

TEM-FAST - технология малоглубинной электроразведки

Барсуков П.О., Файнберг Э.Б., Хабенский Е.О., ЦГ ЭМИ ИФЗ РАН, г. Москва

Технология TEM-FAST была создана в 1992-93 гг. на основе хорошо известного и популярного во всем мире метода зондирования становлением поля (ЗС/ЗСБЗ или TEM/TDEM). Метод ЗС, использующий магнитные приемные и излучающие антенны (петли и индукционные датчики), обеспечивал максимальную глубину исследований при минимальных размерах зондирующей установки. При предельной глубине исследований 200-300 м лучшие мировые TEM-системы обеспечивали производительность порядка 2-3 зондирований в час. Однако процесс обработки и интерпретации данных был весьма сложным и занимал достаточно много времени, что существенно увеличивало стоимость исследований. Эти два недостатка (низкая производительность и высокая стоимость) резко снижали шансы ЗС в конкуренции с другими методами малоглубинных геофизических исследований.

Разработчики TEM-FAST ставили перед собой две основных задачи: резкое увеличение производительности полевых исследований ЗС и максимальную автоматизацию процессов обработки и интерпретации данных. Эти задачи были успешно решены в разработанной системе.

В TEM-FAST технологии в качестве генераторной и приемной антенн используется одна и та же квадратная или прямоугольная незаземленная петля (так называемый однопетлевой вариант ЗС). При этом сразу достигаются две цели: измеряется изменение магнитного потока во времени через контур петли, максимально интегрируя эффекты от приповерхностных неоднородностей в окрестности антенны, и в разы повышается производительность полевых работ, поскольку отпадает необходимость складывать вторую петлю или индукционный датчик. Кроме того, регистрируемый переходный процесс обладает рядом уникальных, полезных свойств, которые используются при сглаживании данных и построениях трансформаций.

Аппаратура TEM-FAST 48HPC обеспечивает генерирование импульсов тока и измерение процесса становления поля в антеннах с размерами от нескольких сантиметров до полукилометра. Кондиционные измерения и интерпретацию данных зондирований можно проводить с антеннами размером от (10×10) м². Измерения с сантиметровыми и метровыми антеннами проводятся для физического моделирования, исследований физических свойств горных пород или поисков уникальных объектов. Процесс измерения полностью автоматизирован и управляется карманным компьютером (Pocket PC).

Третьим элементом технологии является компьютерная программа TEM-RESEARCHER, осуществляющая обработку, интерпретацию данных ЗС и подготовку информации для финального отчета.

Аппаратура TEM-FAST-48 HPC

На рис.1 представлен полевой комплект аппаратуры TEM-FAST 48 HPC.



Рис. 1. Аппаратура TEM-FAST 48 HPC и карманный компьютер HP Ipaq 2210.

Наиболее важной характеристикой любой аппаратуры метода ЗС, применяемой для малоглубинных исследований, является длительность собственного переходного процесса, т.е. процесса становления, зависящего от инерционных свойств системы генератор-антенна-измеритель. Понятно, что кондиционные измерения сигналов ЗС возможны лишь во временном диапазоне, в котором собственный процесс системы отсутствует (после так называемой «мертвой зоны»). Чем короче собственный процесс, тем на более ранних временах можно производить измерения и тем меньше минимальная глубина ЗС. На рис.2 представлены характеристики собственного процесса и сигнала ЗС в антенне (20×20) м².

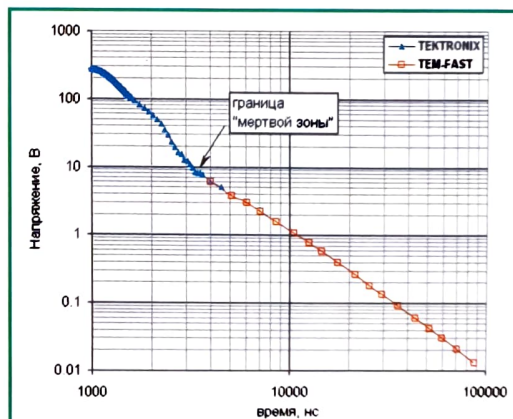


Рис. 2. Напряжение на терминалах петли (20×20) м² после выключения тока 1А. Левая ветвь - измерения осциллографом Tek THS720A, а правая - TEM-FAST 48 HPC. Собственный процесс системы генератор - петля - измеритель заканчивается на времени ~3500 мс.

Собственный процесс зависит от многих факторов: размера антенны, выходной емкости силового транзистора, величины шунтирующей петлю резистора и т.д. В системе TEM-FAST 48 при использовании антенн (20×20) - (100×100) м² из проводов с сопротивлением от 40 до 8 Ом/км (ПВ-4, ПВА, ПГВА 0,5-2,5 мм²) «мертвая зона» соответственно занимает диапазон от 3,5 мкс до 20 мкс. На сегодняшний день это лучший

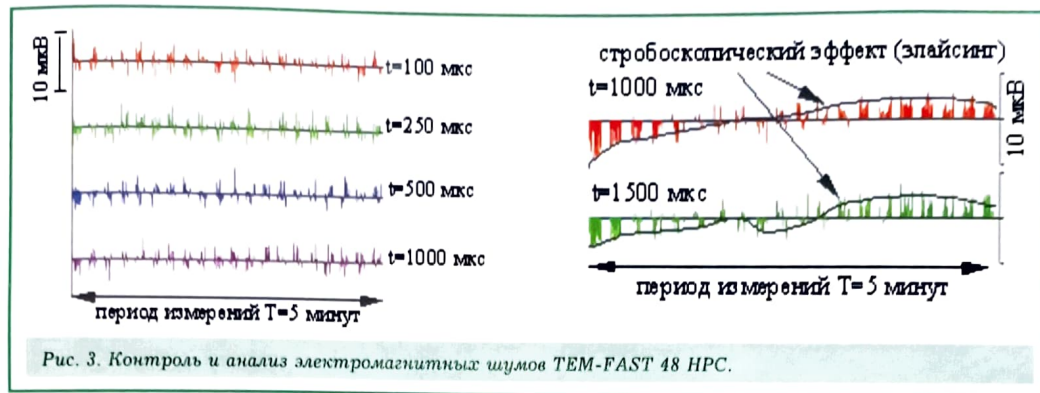


Рис. 3. Контроль и анализ электромагнитных шумов TEM-FAST 48 HPC.

результат среди промышленно выпускаемых в мире TEM систем [4].

Как уже отмечалось, процесс измерений и обработки сигнала производится под управлением карманного компьютера, который контролирует режим работы, качество данных, накапливает сигнал по специальному кодовому алгоритму с целью обеспечения наилучшего соотношения сигнал/шум. Для обеспечения стабильности и точности измерений на уровне 0,1% каждые полсекунды проводится автоматическая калибровка прибора, устраняющая аддитивные (дрейф аналоговых цепей) и мультипликативные (дрейф усиления и величины тока) погрешности. Одновременно с измерениями отклика среды на каждой временной задержке производится измерения электромагнитного шума (рис. 3). Знание характеристик этого шума важно при сглаживании (фильтрации) данных, устранении элайсинговых эффектов и др.

Выходными измеряемыми величинами являются: $E(t)/I$ - нормированная на ток переходная характеристика и $ERR(t)$ - величина погрешности измерений для каждого времени t .

Аппаратура позволяет измерять сигналы в диапазоне от 4 мкс до 16 мс.

Собственные шумы измерителя не превышают 100 нВ (rms), что позволяет при времени

накопления 2,5 минуты надежно измерять сигналы величиной ~1 мкВ.

После 2-3 минут измерений (обычно этого достаточно даже при экспериментах в городских условиях) оператор видит на экране компьютера переходные процессы, оценки погрешностей, характеристики шумов и т.д. (рис. 4).

Кроме того, в карманном PC имеется программа трансформации кривых становления в зависимость кажущегося сопротивления от глубины исследований. Это позволяет оператору непосредственно в полевых условиях получать информацию об исследуемом разрезе.

Трансформация кривых $E(t)/I$ в $\rho(h)$

В электроразведке принято в качестве интерпретационного параметра использовать кажущееся удельное сопротивление $\rho_a(t)$ такого однородного полупространства, реакция которого в момент времени t совпадает с экспериментально измеренным сигналом. Традиционно в ЗС, $\rho_a(t)$ вычисляют по асимптотической формуле поздних времен для ближней зоны становления поля, когда выполняется условие $t/(-\rho R^2/\rho_a(t)) \gg 1$:

$$\rho_a(t) = \left[\frac{\pi}{20} \frac{\mu^{5/2} R^4}{t^{5/2} E(t)/I} \right]^{2/3} \quad (1)$$

где $E(t)/I$ - измеряемая величина нормированного

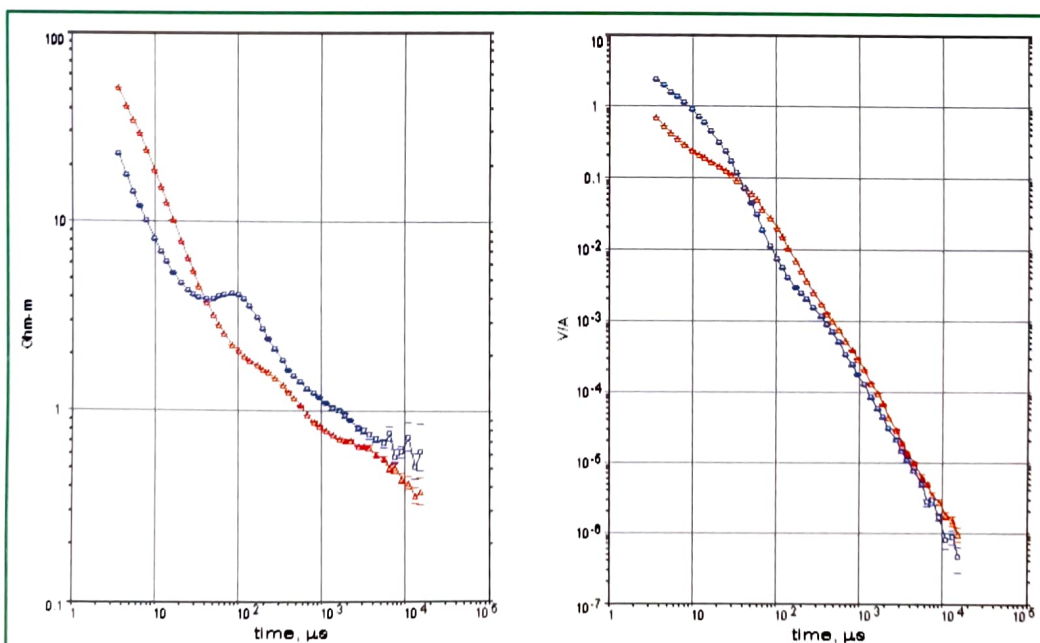


Рис. 4. Кривые кажущегося сопротивления (слева) и переходные характеристики $E(t)/I$ (справа) с погрешностями измерений, соответствующие двум ЗС с антеннами $(25 \times 25) \text{ м}^2$.



напряжения на терминалах антенны, а $R=L/\rho^{1/2}$ - эффективный радиус квадратных одновитковой антенны со стороной L .

Однако можно ввести кажущееся сопротивление, рассчитанное по полной формуле становления, справедливой для любой стадии переходного процесса. В совмещенных антеннах для однородного полупространства ЭДС равна:

$$E(t)/I = \mu\pi R^2 \int_0^\infty \frac{e^{-t/\tau}}{\tau} \left[\frac{1}{\pi t/\tau} - \right. \quad (2)$$

$$\left. - e^{t/\tau} \operatorname{erfc}(-t/\tau) \right] J_1^2(\lambda R) d\lambda,$$

$$\text{где } \tau = \frac{1}{\rho} \frac{\mu}{\lambda^2}.$$

Кажущееся сопротивление $\rho_f(t)$ можно получить, решая уравнение (2) относительно ρ , в левой части которого стоит измеренная величина напряжения.

Кажущиеся сопротивления, рассчитанные по асимптотической формуле ближней зоны (1) и по полной формуле, совпадают на поздних временах и существенно отличаются на ранних, где $t/(-\rho R^2/\rho_a(t)) < 1$ (рис. 5).

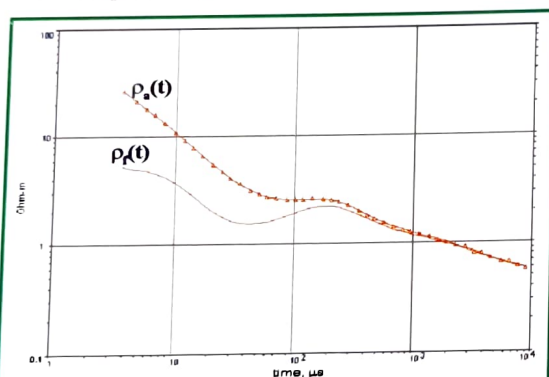


Рис. 5. Кажущиеся сопротивления, рассчитанные по асимптотической $\rho_a(t)$ и полной формуле становления поля $\rho_f(t)$.

Отметим, что $\rho_f(t)$, в отличие от $\rho_a(t)$, на всех стадиях переходного процесса ведет себя подобно кажущему сопротивлению в методах постоянного тока (ВЭЗ или ДЭЗ).

Преобразование $E(t) \rightarrow \rho(h)$ в TEM-FAST следует идеям известных трансформаций МТ-данных (Ниблета, Бостика, Молочнова, Левьета), однако имеет ряд особенностей, позволяющих изменять разрешающую способность (детальность) $\rho(h)$ в зависимости от типа и контрастности исследуемого геоэлектрического разреза. Для преобразования $E(t) \rightarrow \rho(h)$ используются две функции: $\rho_f(t)$ - кажущееся сопротивление, рассчитанное по полной формуле и ее производная по времени $d\rho/dt = \rho'_f(t)$. Процедура вычислений $\rho_f(t)$ и $\rho'_f(t)$ (решение уравнения (2)) относится к классу неустойчивых задач и требуют специального алгоритма сглаживания исходных данных $E(t)$. Алгоритм сглаживания подробно описан в работе [1] и основан на представлении переходного процесса $E(t)$ в виде суперпозиции экспонент, где действительная функция $E(s)$ действительного показателя экспонент s называется экспоненциальным спектром.

Использование дополнительной информации

о поведении спектра $E(s)$ существенно повышает устойчивость решения. Например, для однопетлевого варианта ЗС при любом распределении частотно-независимой электропроводности в исследуемой среде экспоненциальный спектр положителен при всех значениях s . Отсюда следует, что

$$E(t) = \int_0^\infty E(s) e^{-st} ds \quad (3)$$

сами сигналы становления $E(t)$ и все их временные производные обладают свойством «совершенной монотонности» [2,3].

$$\frac{d^n E(t)}{dt^n} = (-1)^n \int_0^\infty s^n E(s) e^{-st} ds \quad (4)$$

$$(-1)^n \frac{d^n E(t)}{dt^n} > 0, \quad n \geq 0 \text{ и } t > 0$$

Это означает, что переходной процесс не может изменить свою полярность, а также ни одна из его временных производных не меняет знака. Если же измеряемый в совмещенной приемно-излучающей антенне процесс убывает немонотонно, изменяя полярность, это однозначно свидетельствует о частотной зависимости проводимости исследуемой среды (индукционно вызванная поляризация или IP-эффект). Отметим, что такое утверждение несправедливо для разнесенных приемно-генераторных антенн ЗС.

Таким образом, сначала производится сглаживание экспериментальных данных, аппроксимация суперпозицией экспонент, согласно (3), а затем вычисляется кажущееся сопротивление по полной формуле $\rho_f(t)$.

Далее вычисляется корректирующий коэффициент

$$k(t) = \frac{1}{(1-v)^{3/2}}, \quad (5)$$

$$\text{где } v = \frac{t}{\rho_f(t)} \frac{d\rho_f(t)}{dt} = \frac{d \ln \rho_f(t)}{\ln t}, \quad \text{abs}(v) < 1$$

а затем и $\rho(h)$:

$$(5.1)$$

Эффективная глубина исследования h для каждого времени t определяется как

$$h = \frac{t \beta(\text{res})}{\mu_0}, \quad (5.2)$$

Функция $\beta(\text{res})$ имеет размерность [Ом·м] и может изменяться от величины ρ_f «нетрансформированного» сопротивления) до величины ρ_a из (5.1).

Изменения значений $\beta(\text{res})$ существенно изменяет вид кривой $\rho_h = \rho(h)$ и разрешающую способность трансформаций. Для слабоконтрастных сред $\beta \rightarrow \rho_f$, а для контрастных $\beta \rightarrow \rho_a$ для сред со средним уровнем контрастности $\beta = (\rho_h/\rho_m)^{1/2}$.

Соотношение между ρ_h и ρ_m в $\beta(\text{res})$ регулируется специальным параметром resolution (res) - «разрешающей способностью трансформаций», который исследователь может изменять либо самостоятельно, или же, включив автоматический режим, поручить программе трансформаций:

$$\ln(\beta(\text{res})) = \ln(\rho_m) + \frac{\ln(\rho_h) - \ln(\rho_m)}{10} * \text{res}$$

$$0 \leq \text{res} \leq 10$$

Построение разреза $\rho(h)$ производится в автоматическом режиме без привлечения какой-либо дополнительной информации. Поскольку при вычислении $\rho(h)$ не требуется задавать количество слоев, построенные разрезы, несмотря на то, что они, по сути, являются псевдорезами, во многих случаях более объективно отражают распределение сопротивлений с глубиной, чем инверсия данных в классе слоистых сред.

Рис. 6 иллюстрирует изменение разрешающей способности трансформаций при изменении расстояния между двумя тонкими хорошо проводящими слоями глины ($\rho=3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), залегающими среди достаточно высокоомных пород ($\rho=70 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Кусочно-однородный график-модель, гладкая кривая трансформации. При расстоянии $h=3\text{м}$ слои неразличимы, с увеличением расстояния между слоями разрешение увеличивается.

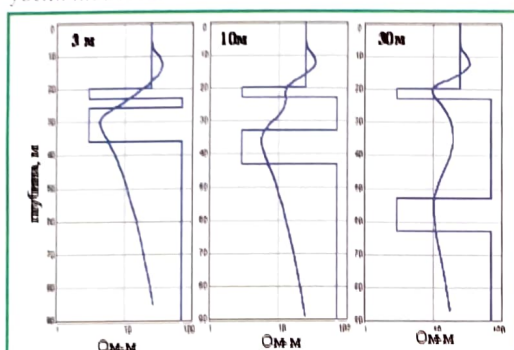


Рис. 6. Пример трансформации $\rho(h)$ (индексы - расстояние между слоями).

Пример использования трансформаций $\rho(h)$ в разрезе неоднородных сред приведен на рис. 7. Исходные данные получены в результате физического моделирования TEM-FAST на алюминиевых пленках в масштабе 1:400. Использовались антенны 20 витков, $(10 \times 10) \text{ см}^2$. Черными линиями показано истинное расположение алюминиевых пленок разной толщины. Хорошо видно, что основные черты разреза легко угадываются на псевдоразрезе, хотя, естественно, точного совпадения нет.

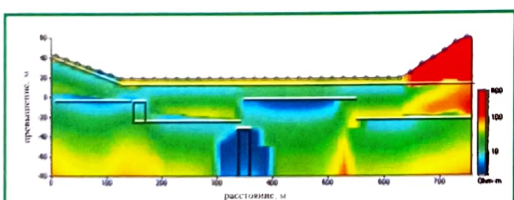


Рис. 7. Геоэлектрический псевдоразрез, построенный по трансформациям $\rho(h)$.

В таблице 1 приведены технические характеристики аппаратуры TEM-FAST 48 НРС.

Программа обработки и интерпретации данных ЗС TEM-RESEARCHER

После окончания полевых исследований данные из полевого карманного компьютера копируются в настольный РС. Специальная программа конверсии позволяет контролировать корректность установленных координат и высотных отметок точек наблюдения (обычно задаются оператором по GPS в процессе полевых измерений).

Первой процедурой обработки данных является построение псевдоразрезов по только

Таблица 1. Технические характеристики TEM-FAST 48 НРС.

Генератор

- время выключения токового импульса ($I=1 \text{ А}$), мкс	
$(25 \times 25) \text{ м}^2$, не более	4
$(50 \times 50) \text{ м}^2$, не более	8
$(100 \times 100) \text{ м}^2$, не более	20
- Амплитуда токовых импульсов, А, выборочно	1/4
- Отношение импульс/пауза	3/1
- активное сопротивление нагрузки, Ом	0 - 20
- индуктивность нагрузки ($I=1 \text{ А}$), Гн	< 0,01

Приемник

- Полоса частот, МГц, не менее	4
- Допустимое постоянное напряжение на входе, мВ	2 - 5
- Количество автоматически регистрируемых задержек	48
- подавление промышленных помех 50/60 Гц, дБ, не менее	60
- Внутренний шум (rms - ср кв. значение), мкВ (накопление 3 мин, $I=1 \text{ А}$, нагрузка 4 Ом), не более	0,1
- Динамический диапазон, max / min	10В / 1 мкВ
- Измеряемые величины:	
Е.Д.С./ток	В/А
погрешности измерений	В/А, %
- Возможные типы измерительных установок:	
однопетлевой с размерами антенн, м^2	до 500×500
«петля в петле» - размер генераторной петли, м^2 , не более	500×500
оптимальная конфигурация - одна петля площадью, м^2 $(20 \times 20) + (100 \times 100)$	
Минимальное время измерений, с	18

Энергопотребление

- Штатная внутренняя батарея	12В, 2000 мА·ч
- Максимальное количество зондирований со штатной батареи: ($I=1 \text{ А}$, накопление 3 мин), не менее	70
- Потребление в режиме - «sleep», мкА, не более	1
- Среднее потребление в режиме - «work» $I=1 \text{ А}$, мА, не более	350
- время работы Pocket PC Ipaq 2110, ч, не менее	8

Другие характеристики

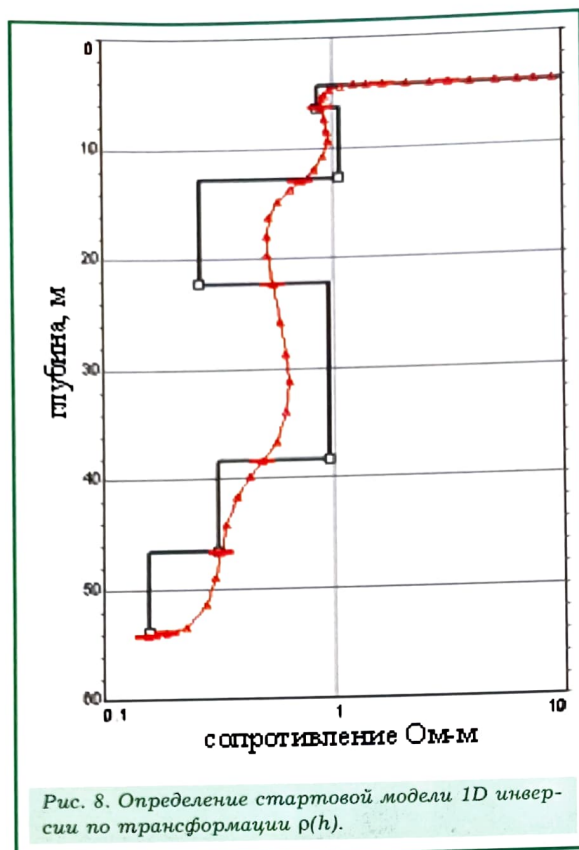
Работа с IBM-совместимым PC OS DOS/Win95/98/ME/Win2000/XP	
Pocket PC OS WinCE и ее модификации (порт RS 232)	
Вес, кг, не более	1,5
Вес карманного PC Ipaq 2110, кг, не более	0,2
Размеры, мм	$103 \times 27 \times 310$
Температурный диапазон работы, °C	-20...+65
Изменение температуры, °C/мин, не более	3
Степень защиты корпуса прибора	IP15 (65)
Производительность исследований 4 чел., $(100 \times 100) \text{ м}^2$, ЗС/час	до 12

что полученным данным ЗС. Эта операция выполняется в автоматическом режиме и занимает около минуты. В результате исследователь получает псевдоразрез подобный тому, что показан на рис.6. На основе полученного разреза можно судить об основных особенностях исследуемой среды. Более детальную информацию можно получить на основе одномерной (1D) инверсии.

Величины сопротивлений и мощности слоев вычисляются из минимума функционала невязки вычисленных и экспериментальных данных. При этом учитывается погрешность и априорная информация. Стартовую модель выбирают, исходя из имеющихся геологических пред-



ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



ставлений о разрезе, или на основе псевдоразреза $\rho(h)$, рис. 8.

Отталкиваясь от стартовой модели, определяется модель среды, ТЕМ-отклик от которой наиболее близок к исходным данным. Эта процедура называется инверсией и, как известно, относится к классу неустойчивых задач. Неустойчивость инверсии проявляется в том, что к одной и той же исходной переходной характеристике $E(t)$, измеренной с некоторыми погрешностями $err(t)$, можно подобрать целый ряд эквивалентных моделей среды, ТЕМ-отклики от которых $E_m(t)$ на каждом времени t , будут удовлетворять неравенству:

$$|E(t) - E_m(t)| < err(t), \quad (6)$$

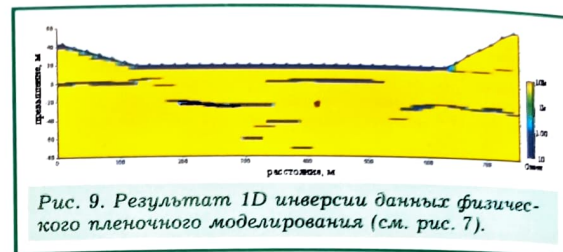
т.е. отклонения модельных E_m и исходных E откликов лежат в пределах погрешностей измерений err . Чем меньше погрешности err и шире временной диапазон измерений сигналов ЗС, тем уже класс эквивалентных моделей среды.

Другая, весьма существенная проблема заключается в том, что для определения параметров реальной трехмерной геологической структуры (3D) используются 1D данные (профильные, например) и 1D инверсия. Понятно, что в этом случае требование близости исходных и модельных ТЕМ-откликов (6) не гарантирует получение истинного представления о реальной структуре исследуемой среды.

Однако, несмотря на казалось бы абсолютно тупиковую ситуацию с применением 1D инверсии к 3D структурам, выход все же есть. Как уже отмечалось, однопетлевой вариант ЗС обеспечивает максимально возможную локальность исследований. Результаты физического моделирования и специальные натурные исследования позволяют утверждать, что в неоднородных средах сигнал в совмещенных антеннах слабо зависит от областей изучаемой среды, находящихся вдали от контура антенны. Иллюстра-

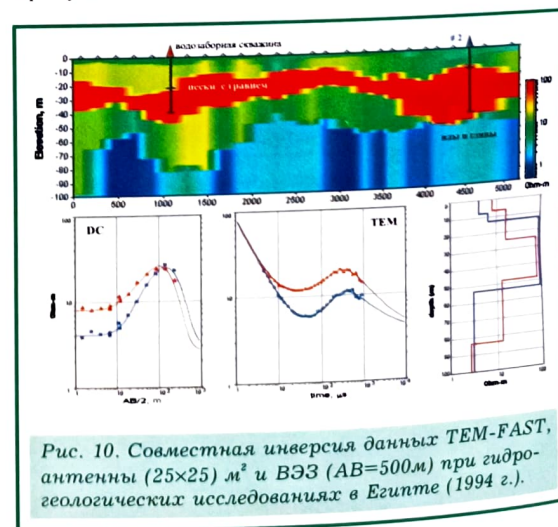
ций этого утверждения может служить рис. 9, на котором показаны результаты 1D инверсии данных физического моделирования (рис. 7).

Несмотря на то, что истинная структура среды далека от одномерной, результат 1D инверсии можно считать приемлемым. Грубые ошибки наблюдаются лишь на резких границах слоев и вблизи центральной вертикальной структуры. В правой части профиля плоскость антенны наклонена к горизонту на 23° , тем не менее, границы слоев на этом участке профиля определяются с приемлемой для практики погрешностью. Модельные исследования показывают, что сигнал в совмещенной антенне LxL практически не зависит от неоднородностей, расположенных дальше, чем на L от контура петли.



Принципиальную роль в получении устойчивого, «геологически адекватного» результата инверсии данных ЗС играет априорная информация о разрезе. Перед началом инверсии данных, измеренных по площади или профилю, исследователь должен как минимум задать предельные значения сопротивлений и мощностей слоев, что в 90% случаев автоматически приводит к получению приемлемого геологического результата.

При отсутствии информации о геоэлектрическом строении исследуемой территории (что весьма часто бывает) надежные и устойчивые результаты можно получить при совместной 1D инверсии данных ЗС и методов постоянного тока ВЭЗ или ДЭЗ. Как известно, ВЭЗ весьма чувствителен к электрически изолирующим горизонтам, в то время, как ТЕМ - к хорошо проводящим. Совместная инверсия данных ТЕМ и ВЭЗ позволяет одновременно повысить чувствительность электроразведочных исследований, как к проводникам, так и к изоляторам. Если в распоряжении исследователя имеются результаты измерений обоих методов, то программа DC-TEM-RESEARCHER позволяет



найти 1D модель среды, для которой одновременно TEM и ВЭЗ отклики удовлетворяют неравенствам (6) с соответствующими исходным данным. Пример совместной инверсии ВЭЗ(DC) и TEM-FAST данных по гидрогеологическому профилю приведен на рис. 10.

Рис. 11 иллюстрирует инверсию TEM-FAST данных при региональных исследованиях в платформенных областях. В качестве априорной информации заданы максимальные и минимальные электрические сопротивления пород и количество слоев (по картотажу).

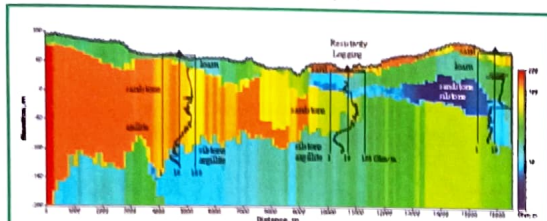


Рис. 11. Геоэлектрический разрез по региональному профилю (антенны $100 \times 100 \text{ м}^2$) и данные картотажного сопротивления (Алроса-Поморье, 2005 г.).

Рис. 12 иллюстрирует данные TEM-FAST полученные при поисках кимберлитовых трубок. При инверсии никакой априорной информации задано не было. Данные были проинтерпретированы, а затем совмещены с геологическим разрезом.

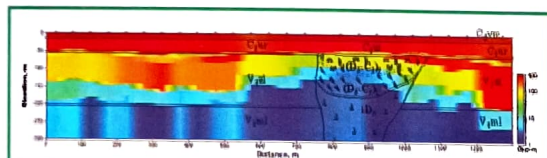


Рис. 12. Геоэлектрический и геологический разрезы через кимберлитовую трубку - антенны $(100 \times 100) \text{ м}^2$. 1D инверсия проведена без привлечения какой-либо априорной информации. Геологические данные Алроса-Поморье, 2005 г.

При площадных исследованиях возникает необходимость автоматической инверсии весьма больших объемов данных (несколько тысяч точек ЗС). Для решения такой задачи предусмотрен специальный алгоритм, который стабилизирует инверсионную процедуру, используя в качестве стартовой модели для каждой точки результат инверсии в соседних точках площади исследования. Кроме того, для получения геологически адекватного результата инверсии необходимо как можно точнее задать предельные значения

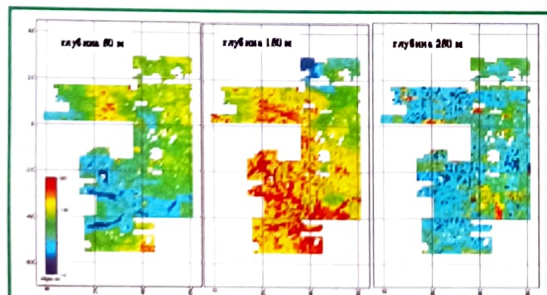


Рис. 13. 1D инверсия площадных данных TEM-FAST. 3500 зондирований с антеннами $(100 \times 100) \text{ м}^2$. Удельное сопротивление пород на различных глубинах. Инверсия в рамках 5-слойного разреза с сопротивлениями от 10 до 300 Ом.м. Обработка всего массива данных заняло около 12 часов на PC 3,3ГГц. TEM-FAST съемка компании «Терра», 2002 г.

сопротивлений и мощностей слоев. Пример автоматической инверсии площадных данных ЗС приведен на рис. 13.

Применение TEM-FAST технологии

Описанная технология импульсных электромагнитных зондирований может быть применена всюду, где соблюдаются три условия:

- искомый объект находится на глубине в пределах 300 м от поверхности;
- объект отличается от вмещающей среды по сопротивлению, как минимум, в 1,5 раза;
- эффективный размер локального объекта соизмерим с глубиной его залегания.

Прежде всего, TEM-FAST применяется для решения геологических и гидрогеологических задач: региональные картирование, поиски алмазосодержащих трубок в благоприятных условиях, месторождений электрически контрастных руд, поиски россыпей золота и алмазов, картирование водонесущих горизонтов, водоупоров и т.д.

Однако, за десятилетие использования технологии, как минимум в 25 странах мира, область применения существенно расширилась. Так, например, на рис. 14 показаны результаты TEM-исследований археологического объекта - египетских пирамид.

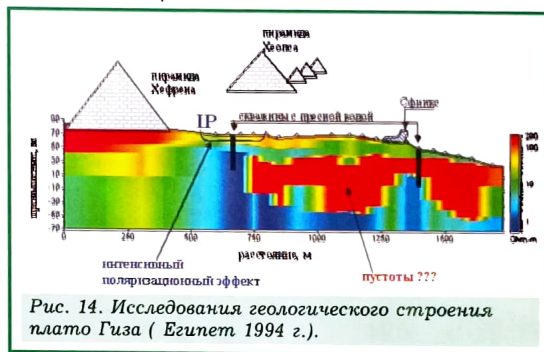


Рис. 14. Исследования геологического строения плато Гиза (Египет 1994 г.).

Исследования, начатые как чисто геологические, дали неожиданный результат: между всемирно известными объектами Сфинкс-пирамиды Хеопса и Хефрена была обнаружена область с аномально высоким электрическим сопротивлением. Предположительно ее связывали с пустотами в известковых отложениях плато Гиза, которые содержат минерализованную воду и обладают весьма низкими сопротивлениями (до единиц Ом.м по данным ВЭЗ). В 2000 году в указанном месте были обнаружены глубокие подземные галереи. Остается загадкой природа локальной зоны (более гектара) интенсивного поляризационного эффекта у подножья пирамиды Хефрена.

На рис. 15 представлен геоэлектрический разрез, полученный при исследованиях региональных разломных нарушений на Тянь-Шане. В левой части профиля обнаружена обширная зона низких сопротивлений, которая предположительно связана с выходом термальных вод.

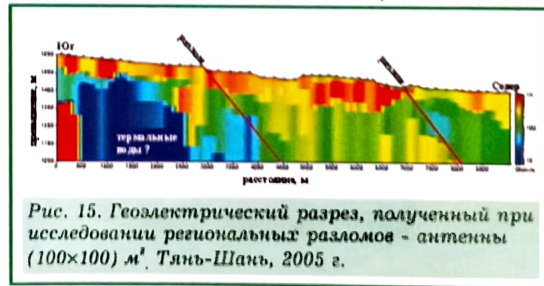
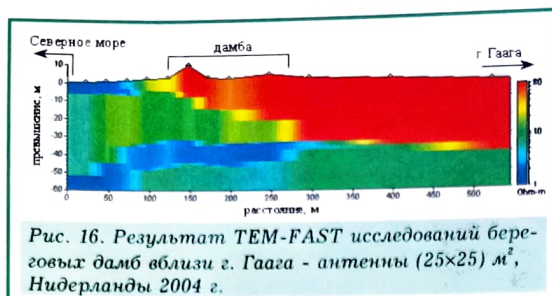
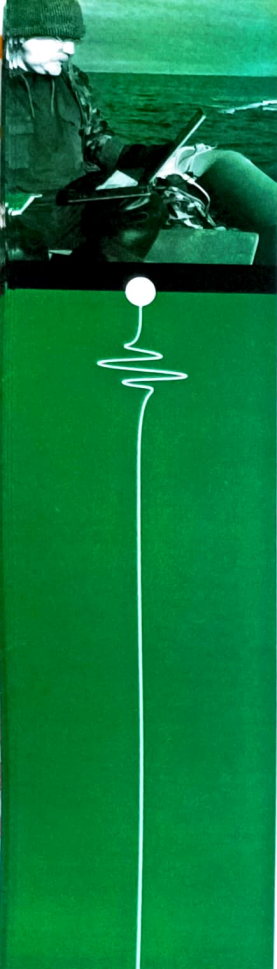


Рис. 15. Геоэлектрический разрез, полученный при исследовании региональных разломов - антенны $(100 \times 100) \text{ м}^2$. Тянь-Шань, 2005 г.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



Однако наиболее удивительным результатом, полученным при исследованиях, является наклон разломных зон с Юга на Север.

В соответствии с современными геологическими представлениями Тянь-шанские разломы должны падать с Севера на Юг.

Еще одна область применения TEM-FAST технологии - это исследования защитных дамб Нидерландов, страны, огромная часть территории которой располагается ниже уровня моря. На рис. 16 представлен геоэлектрический разрез через защитную дамбу, отделяющую предместья г. Гааги от Северного моря.

«Низкоомный язык» морской воды проникает под дамбу и распространяется на расстояние не менее 100-150 м вглубь суши. В дамбах высотой 10-12 м пробурены наблюдательные скважины глубиной ~15 м, предназначенные для гидрогеологического мониторинга. Однако, как выяснилось, просачивание морской воды происходит по значительно более глубоким горизонтам пород (30-40 м ниже уровня моря).

Заключение

Система импульсных электромагнитных зондирований TEM-FAST является удобным и надежным геофизическим инструментом, применяемым при решении геологических, гидрогеологических и геотехнических задач. Возможность и области применения системы постоянно расширяются, как за счет исследовательской работы авторов, так и клиентов, использующих ее в своей профессиональной деятельности.

Часть представленных в работе материалов любезно предоставлена компанией «Алроса-Поморье» и геофизиками «ТЕРРА» (Архангельск), за что авторы искренне им благодарны. Авторы также выражают благодарность Gad el-Qady (Египет) и Б.С.Светову, принимавших активное участие в египетской экспедиции, другу и соратнику О.А.Сусину (СИНЭКО, Севастополь), а также сотрудникам Геодинамического полигона РАН в Бишкеке за помощь в проведении исследований на Тянь-Шане.

Литература

1. Светов Б.С., Барсуков П.О. Трансформация квазистационарных переходных процессов геоэлектрики в эквивалентные волновые. Изв АН СССР, Физика Земли, 1984, 8, с.29-37.
2. Губатенко В.П., Тикшаев В.В. Об изменении знака электродвижущей силы индукции в методе становления электромагнитного поля. Изв АН СССР, Физика Земли, 1979, 3, с.95-99.
3. Weidelt P. Response characteristic of coincident loop transient electromagnetic system. Geophysics 1982, v.47, p.1325-1330.
4. V.Albouy, P.Andrieux, V.Descloîtres, H.Robain, J.Vassal, K.Sorensen., Time Domain Electromagnetism. Comparison between 3 commercial systems Report IRD, Centre de Recherche Geophysique of Garchy, France, IRD, October 2001.



**СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**



ОАО «Саратовнефтегеофизика»

Геотех-2006

**Саратов,
5-6 сентября 2006 г.**

Научно-техническая конференция

«Современные технологии регистрации геолого-геофизических данных при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ»



Традиционная встреча профессионалов, посвятивших себя обозначенной в тематике конференции проблеме, вновь собирает специалистов организаций самых разных профилей: научных, разведочных, промысловых, производственных. Наши постоянные участники знают насколько результативно живое общение и обмен мнениями на этих встречах.

Целевой сбор на проведение конференции 2000-00 за одного участника направляется безналичным перечислением по реквизитам:

Получатель - Саратовское региональное отделение межрегиональной общественной организации "Евро-Азиатское геофизическое общество", ИНН 6452051820, КПП 645201001, Р/с 40703810856070101637, в Саратовском ОСБ №8622 г. Саратова, БИК 046311649, к. сч. 30101810500000000649
Назначение платежа: "Целевой сбор на проведение конференции".

**Организаторы конференции
ждут
старых друзей
и приглашают
новых участников**



**Заявки на участие
в конференции
и тезисы выступлений
принимаются
до 25 августа 2006 г.
В заявке необходимо
указать Ф.И.О. участников,
темы доклада,
необходимость
выставочных площадей.**

ОРГКОМИТЕТ