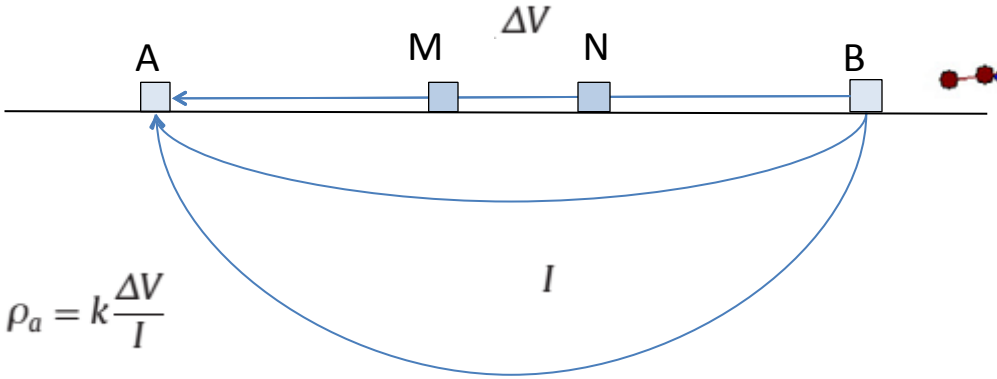
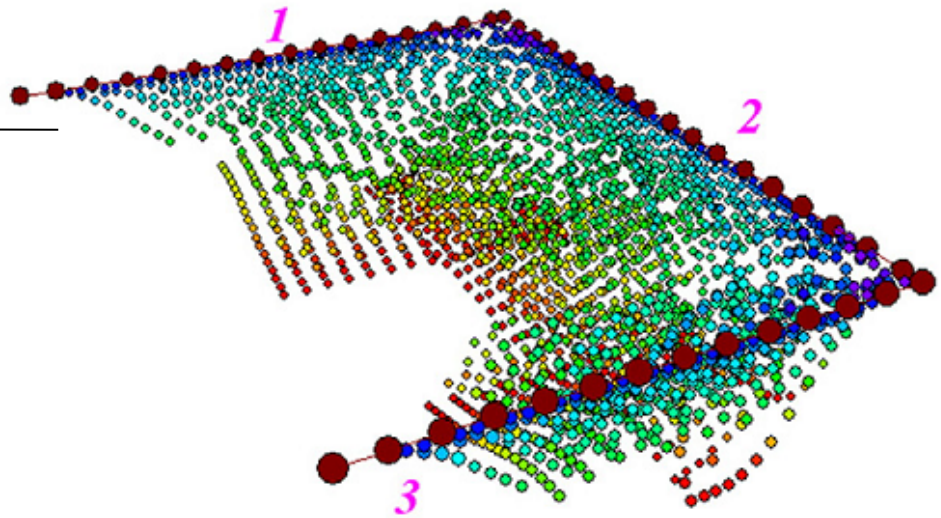
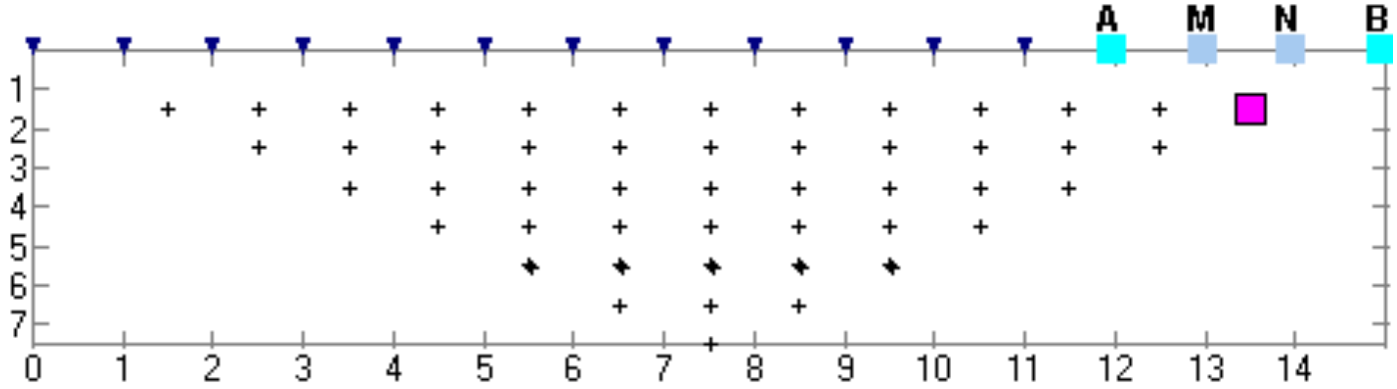
Что такое Электротомография

Электротомография – высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе.



$$\rho_a = k\frac{\Delta V}{I}$$

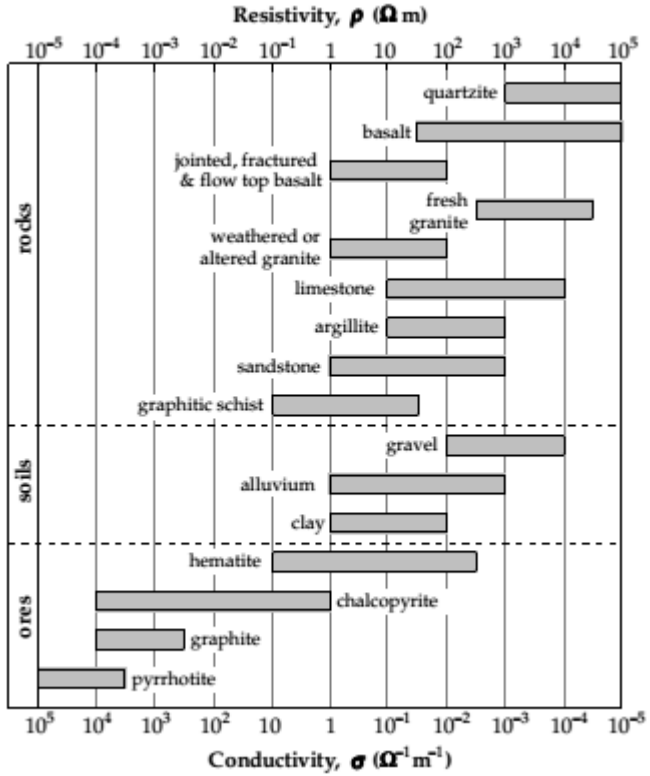




Что изучает Электротомография

Электротомография позволяет изучить распределение удельного электрического сопротивления (УЭС) в среде.

Следовательно, с помощью электротомографии можно выделять объекты с разными УЭС.



[Lowrie, 2007]

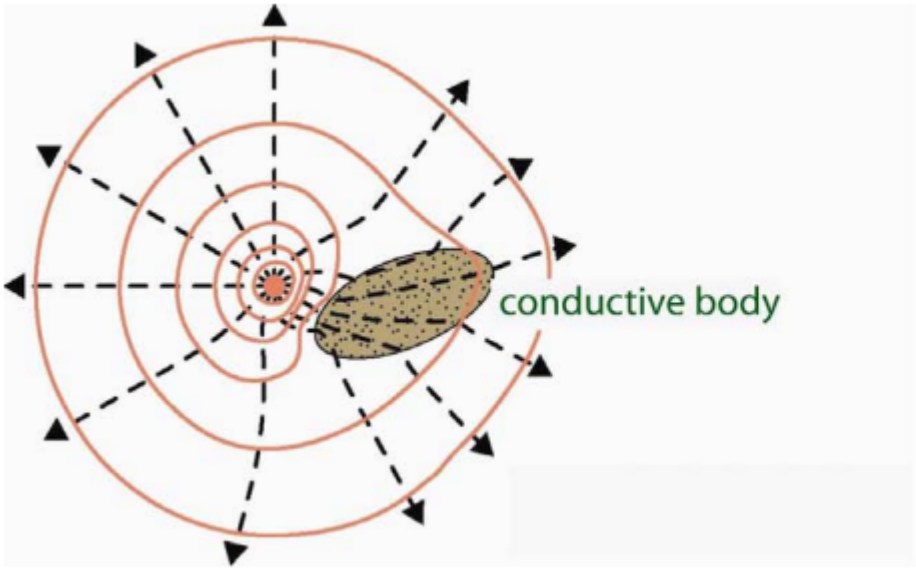
УЭС породы может сильно изменяться во времени при воздействии на неё таких факторов, как **изменение**

- флюидонасыщенности
- солёности
- температуры и т.д.

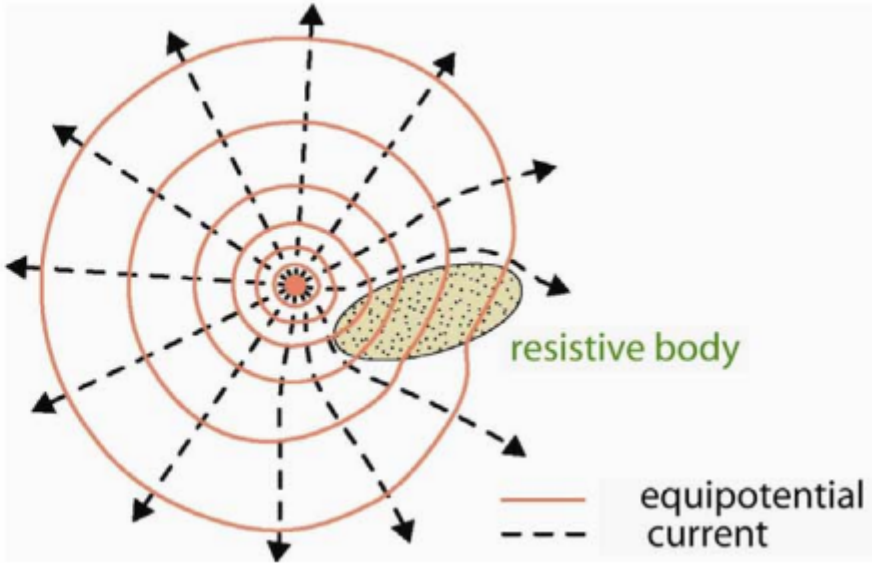
Физические основы Электротомографии

Аномалии УЭС в среде по-разному влияют на течение подаваемого тока и на распределение потенциала

проводящий объект



непроводящий объект



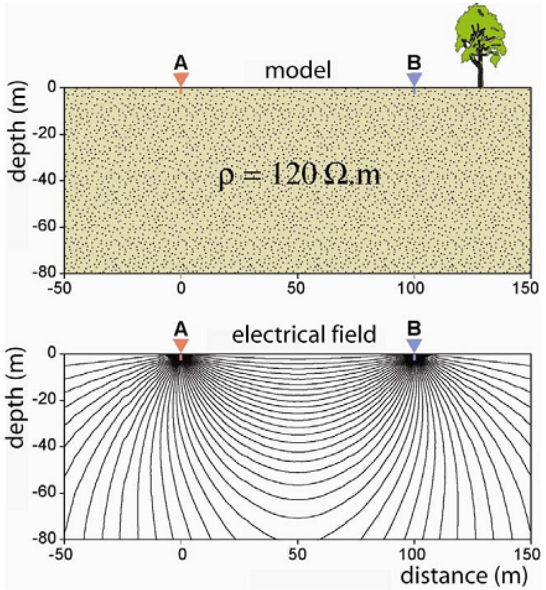
Распределение тока от одиночного электрода

[Marescot., 2010]

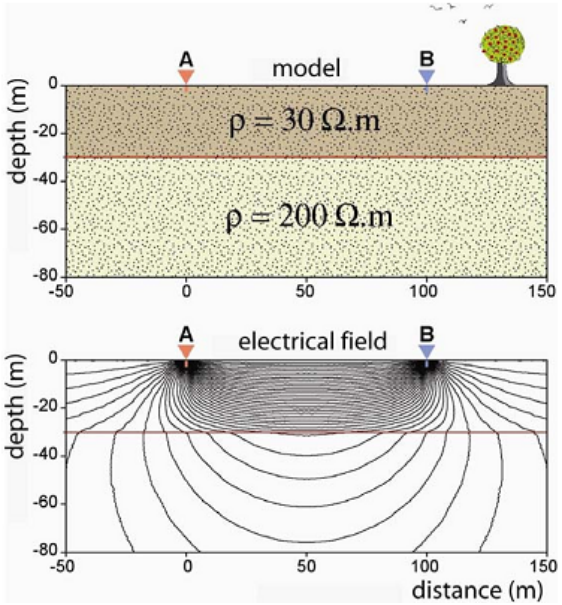
Физические основы Электротомографии

Двухслойные модели среды

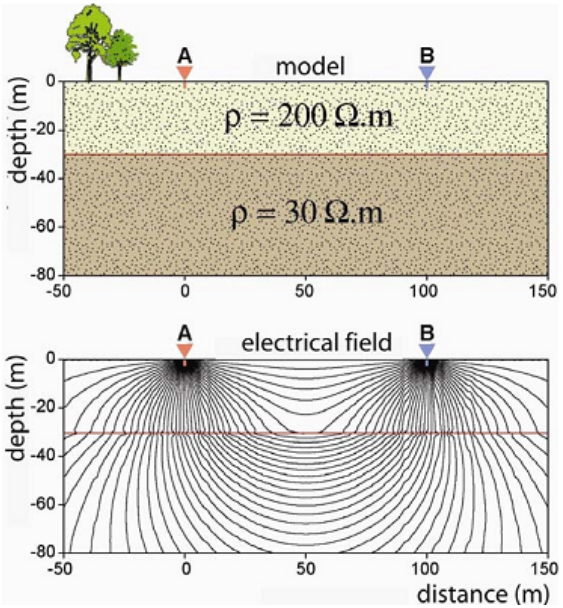
однородная среда



непроводящее основание



проводящее основание

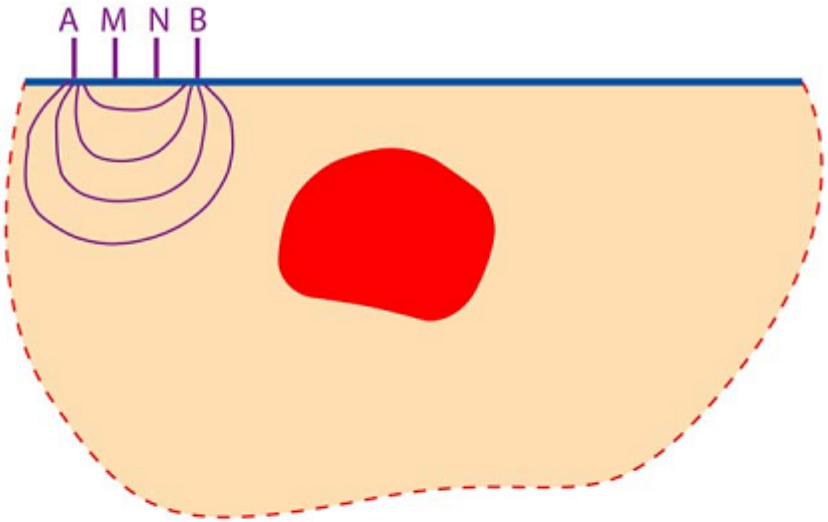


Распределение тока от двух питающих электродов

[Marescot., 2010]

Электрическое профилирование

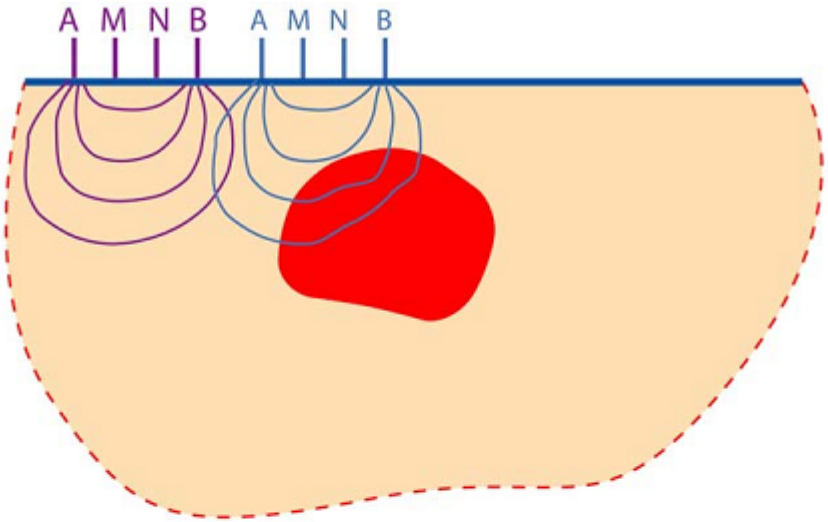
Профилирование (расстояние между электродами постоянно)



[Marescot., 2010]

Электрическое профилирование

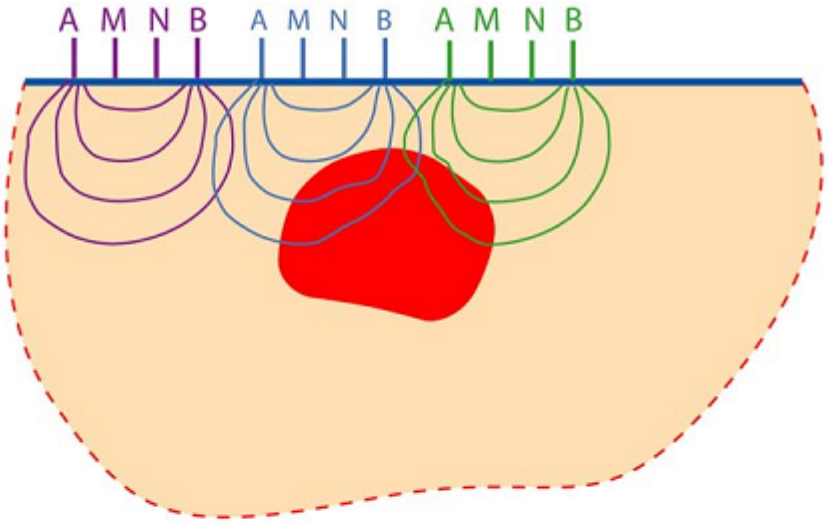
Профилирование (расстояние между электродами постоянно)

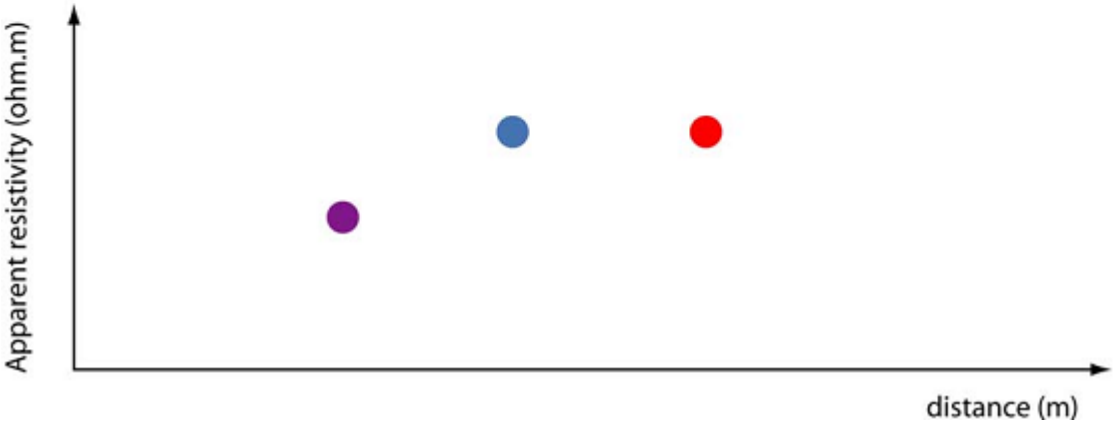


[Marescot., 2010]

Электрическое профилирование

Профилирование (расстояние между электродами постоянно)

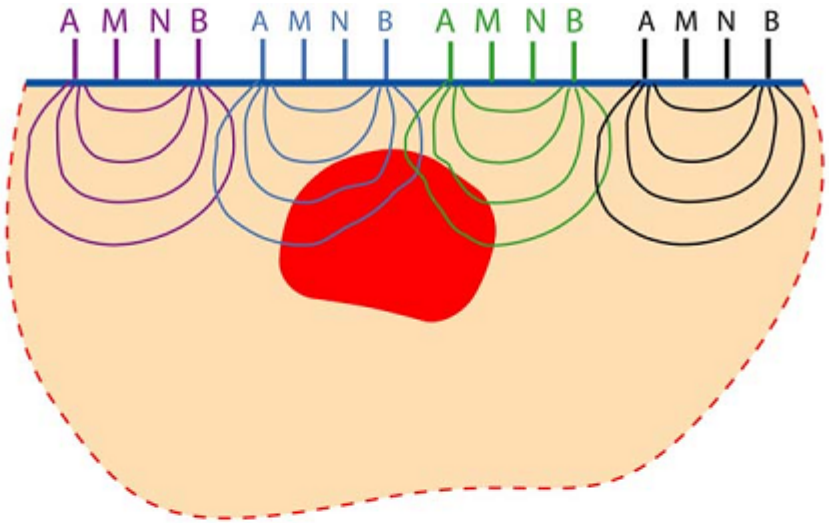


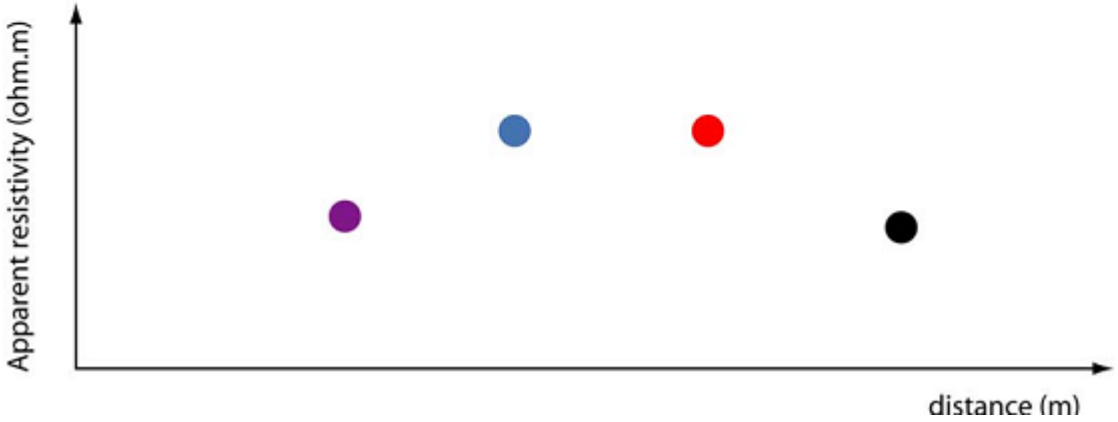


[Marescot., 2010]

Электрическое профилирование

Профилирование (расстояние между электродами постоянно)

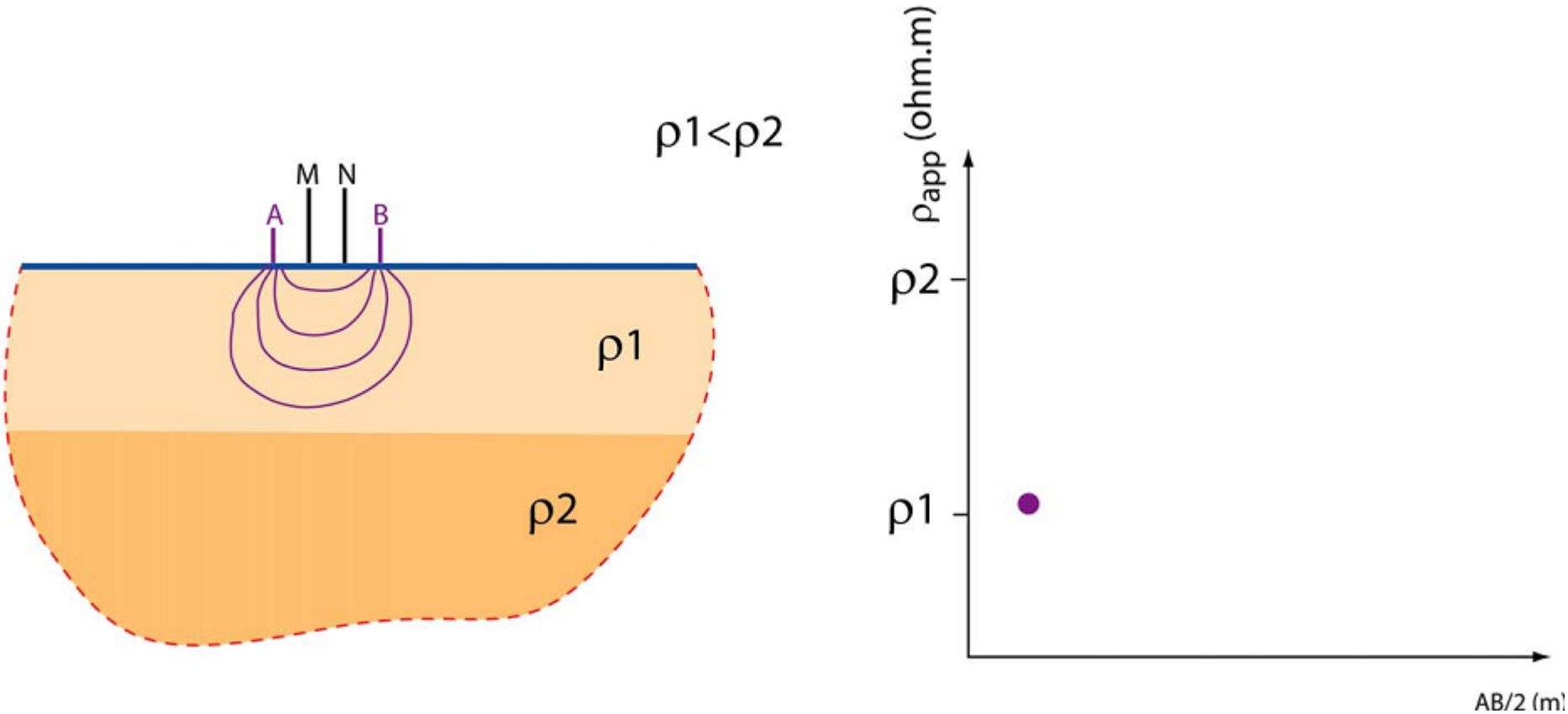




[Marescot., 2010]

Вертикальное электрическое зондирование

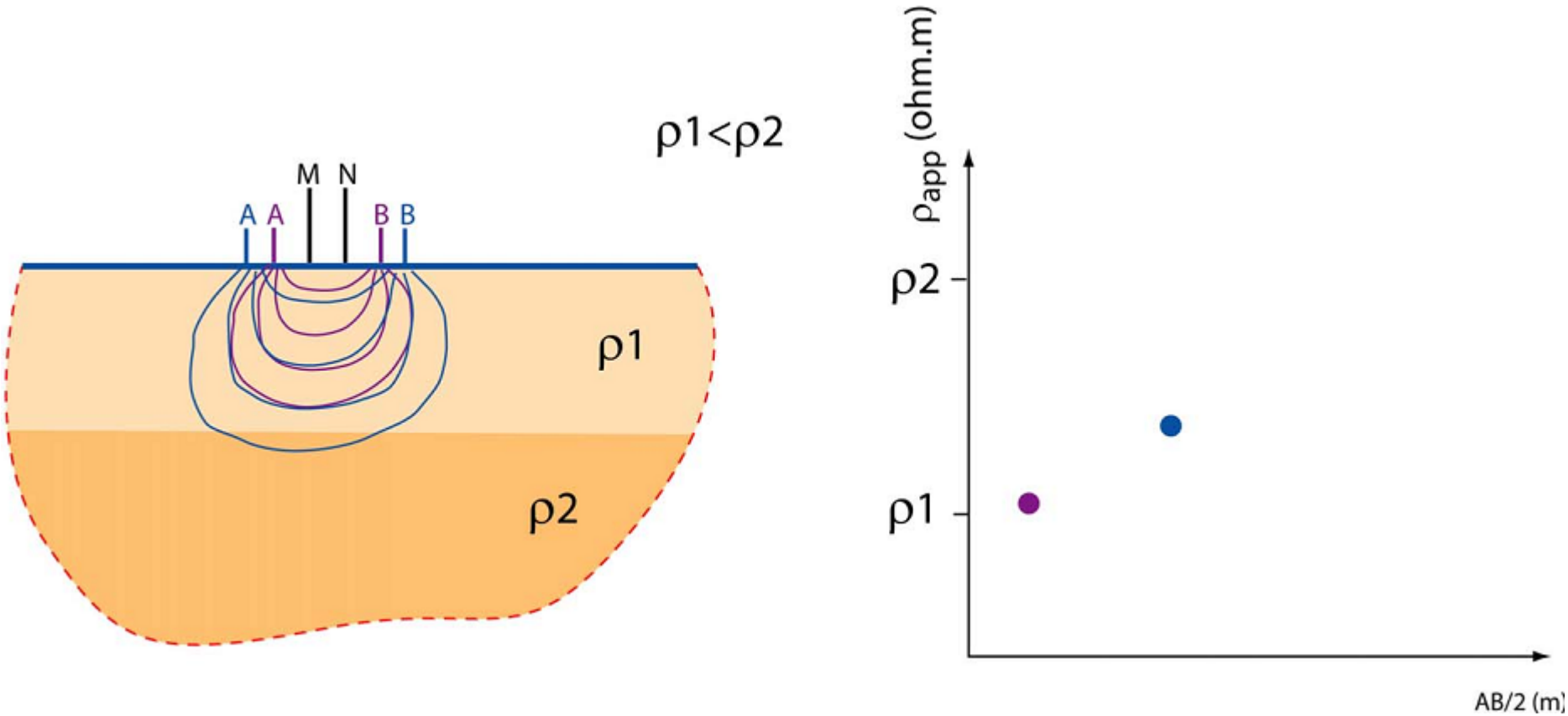
Зондирование (расстояние между электродами изменяется)



[Marescot., 2010]

Вертикальное электрическое зондирование

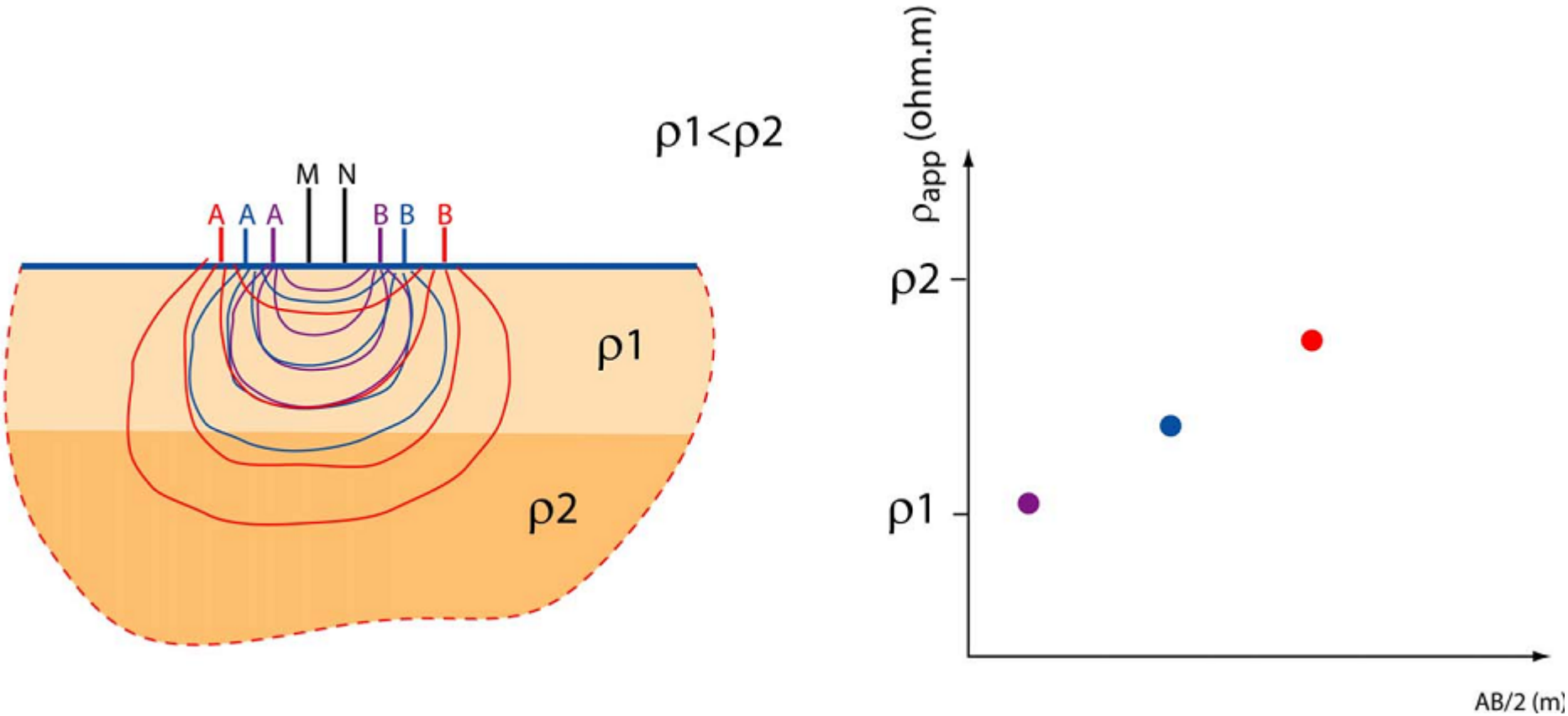
Зондирование (расстояние между электродами изменяется)



[Marescot., 2010]

Вертикальное электрическое зондирование

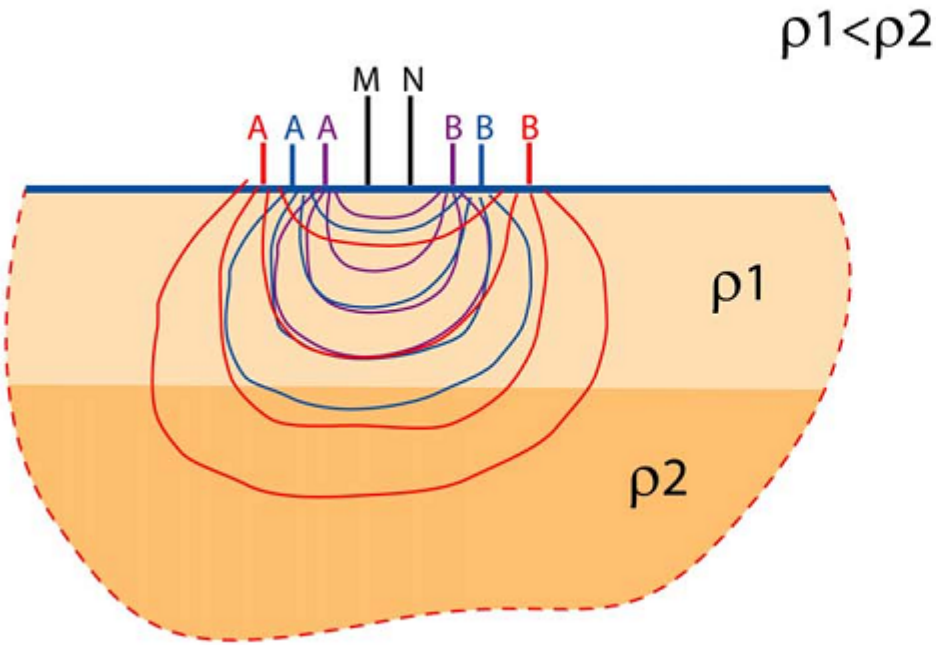
Зондирование (расстояние между электродами изменяется)

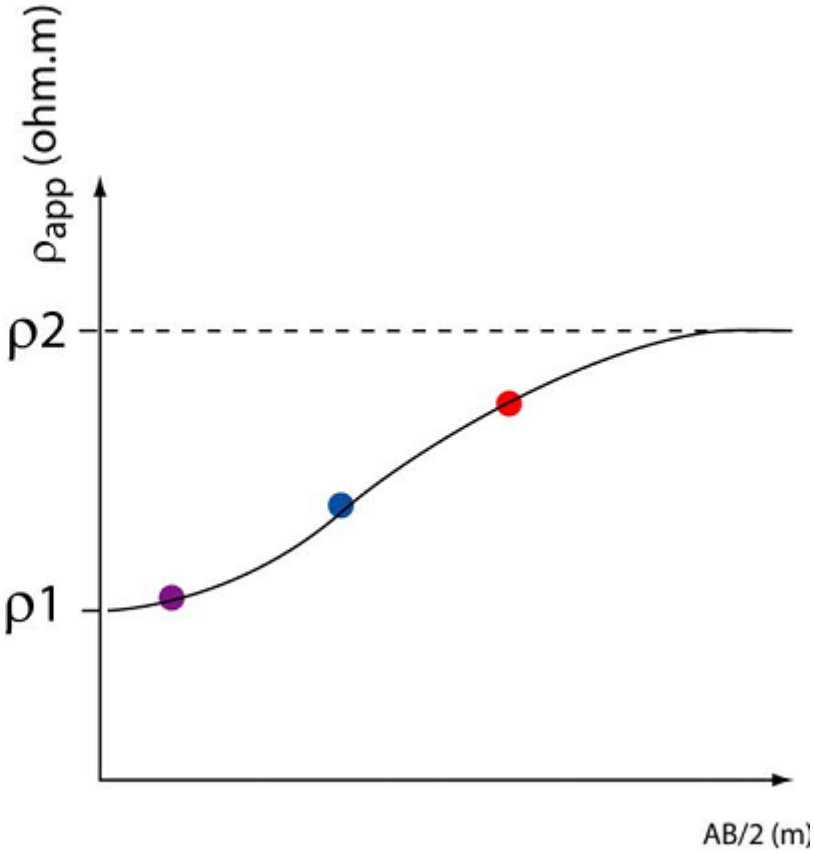


[Marescot., 2010]

Вертикальное электрическое зондирование

Зондирование (расстояние между электродами изменяется)

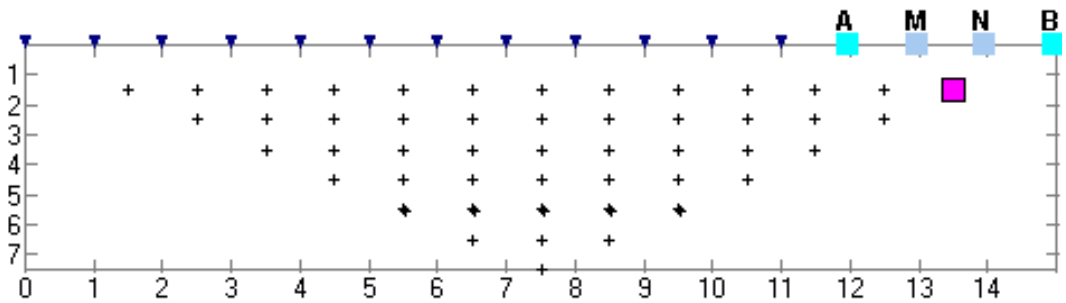


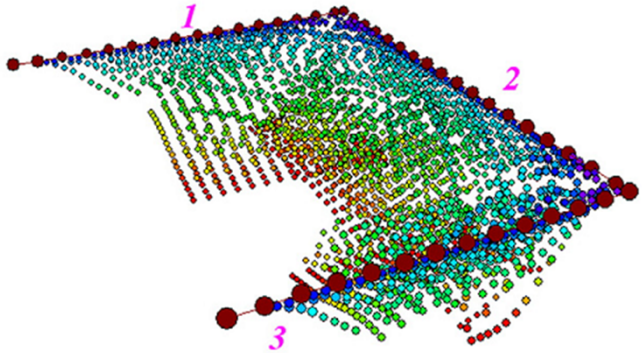


[Marescot., 2010]

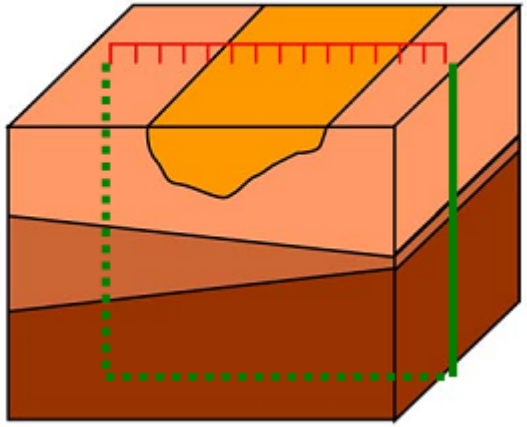
Что такое Электротомография

Комбинация зондирования и профилирования

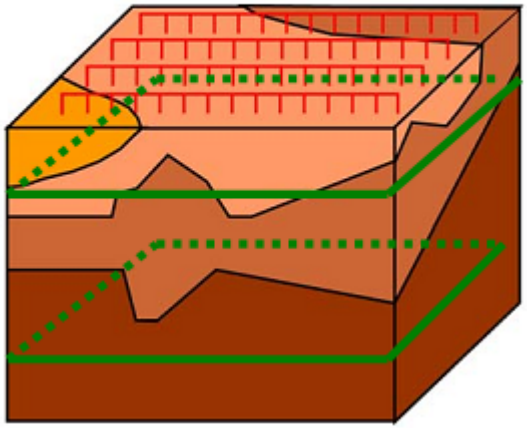




2D



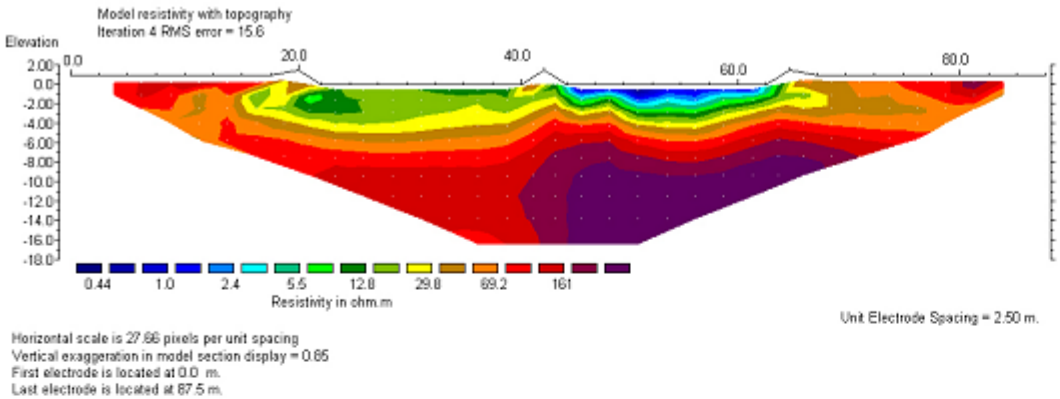
3D

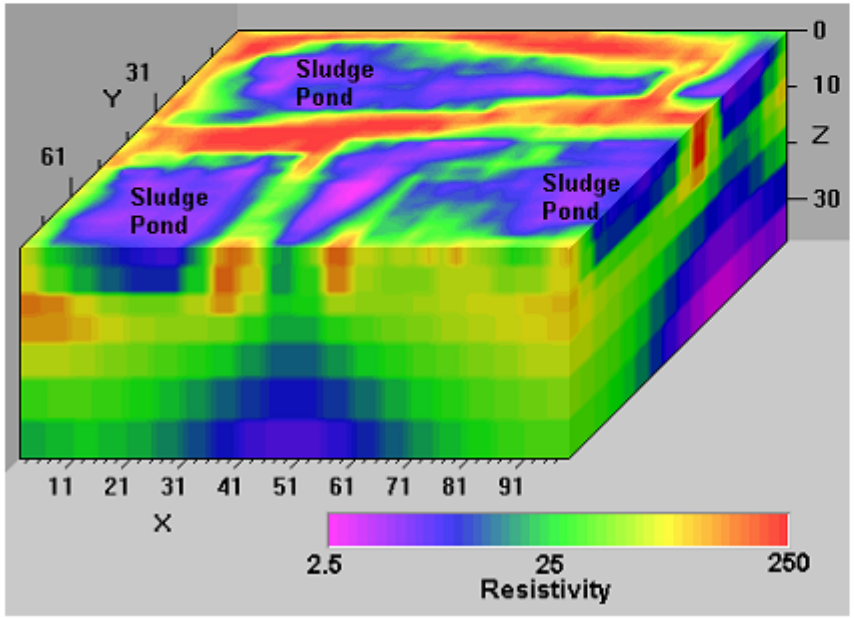


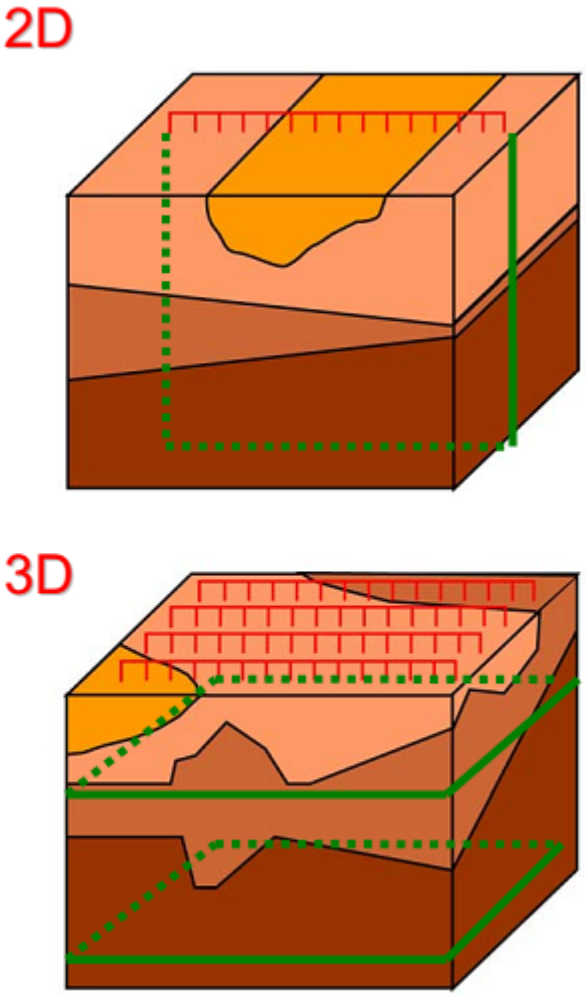
В основном, **геологические среды трёхмерны**.

Что такое Электротомография

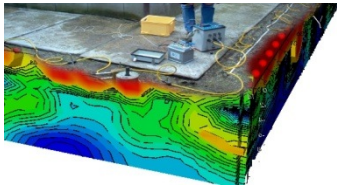
Результаты 2D- и 3D-электротомографии

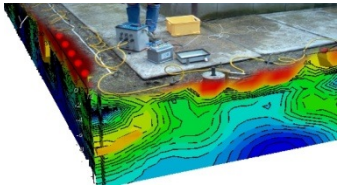






[Marescot., 2010]

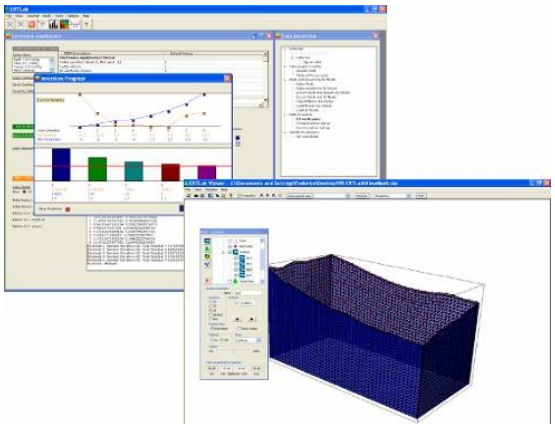


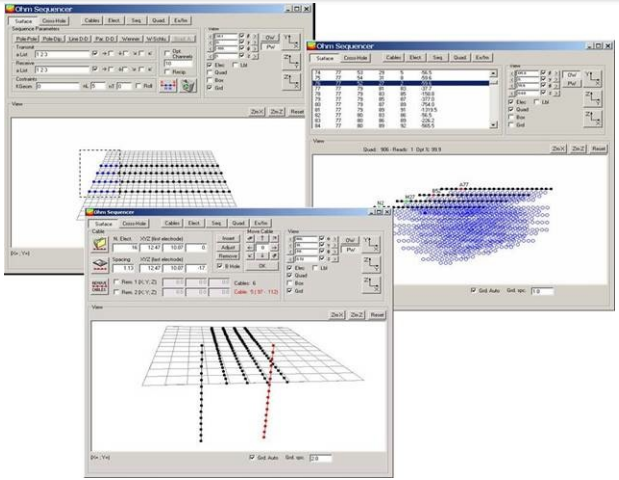


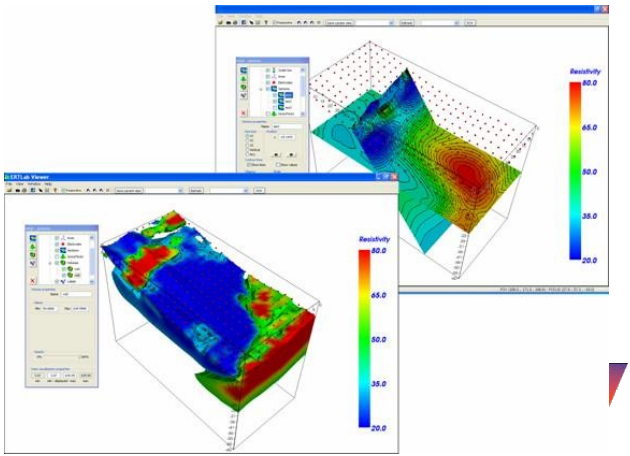
1. ***ERTLab*** *Solver (инструмент инверсии для методов сопротивления и вызванной поляризации)*

2. ***ERTLab*** *Sequencer (инструмент создания 2D/3D массива расстановок-измерителей электрического сопротивления)*

3. ***ERTLab*** *Viewer (инструмент визуализации результатов инверсий и прямого моделирования в виде разрезов, объёмов или изоповерхностей)*



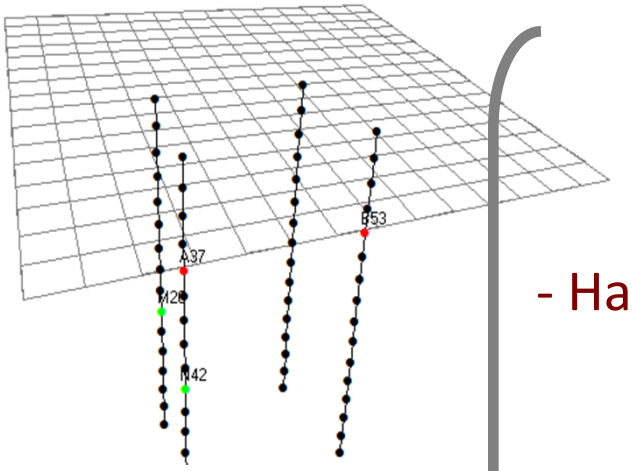




Построение системы наблюдения

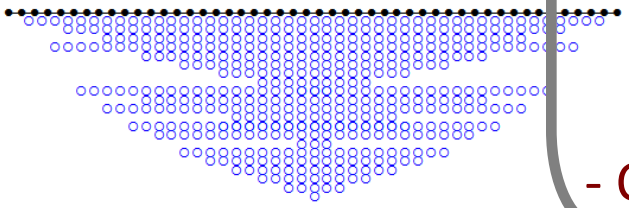
Ввод кабелей/электродов

ERT Lab Sequencer



Типы трёхмерных расстановок электродов

- Наземная
  - ✓ параллельные 2D-профили
  - ✓ общие 2D-профили, радиальные расстановки
  - ✓ 3D-сетки
  - ✓ Расстановки L-формы, C-формы, петли электродов.
- Скважинная
  - ✓ 2 скважины
  - ✓ Многоскважинная
- Скважинно-наземная

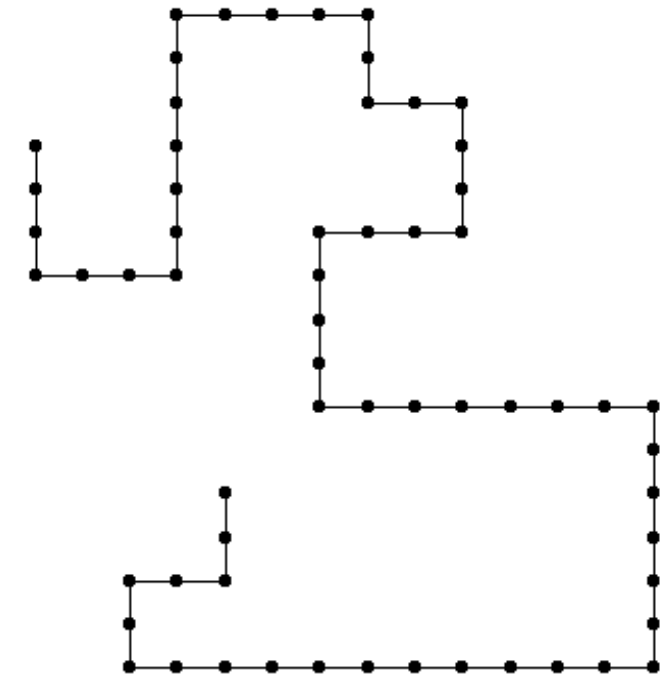


СЕТОЧНЫЙ метод для ввода электродов

ERT Lab Sequencer

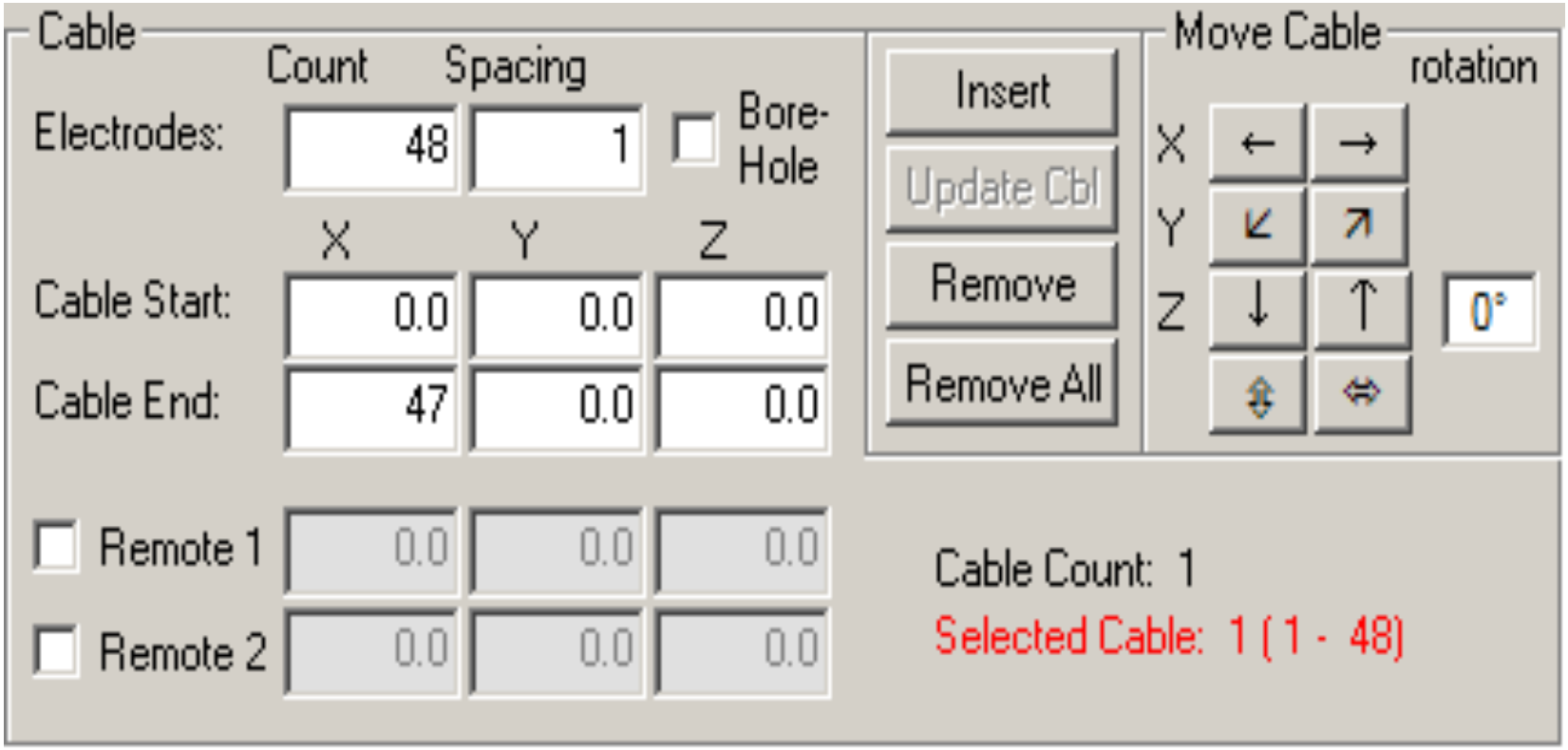
Сложные расстановки

	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
19.00																			
18.00				13	14	15	16	17											
17.00				12				18											
16.00				11				19	20	21									
15.00	1			10						22									
14.00	2			9						23									
13.00	3			8			27	26	25	24									
12.00	4	5	6	7			28												
11.00							29												
10.00							30												
9.00							31	32	33	34	35	36	37	38					
8.00														39					
7.00					61									40					
6.00					60									41					
5.00			57	58	59									42					
4.00			56											43					
3.00			55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44					
2.00																			
1.00																			
0.00																			



КАБЕЛЬНЫЙ метод для ввода электродов

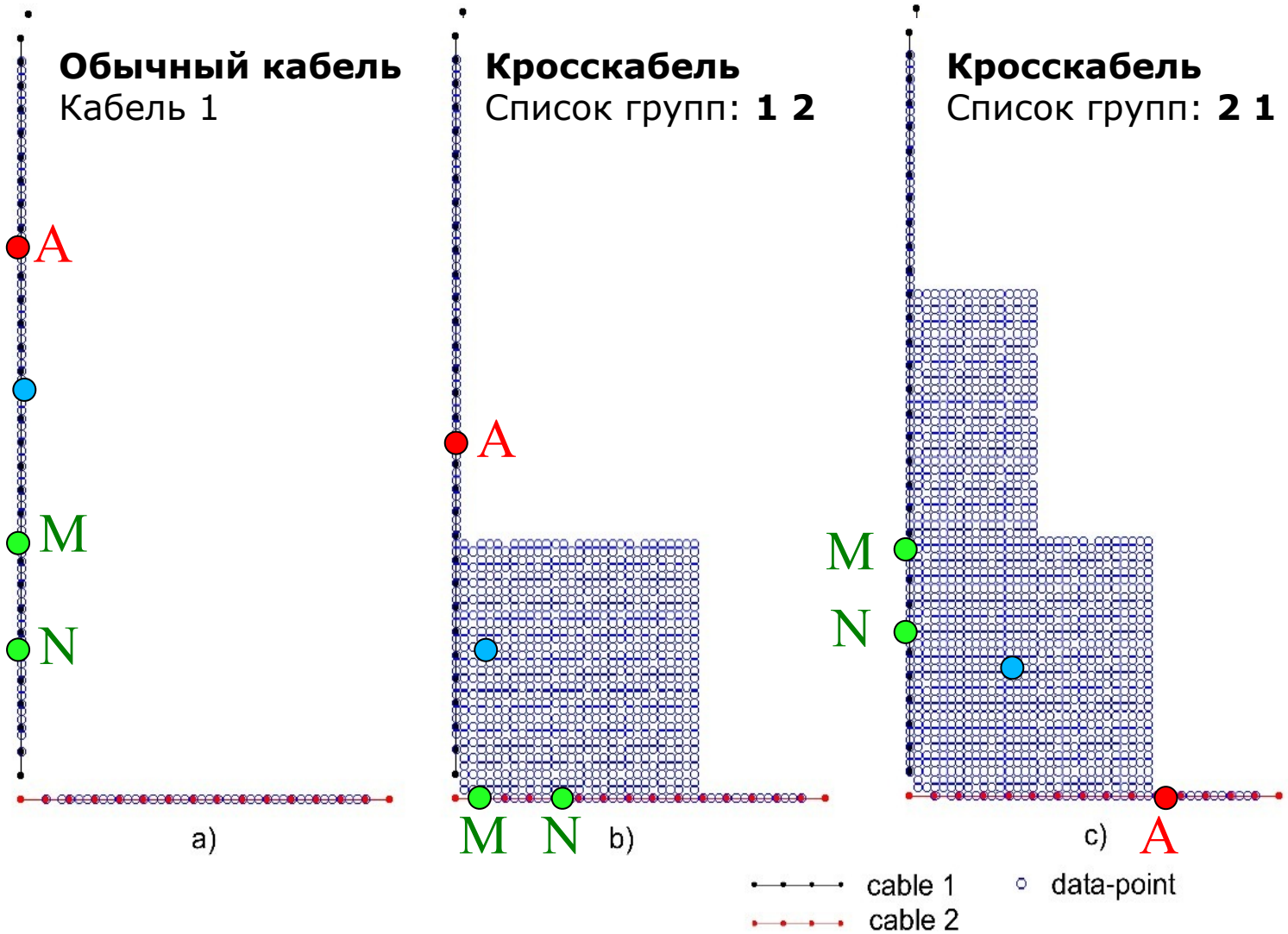
ERT Lab Sequencer



Создание квадруполей

ERT Lab Sequencer

Пример – Поль-Диполь для расстановки L-формы



Инструмент инверсии данных

Схема работы с инверсией данных

ERT Lab Solver

1. Импорт данных
(импорт исходных данных, создание файла данных)

↓

2. Расстановка электродов
(корректировка координат, вращение, топография)

↓

3. Предварительная обработка данных
(количественный контроль данных, проверка на взаимность, фильтрация данных)

↓

4. Установка конфигурации
(сетка, модель, граничные условия, шум, прочие установки)

↓

5. Запуск инверсии
(проверка хода инверсии, финальный контроль и сохранение)

GEO stud Astier MPT

Редактирование координат электродов

ERT Lab Solver

test.data

Current Schedule

Quadrupoles | Electrodes | 3D View

	Cable	ID	x(m)	y(m)	z(m)	z terrain(m)	Type	Remote
578	Bl3_Ln0	28	535380.875	1368423.400	0.000	0.000	Surface	
579	Bl3_Ln0	29	535394.500	1368402.600	0.000	0.000	Surface	
580	Bl3_Ln0	30	535408.125	1368381.800	0.000	0.000	Surface	
581	Bl3_Ln0	31	535421.750	1368361.000	0.000	0.000	Surface	
582	Bl3_Ln0	32	535435.375	1368340.200	0.000	0.000	Surface	
583	Bl3_Ln0	33	535449.000	1368319.400	0.000	0.000	Surface	
584	Bl3_Ln0	34	535462.625	1368298.600	0.000	0.000	Surface	
585	Bl3_Ln0	35	535476.250	1368277.800	0.000	0.000	Surface	
586	Bl3_Ln0	36	535489.875	1368257.000	0.000	0.000	Surface	
587	Bl3_Ln0	37	535503.500	1368236.200	0.000	0.000	Surface	
588	Bl3_Ln0	38	535517.125	1368215.400	0.000	0.000	Surface	
589	Bl3_Ln0	39	535530.750	1368194.600	0.000	0.000	Surface	
590	Bl3_Ln0	40	535544.375	1368173.800	0.000	0.000	Surface	
591	Bl3_Ln0	41	535558.000	1368153.000	0.000	0.000	Surface	
592	Rem_Bl3_Ln0	1	534445.000	1369841.000	0.000	0.000	Surface	Remote
593	Rem_Bl3_Ln0	2	536107.000	1367317.000	0.000	0.000	Surface	Remote
594	Bl3_Ln200	1	535726.000	1368261.000	0.000	0.000	Surface	
595	Bl3_Ln200	2	535712.250	1368281.850	0.000	0.000	Surface	
596	Bl3_Ln200	3	535698.500	1368302.700	0.000	0.000	Surface	

ELECT. MANAGER

Duplicated electrodes

Remove duplicates >>

Toler. 0.000001

Rototraslation

X(m) 0 Y(m) 0 Z(m) 0

Angle 0 rad

Modify >>

REMOVE BAD DATA POINTS

Remove quadrupoles having:

Elect. cable electrode

Meas. V >

Remove no-reciprocals data

Remove duplicated data points

Remove data >> Skip reset

SAVE DATA

Save Data >>

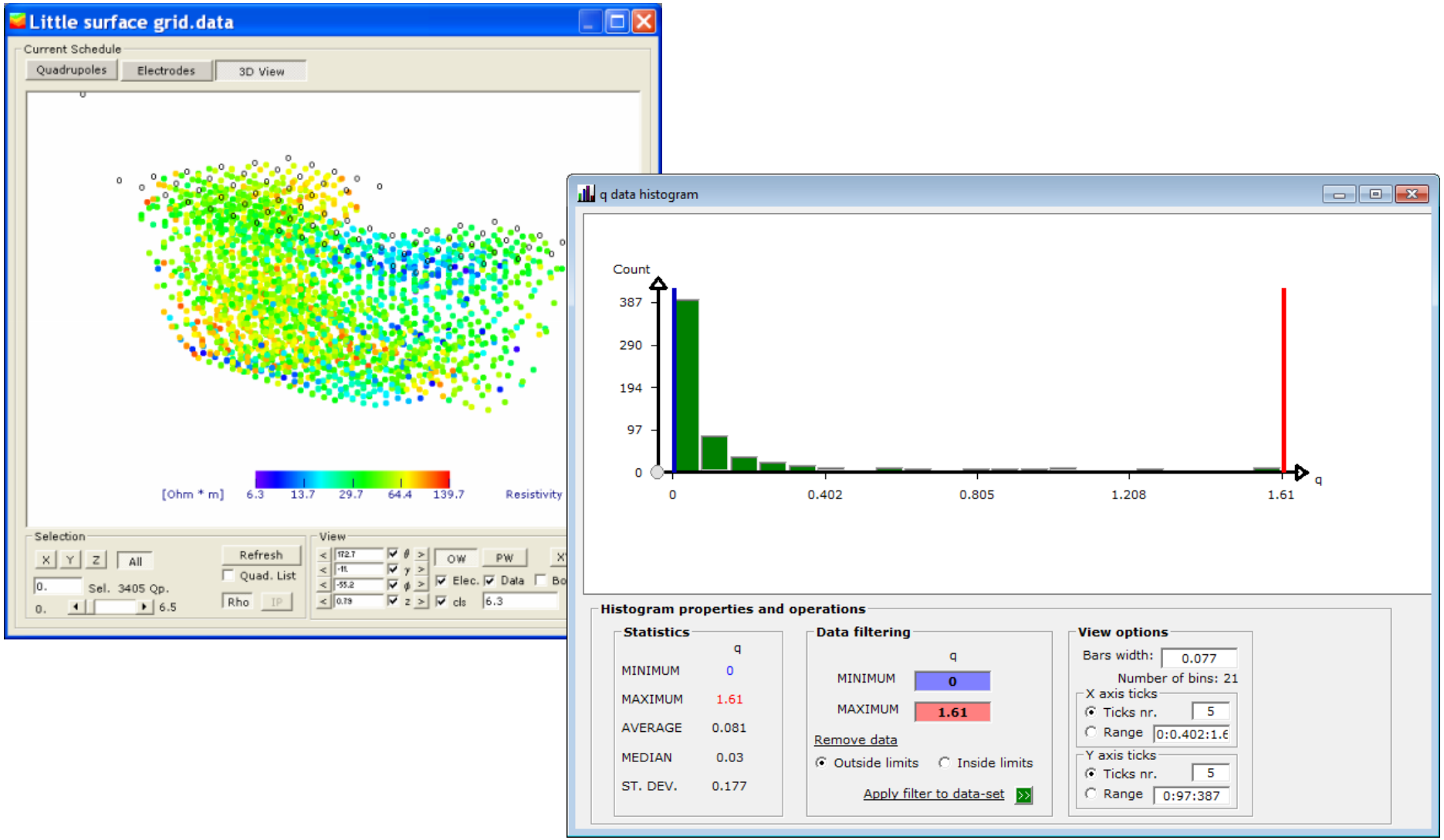
Remove skipped data from file

Total removed: 0

% removed: 0.0

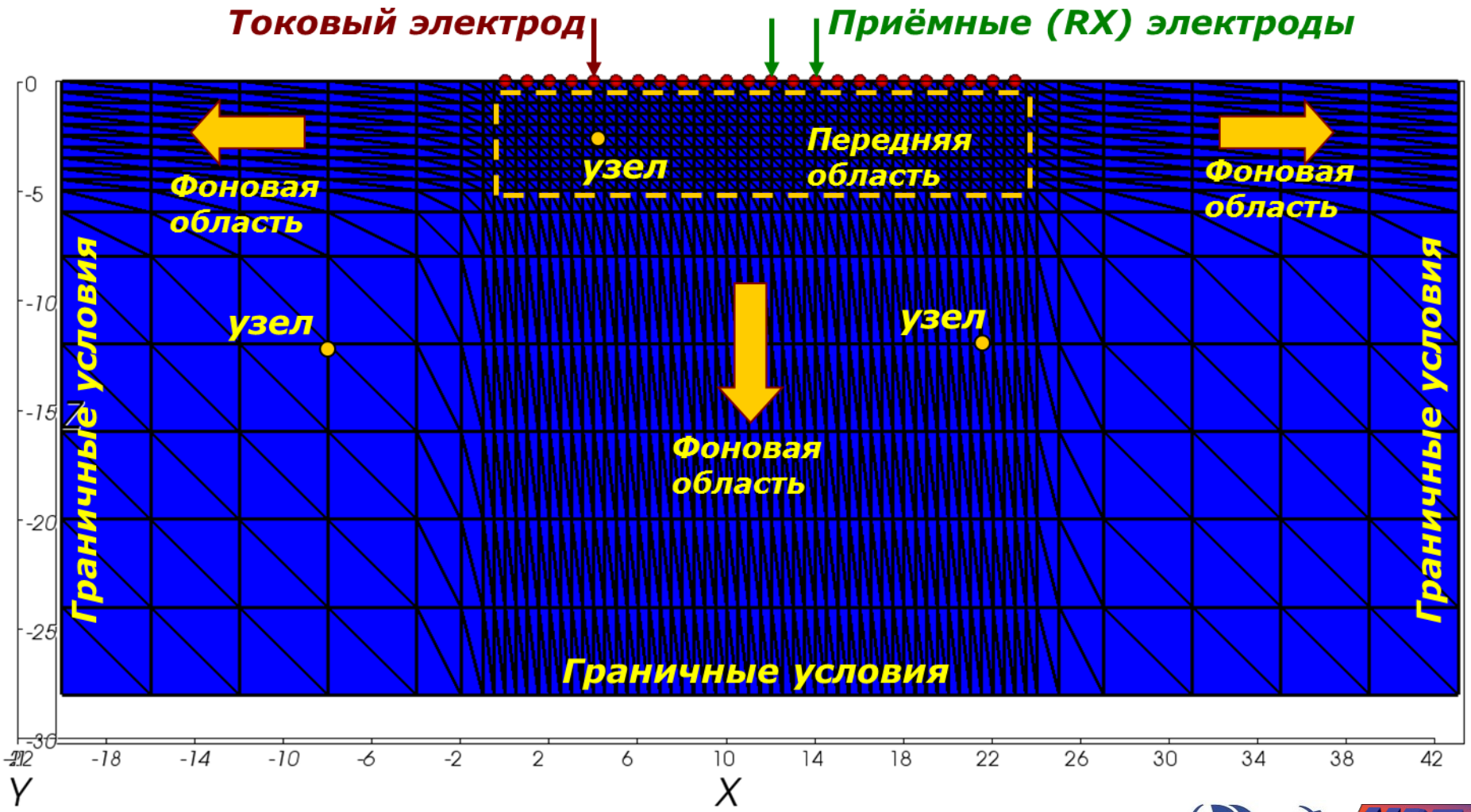
Include config.

Предварительная обработка данных



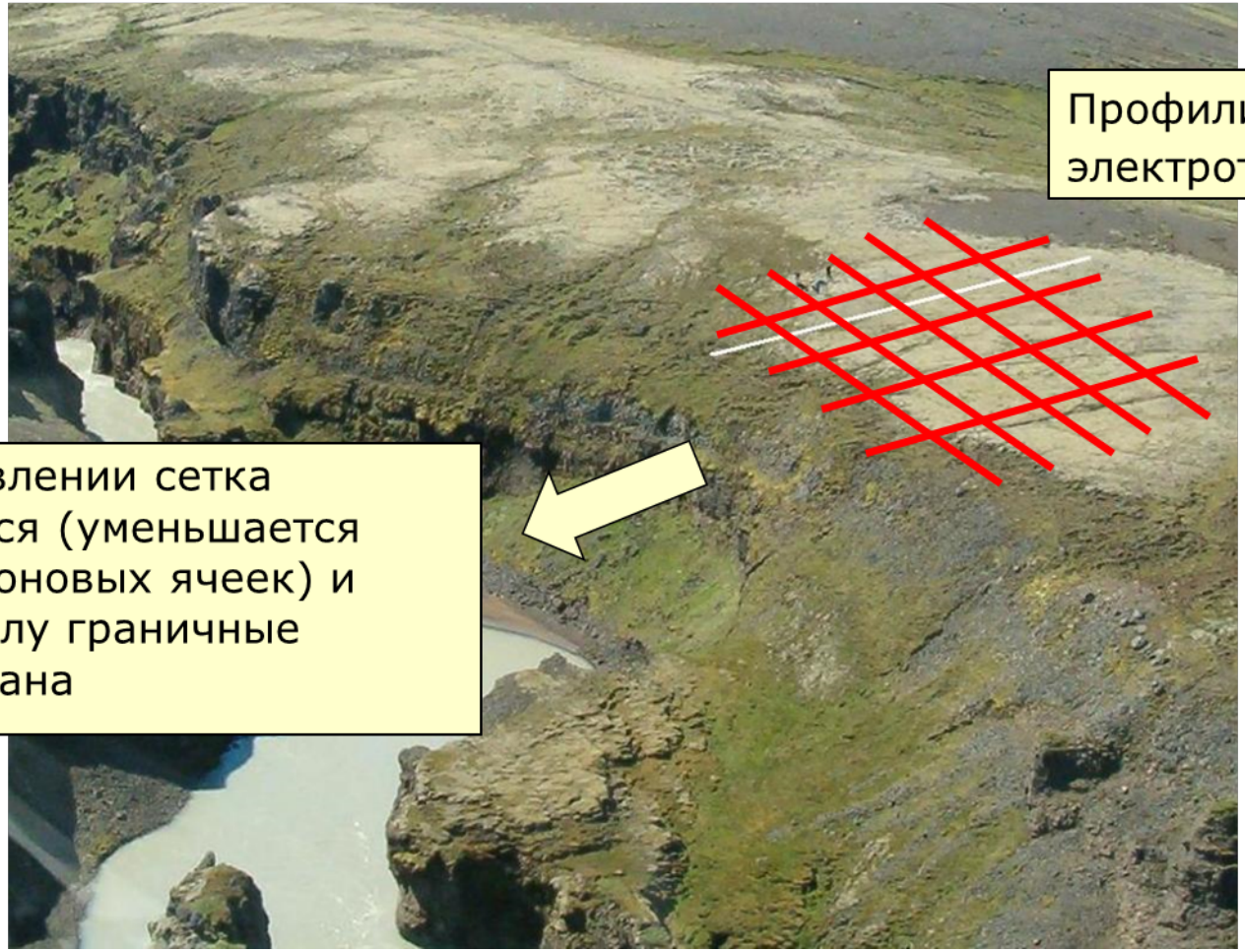
Конфигурация сетки

Конечные элементы



Граничные условия

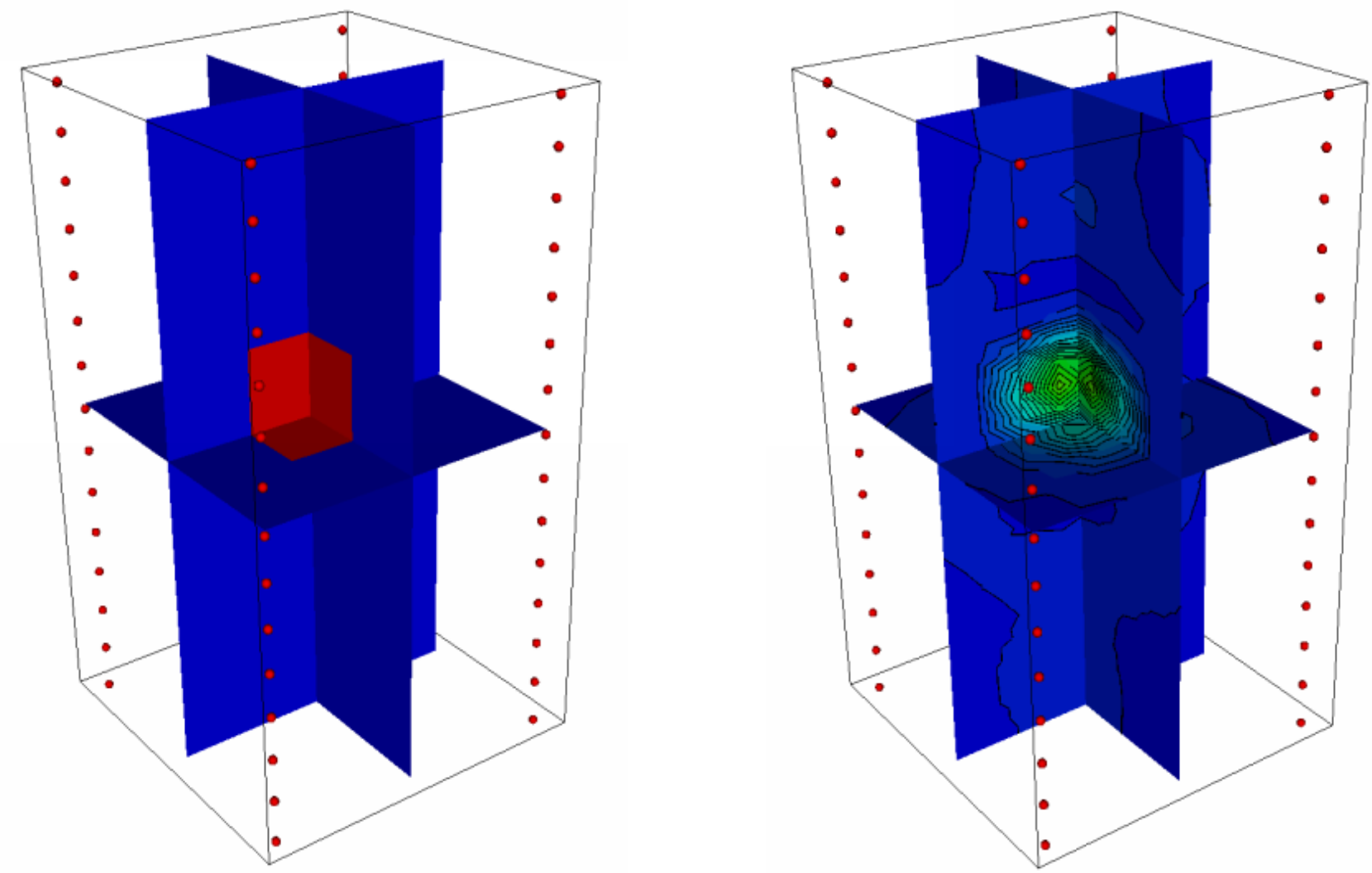
Граничные условия в необычных условиях



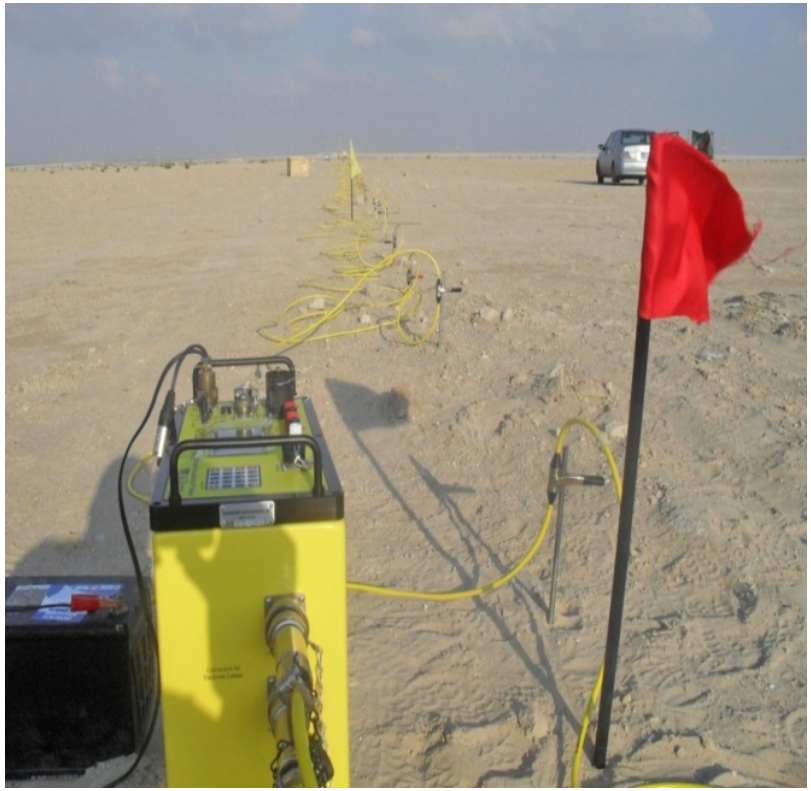
Профили электротомографии

В этом направлении сетка ограничивается (уменьшается количество фоновых ячеек) и вступают в силу граничные условия Неймана

Стартовая модель и результат инверсии



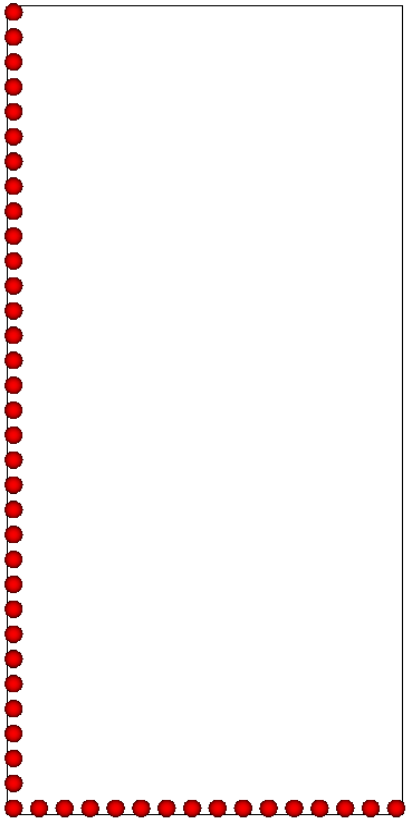
Применение электротомографии - мировая практика

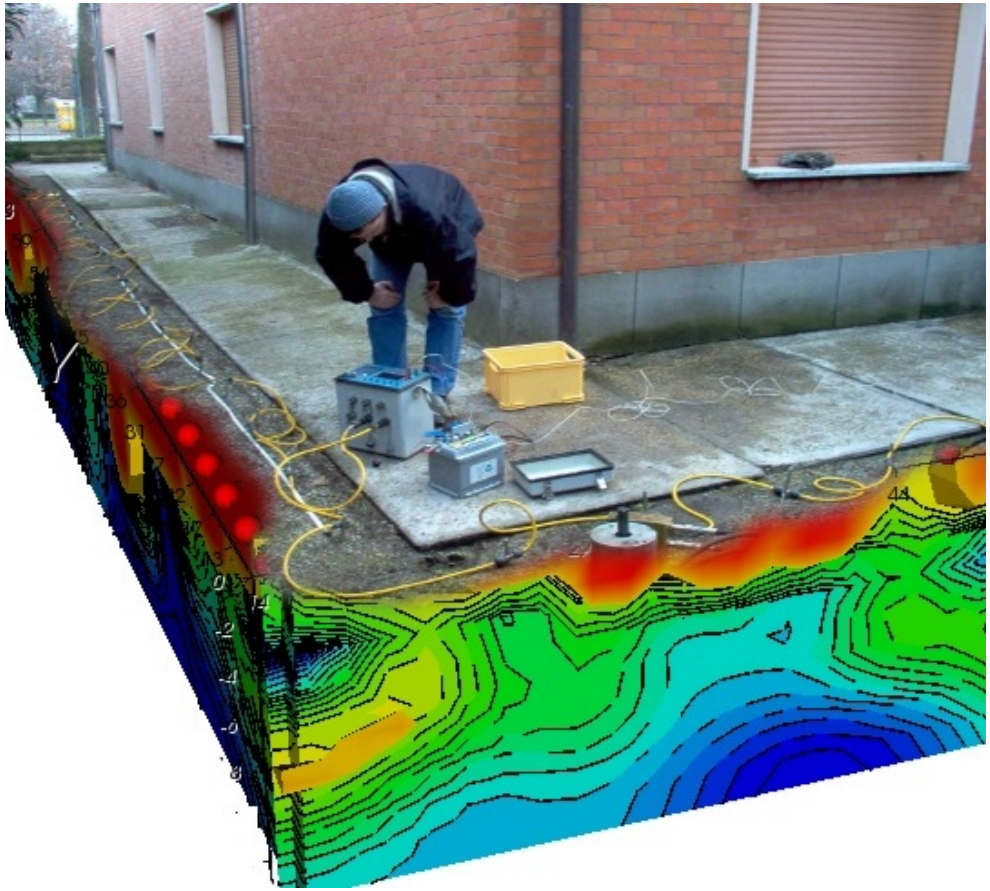


- геологоразведка
- инженерная геология
- экологические задачи
- сельское хозяйство
- гидрогеология
- археология

Примеры трёхмерной инверсии

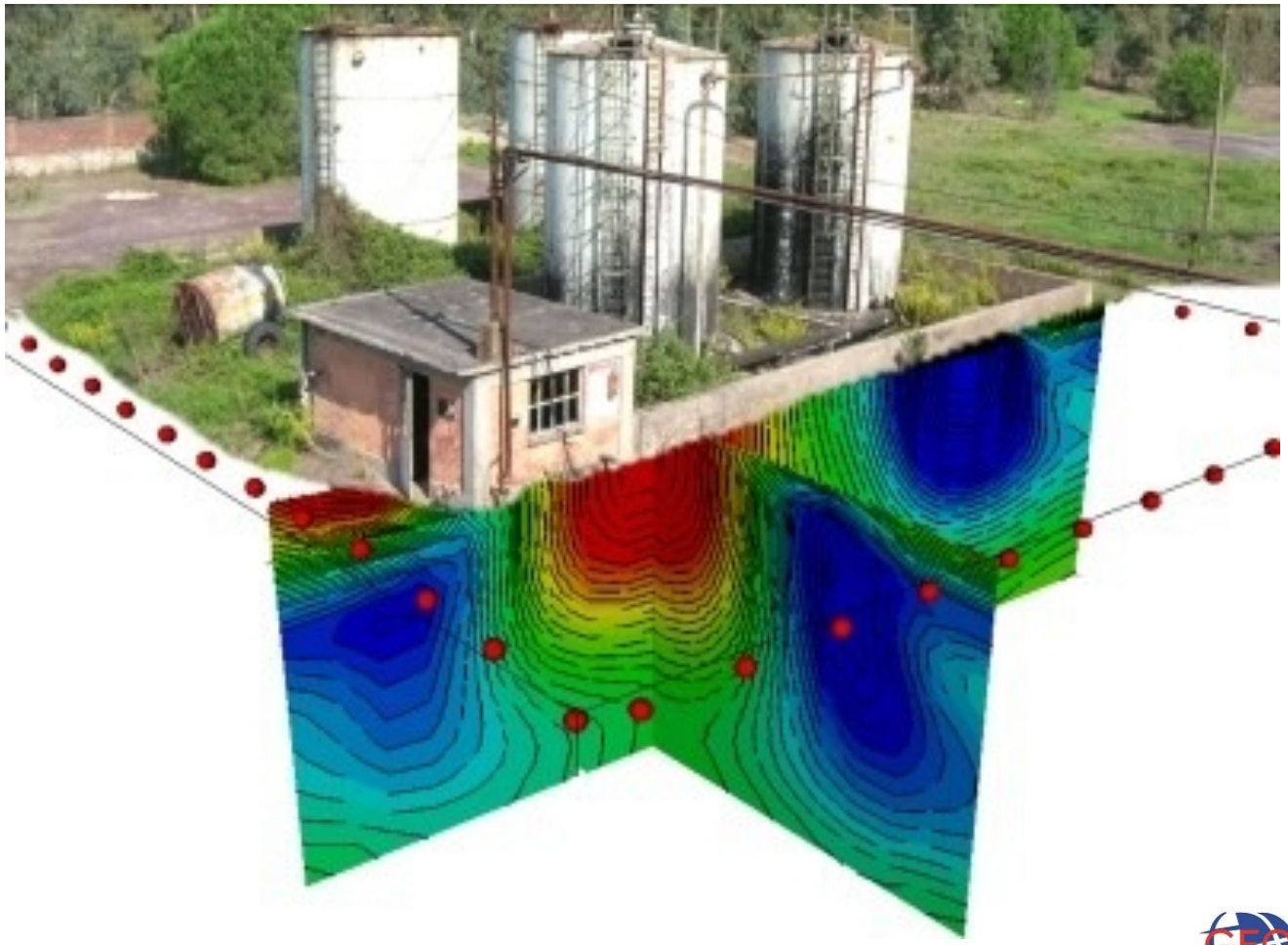
Расстановка L-формы для изучения фундаментов





Примеры трёхмерной инверсии

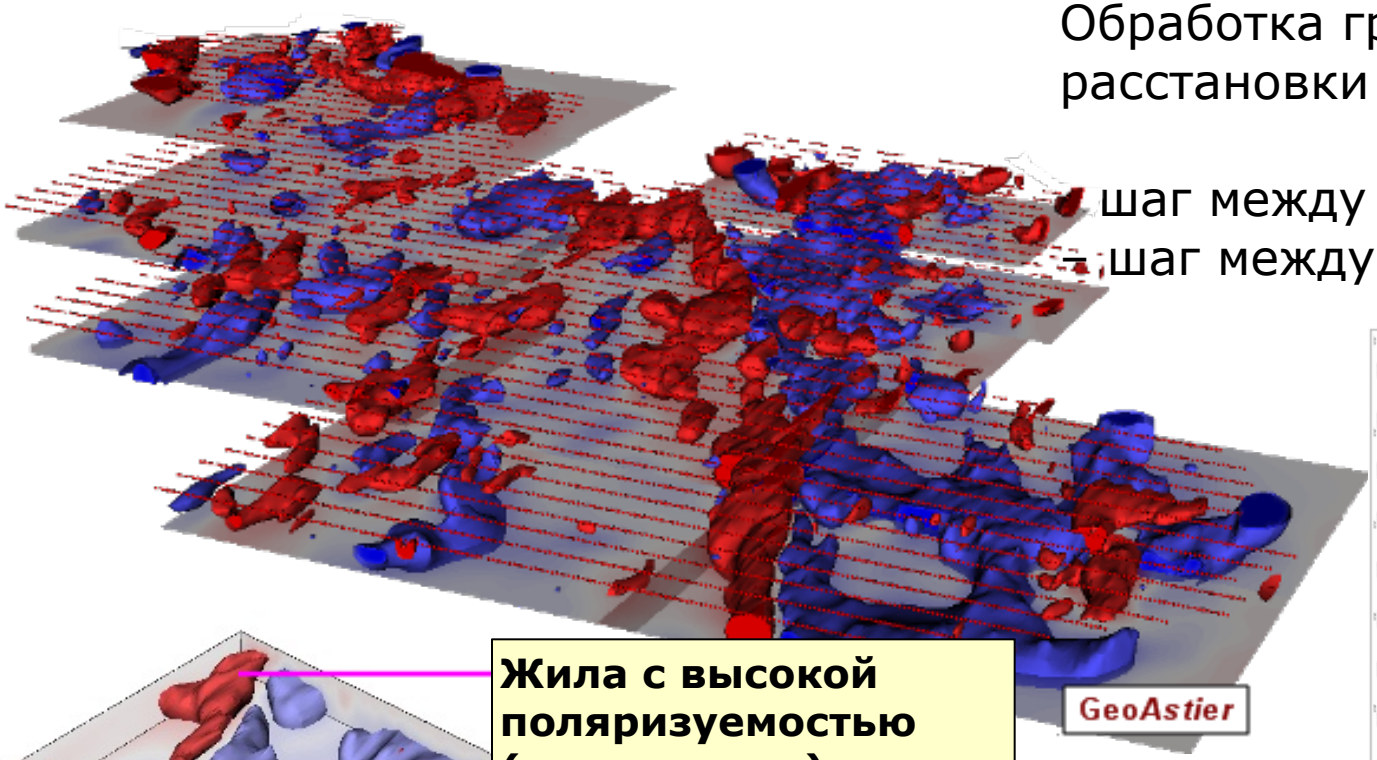
Петли электродов для изучения заброшенной промзоны

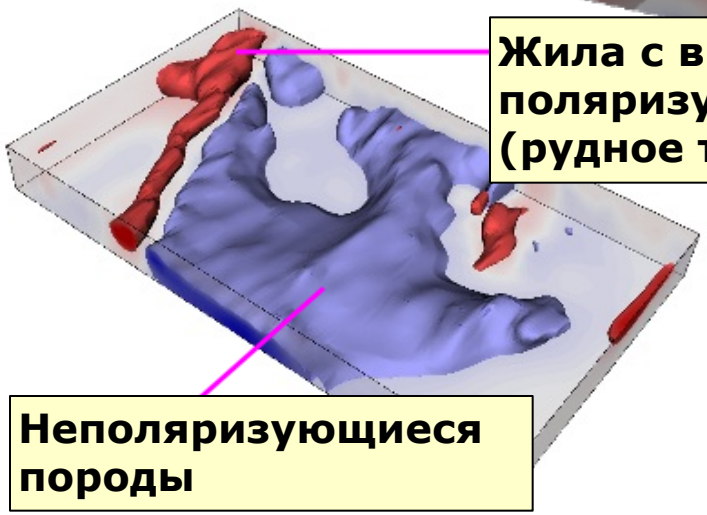


Примеры трёхмерной инверсии

Обработка градиентной расстановки

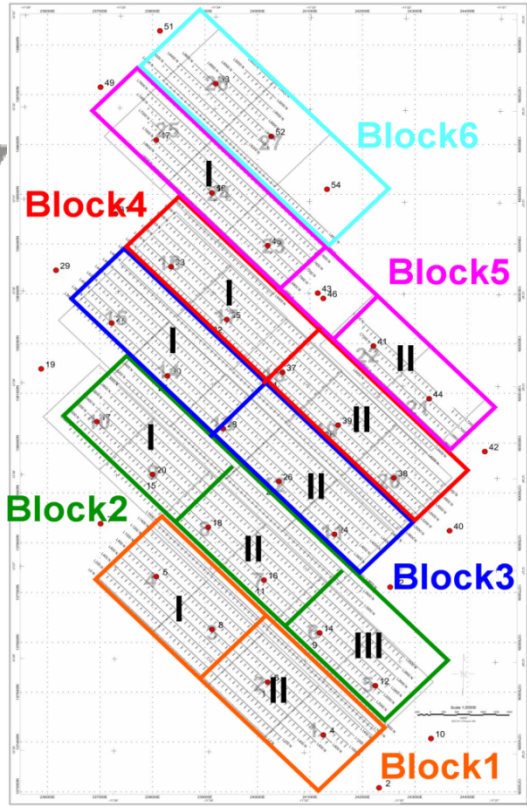
- шаг между электродами: 25 м
- шаг между профилями: 200 м





Жила с высокой поляризуемостью (рудное тело)

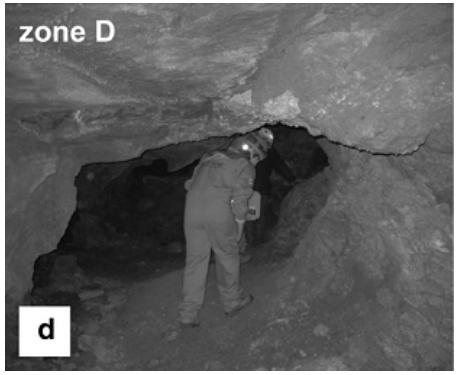
Неполяризующиеся породы

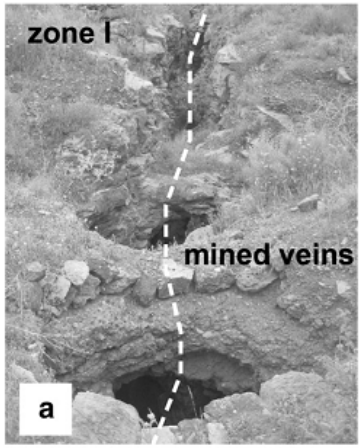


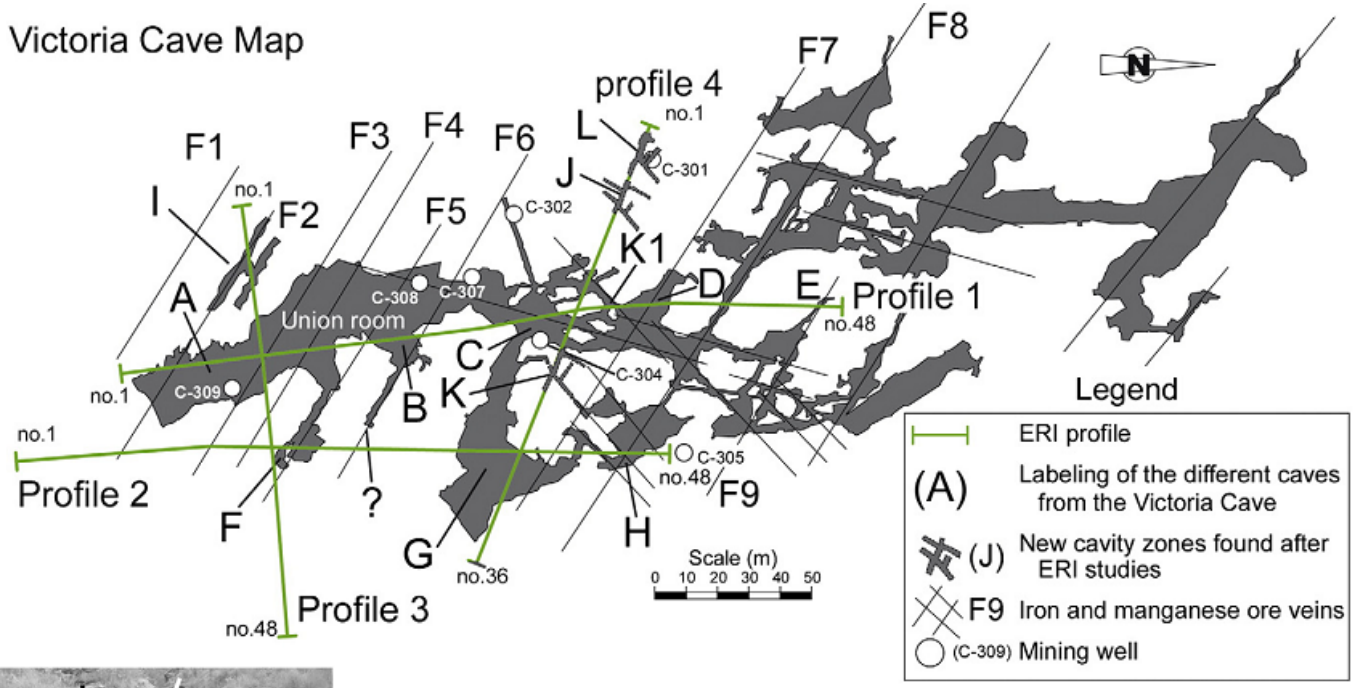
Обнаружение шахтных полостей

Картахена, юго-восточная Испания.

Перед началом строительства на территории заброшенных шахт необходимо найти все опасные полости.





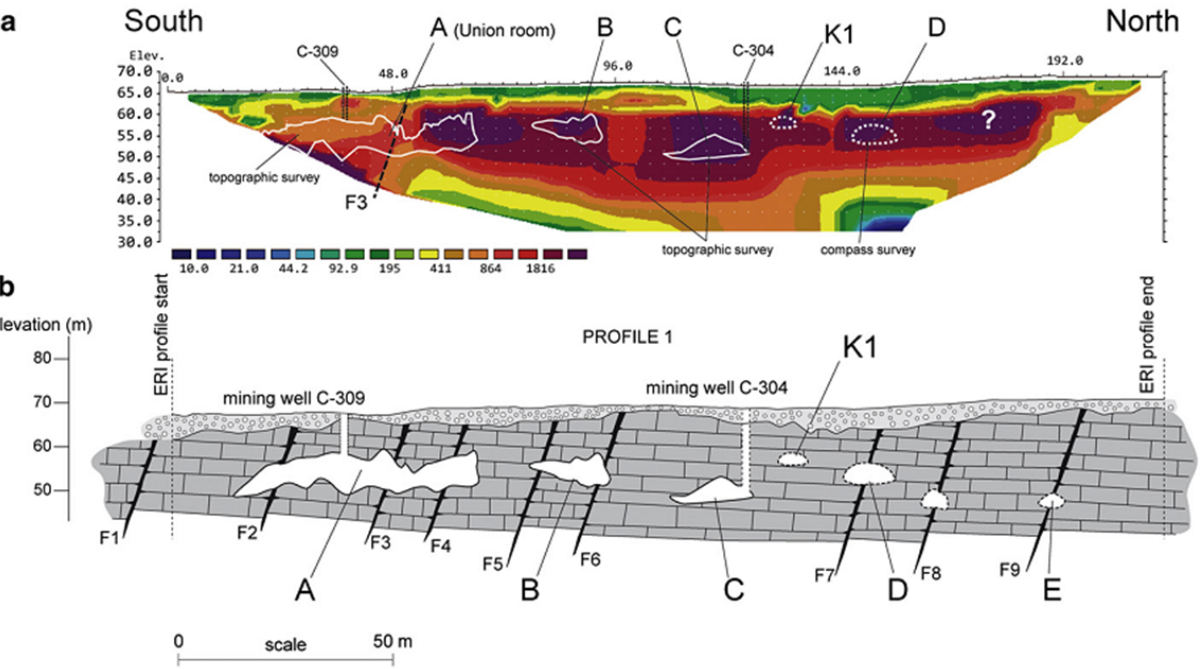


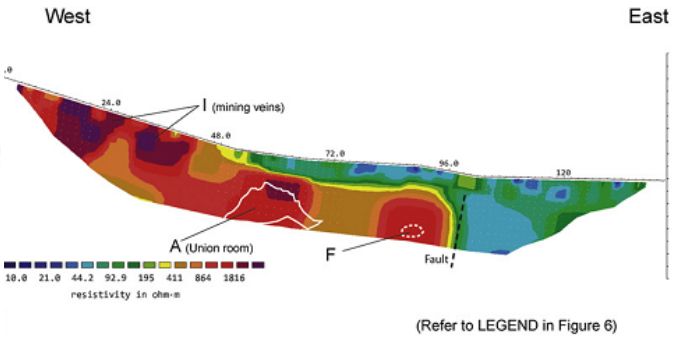
На территории заброшенной шахты были подтверждены известные полости и найдены новые.

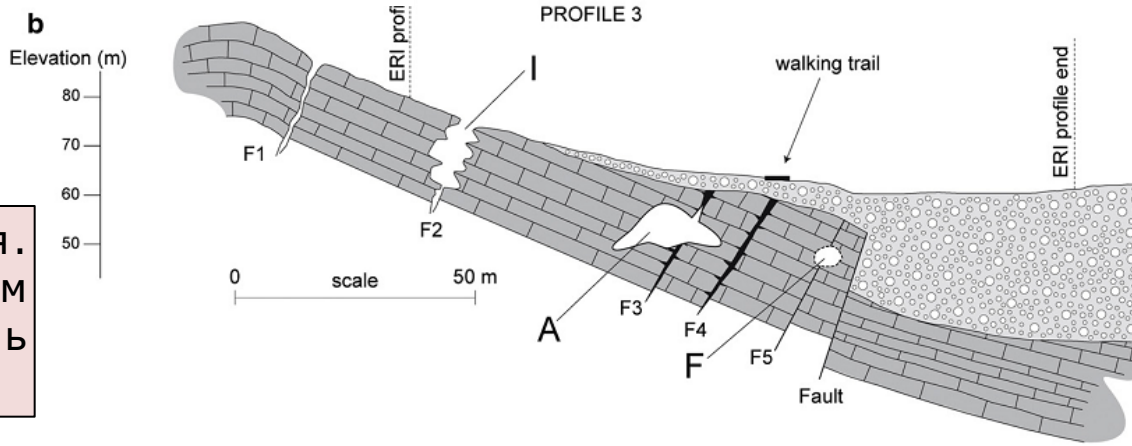
[Martínez-Pagán et al., 2013]

Обнаружение шахтных полостей

С глубиной разрешение метода падает. Определение небольших полостей на большой глубине затруднено.







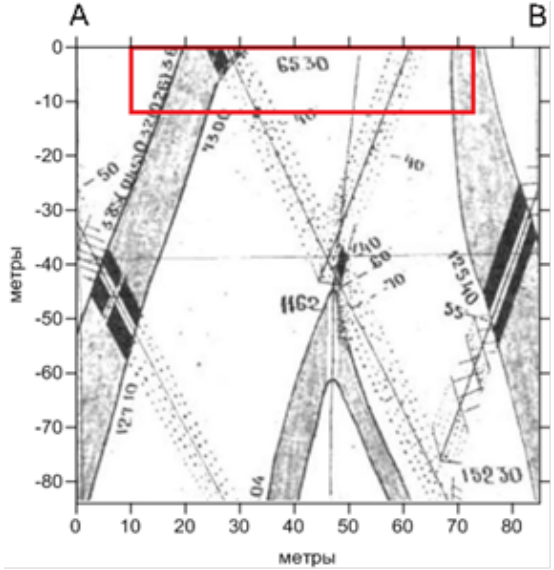
Полость А секут два профиля. Информация с разных систем наблюдения может быть очень важна.

[Martínez-Pagán et al., 2013]

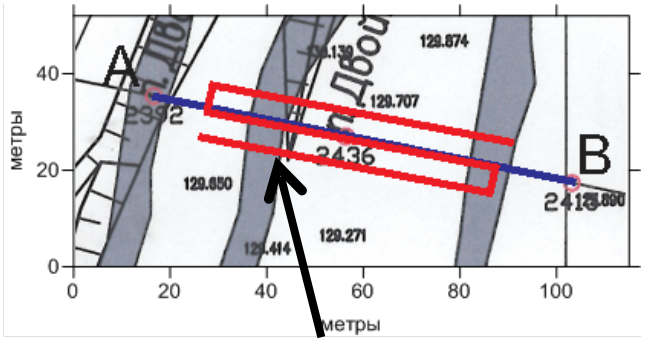
Локальная доразведка на месторождениях угля

Унгурский угольный разрез, Новосибирская обл.

Объекта: складка, состоящую из переслаивания угля (антрацита), аргиллита и песчаника.



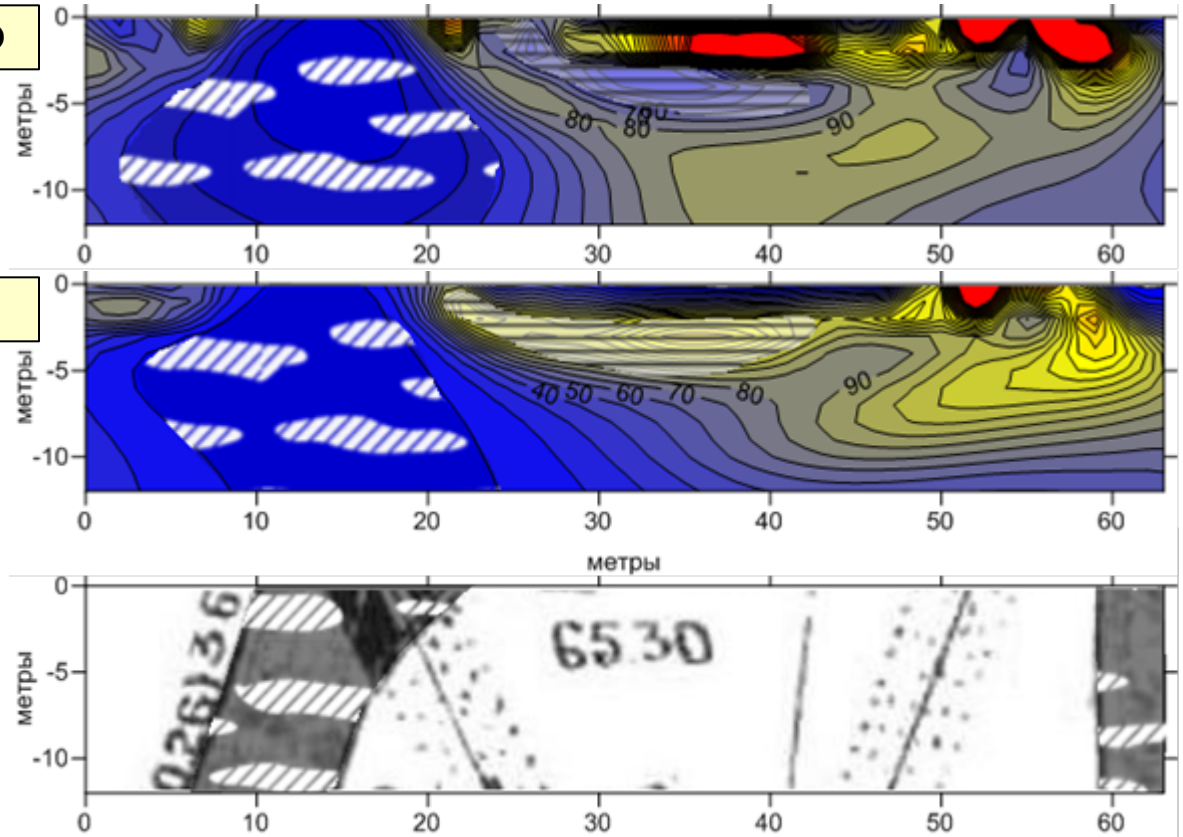
Вертикальное сечение по АВ



Трёхмерная расстановка состоит из 3 параллельных профилей

3D

2.5D



В случае 3D-расстановки складка отображается более правдоподобно. Модель имеет большее разрешение на глубине.

[Цуканов и др., 2014]

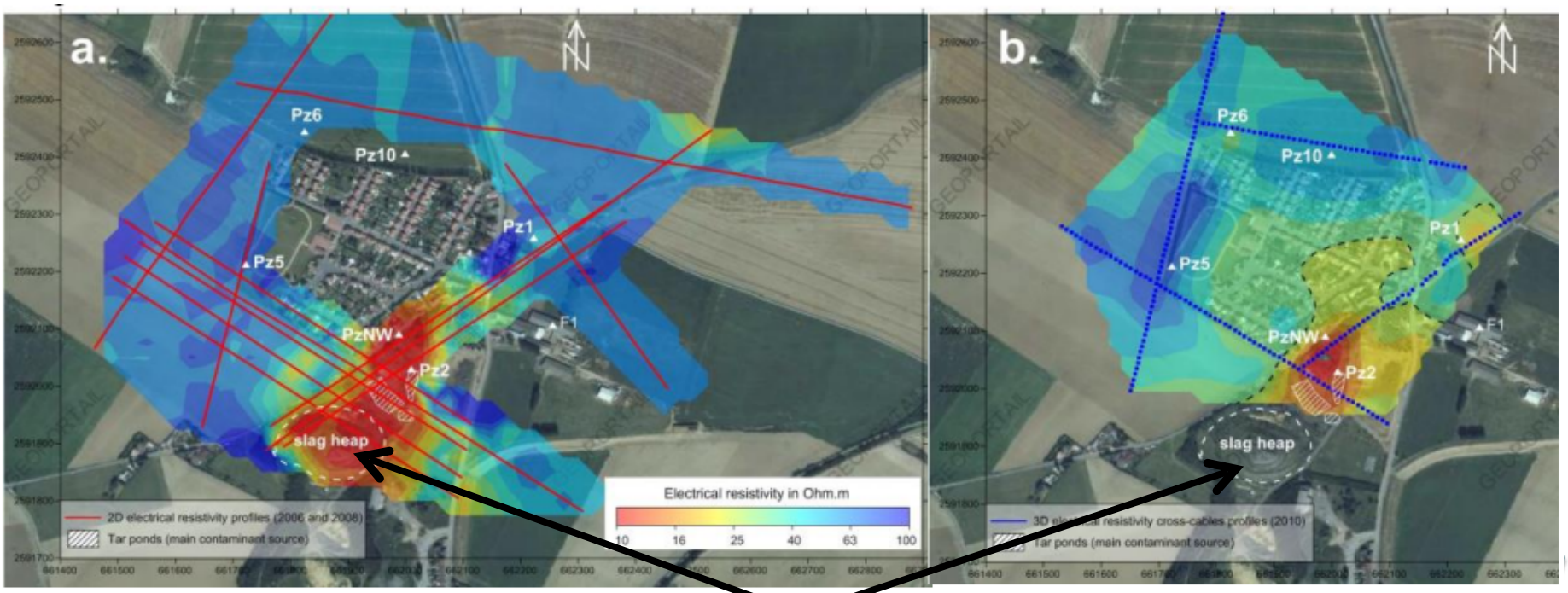
Локализация области загрязнения (тяжёлые жидкие углеводороды) в городской среде

Жилмассив расположен ниже по течению от бывшего коксующего завода, северная Франция.

На рисунке показан разрез УЭС на глубине 20-30м. Проводящая аномалия (красный цвет) показывает распространение углеводородов.
На результате трёхмерной съёмки видно распространение углеводородов под жилмассивом.

2D с интерполяцией в 3D

полноценное 3D



Шлаковый отвал

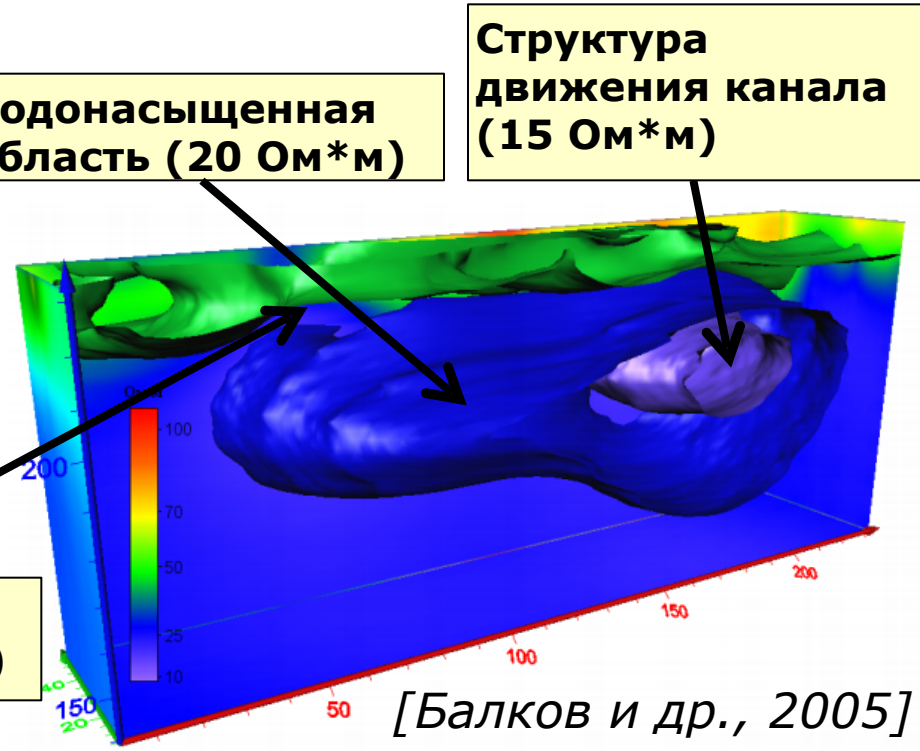
[Naudet et al., 2011]

Неразрушающий контроль состояния гидротехнических сооружений (плотина)

Состав объекта: рыхлые породы (песчаник с глинистым цементом). Основание сооружения заполнено песчаной пульпой, намытой в процессе обогащения добываемого в карьере угля.

По предварительным данным, в связи с отсыпкой пород на параллельно существующей дамбе, в ней стали образовываться трещины и промывные каналы, по которым вода и песчаная пульпа проникают через дамбу. Появился риск прорыва плотины. Отсыпные работы были приостановлены.

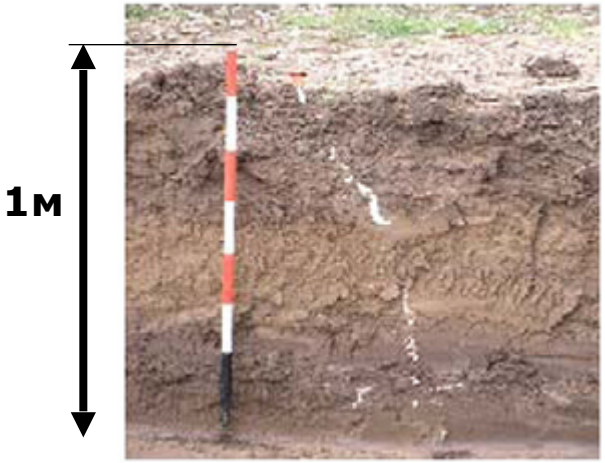
Основную роль в изменении строения, сыграла песчаная намывная пульпа, которая под действием вышележащих масс поднялась в менее плотную часть дамбы и тем самым, создала под насыпью каналы, по которым вода вымывает песок из основания сооружения и разрушает плотину.



[Балков и др., 2005]

Мониторинг строительных работ по стабилизации фундамента зданий

Оседание фундамента, в основном, вызвано изменениям содержания флюидов в грунте.
Основной цель впрыскивания расширяющейся смолы – восстановить целостность и уплотнённость почвы вокруг и ниже осаждённого фундамента.
Для оптимизации таких работ по стабилизации требуется непрерывный неразрушающий контроль, например электротомография.



Следы впрыскиваемых расширяющих смол

[Santarato et al., 2011]

Мониторинг строительных работ по стабилизации фундамента зданий

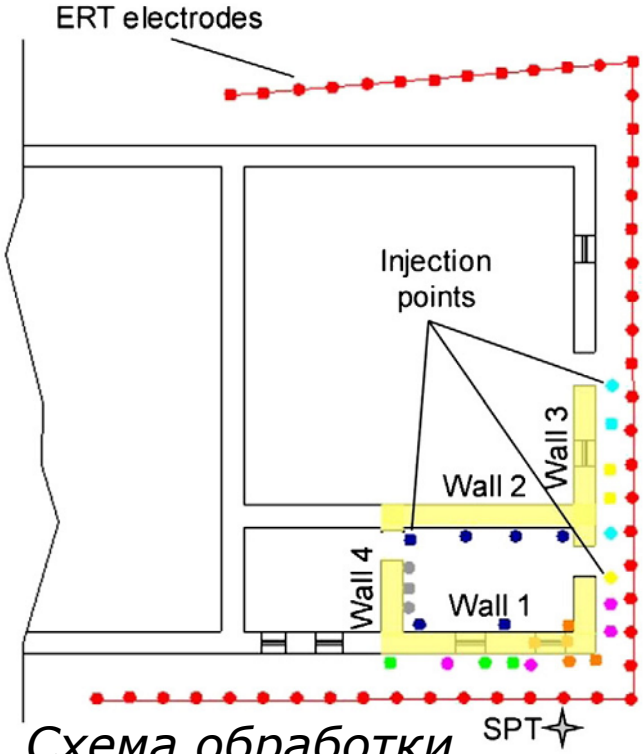
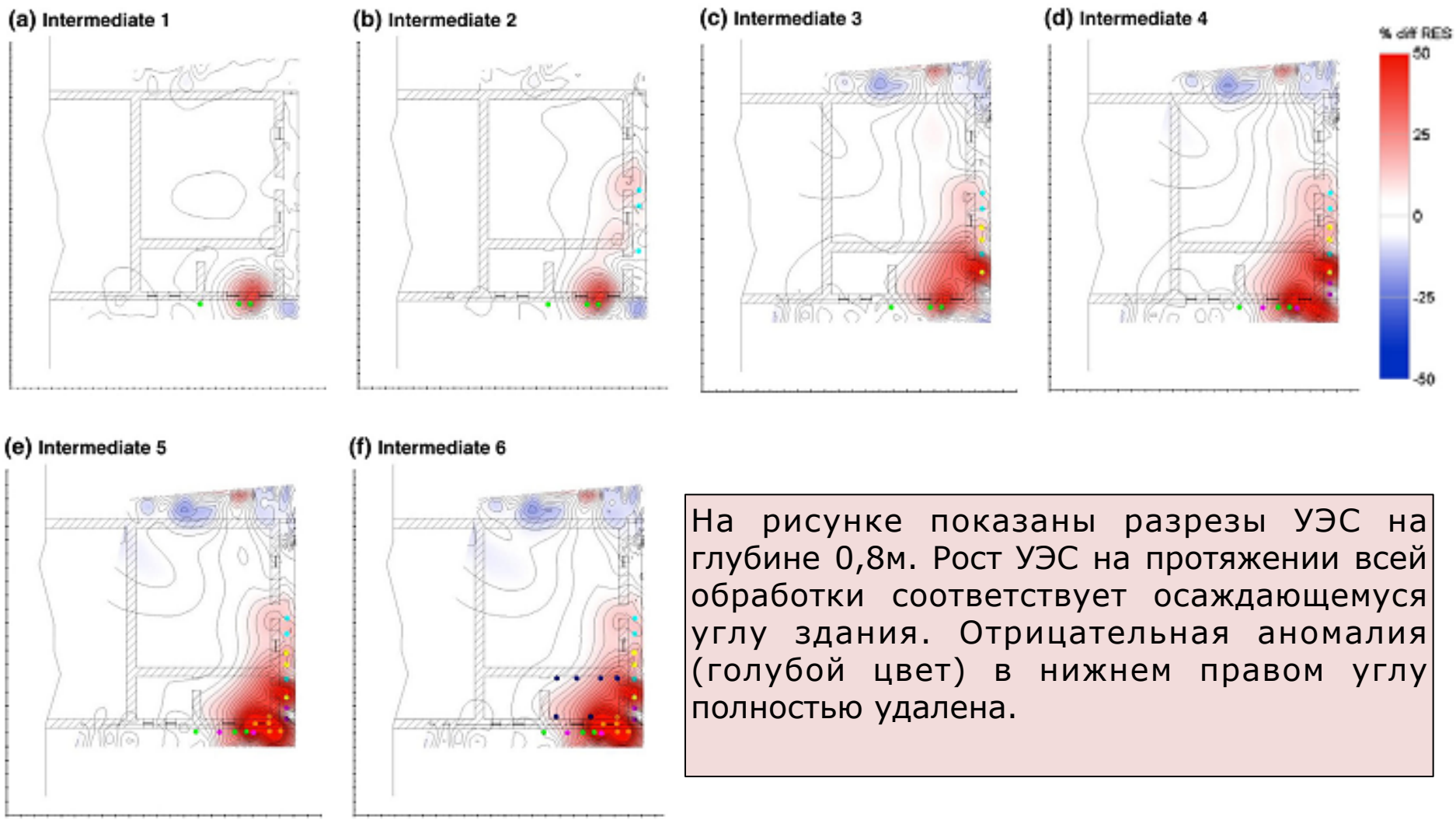


Схема обработки фундамента

[Santarato et al., 2011]

Мониторинг строительных работ по стабилизации фундамента зданий

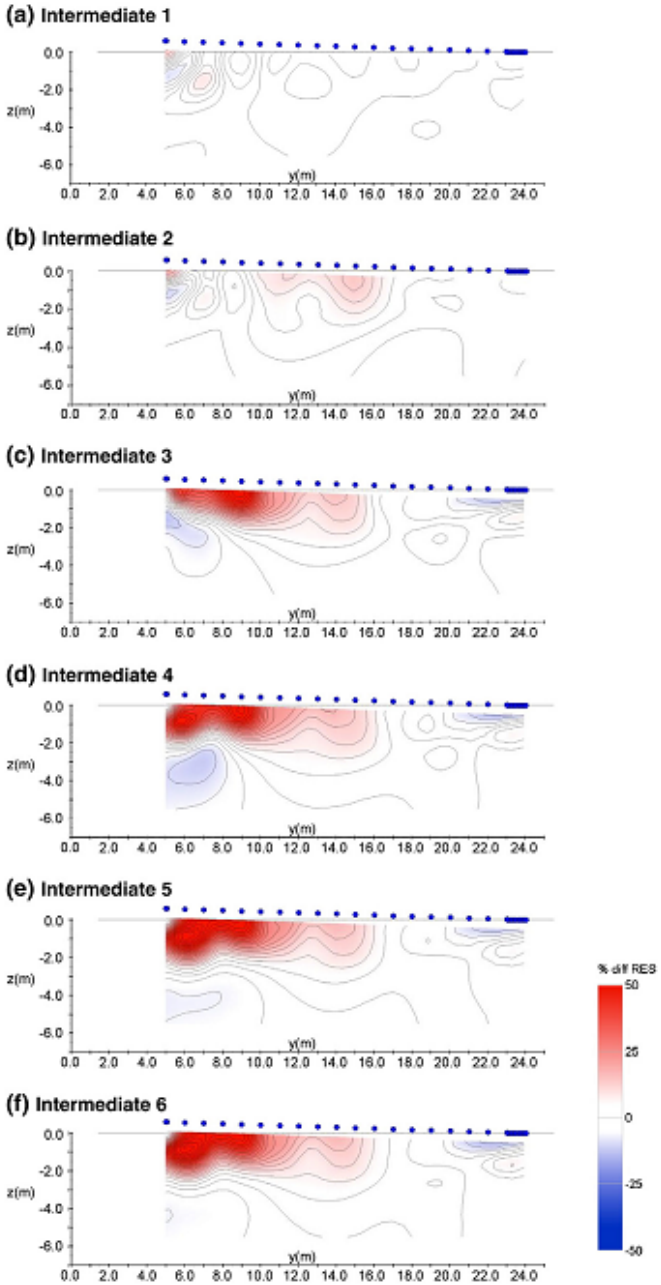


На рисунке показаны разрезы УЭС на глубине 0,8м. Рост УЭС на протяжении всей обработки соответствует осаждающемуся углу здания. Отрицательная аномалия (голубой цвет) в нижнем правом углу полностью удалена.

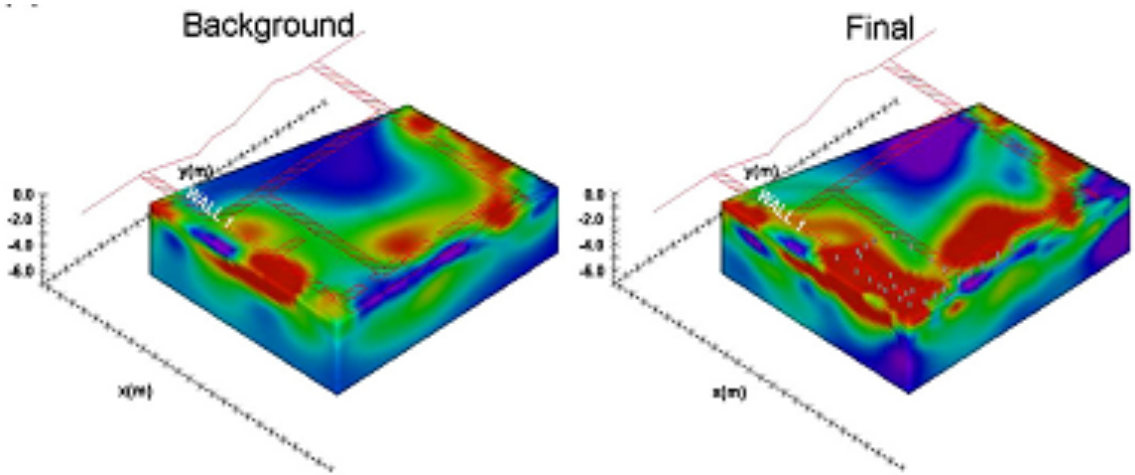
[Santarato et al., 2011]

Мониторинг строительных работ по стабилизации фундамента зданий

На левом рисунке показаны разрезы УЭС вдоль стены 3. Рост УЭС на протяжении всей обработки соответствует осаждающемуся углу здания. Отрицательная аномалия (голубой цвет) слева на глубине между 1 и 3 м полностью удалена.



На нижнем рисунке показано сравнение распределения УЭС до и после обработки. УЭС фундамента и грунта в месте усталостного перелома “Wall 1”–“Wall 3”, теперь сравнимо со значениями в ненарушенной части здания: увлажнённость была удалена как из фундамента, так и из почвы.



[Santarato et al., 2011]