

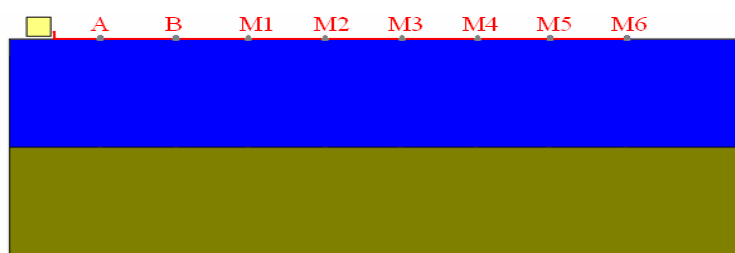
Донная электротомография при решении инженерных задач

А.Е. Каминский

Основные задачи электротомографии на акваториях:

- Инженерно-геологические изыскания
- Обеспечение строительства портовых сооружений
- Обеспечение прокладки трубопроводов и других линейных объектов
- Изучение мощности донных отложений
- Изыскания под очистку и углубление дна водоема

Измерения на поверхности воды.



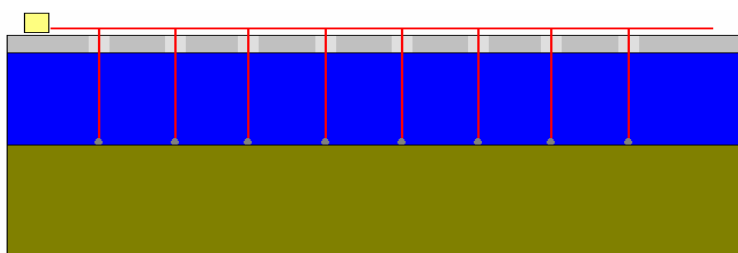
Преимущества:

- Высокая производительность работ
- Большой объем получаемой информации
- Ничтожное влияние геологических помех

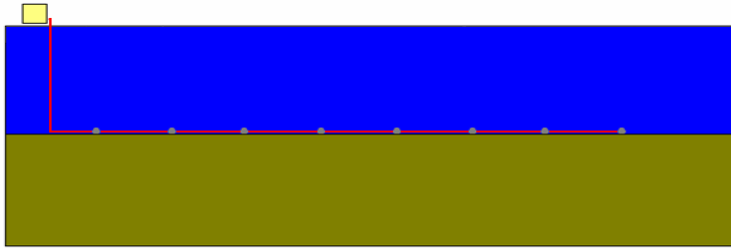
Недостатки:

- Низкая разрешающая способность
- Постоянная геометрия измерительной системы
- Необходимость в моторном судне и специальном навигационном оборудовании
- Влияние течений и волнений

Измерения на дне.



Зимний вариант.



Летний вариант.

Преимущества:

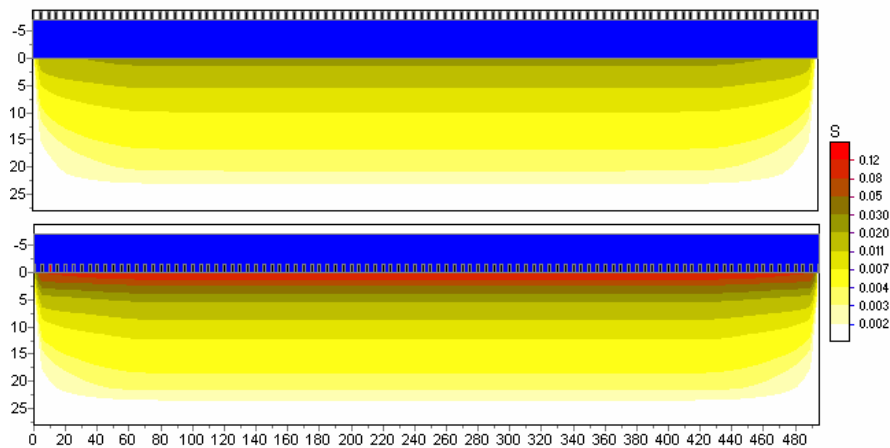
- Высокая разрешающая способность
- Возможность использования различных измерительных установок
- Малое влияние волнений и течений

Недостатки:

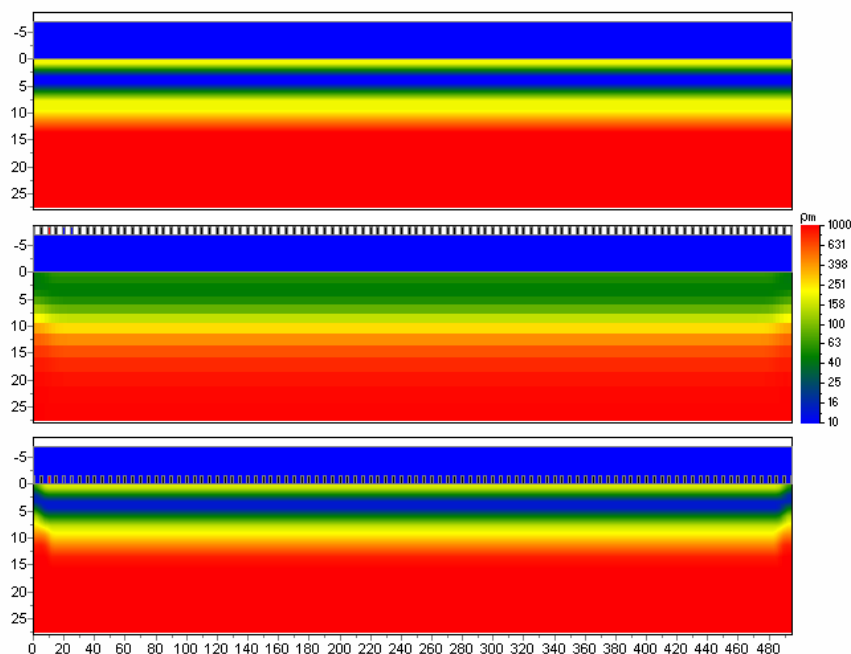
- Низкая производительность работ
- Влияние геологических помех и рельефа дна
- Сложность перемещения косы в “летнем” варианте
- Низкая износостойкость системы

Исследование разрешающей способности систем поверхностной и донной системы

Сопоставление интегральной чувствительности



Восстановление заданной модели



Электротомографический комплекс ERA-MULTIMAX



Комплект использованной аппаратуры - “Эра-MultiMAX” производства “НПП Эра”. Данный аппаратный комплекс предназначен непосредственно для проведения электротомографических работ.

Многоэлектродная коса “Эра-MultiMAX” представляет собой соединенные кабелем входные устройства приемной линии MN. Каждое из этих устройств имеет свой уникальный номер в косе, и подключается к многофункциональному разъему измерителя “Эра -MAX» через адаптер “Эра-MultiMAX”, Управление переключением электродов косы осуществляет измеритель ” Эра -MAX”, в соответствии с протоколом, выбранным режиме “Multimax”.

Многоэлектродные косы имеют возможность последовательно соединяться друг с другом с помощью многофункционального разъема на последнем электроде каждой из кос. Адаптер “Эра –Multimax” предназначен для согласования управляющих сигналов измерителя

с многоэлектродной косой. Входное активное сопротивление каждого электрода в косе, в подключенном состоянии, составляет, не менее, 100 мОм. Динамический диапазон входных напряжений каждого электрода: ± 2.8 В (АС), не менее. Собственные шумы измерителя “Эра-МАХ” при измерении в режиме Multimax с подключенной многоэлектродной косой “Multimax”, характеризуются средними отсчетами “n” по цифровому табло измерителя “Эра-МАХ”, и соответствуют уровню шумов измерителя при работе с входами MN, и не превышают значение: 0.5 мкВ - для частот 1.22; 2.44; 4.88; 9.76; 19.52Гц.

Методика полевых работ

Ввиду большой мощности водного слоя на акваторной части участка была выбрана донная система наблюдений, позволяющая получить более детальные результаты. При этом приемные и питающие свинцовые электроды опускались в специально пробуренные лунки. Глубина погружения электродов составляла от 0 до 7 м. Один из питающих электродов относился на так называемую “бесконечность” – около 300 м перпендикулярно линии раскладки электроразведочных кос.

Для исследования сопротивления воды использовалась специальная установка (установка Веннера с общей длиной 60 см), которая погружалась в лунки на глубину 1 метр.

В соответствии с требованиями по метрологии приборов перед началом работ все электроразведочные измерители и генераторные устройства проходили тестирование, направленные на определение чувствительности приборов во всей полосе возможных измеряемых сигналов, частотной характеристики измерителя и определения полосы пропускания электрических сигналов. Для генераторных устройств выполнена проверка величины амплитуды выходного тока, его стабильности в широком диапазоне сопротивления нагрузки, а также стабильности формы выходного сигнала и частоты главной гармоники.

Выбор системы наблюдений производился непосредственно перед полевыми работами. В качестве базовой, была использована трех-электродная установка со встречной системой разносов (AMN, MNA). Данную установку, применительно к комплекту аппаратуры “ЭРА ”, характеризует высокая производительность в сочетании приемлемой разрешающей способностью.

Для выбора оптимальной системы разносов использовалось математическое моделирование в программе ZondRes2D. Целью математического моделирования являлся расчет оптимальной системы разносов для надежного определения параметров разреза до глубины 30 метров с удовлетворительной разрешающей способностью.

Далее анализировались возможность системы наблюдений восстанавливать параметры разреза в сложных геоэлектрических средах. Для этого было выбрано несколько типичных трех и четырехслойных разрезов с небольшими неоднородностями внутри. Перед инверсией на синтетические данные накладывался пятипроцентный шум. По всем моделям получено хорошее соответствие между заданной и восстановленной моделью.

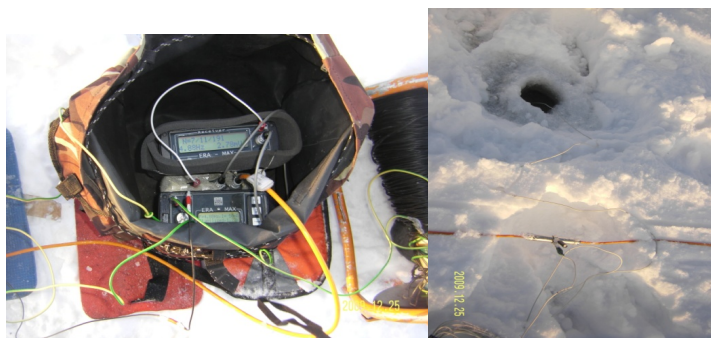
В результате была выбрана система наблюдений с двадцати четырех – электродной приемной косой длиной 100 метров. Расстояние между электродами косы составило 4 метра. Кроме коммутируемых электродов косы использовались дополнительные (за пределами косы). Выносные электроды необходимы для расширения области “видимости” установки и во избежание возникновения “слепых” зон в данных. Положения выносных электродов были кратны 4 метрам. Количество выносных питающих электродов варьировало от нуля до трех с каждой стороны косы.



Процесс измерений происходил следующим образом. Вначале все приемные электроды заземлялись на профиле и подключались к косе. Один из питающих электродов относился на так называемую “бесконечность” – около 300 м перпендикулярно линии раскладки электроразведочных кос. Рабочий питающий электрод последовательно перемещался вдоль косы.

При каждом новом положении питающего электрода производились измерения по обе стороны от него. Таким образом, для каждого элементарного измерения использовалась трех - электродная установка. Во избежание индуктивных наводок в приемной линии использовалась низкочастотный режим измерений (частота 4.8-9.6 Гц).

Повышение частоты (до 9.6 Гц) производилось вблизи линий электропередач и при плохих заземлениях.

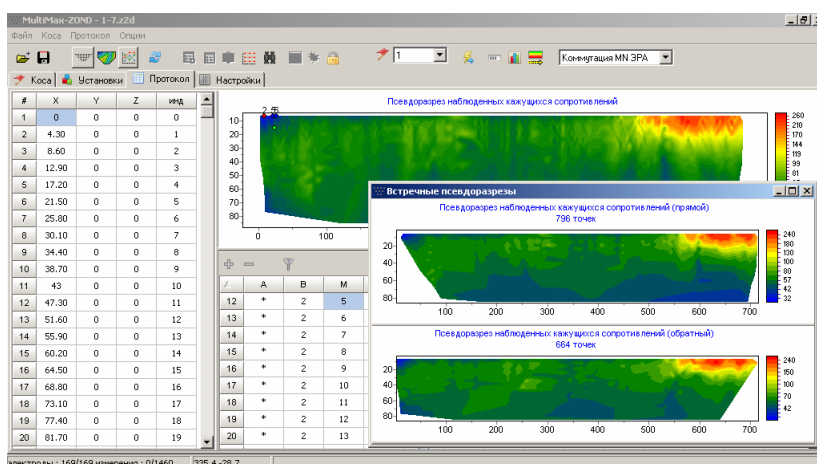


Количество измерений для каждой раскладки кос (24 рабочих электродов) составляло от 250 до 300 измерений.

В зависимости от строения участка условий заземлений и прочих факторов система измерений адаптировалась. Данные электротомографии обрабатывались непосредственно на профиле. В случае необходимости производились переизмерения.

Обработка данных

Процесс интерпретации данных начинается с анализа и первичной обработки информации. Несмотря на большой объем получаемых при электротомографии данных, важность предварительной оценки качества получаемой информации сложно переоценить. В некоторых случаях, даже небольшой процент измерений сомнительного качества может сильно повлиять на результирующую модель. Для обработки и анализа качества измерений применялась программа ZondMultimax, специально адаптированная для работы с использованным комплектом аппаратуры.

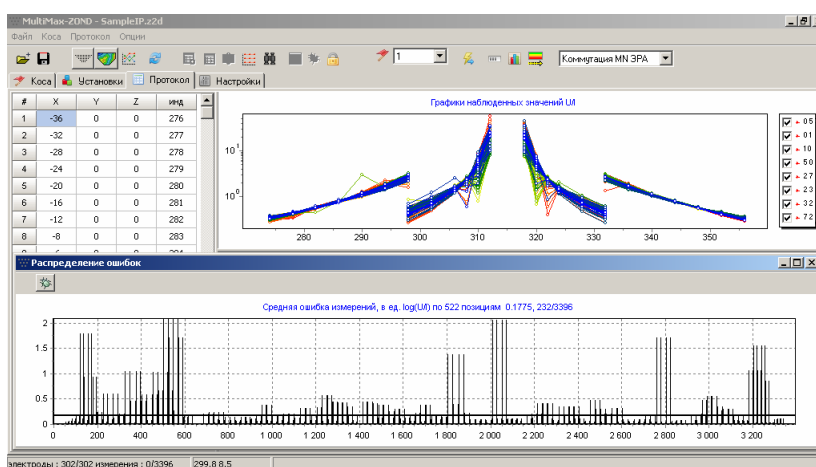


Программа ZondMultiMax – представляет готовое решение для электрической тотомографии, и решает широкий спектр задач от задания протоколов измерений и управления процессом измерений до обработки и анализа данных. Благодаря

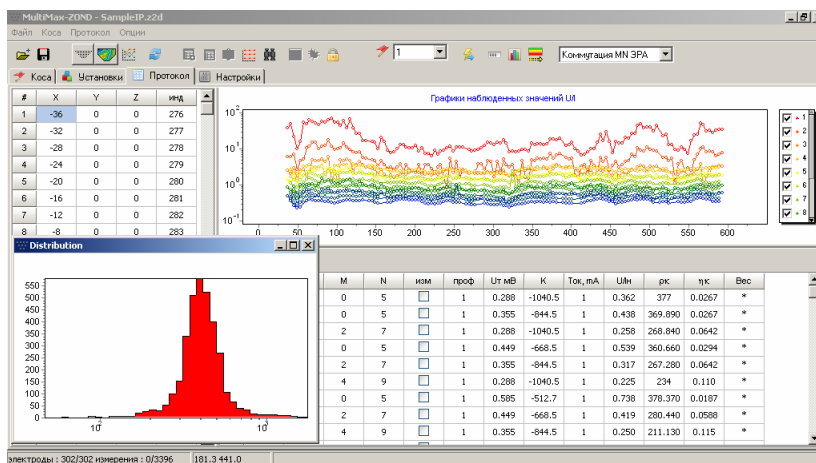
простоте использования и полной совместимости с аппаратурой ERA-MULTIMAX, ZondMultiMax позволяет получать качественные результаты прямо на профиле.

Комплекс поддерживает следующие методики электротомографических наблюдений: наземная электротомография 2D, наземная электротомография 3D, межскважинная электротомография, электротомография на акваториях.

Программа решает следующие задачи: задание протокола (автоматическое и интерактивное), управление процессом измерений, слив данных, визуализация и анализ результатов измерений, раздельное отображение установок, пересчет данных в различные установки, импорт и экспорт, подготовка данных к инверсии.



На первом этапе рассчитывались оценки дисперсий измерений, отбраковывались измерения, имеющие явно завышенные или заниженные значения, не коррелирующие с остальными. Качество заземлений электродов, контролировалось непосредственно во время измерений – по разнице между первой и нормированной третьей гармоникой сигнала. Для оценки качества измерений использовался специальный алгоритм, реализованный в ZondMultimax, основанный на свойствах потенциала и принципе взаимности.

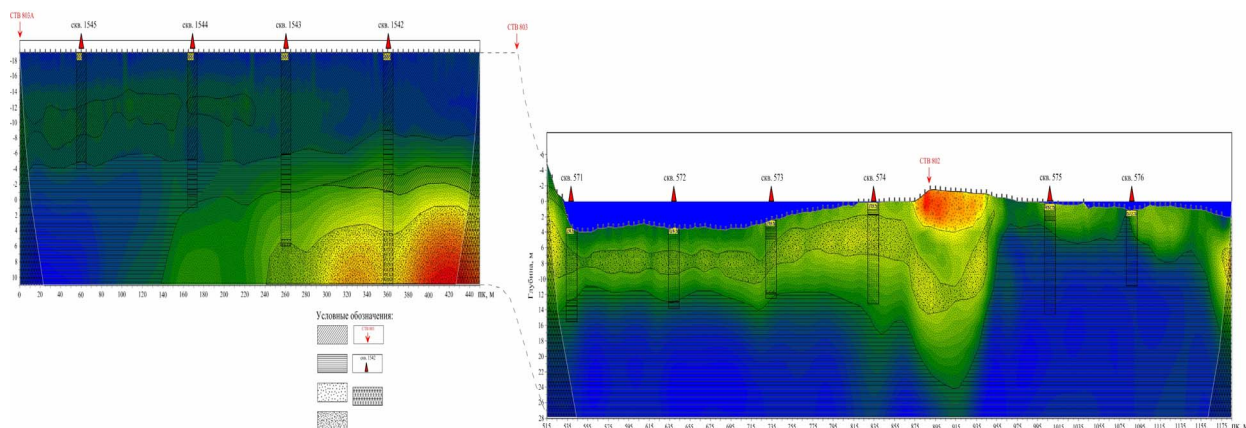


Также данные анализировались на предмет отдельных выскоков, связанных с методическими ошибками измерений. Затем данные разбивались на отдельные элементы и анализировались совместно. В качестве элементов использовались измерения для одинаковых разносов и положений токовых электродов. Если данные для одного из элементов сильно отличались от соседних, то такой элемент исключался из интерпретации. Процент брака обычно составлял не более 5 % от общего количества измерений. Как показал углубленный анализ данных, большинство ошибок было связано с некачественными заземлениями электродов и сильными искажениями от Р и С – эффектами.

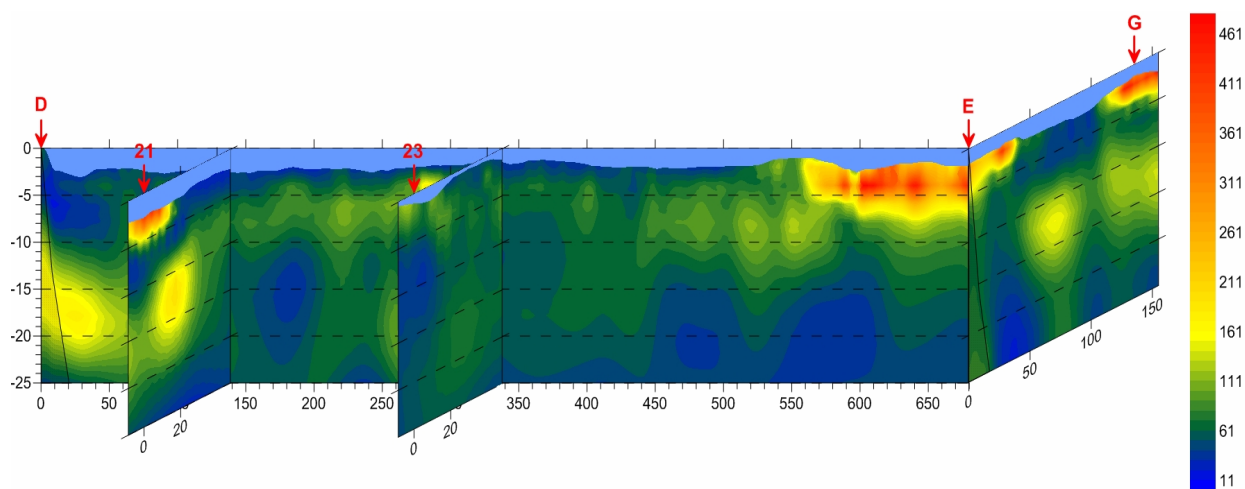
Интерпретация полевых данных

Для интерпретации данных использовалась программа ZondRes2d, позволяющая решать прямую и обратную задачу электротомографии. В качестве входных данных использовались координаты электродов, высоты и собственно измеренные значения разности потенциалов и дисперсии измерений. Обратная задача (инверсия) позволяет из измеренных значений разности потенциалов на поверхности, получить двумерное распределение удельных сопротивлений. Для получения геоэлектрических разрезов мы использовали самую устойчивую модификацию инверсии – Оссат. Данный алгоритм специально предназначен для получения гладких (плавно изменяющихся моделей).

Результаты



Результаты донной электротомографии. "Зимний" вариант. Котлас 2009.



Результаты донной электротомографии. "Зимний" вариант. Свирьстрой 2010.