

Комплексное применение методов импульсной электро-разведки в составе сейсморазведочных работ МОГТ-3D для прогнозирования глубины скважин ПВ в условиях сложного строения ВЧР

- Дмитриев Ю.Ю., ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», г. Новосибирск
- Глазунов В.В., д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург
- Гоц И.А., ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», г. Тюмень
- Логовской В.И., Центра анализа сейсмических данных МГУ имени М.В.Ломоносова, г.Москва
- Цыбин В.Ф., ООО «Нефтяной Компании Восток НАО», г. Нарьян-Мар
- Ефимова Н. Н., к.т.н., ООО НПП «ИнжГеофизика», г. Санкт-Петербург

В статье приведено описание методики комплексных электроразведочных работ методами электромагнитного сканирования и георадиолокации для прогнозирования глубины взрывных скважин в ходе выполнения сейсморазведочных работ.

Задача выбора мест заложения скважин и способа бурения актуальна в условиях неглубокого залегания коренных труднобуримых пород, перекрытых дисперсными грунтами малой мощности. Выполненные работы подтвердили высокую эффективность комплекса для прогноза глубины заложения взрывных скважин в условиях сложного геологического строения ВЧР.

Введение

При проведении сейсморазведочных работ на севере ТПП в НАО (Кортаихинская впадина) были установлены массовые спонтанные выходы коренных пород, перекрытых дисперсными грунтами элювиального и аллювиального происхождения малой мощности. Из-за крайне скудной и недостоверной априорной информации предвидеть такое строение ВЧР было невозможно. Коренные породы нижнего карбона-перми, по имеющимся геологическим данным представлены песчаниками, доломитами, конгломератами, мергелями, алевролитами, аргиллитами. При выходах под дневную поверхность наиболее крепких скальных пород (песчаники, доломиты, конгломераты), бурение взрывных скважин шнековым способом на проектную глубину невозможно. Применение других способов бурения при взрывных работах МОГТ-3D также оказалось неэффективным. Объем запланированных сейсморазведочных работ в сезоне 2013-2014 г.г. оказался невыполненным. Исходя из этого, заказ-

чиком предписано сейсморазведочной организации, проводящей исследования в таких условиях, применение технологии БВР, ориентированной на группирование взрывных скважин глубиной 5-10м при невозможности бурения на большую глубину. При этом возникла необходимость опережающего прогнозного картирования глубины залегания кровли скальных пород для оперативного планирования БВР и принятия решения о «сносах» ПВ из проектного положения в места, где можно пробурить скважины глубиной не менее 5м. Поиск таких мест неоднократно попытками бурения неэффективен из-за больших материальных затрат и потери времени непосредственно на производственное бурение, что в условиях Крайнего Севера недопустимо из-за короткого полевого сезона.

Таким образом, с целью прогноза возможной глубины бурения взрывных скважин и исключения поисков точек их возможного заложения непосредственно буровыми станками, целесообразно выполнять опережающие электроразве-

дочные исследования верхней части разреза с целью оперативного планирования БВР для решения следующих задач:

1. Прогнозирование участков возможного бурения одиночных (15м и 12.5м) и групповых (9м и 5м) скважин;
2. Прогноз участков, на которых невозможно пробурить даже 5-ти метровые скважины (запланированные пропуски);
3. Определение точек сноса проектных ПВ в места с наилучшими условиями ВЧР.

С учетом требований к производительности и условиям работ был выбран комплекс наземных методов импульсной электроразведки, включающий ЭМС (электромагнитное сканирование разреза) и ГРЛП (георадиолокационное профилирование). Эти методы позволяют проводить съемку в движении с поверхности снежного покрова и зондировать ВЧР с высокой степенью детальности.

В полевом сезоне 2014-2015г.г. для оценки возможностей выбранного комплекса методов для решения поставленных задач и разработки методики его применения проведены опытно-методические и опытно-производственные исследования. Достигнутая результативность и высокая производительность электроразведочных работ подтвердили высокую эффективность комплекса для прогноза глубины заложения скважин ПВ в условиях сложного геологического строения ВЧР.

На основании результатов проведенных опытно-методических и производственных исследований с целью снижения рисков необоснованных пропусков в производственном режиме рекомендовано:

- комплексирование с результатами аэрокосмодешифрирования;
- опробование бурением прогнозируемых участков профиля, и в случае подтверждения невозможности бурения,

переход на участки рекомендованных смещений.

Применение технологии опережающего изучения верхней части разреза (ВЧР) аэрокосмодешифрированием, подповерхностной радиолокацией и электроразведкой позволяет:

- исключить задействование буровых станков на «поиск» и переключить их на работы по прямому назначению, что позволит увеличить производительность буровзрывного отряда на 6%-8%;
- снизить долю группирования мелких скважин за счет поиска участков для бурения одиночных скважин глубиной 12,5м – 15.0м, что позволит увеличить производительность буровзрывного отряда еще на 6%-8%.

Результаты применения технологии опережающего изучения верхней части разреза (ВЧР) аэрокосмодешифрированием, подповерхностной радиолокацией и электроразведкой, в сочетании с материалами геологических съемок необходимо использовать для повышения достоверности корреляции надвиговых поверхностей и целевых геологических границ при обработке и интерпретации сейсморазведочной информации.

По организационным причинам изучение ВЧР аэрокосмодешифрированием не получилось опережающим, данные получены уже после окончания полевых наблюдений. С целью использования положительного опыта применения двух других опробованных методов было принято решение выполнить комплекс методов ЭМС и ГРЛП для оперативного планирования БВР.

Достигнутая результативность и высокая производительность электроразведочных работ подтвердили высокую эффективность комплекса для прогноза глубины заложения скважин ПВ в условиях сложного геологического строения ВЧР.

В следующем сезоне 2015-2016 г.г. электроразведочные исследования выполнены в составе производственных работ МОГТ-3Д в объеме 940 пог.км. Полученные результаты позволили оперативно прогнозировать глубину и выбирать оптимальные места «сносов» скважин ПВ, что способствовало выполнению сейсморазведочных работ в приемлемые сроки без непроизводительных материальных затрат. Достигнутая результативность и высокая производительность электроразведочных работ подтвердили высокую эффективность комплекса для прогноза глубины заложения скважин ПВ в условиях сложного геологического строения ВЧР.

Обоснование комплекса наземных методов исследования ВЧР.

В условиях, подобных условиям описываемых работ в Коротаихинской впадине ТПП (при ограниченной мощности «рыхлых отложений»), технология исследования ВЧР должна учитывать следующие факторы:

1. Большая площадь участков работ при протяженности профилей ПВ 1000 пог.км и более. При таких объемах технология наземных геофизических исследований должна обладать очень высокой производительностью (не менее 20 пог.км в смену), мобильностью, низкой себестоимостью и возможностью существенного опережения БВР для оперативного планирования буровых работ;
2. Проведение исследований в мерзлых и талых породах различного состава;
3. Выполнение работ в зимний период в условиях Крайнего Севера и при наличии снежного покрова мощностью более 1м, не только в тундре, но и на местности с плотным кустарниковым покровом.
4. Глубинность исследований до 30-35м;

5. Детальность расчленения разреза в интервале глубин 0-5м не хуже -0,2-0,4м;

6. Оперативность систем обработки геофизических данных, позволяющая своевременно (за 3-4 дня до буровых работ) выдавать материалы по прогнозу условий БВР.

Фактически, процедуры обработки должны обеспечивать глубокий анализ полученных данных исходя из условия обработки материалов в объеме 20-30 пог.км (и более) в день.

При таких исходных условиях круг методов наземной геофизики, применимых для детального изучения ВЧР на больших площадях, резко сокращается.

По опыту инженерной геофизики, основным объектом изучения которой также является ВЧР, объективно можно предложить 2 метода: ЭМС и ГРЛП.

Фактически, до разработки технологии импульсных электромагнитных зондирований становлением поля, которая в последние 10-12 лет была усовершенствована до уровня непрерывного электромагнитного сканирования разреза (выполняемого в движении), задача исследования ВЧР для целей сейсморазведки МОГТ методами наземной электроразведки не решалась в принципе. Современные технические, методические и аппаратные разработки ЗАО «Аэро-геофизическая разведка» позволяют решать подобные задачи в методическом и техническом плане [2,3,8]

Особенностью электромагнитных зондирований является низкая информативность в интервале глубин 0-3м. Этот интервал глубин предложено исследовать методом ГРЛП. Известно, что метод георадиолокации обладает малой глубиной при глинистом разрезе ВЧР, но при выходах на дневную поверхность высокоомных пластов (скальные породы)

разрешающая способность ГРЛП позволяет детально расчленить разрез в интервале глубин 0-7м [1].

Указанные особенности строения ВЧР и объективные ограничения применимости методов позволили определить рациональный комплекс исследования разреза при неглубоком залегании кровли скальных пород:

1. Метод ЭМС используется для детального исследования ВЧР в интервале глубин 3-35м, что позволяет прогнозировать участки бурения одиночных 15м и 12,5м скважин, определить интервалы групповых скважин (9м и 5м), выявить зоны «риска», в которых проблематично пробурить скважины глубиной 5м при использовании принятой технологии бурения. Кроме того, данные ЭМС в зонах «риска» рассматриваются как опорные для детального анализа разреза методом ГРЛП.

2. Метод ГРЛП применяется для исследования зон «риска» в интервале глубин 0-7м. Высокая разрешающая способность георадиолокации позволяет расчленить ВЧР в высокоомных областях и дать обоснованное заключение на необходимость переноса скважин.

Необходимость комплексности исследований ВЧР в зонах «риска» заключается и в том, что ГРЛП фиксирует отражающие горизонты, литологическая характеристика которых не определяется ГРЛП, а ЭМС позволяет определить литологическую характеристику выделенных горизонтов, что является определяющим при принятии решения о нецелесообразности бурения скважины (запланированный пропуск) в заданной точке и о ее переносе. Использование двух независимых методов для принятия решения о переносе проблемных скважин значительно повышает достоверность геофизического прогноза.

Данные ЭМС по площади исследований (горизонтальные срезы на различных глубинах) позволяют, кроме того, наметить места вероятного переноса скважин из зон «риска» в более благоприятные условия ВЧР, особенно при выполнении детализационных работ между профилями ПВ.

Электромагнитное сканирование разреза (ЭМС).

Метод зондирования становлением поля во временной области [8] основан на возбуждении в горных породах переменных электромагнитных полей с помощью незаземленного генераторного контура и регистрации вторичных полей, несущих информацию о геоэлектрическом строении разреза, многовитковой приемной антенной. Такая технология не требует применения заземляющих устройств, благодаря чему появляется возможность выполнения измерений в движении (ЭМС) [5, 6]. Технология ЭМС уже более 10 лет широко применяется в инженерных изысканиях на различных объектах топливно-энергетического комплекса как в талых породах, так и в криолито-зоне [3]. Технология ЭМС, являющаяся разработкой группы компаний ЗАО «Аэрогеофизическая разведка» и «Сибгеотех», защищена патентами РФ на полезные модели № 47533, 52199 и 52200.

Технология электромагнитного сканирования разреза, реализованная на основе измерений в движении, позволяет получить непрерывный геоэлектрический разрез с дискретностью замеров через 0.1-0.2м.

Генераторно-измерительная система размещается на надувном каркасе, буксируемом по сейсмическим профилям гусеничным вездеходом или снегоходом типа «Буран» со скоростью 5-10км/час. Для достижения глубинности исследова-

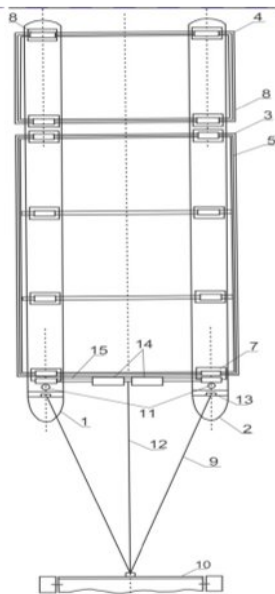


Рис. 1. Пневматическая конструкция с изменяемой площадью антенн от 30 до 64 м². Применяется буксировка за транспортным средством. 1,2 – надувные элементы, полозья, 3,4 – разборные каркасы, включающие продольные и поперечные элементы (балки), 5 – излучающая антенна и приемная антенны, 6 – вторая приемная антенна, 7 – накладки, 8 – петли, 9 – буксировочные тросы, 10 – буксировочное устройство, 11 – клапаны для подачи и удержания воздуха, 12 – трос-кабель, 13 – буксировочные захваты, 14 – выносные элементы генераторного и измерительного оборудования, 15 – дополнительная жесткая поперечная балка.

ний 30-35м и повышения метрологических характеристик измерений (снижение влияния собственных процессов в генераторном контуре) применяются совмещенная (2х2м) компенсационная и выносная (2х7м) системы ЭМС (рис. 1). Размер пневмокаркаса- 2х9м.

Одновременная регистрация вторичных полей от двух приемных антенн позволяет разделять индукционную и поляризационную моды измеряемого сигнала и существенно снижать погрешности измерений, связанных с коммутацией тока в магнитном индукторе.

ЭМ-сканирование проводится комплектом аппаратуры Импульс-Д13 и генератором тока КТ-10 (ЗАО «Аэрогеофизическая разведка») (рис. 2, 3).



Рис. 2. Двухканальный измеритель «Импульс-Д».

Ток в генераторном контуре 5 -10 А. Привязка точек измерений в процессе съемки осуществляется спутниковой системой GPS, встроенной в измеритель и записывающей координаты точек ЭМС с погрешностью не более 1 м. Обработка данных проводится с помощью пакета лицензионных программ EmDataProcessor (ЗАО «Аэрогеофизическая разведка») с использованием процедуры R-асимптотическое [7]. Сканирование проводится по всем профилям ПВ.

Отличительные особенности аппаратуры:

1. Цветной 4-дюймовый дисплей позволяет получать информацию в режиме реального времени о качестве измерения переходного процесса, контролировать



Рис. 3. Коммутатор тока КТ-10.

количество спутников, визуализировать координаты в режиме работы измерителя; определять достигнутую глубину исследования и отображать зависимость сопротивления от глубины непосредственно в процессе проведения полевых работ;

2. Синхронизация с генератором тока по кабелю или GPS. При этом GPS-приемник и антенна встроены в корпус прибора;

3. Возможность съема данных с двух физических антенн: измеритель поочередно снимает данные с двух датчиков, что позволяет разделять индукционную и поляризационную моды измеряемого сигнала и значительно повышает точность и достоверность результатов интерпретации индукционной составляющей;

4. Передача данных с прибора на персональный компьютер через интерфейс Ethernet.

Архитектура прибора:

- Аналоговый тракт построен по дифференциальной схеме, с двумя прецизионными симметричными каналами усиления. Оцифровка данных осуществляется с помощью двух АЦП: 16-ти разрядное 20 МГц и 24-х разрядное 2.5 МГц;

- Матрица FPGA (Altera Cyclone-IV) отвечает за съем, медианную фильтрацию и запись данных в энергонезависимую память. За сервисные функции отвечает микроконтроллер архитектурой ARM Cortex M3 работающий на частоте 120 МГц;

- TFT-дисплей с LED подсветкой с диагональю 4.3" и разрешением 480 x 272.

Основные технические характеристики «Импульс-Д13» и КТ-10 приведены в таблицах 1,2.

Технология электромагнитного сканирования [2], выполняемая в движении, в

▼ Табл. 1. Основные технические характеристики «Импульс-Д13».

№	Наименование	Параметр
1.	Количество каналов измерения	Два
2.	Временная дискретность	От 12,5 нс
3.	Динамический диапазон	140 дБ
4.	Разрядность АЦП	16 бит и 24 бит
5.	Диапазон измеряемого сигнала	от 100 нВ до 1 В
6.	Погрешность GPS синхронизации	до 1 мкс
7.	Погрешность проводной синхронизации	12,5 нс (один квант системного времени)

▼ Табл. 2. Основные технические характеристики генератора «КТ-10».

№	Наименование	Параметр
1.	Управление	внешнее (измерители серии «Импульс»)
2.	Амплитуда П-образного тока, (стаб.)	2, 5, 10 А
3.	Погрешность установки тока	1%
4.	Длительность импульсов тока	2 мс - 1 с
5.	Фронт выключения тока на активную нагрузку, не более	0,5 мкс
6.	Синхронизация	проводная, GPS
7.	Напряжение питания	10...14 В
8.	Масса коммутатора	1,5 кг
9.	Габаритные размеры	220 мм x 105 мм x 45 мм

отличие от других методов наземной электроразведки обеспечивает избыточно высокую плотность точек зондирования в единице исследуемого пространства (до 7000 измерений на 1км), благодаря чему точность единичного измерения на заданном интервале осреднения значительно возрастает. Кроме того, обеспечивается непрерывное исследование геологического разреза, позволяющее выявить локальные изменения ВЧР.

Контроль качества ЭМС осуществляется несколькими способами:

1. Измерениями на лабораторной модели в начале и конце дня;
2. Тестированием аппаратуры на контрольных точках с остановками через 1км на каждом профиле ПВ;
3. Повторными замерами отдельных участков профилей;

Последние 2 способа контроля рассматриваются как основные, так как они включают в себя не только стандартные метрологические погрешности, но и влияние среды и условий измерений. Суммарная погрешность воспроизводимости ЭМС не превышает 3%.

Средняя производительность полевых работ составила 25-30 км в смену. Обработка полевых данных при такой производительности составляет 5-6 часов.

Георадиолокационное профилирование(ГРЛП)

Георадиолокационная съемка выполнялась по стандартной методике георадиолокационного профилирования с помощью георадара «ОКО-2» с антенными блоками АБДЛ 100МГц «Тритон» (ООО «Логис», г.Москва) [4].

Антенный блок георадара «Тритон» буксировался по профилям с помощью гусеничного вездехода или трактора со



▲ Рис. 4. Процесс георадарной съемки с антенной «Тритон» АБДЛ 100.

скоростью 5-10 км/час (рис.4).

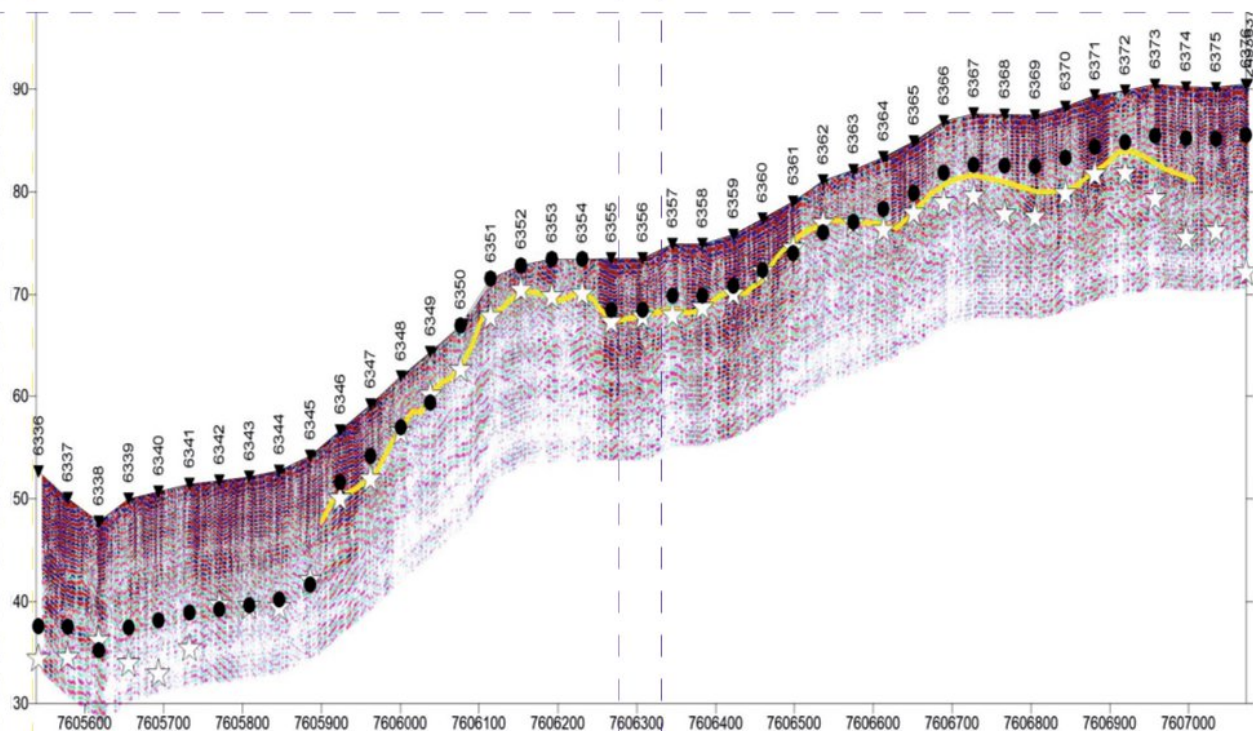
Расстояние антенны до транспортного средства выдерживалось не менее 10м. Регистрация трасс зондирования осуществлялась с шагом 0,2 - 0,4м в зависимости от скорости съемки и режима накопления.

Привязка точек измерений в процессе георадарной съемки осуществлялась с помощью GPS приемника с контролем по закрепленным на местности вешками пунктам возбуждения (ПВ) рядовой сети.

Методика съемки включала контроль качества полевых наблюдений. Контроль предусматривал выполнение контрольных рейсов по отдельным профилям. Качество съемки методом ГРЛП оценивалась на основе сравнительного анализа георадарограмм, основной и контрольной съемок. Средняя производительность полевых работ в зависимости от транспортных возможностей вездехода варьировалась в пределах 20-30км в смену.

Для обработки и визуализации данных ГРЛП применялась лицензионная программа Prism2.59. Обработка полевых данных, полученных за один день, составила 10 -15 часов.

Результатом обработки является георадарограмма с указанием георадиолока-

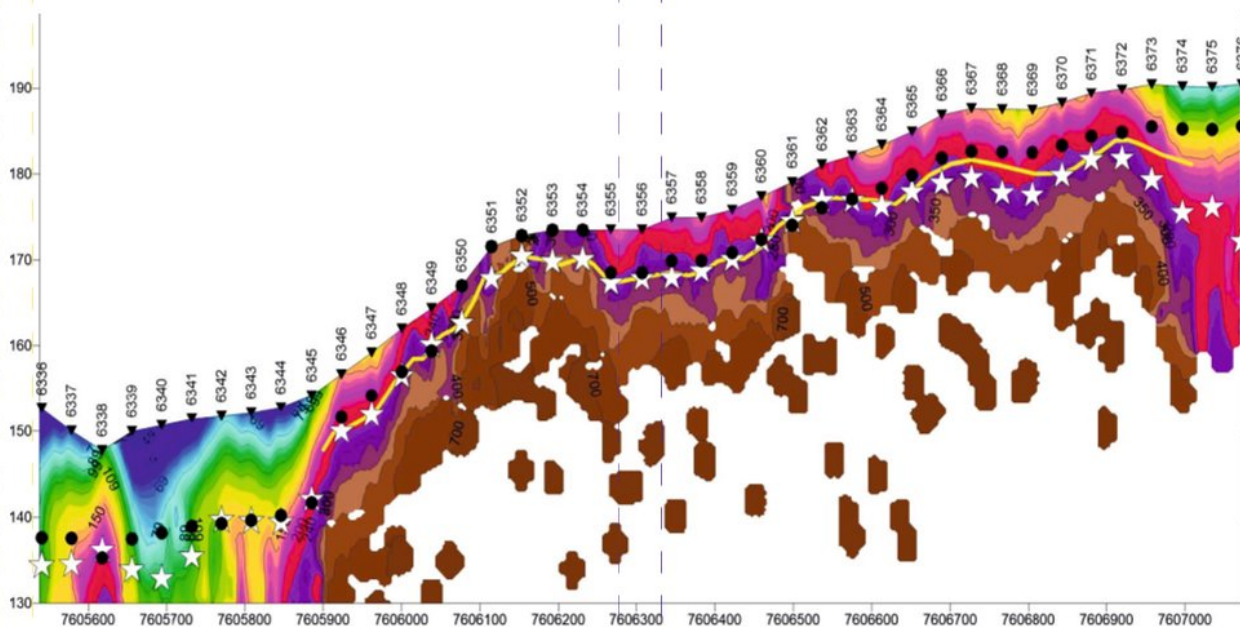


Условные обозначения:

- ▼ 1187 - пробуренная скважина и ее номер;
- - глубина установки заряда;
- ☆ - прогнозная глубина подошвы "рыхлых" пород по данным ЭМС и ГРПП;
- - георадарная граница.

▲ Рис. 5а. Фрагмент георадиолокационного разреза.

ционной границы, соответствующей кровле «крепких пород», характеризующихся значениями УЭС не менее 300 Ом*м. На рис. 5а и 5б представлены фрагменты георадиолокационного (рис.а) геоэлектрического (рис.б) разрезов с сопоставлением прогнозных и фактических глубин пробуренных скважин.



▲ Рис. 5б. Фрагмент геоэлектрического разреза.

1. Планов распределения удельных сопротивлений ЭМС на глубинах 5м, 9м, 12,5м и 15м по площади исследований (рис 7);

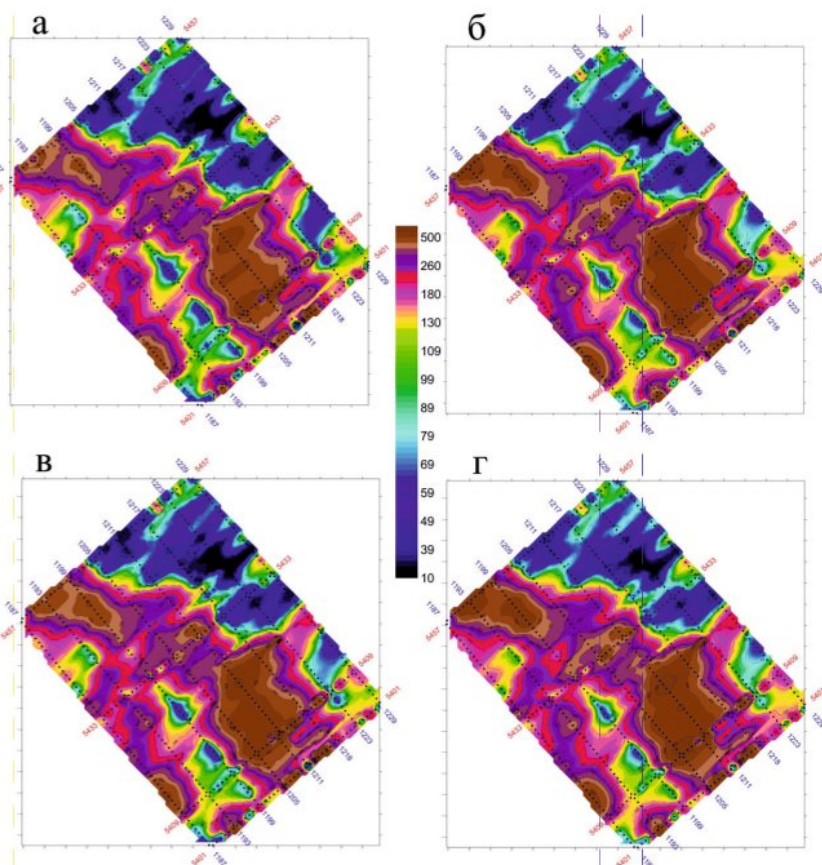
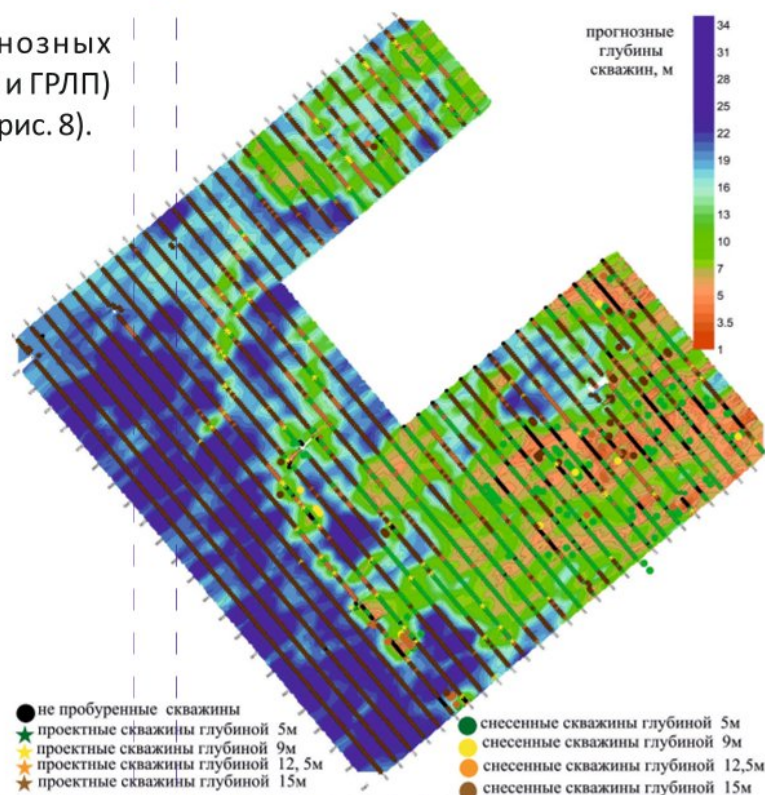


Рис. 7. Фрагменты планов распределения удельных сопротивлений ЭМС на глубинах 5м(а), 9м (б) 12,5м (в) и 15м.

2. Оперативной карты прогнозных глубин скважин (по данным ЭМС и ГРЛП) и реально пробуренных скважин (рис. 8).

Рис. 8. Фрагмент карты прогнозных глубин скважин по данным ЭМС и ГРЛП с данными фактического бурения.



Такой подход к содержанию и оперативности предоставляемых данных позволяет планировать БВР в режиме реального времени, что само по себе можно рассматривать как инновационное решение по применению наземной электроразведки для исследования ВЧР в инженерной геофизике и в сейсморазведке МОГТ.

По геоэлектрическим разрезам ЭМС с данными ГРЛП прогнозируются условия бурения взрывных скважин в каждой точке ПВ:

1. Мощность «рыхлых пород»;
2. Литологический состав ВЧР;
3. Выходы под дневную поверхность крепких скальных пород и степень их консолидации (зональность коры выветривания).

Планы распределения удельных сопротивлений ЭМС на различных глубинах по площади исследований позволяют оценить пространственное распространение основных литологических горизонтов – это фактически детальная геологическая карта ВЧР. Такая информация важна для определения мест возможных сносов скважин при невозможности бурения на проектную глубину. Как показали результаты опытно-производственных работ – для повышения результативности сносов необходимы детализационные работы между профилями ПВ на участках выходов скальных пород. Предложенные технологии ЭМС и ГРЛП по оперативности исследований позволяют проводить такие детализации.

Карта прогнозных глубин бурения скважин является главным результатом всех работ ЭМС и ГРЛП. Оперативный анализ прогнозных глубин и фактически пробуренных скважин обеспечивает своевременную корректировку прогно-

зных оценок строения ВЧР, что немаловажно при сильной изменчивости геологического разреза.

Результативность проведенных работ основывается на достоверности прогноза глубин взрывных скважин.

Статистическая оценка сопоставлений данных ЭМС и ГРЛП по 5243 скважинам на участке опытно-производственных работ в сезоне 2014-2015гг показала высокую достоверность прогноза бурения взрывных скважин. Применение разработанной технологии позволило найти варианты смещения ПВ в рамках предписанных технологических ограничений с подтверждением глубин залегания кровли твердых пород в интервале 0-5м - 79%, в интервале 5-10м - 21% и в интервале 12,5-15м - 92%, минимизировав случаи пропусков ПВ. Это обеспечило повышение эффективности сейсморазведки за счет более полного подбора удалений и азимутов наблюдений. Достигнутая погрешность прогноза глубины залегания кровли твердых пород не превысила 0,4м.

Вероятность правильного прогноза глубин основных категорий скважин в сезоне 2015-2016гг по выборке из 19 751 сопоставлений достигла 89%.

Выводы.

По результатам опытно-производственных и производственных работ комплексом электроразведочных методов на объектах в Коротаихинской впадине можно сделать следующие выводы:

1. На основании выполненных комплексных электроразведочных работ подтверждена целесообразность проведения опережающих исследований методами ЭМС и ГРЛП для определения мощности рыхлых отложений верхней части разреза, позволяющая прогнози-

вать глубину заложения взрывных скважин при проведении работ МОГТ 3D в условиях массового распространения на площади работ выходов коренных пород под дневную поверхность.

2. Применение предложенного комплекса исследования ВЧР подтвердило его эффективность для решения указанных задач.

3. Показатели производительности электроразведочных работ (до 35 пог.км в смену), включающие цикл сбора полевых данных, их обработку, интерпретацию и передачу в сейсморазведочную партию позволяют в реальном времени обеспечивать своевременным высокоточным и инвариантным в части сносов прогнозом буровзрывные работы.

4. Комплекс электроразведочных работ можно дополнить данными аэрокосмодешифрирования, что дополнительно позволит повысить эффективность прогноза бурения взрывных скважин.

Литература

1. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию / Владов М.Л., Старовойтов А.В. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 155с.

2. Дмитриев Ю.Ю. Прогнозирование оптимальных условий размещения заряда при сейсморазведочных работах в Западной Сибири с использованием электромагнитного сканирования во временной области / Дмитриев Ю.Ю., Тригубович Г.М. и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2014. – N 4. – С. 70–83.

3. Дмитриев Ю.Ю. Современные методы электрометрии для исследования верхней части разреза при решении инженерно-геологических задач в топливно-энергетическом комплексе / Дмитриев Ю.Ю. Тригубович Г.М. // Инженерные изыскания. – 2010. – N 7. – С. 16–31.

4. Помозов В.В. Георадары серии «ОКО» / Помозов В.В., Поцепня О.А., Семейкин Н.П. и

др. // Разведка и охрана недр. – 2001. – N 3. – С.26-28.

5. Тригубович Г.М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования» / Тригубович Г.М. // Разведка и охрана недр. – 2007. – N 8. – С. 80–87

6. Патент РФ №2194294, Устройство для рабочего перемещения геофизических антенн, МПК G01V13/00 / Тригубович Г.М. / ФГУП "Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья" (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Сибгеотех"; заявлено 15.08.2001; опубл. 10.12.2002

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 20116 11248 EM-DataProcessor. Правообладатель: ЗАО "Аэрогеофизическая разведка". Авторы: Тригубович Г.М., Чернышев А.В., Гнусин Я.А., Сверкунов А.С. (RU). Зарегистрировано 7 февраля 2011 года.

8. Kamenetsky F.M. Transient Geo-Electromagnetics / Kamenetsky, F.M., Stettler E.H., Trigubovich G.M. – Germany: , L-M University of Munich, 2010 – 306 p.