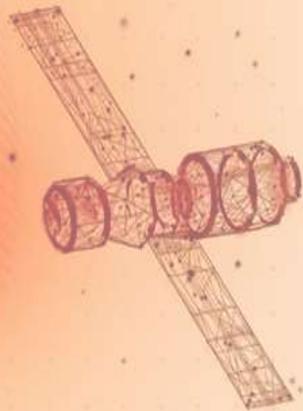


# Center of Aerospace Technologies Ltd

Радио-Тепловизорные Технологии для  
строительства



# Center of Aerospace Technologies Ltd



Основой качественного проектирования и строительства зданий, сооружений и других объектов инфраструктуры, а также трасс магистральных дорог, трубопроводов и других линейных сооружений является достоверная информация об инженерно-геологическом строении основания строительной площадки и геодинамических условиях района строительства. Одним из новейших методов изучения территории строительства на предпроектной стадии является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Радио-Тепловизионная технология (РТТ), которой владеет наша компания является элементом ДЗЗ, применяется для решения широкого спектра геологических задач по всему миру.

В Center of Aerospace Technologies Ltd. накоплен большой опыт исследований с целью изучения геологического и тектонического строения территории, картирования разломов земной коры, прогнозирования опасных геологических процессов. РТТ зарекомендовала себя как рабочий инструмент для изучения геологического массива, а также одним из самых оперативных методов в получении информации о внутреннем строении геолого-тектонических структур, в том числе для застроенных территорий и территорий с ограниченной проходимостью.

# 1. РАДИО-ТЕПЛОВИЗОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (РТТ)



# РАДИО-ТЕПЛОВИЗОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (РТТ)

РТТ рассматривается как пассивный метод дистанционного зондирования, основанный на регистрации излучаемой тепловой энергии Земли, которая представлена непрерывным спектром электромагнитных волн и выражается физическим параметром - радиояркостная температура.

Для оперативного получения материалов по геолого-тектоническим условиям площадки (трассы) строительства наиболее информативными являются методы, обладающие эффектом "просвечивания" Земной коры, чем характеризуются **Радио Тепловизорные Технологии (РТТ)**.



# РАДИО-ТЕПЛОВИЗОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (РТТ)

В основу технологии положено дистанционное зондирование с использованием разновременных космических снимков теплового излучения электромагнитного спектра Земли.

Эффект "просвечивания" земной коры объясняется тектонически обусловленной трещиноватостью ее верхних этажей, отражающейся в тепловом поле Земли и на дневной поверхности в рельефе, и в подповерхности.

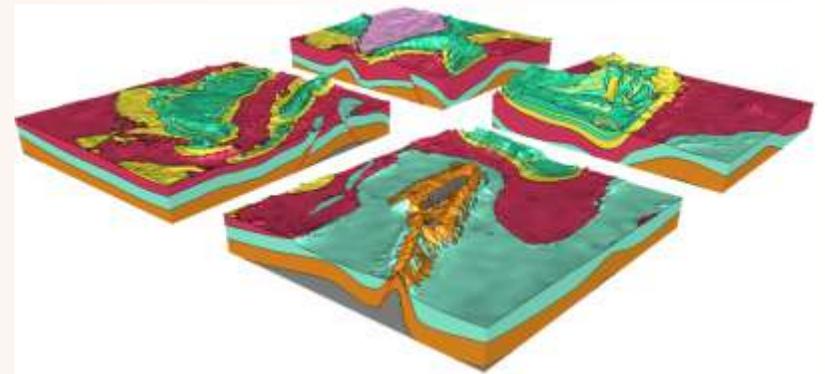
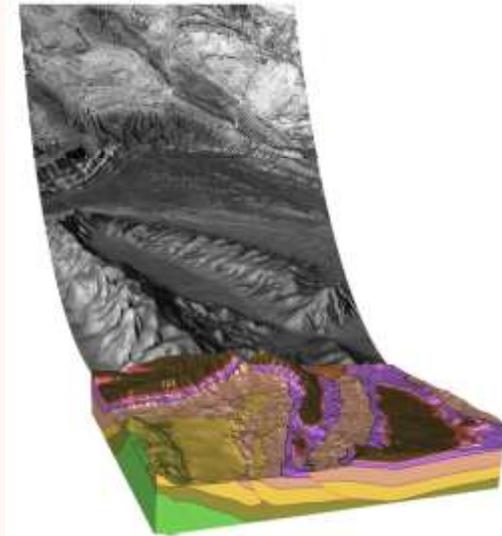
В качестве исходных данных используется информация, полученная со спутников Земли в радиотепловом диапазоне электромагнитных волн (Landsat 8 (OLI/TIRS), GCOM-W1 (AMSR-2), ASTER/GDEM, Sentinel и др.).

Космические снимки в радиотепловом диапазоне являются исходной информационной основой для геофизической интроскопии при наличии соответствующего инструмента обработки (в нашем случае это Программное обеспечение собственной разработки), дешифрирования и целевой интерпретации.

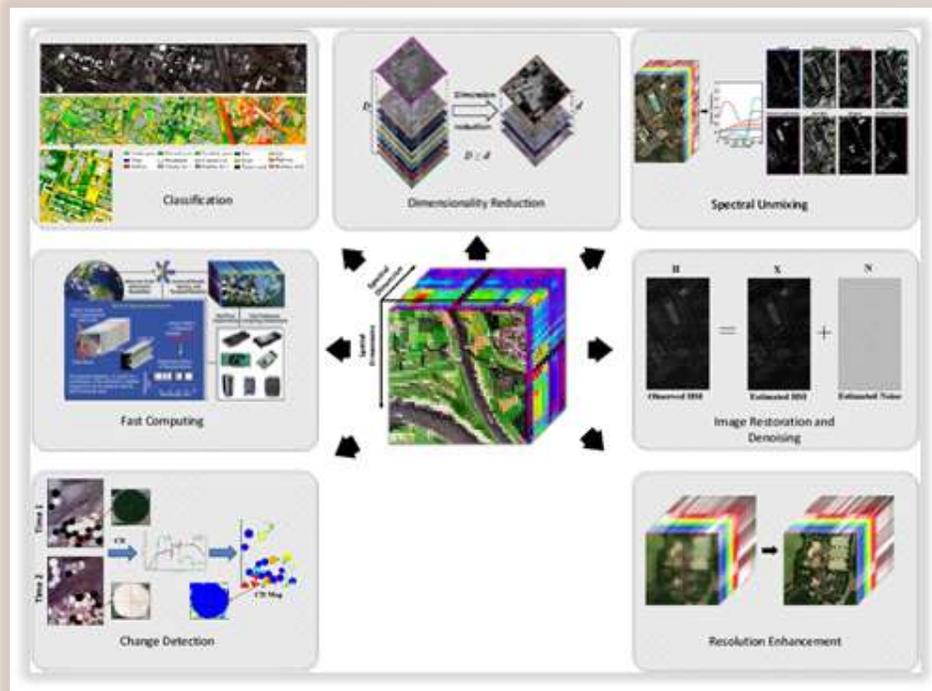
Обработка космических снимков производится в Программной среде (путем обучающей выборки) с построением модели 3D куба.

# РАДИО-ТЕПЛОВИЗОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (РТТ)

Существенное отличие РТТ заложено в алгоритме обработки аэрокосмических снимков: значение контраста радиоярких температур  $[\Delta T]$  и плотность теплового потока используются для расчета и визуализации всех неоднородностей Земной коры, включая разломы различных рангов. Кроме того, программа обработки позволяет вводить бесконечное множество точек, несущих исходную априорную информацию о геологическом разрезе, повышать температурную чувствительность и разрешающую способность съемки, и, как следствие – получать более достоверную и более точную картину строения Земли в процессе интерпретации.



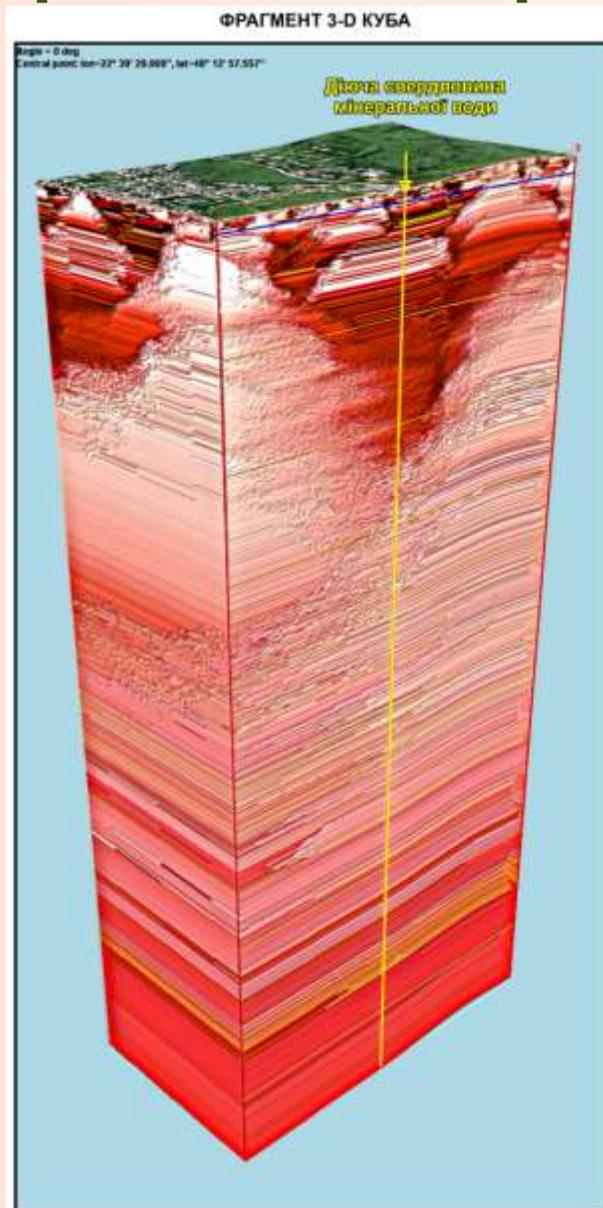
# Построение геотермической модели 3D куба



Построение геотермической модели 3D куба осуществляется за счет комбинации нескольких микроволновых каналов, далее можно рассчитать информацию результирующих вертикальных профилей радиояростной температуры. Одним из элементов построения геотермического 3D куба является применение технологий повышения температурной чувствительности в каждой точке куба (пикселе). Например, метод генерализации.

Применив элементы дешифрирования к подвергнутому цифровой обработке интегральному тепловому космоснимку поверхностям мы получаем послойные геотермические сцены, которые составляют объемный геотермический 3D-куб.

# Построение геотермической модели 3D куба



Фрагмент 3-D куба.  
Пример построения  
объемных вертикальных  
разрезов по данным  
геотермического 3-D куба

# Построение геотермической модели 3D куба

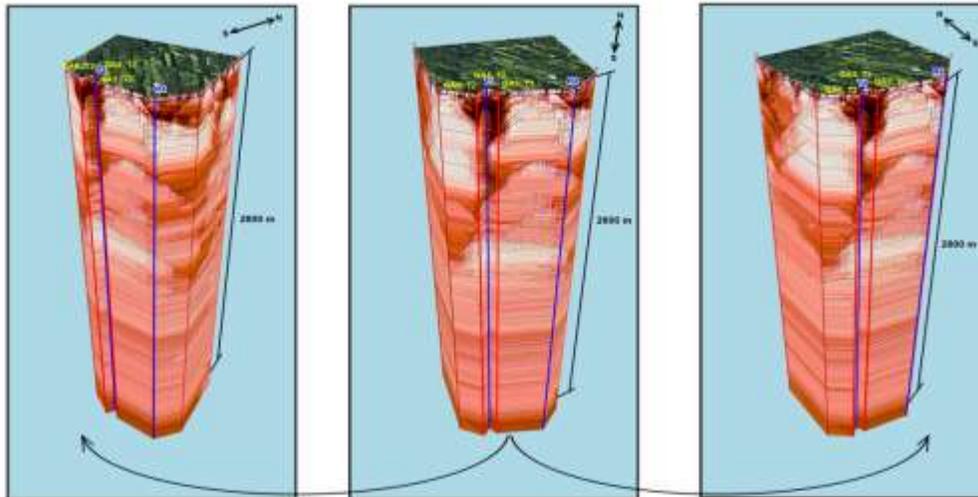


Fig 5.38 Объемный вертикальный разрез 3DV2. Построен по данным геотермического 3D куба масштаба 1:25 000.

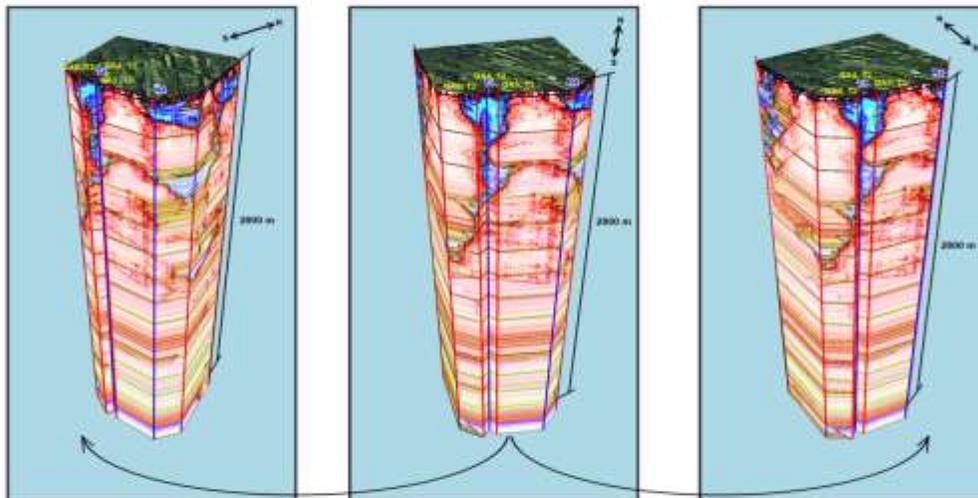


Fig 5.39 Объемный вертикальный разрез 3DV2. Выполнено тематическое контрастирование.

- Легенда**
- Проекция линии выреза фрагмента 3D куба, используется для построения объемных вертикальных разрезов.
  - Расположение геодезической площадки ВМЮлор.
  - Расположение буровых скважин ОТК.
  - Точка, соответствующая скважине ОТК R268-R372.
  - Расположение рекомендованных скважин для первоочередного бурения на геодезической площадке ВМЮлор. По данным вертикальных геотермических разрезов QA5, QA6.
  - Рекомендованные скважины для первоочередного бурения на геодезической площадке ВМЮлор. По данным вертикальных геотермических разрезов QA5, QA6.
  - Буровые скважины ОТК.
  - Угловая стрелка, осязающая разворот разрезов

- Примечания:**
- 1) Обозначение горных пород геологического разреза приведено на рисунках 5.25, 5.26 (Лист №12 "Протоформа Б" Векна 2)
  - 2) Координаты и глубины скважин, рекомендованных для первоочередного бурения на Геодезической площадке ВМЮлор, приведены на Рис. 5.27-5.33 (Лист №13 "Протоформа Б" Векна 2)

Пример построения и интерпретации объемных вертикальных разрезов по данным геотермического 3-D куба

# Оптимальные масштабы построения 3D моделей. Возможности съема информации с модели 3D куба

Используя метод РТТ и возможности спутниковых радио-тепловизорных данных можно создавать 3D модели Земли или других планет в масштабах от М1:50 000 000 до М1:10 000. Зависит от глобализации или детализации геологических задач. Для решения задач проектирования и строительства наиболее применимые масштабы 1:25 000 – 1:5 000. В ближайшее время можно ожидать получение материалов с использованием низколетающих летательных аппаратов для построения 3D моделей в масштабах М1:5 000 до М1:500.

Съем информации в любой точке 3D куба возможен построением горизонтальных разрезов любой формы и размеров по огибающей рельефа местности или путем среза (как ножом) с заданной дискретностью расстояния между слоями.

Съем информации в любой точки 3D куба возможен также построением вертикальных разрезов любой протяженности с шагом дискретности пиксела по горизонтали. Или построением 3D объемных разрезов (перспектива) любой формы в любом направлении с шагом дискретности пиксела по горизонтали и вертикали. С любой верхней подложкой которая заложена в базе данных (топографическая карта, снимок, рельеф, тематическая карта и др.).

# Дискретность, точность, детализация по площади и по глубине

Детализация приповерхностных скин-слоев зависит от детализации тепловых ИК – снимков. Например, ИК-снимки тематического картографа Landsat-8, считаются корректными для масштабов работ не крупнее М 1:25 000 по горизонтали и не крупнее М 1:10 000 по вертикали. ИК-снимки тематического картографа Aster, можно считать корректными для масштабов работ не крупнее М 1:10 000 - М 1:5 000.

Для этих и более крупных масштабов так же можно использовать спутниковые радиометры: AVHRR, MODIS, AMSR, SSMI, WINDSAT, VIIRS, ATMS и другие.

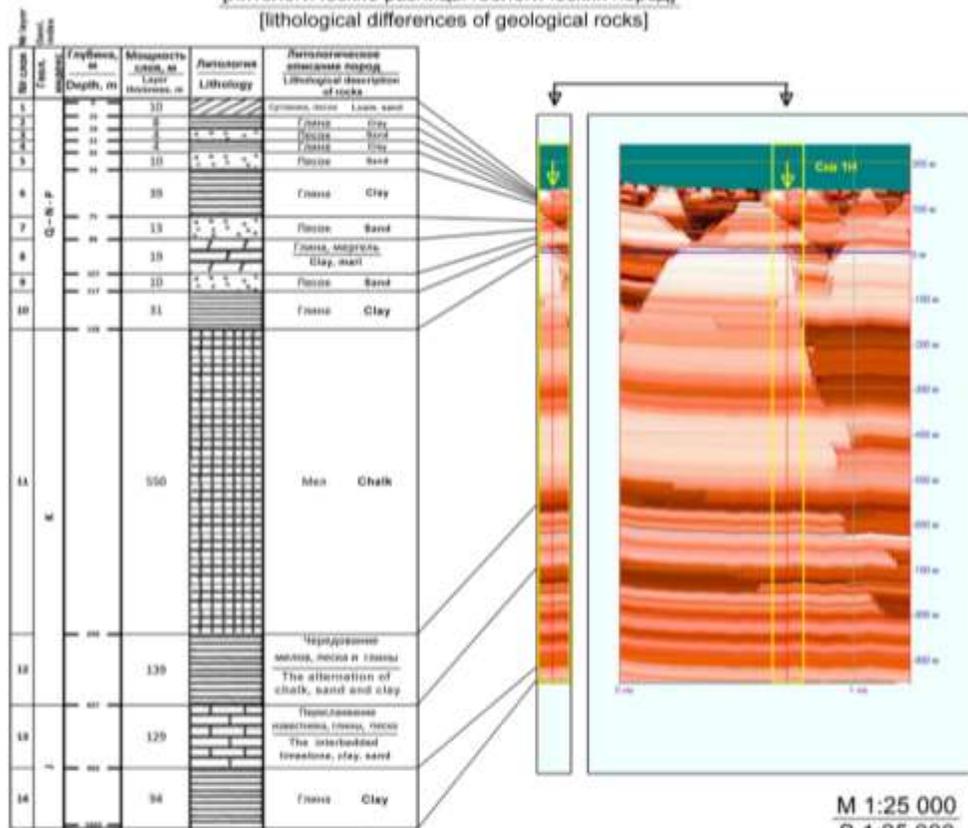
Существуют технологии восстановления разрешающей способности изображений: ИК-снимки можно реализовать в масштабах работ в 2-5 раза детальнее (используя технологии восстановления разрешающей способности, детализации изображений). Практически можно детализировать изображения, используя материалы Landsat и Aster до 2.5 м и 1.25 м соответственно.

Примеры детализации геологического разреза на вертикальном геотермическом разрезе показаны на **слайдах 12, 13**, где четко выделяются цветом и тоном литологические разности пород, выделенные по данным бурения.

# Выделение литологических интервалов разреза скважины по данным РТТ

ФРАГМЕНТ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ И ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗРЕЗА  
FRAGMENT OF LITHOLOGICAL COLUMN AND GEOTHERMAL VERTICAL CUT

[литологические различия геологических пород]  
[lithological differences of geological rocks]



M 1:5 000  
S 1:5 000

интервал фрагмента разреза от дневной поверхности до глубины 1060 м

Fragment interval from the surface to a depth of 1060 m

ЛЕГЕНДА  
LEGEND

линия расположения скважины

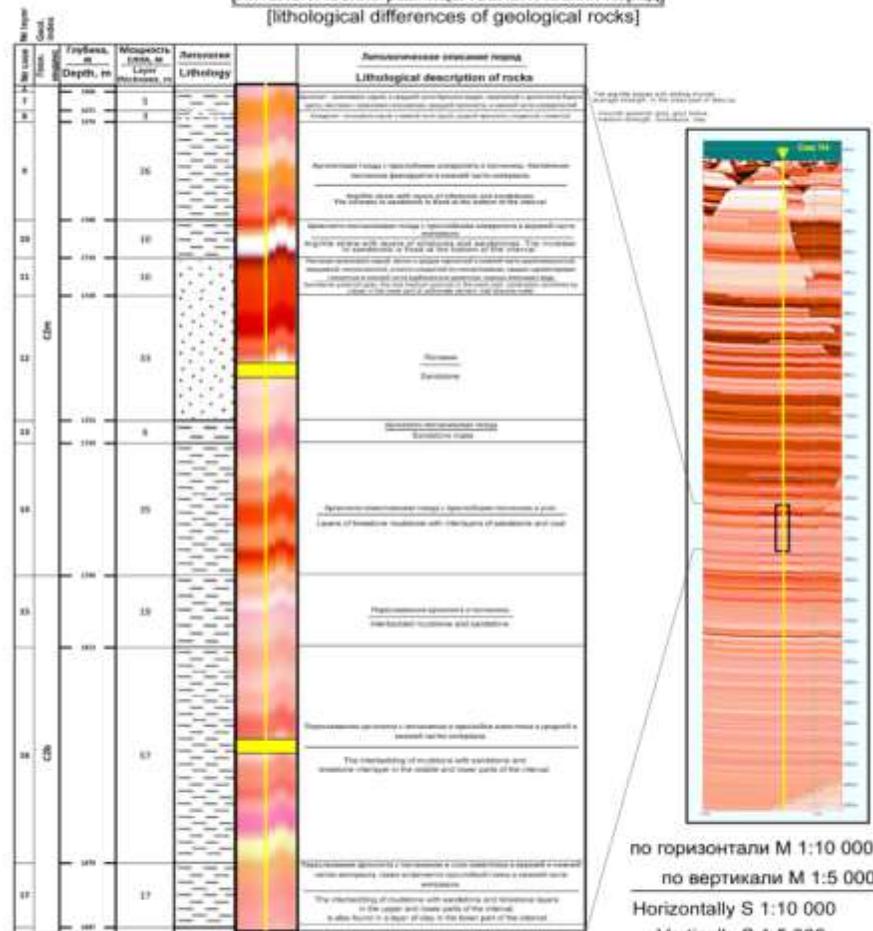
well location

линия уровня моря  
sea level line

M 1:25 000  
S 1:25 000

ФРАГМЕНТ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ И ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗРЕЗА  
FRAGMENT OF LITHOLOGICAL COLUMN AND GEOTHERMAL VERTICAL CUT

[литологические различия геологических пород]  
[lithological differences of geological rocks]



по горизонтали M 1:500  
Horizontally S 1:500

по вертикали M 1:250  
Vertically S 1:250

ЛЕГЕНДА LEGEND

линия шкалы глубин в абсолютных отметках  
depth scale line in absolute elevations

линия размещения скважины  
well location line

по горизонтали M 1:10 000

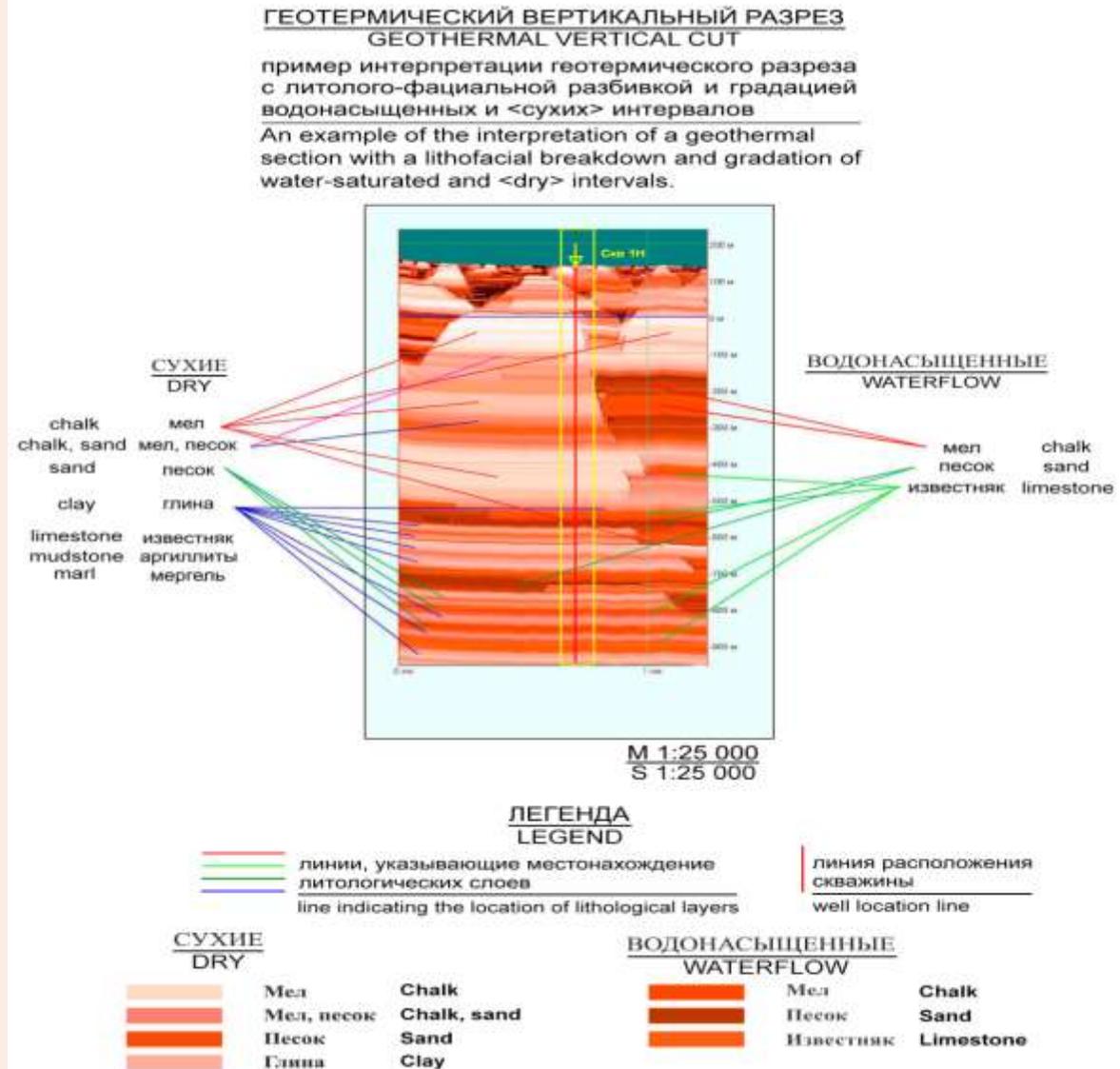
по вертикали M 1:5 000

Horizontally S 1:10 000

Vertically S 1:5 000

# Выделение литологических интервалов разреза скважины по данным РТТ

Пример выделения маловлажных и водонасыщенных литологических интервалов разреза скважины по данным РТТ



# Калибровка модели

Калибровка модели 3D куба осуществляется для уточнения положения и глубины залегания структурных неоднородностей геологического разреза, путем сравнения с эталонным объектом например, разведочной скважины.

Для этих целей используется, в роли эталонного объекта материалы инженерно-геологических изысканий прежних лет.

Для корреляции используется график зависимости номенклатуры слоя (множества слоев) от глубины. Данные получены эмпирическим путем при калибровке. Выделяется опорные слои (водоносный горизонт, кристаллический фундамент, просадочные породы и т.д.) по однозначным инженерно-геологическим материалам.

Следует отметить: чем больше используется достоверного инженерно-геологического материала по исследуемому участку (выборка), тем точнее калибровка, и как следствие, геотермический куб максимально отражает геологическое строение исследуемой площади (трассы).

Примеры тестового участка в районе в Днепропетровской области (Украина) показаны на **слайде 15**

# Тестовый участок

Вертикальный геотермический разрез через постоянно действующий родник в Днепропетровской области, Украина. Обводненная разломная зона. Напорные воды. Выход подземных вод на поверхность рельефа.

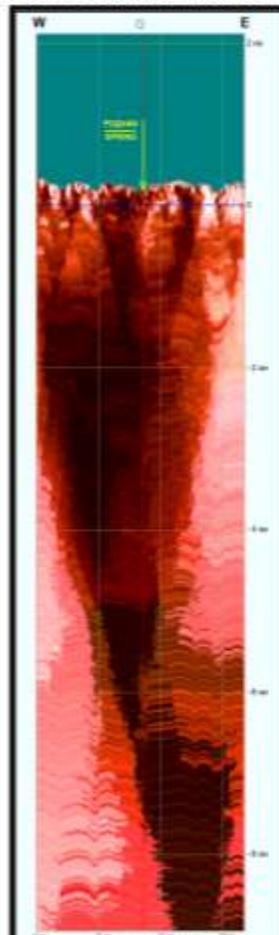
УКРАИНА. РОДНИК. НАПОРНЫЕ ВОДЫ. ФРАГМЕНТ РАЙОНИРОВАНИЯ. ТЕСТ.  
UKRAINE. SPRING. PRESSURE WATER. FRAGMENT OF ZONING. TEST.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ.  
ФРАГМЕНТ СПУТНИКОВОГО СНИМКА.  
LOCATION OF VERTICAL GEOTHERMAL SECTIONS.  
FRAGMENT OF SATELLITE IMAGE.



M 1:500 000

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ W-E  
HORIZONTAL GEOTHERMAL SECTION W-E

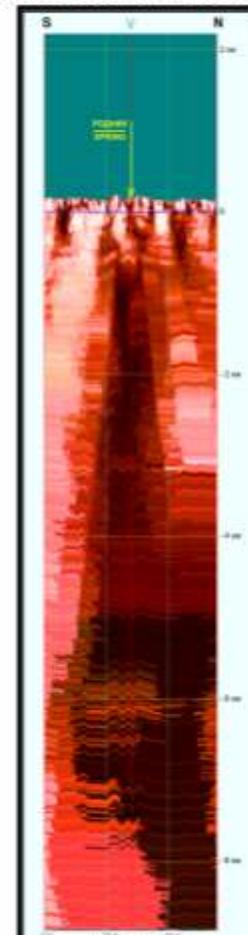


НАСЧУТАС / SCALE

HOR: M 1:500 000

VERT: M 1:10 000

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ S-N  
VERTICAL GEOTHERMAL SECTION S-N



НАСЧУТАС / SCALE

HOR: M 1:500 000

VERT: M 1:10 000

Legend:



Разрезы построены с использованием Радио-Тепловизионной Технологии (РТТ)  
The sections are built using Radio-Thermal Imaging Technology (RTT)

# Разломы, выделенные методом РТТ

Одним из главных достоинств метода является возможность картирования и определения пространственного положения зон тектонических разломов и разрывных нарушений, которые создают блоковый характер строения Земной коры, влияют на формирование обводненных трещинных зон в скальных породах, проявляются как ослабленные зоны в осадочной толще горных пород, в рельефе – в виде оврагов, балок.

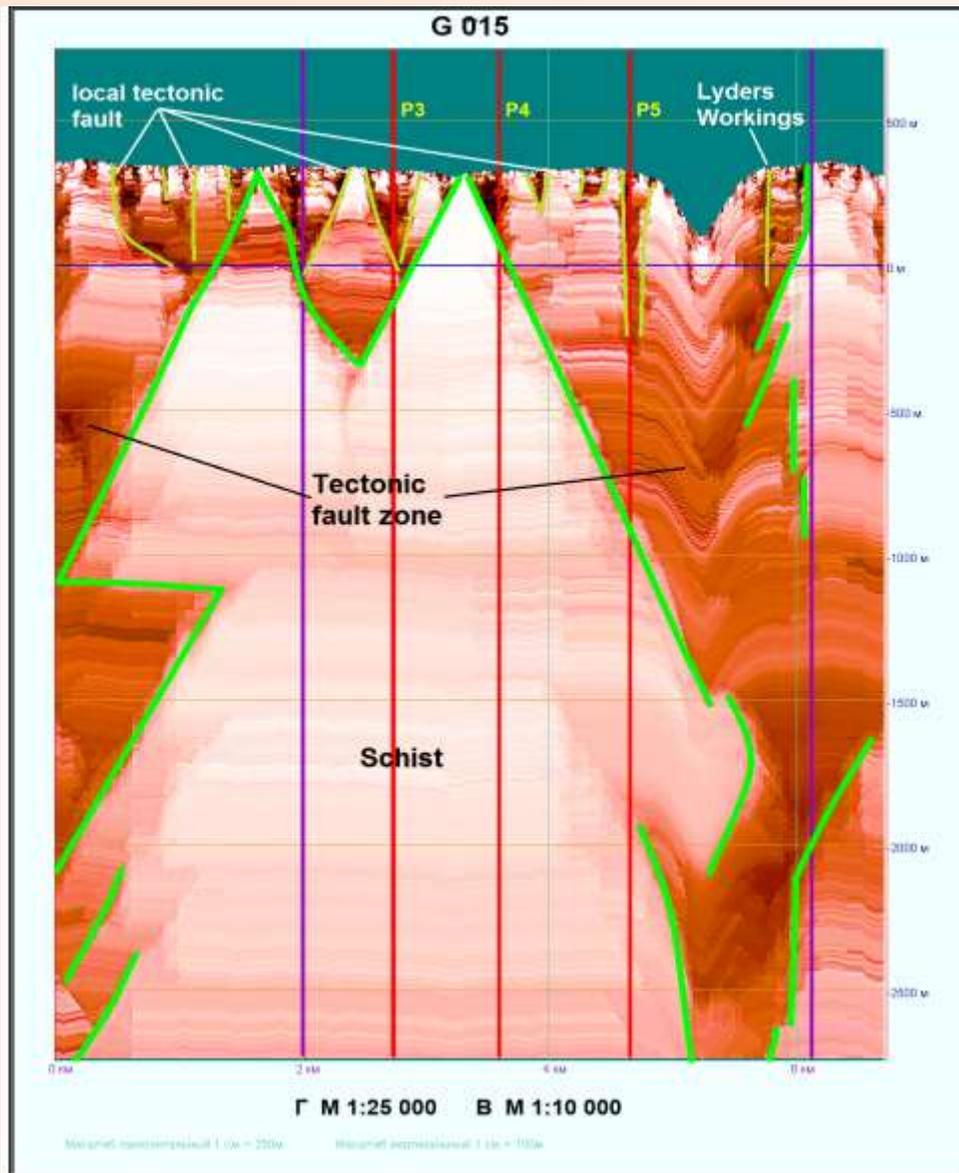
Используя материалы РТТ, получаем объемную пространственную картину разломных зон и разрывных нарушений с возможностью прослеживания простирающейся деструктивной зоны разлома в любом направлении, как по вертикали, так и по горизонтали, выявлять корни глубинных разломов и блоков, связь с корой и мантией.

Разрывные нарушения являются ярким примером неоднородностей геотермического поля.

Алгоритм Программы обработки космических снимков предусматривает блоковое строение земной коры.

Блоки любого порядка отделены друг от друга нарушениями сплошности.

# Разломы, выделенные методом РТТ



Пример построения и интерпретации вертикальных разрезов по данным геотермического 3-D куба с выделением зон тектонических разломов

# Разломы, выделенные методом РТТ

Geological zoning. The Thrace Basin, Turkey. Турция. Геологическое районирование. Бассейн Фракии.

A. Geological cross section. N.Görür, A.I. Okay [Istanbul Technical University] A. Вертикальный геологический разрез  
B. Geothermal cross section Radio-Thermal Technology, Remote sensing. [2018] B. Вертикальный геотермический разрез

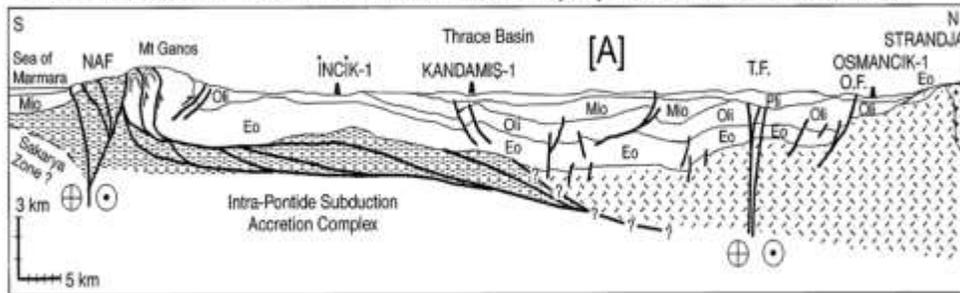
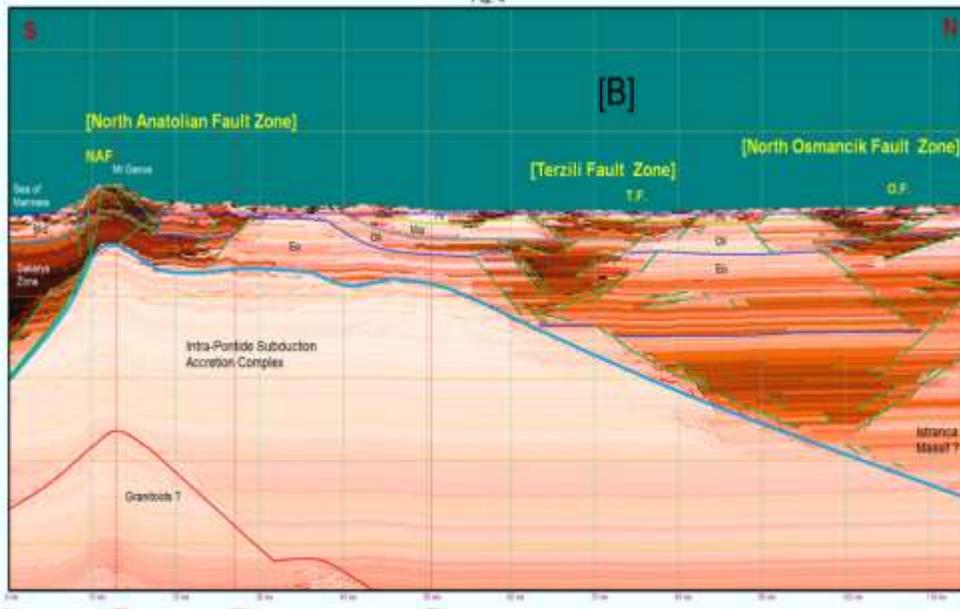


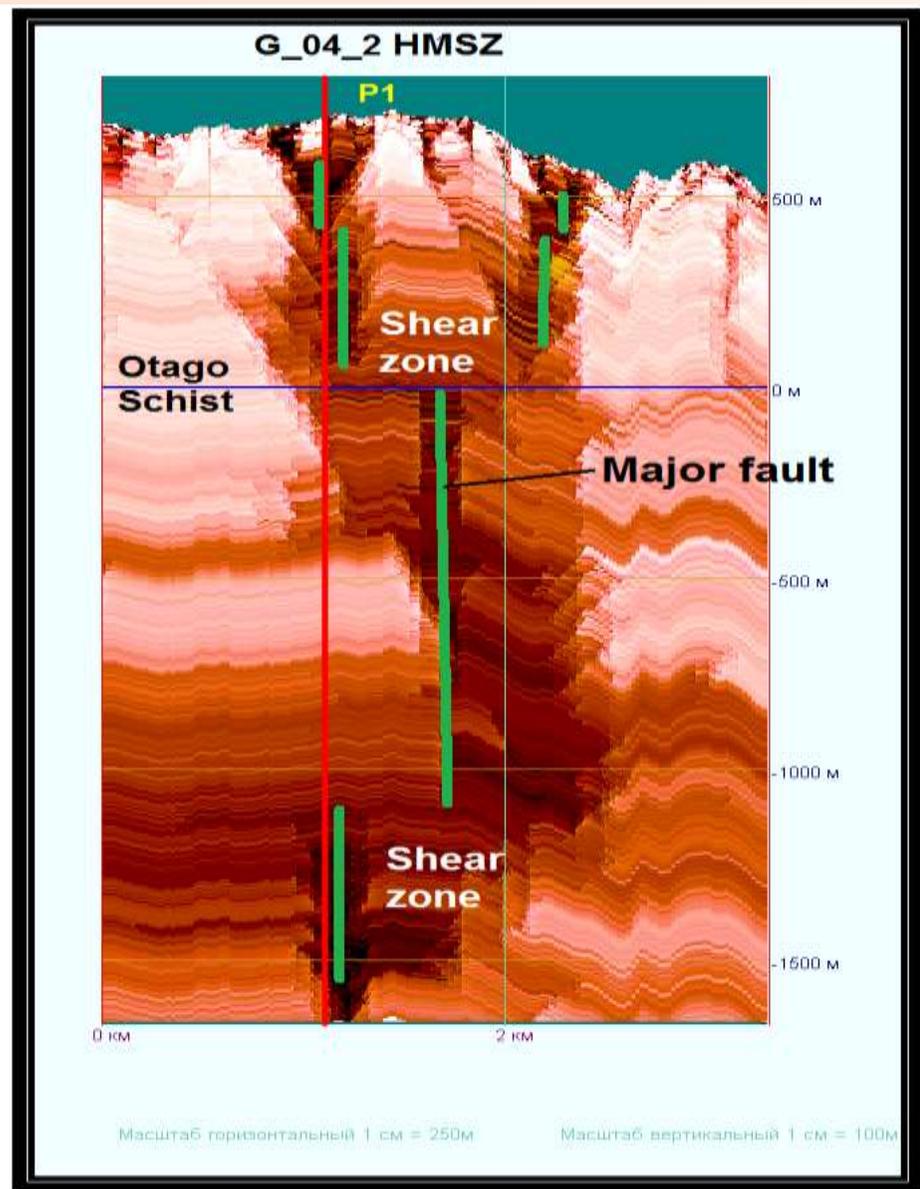
Fig. 4



ORIGINAL SCALE G M1:500 000 - V M1:50 000

Сопоставительные геологический [A] и геотермический [B] разрезы, показывающие структурные связи между бассейном Фракия и окружающими тектоническими провинциями

# Разломы, выделенные методом РТТ



Пример построения и интерпретации вертикальных разрезов по данным геотермического 3-D куба с выделением зон тектонических разломов



## **2. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ (ТРАССЫ) СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

# Основные решаемые задачи для оценки геодинамической обстановки

На предпроектной стадии проектирования зданий и сооружений, камерального трассирования линейных объектов для оценки геодинамической обстановки площадки (трассы) строительства выполняется картирование методом РТТ с построением объемной геотермической модели в масштабе 1:25 000 с детализацией потенциально опасных или заданных участков в М 1: 10 000-1: 5 000 :

- зон подповерхностных разломов, разрывных нарушений и трещиноватости;
- зон проницаемости, обводненных и подтопленных зон;
- зон оползней, обвалов;
- зон карстово-суффозионных проявлений и др.

Выполняется районирование территории (трассы) строительства с выделением и оконтуриванием участков развития опасных геологических процессов (в том числе потенциально опасных). Материалы используются для постановки инженерно-геологических изысканий, проектной подготовки строительства, в т. ч. мероприятий по инженерной защите проектируемого объекта и охране окружающей среды.

Пространственное определение зон глубинных и подповерхностных разломов разных порядков позволит выбрать наиболее устойчивые участки для возведения высотных зданий, ответственных сооружений и планирования инфраструктуры территории, наиболее эффективные инженерные решения для строительства мостовых переходов, тоннелей по трассе линейных сооружений.

# Основные подходы при РТТ- исследованиях для строительства

Учитывая тот факт, что технология РТТ относится к методам ДЗЗ, при оценке геодинамической опасности максимально эффективно используются космические данные в комплексе с имеющимися геолого-геофизическими материалами, фундаментальными структурно-тектоническими исследованиями, результатами инженерно-геологических, геофизических и геодезических работ, проведенных на территории строительства.

Особенностью проведения инженерно-геологических изысканий, необходимых для проектирования и строительства линейных сооружений, является то, что такие изыскания проводятся на участках с большой протяженностью.

Использование в качестве «подложки» карты разломно-блокового строения и карты опасных геологических процессов территории, дополненные опорными продольными и поперечными геотермическими разрезами по трассе позволит повысить качество инженерно-геологических изысканий, снизить стоимость полевых работ путем наиболее оптимального размещения разведочных скважин и точек опытных работ.

# Основные этапы РТТ- исследований для строительства

Исследования проводятся в три этапа:

**На первом этапе** проводится сбор исходного материала, анализ всех имеющихся материалов по геологическому строению, стратиграфии, сейсмическому режиму, неотектонике, истории развития рельефа, глубинному строению, напряженному состоянию и современным движениям земной коры. Иными словами, создается и анализируется региональная геолого-тектоническая база данных.

**Второй этап** подразумевает проведение собственно ДЗЗ:

- Получение и спектрометрический анализ космических снимков с целью выбора оптимального поддиапазона.
- Дешифрирование космоснимков в видимом и инфракрасном диапазонах. Ретроспективный анализ по известным участкам и их отображению на тепловых снимках.
- Построение многослойной базы данных разрывных нарушений и тектонических блоков с целью изучения особенностей геологического строения территории, а также для изучения закономерности распределения аномалий.
- Построение многослойной геотермической 3D-модели геологической среды.

# Основные этапы РТТ- исследований для строительства

Полученный геотермический 3D-куб служит базовой информацией для дальнейшей геолого-геофизической интерпретации. Интерпретация данных радиотепловизорной съемки проводится в интерактивном режиме с использованием соответствующего компьютерного оборудования и оригинального программного обеспечения и включает следующие подэтапы:

- Создание проекта в интерпретационной системе, для чего используются цифровые топографические карты соответствующих масштабов.
- Загрузка многослойной базы данных разрывных нарушений.
- Загрузка всех имеющихся геологических данных.
- Корректировка геотермического 3D-куба (фильтрация, выбор динамического диапазона в зависимости от решаемых геологических задач) и его глубинная привязка.

**Третий этап** включает обобщение всех собранных материалов, составление карты разломов, карты опасных геологических процессов и опорных геотермических разрезов в форматах, определенных техническим заданием, разработку технического отчета.

# Примеры использования метода РТТ для строительства

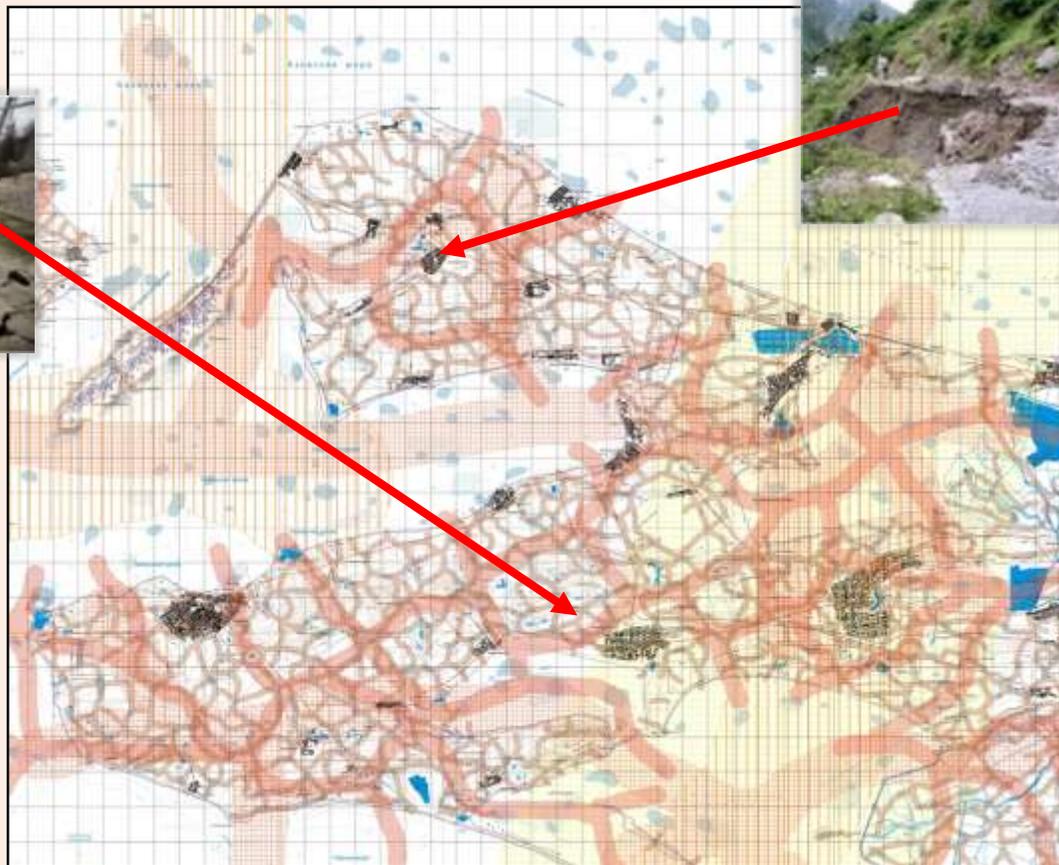
Отображение тектонических структур различных порядков, образованного линеаментными зонами



# Примеры использования метода РТТ для строительства

Зоны оползней

Зоны оползней



Объединенная  
схематическая карта  
опасных геологических  
процессов

Подповерхностные гидрогеологические структуры,  
принадлежащие различным тектоническим горизонтам  
(водные бассейны, флюиды, грязевые вулканы)



Слой 31



Слой 51



Слой 79

Зоны активности подповерхностных разрывных нарушений,  
принадлежащих различным тектоническим горизонтам



Ранг 2



Ранг 3



Ранг 4



Ранг 5



Ранг 6

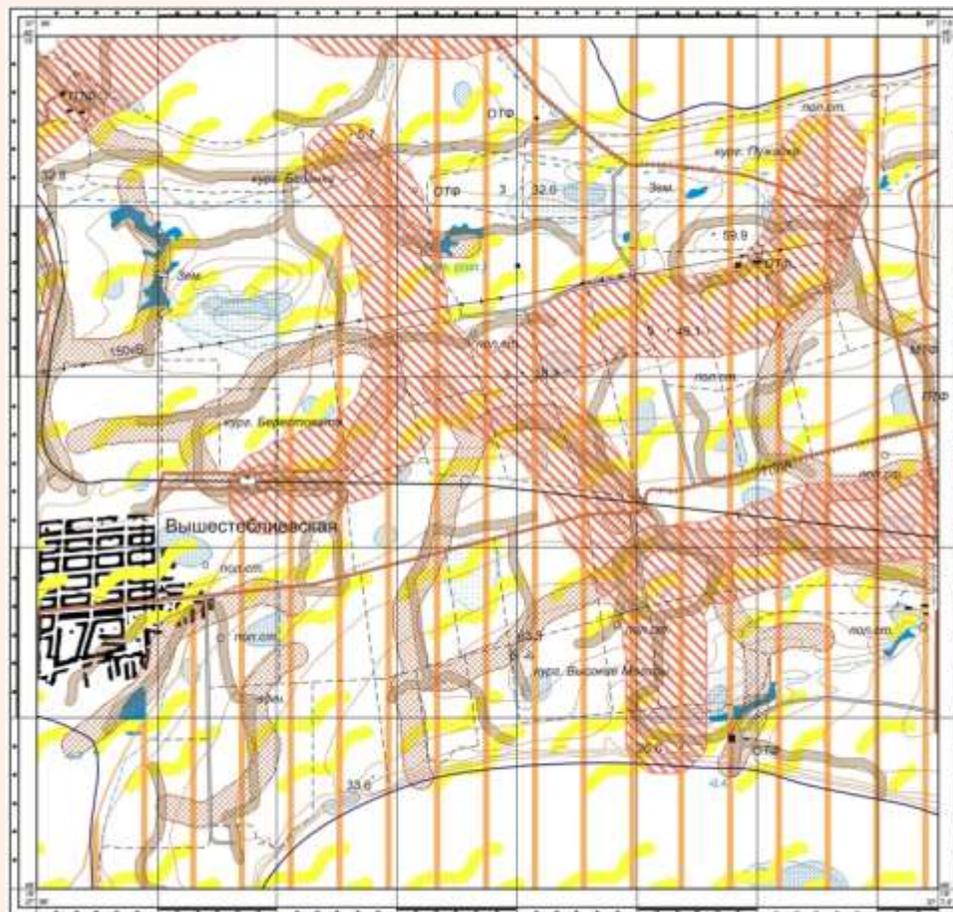


Ранг 7

# Примеры использования метода РТТ для строительства

Номенклатурный лист как фрагмент объединенной схематической карты опасных геологических процессов.

Открытые и скрытые водные потоки и бассейны, разрывные нарушения и тектонические опорные структуры верхнего строения Земли.



Подповерхностные гидрогеологические структуры, принадлежащие различным тектоническим горизонтам (водные бассейны, флюиды, грязевые вулканы)



Слой 31



Слой 51



Слой 79

Зоны активности подповерхностных разрывных нарушений, принадлежащих различным тектоническим горизонтам



Ранг 2



Ранг 3



Ранг 4



Ранг 5



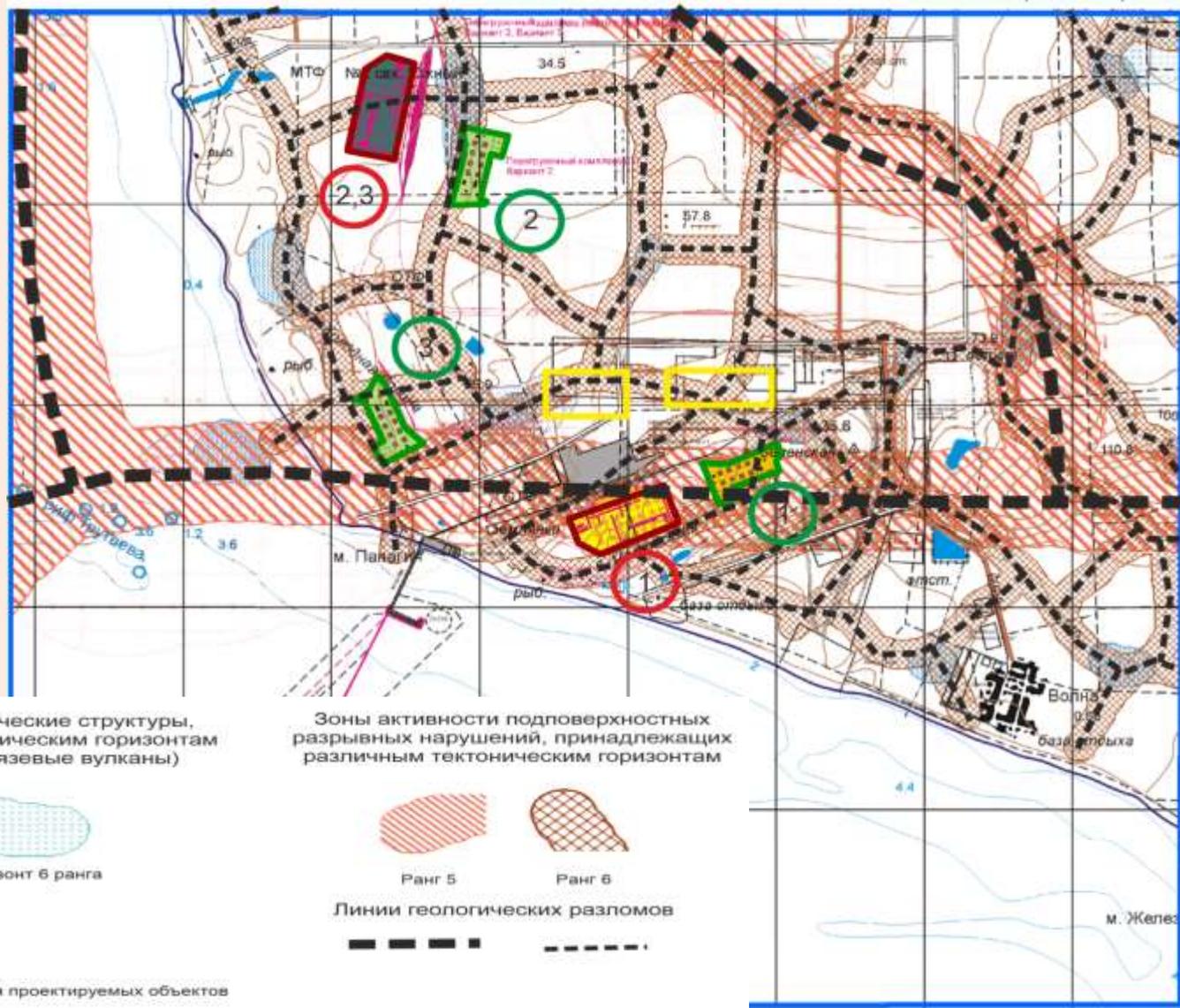
Ранг 6



Ранг 7

# Примеры использования метода РТТ для строительства

Фрагмент карты опасных геологических процессов, совмещенный с контурами проектируемых объектов нефтеналивного терминала и комплекса перевалки сжиженного углеводородного газа (СУГ).



Подповерхностные гидрогеологические структуры, принадлежащие различным тектоническим горизонтам (водные бассейны, флюиды, грязевые вулканы)



Горизонт 5 ранга



Горизонт 6 ранга

Зоны активности подповерхностных разрывных нарушений, принадлежащих различным тектоническим горизонтам



Ранг 5



Ранг 6

Линии геологических разломов



Варианты размещения проектируемых объектов



Фактическое размещение объектов

# Рекомендации для строительства

РТТ рекомендуется как обязательная составляющая при комплексном изучении территории, в том числе для целей строительства.

В целом, для решения задач строительства предлагаем выполнять радиотепловизорное исследование территории с построением геотермической модели 3D куба района размещения непосредственно зданий, сооружений, площадки и территории застройки, трассы, что обеспечит пополнение баз данных новейшей информацией о разломно-блоковом строении. Рекомендуемые масштабы 1:25 000 - 1:10 000 с детализацией заданных участков до М 1:5000.

Метод ДЗЗ РТТ является экологически безопасным. Позволяет оптимизировать экономические и экологические риски при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений.

Уверены, что исследования с применением РТТ помогут повысить уровень экологической безопасности строительства, предотвратить разрушения зданий и сооружений дать картографическую подложку с точным расположением устойчивых блоков, разломов земной коры и ослабленных зон для планирования строительства новых зданий и сооружений, автомобильных и железных дорог, мостов тоннелей и др.

# Center of Aerospace Technologies Ltd

Address: 26, Antim Pervi str., Burgas, 8000, Bulgaria;

tel.: +38 067 632 91 01

tel.: +359 89 462 00 30

e-mail: [vl.bagriyan@gmail.com](mailto:vl.bagriyan@gmail.com)