

Рассказ о современных геофизических методах



М.В. Рогачев -главный геолог-геофизик ООО “Аналитика”

Инженерная сейсморазведка

Несомненно, первыми были академические институты, пытавшие в горных районах приспособить МПВ и МОВ ОГТ под картирование рудных полей (Зыряновский район Восточно-Казахстанской области, 1971 год). Тогда мы были у них на практике.

До 1980 гг я не помню, что бы слышал об инженерных применениях. Полагаю, с деятельностью Огильви А.А. в МГУ происходило внедрение метода в инжиниринге.

Любому исследователю, пытающему применить при изысканиях малоглубинную сейсморазведку приходится решать две подзадачи:

- А) выбор шага между каналами и шага дискретизации времени
- Б) выбор источника.

Если с первой подзадачей все примерно ясно по квантованию пространственных координат: шаг сегодня опробован и рекомендован различными специалистами из ряда 2,3,5, и 10 м в зависимости от целевых устремлений. Можно изучать желаемые волновые числа по Авербух А.Г. (1982 год), я начинал с шага между каналами в 1 метр.

Выбор же источников в РФ невелик. Кустарно геофизики конструируют различные пороховые ганы. Конечно, желательны бризантные заряды. Но взрывная сейсморазведка осталась в прошлом.

Промышленных невзрывных, кроме малогабаритного Енисея, источников нет, но и он для малоглубинных работ не подходит. Не подходят саратовские разработки (устное сообщение Юшкина В.И.). Здесь нужно, что бы отметка момента не “прыгала” при накоплениях слабых воздействий при квантованиях трасс в 0,25-1,0 мсек.

А подходят миниатюрные аналоги генераторов сейсмических колебаний ГСК-7, немецкие геофизики с ними работают. То есть есть приближение к калиброваному

сейсмическому каналу.

В России кувалда “правит бал”.

При таком способе возбуждения упругих волн, отраженную волну на строительных глубинах (ВЧР) редко получишь. Остается малоэффективная и малонадежная модификация МПВ и MASW(SASW)-анализ. Для простых картировочных приложений эти технологии в виде зондирований подходят.

Для изучения процессов (карст, криогенные среды, оползневые склоны и подобное) уже нужна двухкомпонентная регистрация: переход от схем Z-Z, на волны SH-поляризации и схемы Y-Y с вычетами в ОГТ.

Я не говорю уже о 1000 каналов и методиках широкого профиля, многоазимутальной съемки, 2,5D съемки, сейсмотомографии, то чем сейчас занимается нефтяная сейсморазведка. Они по-прежнему экзотика для большинства инженерных геофизиков.

Что поделать, если в стране нарушены законы стоимости. И смотришь с завистью на технологически упакованных немцев, итальянцев, мичиганцев, канадцев (посетите любой номер журнала Near Surface Geophysics).

Теперь о моделях верхней части разреза (ВЧР). По-моему, основанному на опытах убеждению, законы геометрической сейсмики и теоретической акустики не действуют (если среда иерархически изотропно-инверсионная), или слабо действуют (если среда слоистая с безраздельным господством Рэлеевских волн).

Или среда градиентно-сложнопостроенная, неконсолидированная четвертичная геология с трехфазными грунтами, с аномально высокими параметрами поглощения/затухания упругой энергии.

Констатируем, стохастические зависимости между параметрами волнового поля и свойствами сред улавливаются с трудом, а коэффициенты корреляции весьма низки (0,55 и менее). Возможно, мы имеем дело с просачивающими модами и ограничено упругими средами. И, следует помнить, в таких условиях, модель ВЧР несет неопределенности и риски.

Тем не менее, в ряде случаев хороших сейсмогеологических условий, при тщательном проведении полевых работ, повышенному вниманию в обработке волновых картин (выбор графа процедур и тщательное тестирование), получаем приличные результаты, которые, когда бьются с геологией или с другими методами зондирований, заставляют ощущать горделивое чувство за профессию.

Мой опыт связан с технологией МОВ ОГТ (МПВ ОГП), мощной интерференционной системой. МОВ ОГТ худо - бедно большинство “приличных”

геофизиков выполняет.

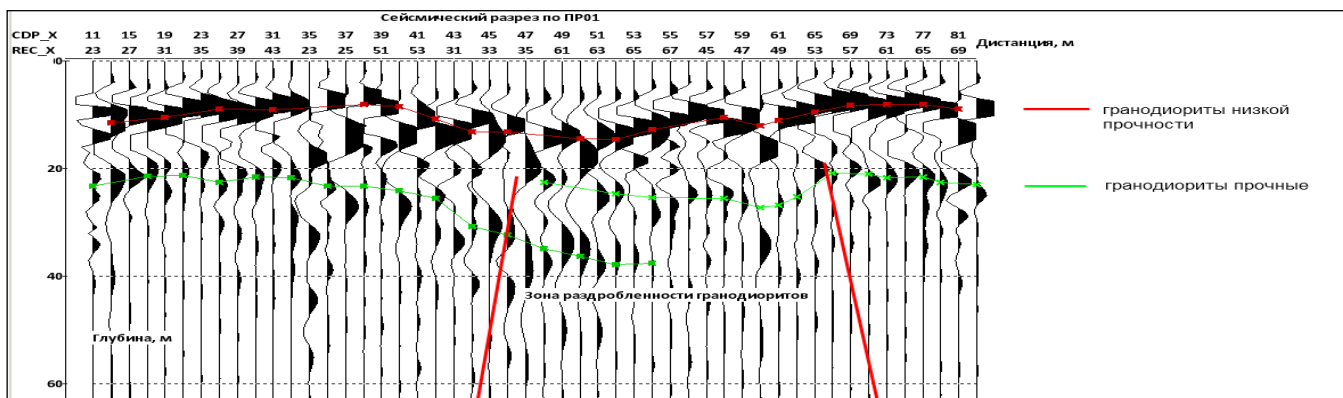


Рисунок 1. МПВ ОГП (схема Z-Z скважины 241-247)

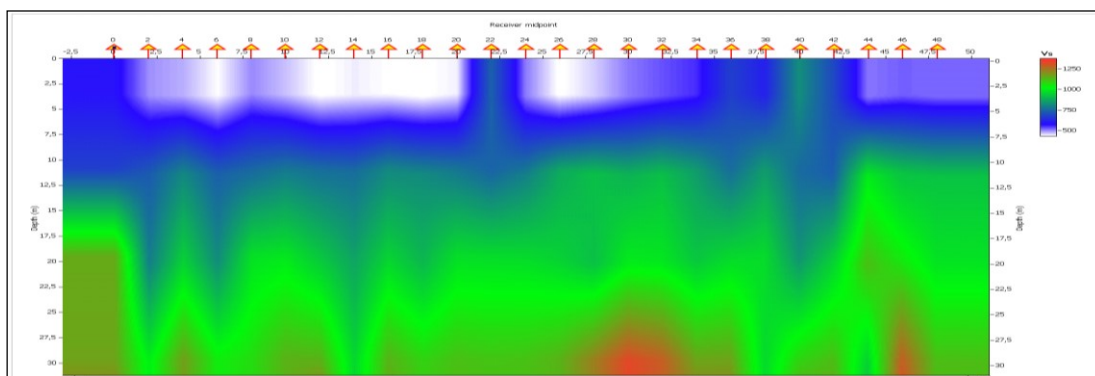


Рисунок 2 Тот же профиль по схеме Y-Y. Разрез скоростей Vsh по MASW-технологии

Я по рекомендации ЗАО “Красноярскгеофизика” (Мишин О.Ф.) с 2005 года культивировал флангово-встречную систему МПВ ОГП. Замечу, что надо владеть специализированным ПО. В свое время мне пришлось “погрузиться” в систему RadExpro+, развиваемую геофизиками МГУ (Токарев М.Ю. с аспирантами).

Настоятельно рекомендую ставить комплекс, так как геологи по определению в пространстве не могут картировать тонкие детали в строении, разрушенных в верхах массивов. Например, сейморазведка нами проведена в центральной части томопрофиля рисунка 3.

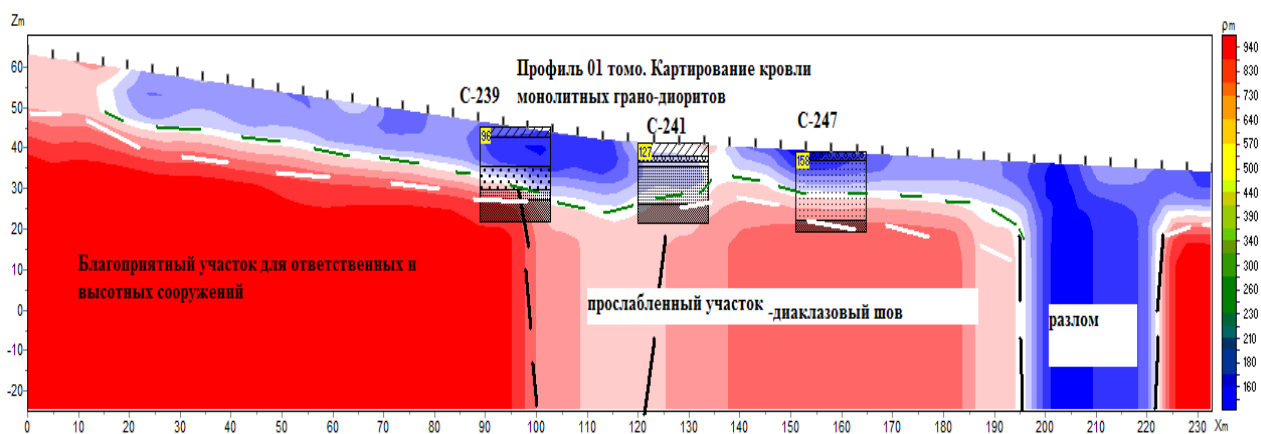


Рисунок 3. Электротомографический разрез площадки бухты Врангеля

То есть, на проектной площадке завода по переработке ароматических углеводородов в горной части поставлен мощный комплекс, состоящий из системы буровых скважин, системы томографических и сейсмопрофилей на разведочных профилях генплановых цехов.

Как я уже упоминал про технологически упакованных немцев, итальянцев, мичиганцев, канадцев, механизированный генератор сейсмических колебаний для инженерных приложений, пока в России недостижимая мечта.

В молодости проводил опытно-методические работы (для расчета интерференционной системы) от одиночных ЭДС-8, в 13 м скважинах, на одиночные геофоны с канальным шагом 50 м. На 48 канальную станцию. Регистрировались от такого источника целевые отражения от границы с глубины 2-х км.

Но, в детонаторе тетрила-1,02 грамма, да тенереса с азидом свинца 0,3 грамма. Суммарно 1,32 грамма ВВ выделяет 4300-4600 джоуля энергии и, при хорошей шомпольной укупорке, она почти вся превращается в работу (формирование сейсмического импульса).

Такой источник, с увеличенной в 2-3 раза мощностью (эквивалентно трем детонаторам) - мечта инженерного геофизика. Эта мечта реализована для ВСП с электроискровым разрядником сотрудниками кафедры сейсмометрии и геоакустики, отделения геофизики геологического факультета МГУ (Хмелевской В.К., Калинин В.В., Владов М.Л. со своими аспирантами).

Инженерная электроразведка

Первую треть профессиональной жизни скептически смотрел на методы электроразведки.

С переходом из нефтяной сейсмики в инжиниринг (1984 год) встал вопрос о внедрении зондирований и электропрофилеирования (ЭП). Аппаратуру ИКС-1 взяли в Тюмени у смежников. Все же в юности, Доброхотова Ирина Александровна сумела палетки Пылаева привить, спустя лет 10 пригодилось.

Так все и пошло. У буровиков коньяк выигрывал по отгадыванию: на какой глубине им предстоит встретить смену литологии. Заодно тренировался в определении положения особых точек на кривых типа К и Н. Интерпретировал зонды и ЭП.

Но долго не мог понять ущербности метода ВЭЗ, чем глубже в разрез, тем толще выделяемые слои, между тем как у геологов идет частое чередование достаточно тонких прослоев.

Словом, тонкослоистые пачки на экспериментальных графиках не отражались, ритмоиды в среднеквадратичном смысле с трудом “эквивалентились” на кривых ВЭЗ. Позже (с подачи Шевнина В.А.) наловчился использовать кривые Дар-Заррука для контроля решений, если не хватало скважинных данных.

Осознание, что в картировании сложнопостроенных сред на одни только данные ВЭЗ полагаться нельзя, пришло в зрелом возрасте - когда мы первые в стране начали изучать речные долины под наклонно-направленное бурение (ННБ). Внедрили речные ВЭЗ. Через нескольких лет опыта изучения речных долин опубликовались с идеей комплексирования разнофизических методов (Разведка и охрана недр, №12, 2005 г).

По примерам ЭП на длинных трубных линиях ярко улавливались смены пород по простиранию. Особенно способ ЭП хорош по отношению определения положения в плане песчаных тел. среди глинистых толщ.

Многократно смотрел на положительные результаты заверки аномалий электросопротивлений буровыми скважинами. До сих пор, на просторах Сибири, помню потенциальные места заложения карьеров на строительные пески.

В последствии, эту особенность методик электропрофилеирования в геокартировании, применил при доработке и внедрению БИЭП СГ Сапожникова Б. Г. Считаю ее весьма эффективной методикой для решения некоторых специальных задач по изучению фильтрационных полей, термокарста.

По таким темам неизбежно приходишь к векторным измерениям, то есть измерений компонент электромагнитных полей. Необходимо было наработать статистику, понять переход к разрезным сечениям.

Но, при векторных исследованиях нужна многоканальная аппаратура для измерений импеданса. А так приходилось (такая наша геофизическая нищета) с одноканальной аппаратурой трижды “забегать” на измерительные профили в поличастотном методе срединного градиента (аналог ЧЗ). И компоненты векторов удалось на двух-трех частотах регистрировать.

Вышел на импеданс, оценил глубины разведки в высокоомных средах, для интерпретационного анализа разработал свой математический алгоритм.

Ниже привожу пример картирования бесконтактными методами срединного градиента (СГ) на криогенной территории с техногенными протаиваниями.

Развил идеи Бобачева А.А., но в основном опирался на своих учителей: Даева Д.С. Каринского А. Д., ученика Макагонова П. П. Юдина М.Н. и на известного в наших кругах профессора Никитина А.А.

Сейчас уверен, методы электроразведки имеют свои ограничения: результаты

сильно зависят от геоэлектрических условий, если есть в разрезе контрастные границы и опорные слои, можно получать убедительные результаты, но в рамках толстослоистых моделей ВЧР.

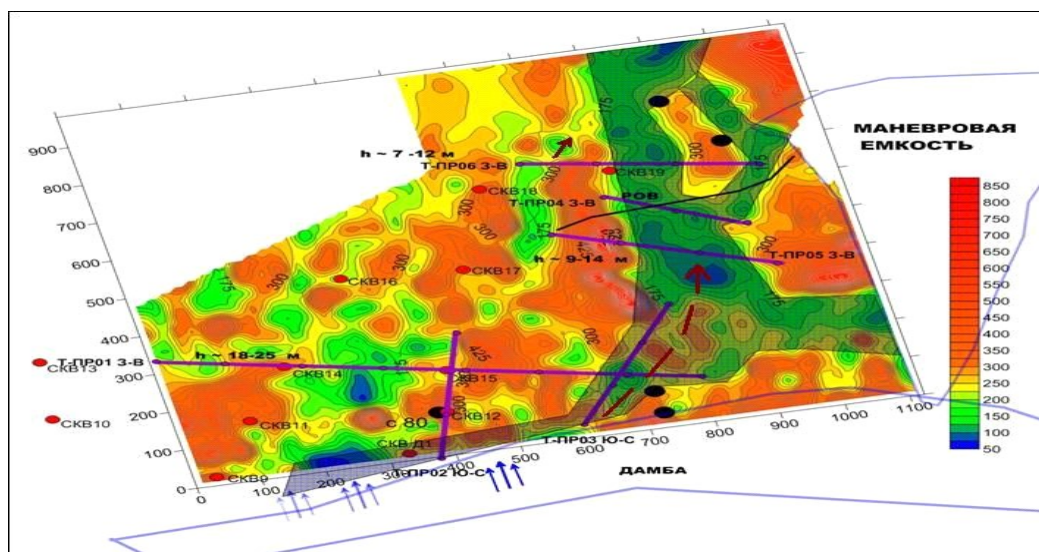


Рисунок 4 Карта изоэм площадки при изучении полей фильтрации СГ

Сегодня томографические модификации “подпирают” классические зондирования - за электротомографией будущее. Благодаря пятнадцатилетнему старанию Алексея Бобачева - томография в российской малоглубинной геофизике сдвинулась с мертвой точки.

Да и мы, с заводским номером 003 первой отечественной аппаратуры Омега-48 провели работы на паре десятков объектов, значимых для нас Заказчиков. Надеюсь, способствовали привыканию к новой электроразведке в России.

Наш геофизик был похож на смертника с поясом шахида.



Рисунок 5. Вольтметр ЭРА-МАХ с феррозондом на 625 Гц у оператора Юры Курдюкова

Привожу сравнение классических ВЭЗ (данные Якутского университета) и томографических, на одном и том же профиле, одной плотины.

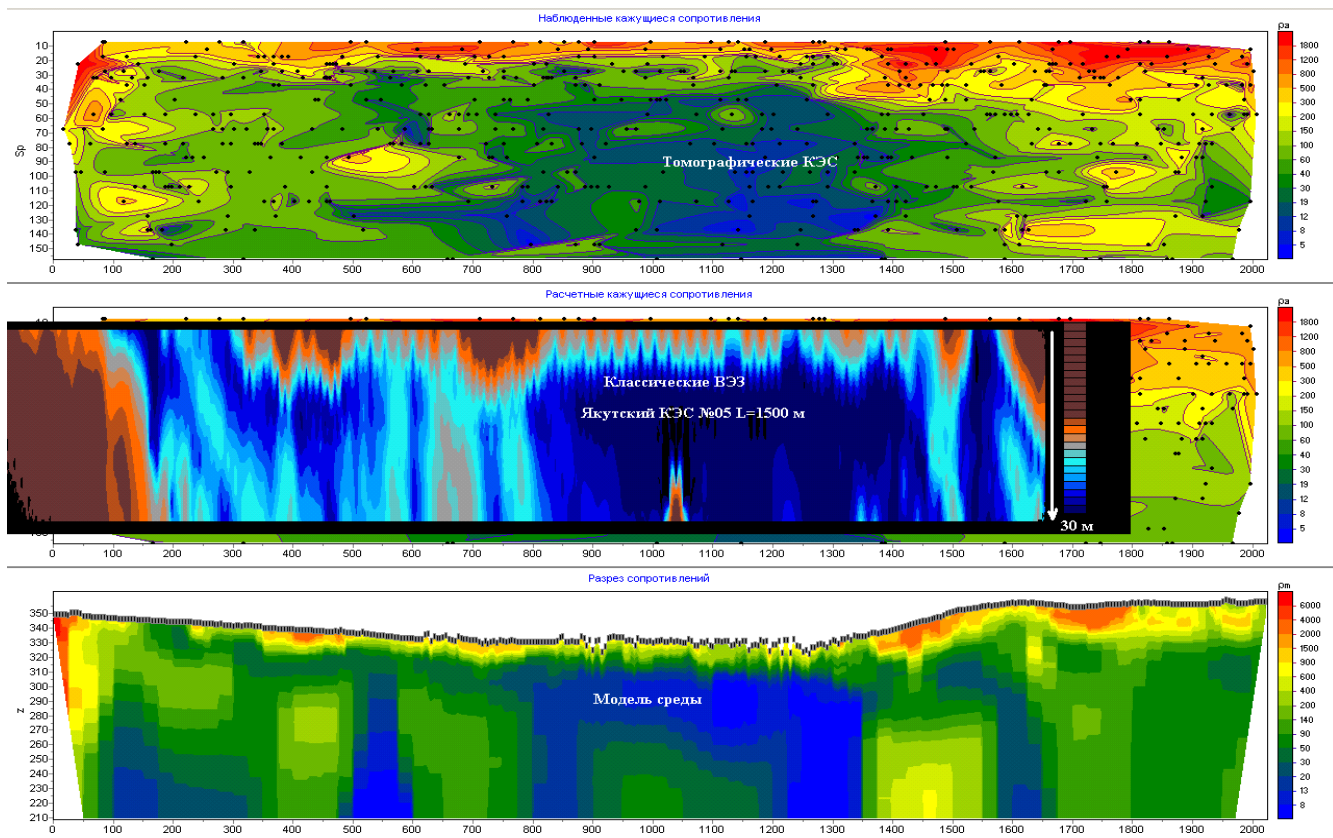


Рисунок 6. Сравнение показывает большую разрешенность томографического метода по вертикали. Установка поль-диполь

Электротомография 2D

В году где-то в 2005 или 2006 Леша Бобачев говорит. Купи у нас французский томограф. Спрашиваю, почему? Он озвучивает -75 тысяч евро. Интересуюсь. А геофизики - французы ведут работы с этим прибором во Франции? Нет, говорит, только в Африке.

Это мы знаем. Читали, как работает белый инженер в Африке? Леша, говорю, - я подумаю. А сам в это время про себя: родная контора задавит меня за такой “раззор”.

И опять про себя: надо почитать западные публикации.

Но мысль работает в таком ключе, а сколько же стоит на внутреннем рынке дельта-сигма модулятор 24-х разрядный? – основа любой современной геофизической аппаратуры. Проще говоря, современный операционный усилитель.

Сколько каналов, столько и операционников. И есть методы, где не надо 24 разряда, а можно обойтись 16-тью или даже 12-тью разрядами (плюс знак). Зависит этот “прикид” от динамического диапазона, что актуально для волновых методик с контролируемым источником.

Значит, идем к аппаратурщикам и пытаемся понять - почему у них разработки такие

дорогие, при низкой стоимости операционников (средний, по цене примерно сотня долларов).

Омск когда-то славился своей сборочной радиотехнической промышленностью. Остались знакомые инженеры. Да и я мог потряхнуть стариной, как, никак, замечательный Бобровников Л.З. читал нам лекции и вел практику по радиотехнике.

Эти розыски привели к пониманию о периферийной оснастке, о модульном агрегатировании, и, чтобы связать все: к разработке программно - аппаратных реализаций. Вот где собака зарыта! Программист, который все это собирает, обычно не причем, а накручивает цену в 200-300% его менеджмент.

Читатель, вдумайтесь. Программа управления геофизической станцией, золотая, как в туалете у Абрамовича.

И нет нам спасения от разработчиков-разбойников, они же изготовители аппаратуры.

Потом конечно в дело вступают разные посредники: официальные дилеры. И Изготовитель спустя несколько лет (обычно после пяти) начинает плакать: не берут аппаратуру или затоварились.

А мы все знаем, фирмы позиционирующиеся, как геофизические, являются одновременно торгующими “собаками на сене” и сразу “дерут козу”, то есть нас с вами, со 100-200% накрутками.

Все приплыли. В геофизической микроэкономике этот чубайсо - гайдаровский, а по- нашему, волчий бизнес, озверел.

Что же делать?

Леша Бобачев нашел выход-с целью удешевления цены и хоть как-то продвинуть современную технологию, начал на рынке предлагать промежуточное решение, свой СОМ64.

Молодец Алексей Алексеевич! Молодец Шевнин Владимир Алексеевич!

За 10 -15 лет такую машину, поставили на крыло в России новую в электроразведке технологию.

Я же напрямую вышел на шведскую АВЕМ.

И Наталья Эрикссон плавно, с тактом чуть-чуть настойчивым и, одновременно ненавязчивым ведет меня к финишу. Мы обговорили технические параметры, цену комплекта, способы поставки.

К 2008-2009 гг родная контора ввела внутренний стандарт предприятия по закупочной деятельности, и нужно было проводить процедуры внутренних конкурсов: выбора из двух-трех изготовителей-поставщиков. Обратите внимание. Не просто

поставщиков, а именно изготовителей.

К 2010 году на рынке России появился первый отечественный производитель электротомографа Омега - 48 и я этих двух производителей вставил на конкурс.

“Бегунок” в корпоративной информационной системе сказал следующую сермяжную правду. А сломается что-нибудь, а ремонт если? И как мы будем выкручиваться? К шведам не наездишься.

И может случится так, что после гарантийного периода этот ремонт встанет нам в копейчку. И мы здесь даже не рассматриваем вопросы калибровки. В качестве “бегунка” был наш главный менеджер по качеству. Коллеги! Вопросы были справедливые.

Я согласился, потому что знал еще то, чего не знала наша бизнес-вумен по качеству ИСО 9001.

Мы изо всех сил должны инвестировать деньги в нашу, слабую, стоящую на коленях отечественную приборостроительную промышленность. И никаких иностранцев, в принципе.

В результате комиссия приняла однозначное решение о заключении договора на изготовление и поставку комплекта Омега-48 с Семейкиным Николаем Павловичем, которого я оповестил письмом, как только получил последнее решение из нашего финансового офиса.

В 2010 году ООО “Логические системы” передали нам Омегу 48, заводской номер 003, совместную разработку “модинцев” и замечательного инженер-конструктора Дудник Андрея Владимировича.

В ООО “Логические Системы” собралась совершенно уникальная компания радиоинженеров. На мой взгляд - из главных конструкторов по сейсмоаппаратуре, там исключительнейший Владимир Николаевич Трушков.

Я Вам поясню. Ни разу за весь период эксплуатации, гарантийных случаев у нас никогда не было проблем с ними, как с предприятием. Оперативно, через всю страну самолетом (если надо) отказавший блок попадал к ним на стол, быстро чинился и так же быстро попадал к нам в поле.

Это грамотная, (считаю, очень грамотным по составу инженерам-электронщикам), контора по производству геофизической аппаратуры и оборудования, славится своим добропорядочным отношением к нам, своим клиентам.

Но вот, как только они делегировали продажи ООО “Геотех”, ситуация стала ухудшаться. Мой друг, Ильченко Андрей Борисович (из РФ75 МГРИ) в 2014 году закупался через “Геотех”. Мне рассказывал и плевался.

Инструмент у нас теперь есть. На дворе начало осени 2010 год.

И я начал вставлять электротомографию во все сметы по газпромовским, а затем и по транснефтевым объектам.

Применяем. Обрабатываем по версии Саши Каминского. Для этого завязал переписку с ним и делюсь первыми материалами с возникающими вопросами. И этот парень – разработчик ПО, исключительный молодец. Ни разу, вы слышите, ни разу не увильнул, что-то не растолковал. В общем, всегда помогает.

Ну и самим надо “быть с усами”. Нужно малазийскую программу (свободную версию) осваивать, “покрутить” обрабатывающую программу Бобачева А. X2IP1; сравнивать решения обратных задач: ведь кому-то надо верить. Так из года в год приходил опыт.

И подумал я.

А взгляну я на эту технологию глазами сейсморазведчика, самого технологически продвинутого среди геофизики метода, а именно, МОВ ОГТ.

Что имеем в сравнении.

- Возможность накоплений импульса - есть и сколько хочешь, то есть безгранична.
- ВЭЗ ВП – два независимых параметра в одном флаконе. Это как в сейсморазведке изучаем строение среды на продольных и поперечных волнах. Грубое конечно сравнение.
- Есть режекция 50 гц. Есть возможность отключать часть каналов при измерениях. Как в сейсморазведке.
- И в “сейсме”, и в “томо” опрос датчиков проводится через электронный коммутатор каналов. Применена конвейерная технология производства работ. В сейсморазведке на полуторном или двойном комплекте кос. Здесь, то же. Но еще плюсом идет двойное подсуммирование данных при Roll along на дистанции перекрытий одной косы. Аналог двухкратному МОВ. Но до 24-х кратного суммирования как в ОГТ еще очень далеко.
- Формой импульса можно манипулировать до полубесконечности и до полубесконечности, вариантами электроразведочных установок.

Очень и очень неплохо. Можно сказать - прорыв.

Коллеги! Прорыв, это когда инженеры начинают по - иному мыслить.

Конечно. Это серьезная технология стоимостью (в нашем случае) в 1,2 млн рублей, по цене сопоставима с АВЕМовским комплексом (1,5 млн. руб). Она конечно применяется на сложных в геологическом отношении объектах.

На дамбах хвостохранилищ (некоторые из них переведены в разряд техногенных

месторождений), водохранилищах, технология показала себя исключительным образом. И у нас была проверка электротомографии, от эксплуатационников.

Инженер от обрабатывающей фабрики (они в ГОКе являются собственниками хранилищ хвостовых отходов) просил сразу при отработке томопрофилей указать глубины протая, для экскавации (углубления) обводного канала.

Оператор прямо на профиле проводит инверсию в программе. Изменяет некоторые параметры сетки и алгоритма, повторяет инверсию несколько раз. И говорит: 8 метров фильтрующий “протай”.

Эксплуатирующий инженер позже назвал фактическую глубину “протая” - 11 метров. По нашим скважинам – протай был 8 метров. Но нам же, кроме глубины, надо фильтрационные окна в плане искать.

Коллеги! Кто из Вас опытный, тот понимает: нельзя в экспресс-режиме решать сырые интерпретационные задачи (по одному профилю, а не по системе), то есть идти на поводу у Заказчика. Потому что, стоит неверно дешифроваться и, можно все геологическое дело “завалить”.

Правда, фильтрационные окна, программа инверсии выдавала в георазрезе какой-то штокверковой формы, что настораживала геофизика Заказчика. Я потом верифицировал данные по второму программному продукту.

Но! В обоих обрабатывающих программах окна в плане и по глубине били с нашими же глубокими скважинами.

С тех пор считаю, модификацию метода надо иметь в арсенале приличных геофизиков. В сложных случаях проводить комплексирование сейсморазведки, электротомографии и бурения. И смело спорить на ящик коньяка со всеми, кто не верит или сомневается.

А Бобачева Алексея Алексеевича надо благодарить за многолетний сподвижнический труд по популяризации электротомографии среди наших инженеров.

И более широко, следует благодарить Золотую Людмилу Алексеевну со-товарищи, за многолетний сподвижнический труд по продвижению малоглубинной геофизики в инжиниринг.