

Несейсмические методы

ЕМ метод становится привлекательным. EM is becoming a major attraction

Norman Allegar из KMS Technologies показывает, как эта компания, основанная в г. Хьюстоне, в качестве одной из производителей, выходит на рынок технологий электромагнитной съемки.

Компания была основана в 1999 г., планируя овладеть разведывательной электромагнитной (ЕМ) аппаратурой для постоянного рыночного контроля и учредить ЕМ в качестве постоянного метода при поиске и разведке углеводородов и оценке месторождений. Изначально было общепризнано, что системы резервуарного мониторинга могут представлять большую ценность для владельцев предприятий, ведущих разработку месторождения, но существующие в то время, базирующиеся на сейсморазведке, методы не могли убедительно представить необходимые решения, требующие знания резервуарного флюида. Хотя существовала серьезная решимость и поддержка со стороны главных нефтяных компаний, движущим мотивом для компании была технология.

Прогресс в электронике позволил объединить поверхностные и скважинные электромагнитные измерения с 3D сейсмическими и связать флюидный мониторинг и мониторинг проницаемости с точным положением в трехмерном пространстве. KMS сумела осуществить это посредством ЕМ технологий, которые предлагают исчерпывающую идентификацию резервуарного поля, оконтуривание его и мониторинг с помощью аппаратуры и методологий. Сотрудники компании использовали эти методики с 80-х годов, но в течение некоторого времени исключали скважинные компоненты – ключевые компоненты, связывающие резервуар с поверхностными измерениями, – из-за ограничений, связанных с аппаратурой.

В настоящее время фокус сосредоточен на трех основных областях исследования: стационарная аппаратура для контроля экономической эффективности эксплуатации, морской электромагнитный метод как прямой поисковый углеводородный метод и скважинный электромагнитный метод для обеспечения измерения глубинной проницаемости. Вместе с различными партнерами по объединению компания разработала непрерывную или полу непрерывную ЕМ, гравиметрическую (плотностную) и сейсмическую аппаратуру, которые могут быть объединены в систему мониторинга.

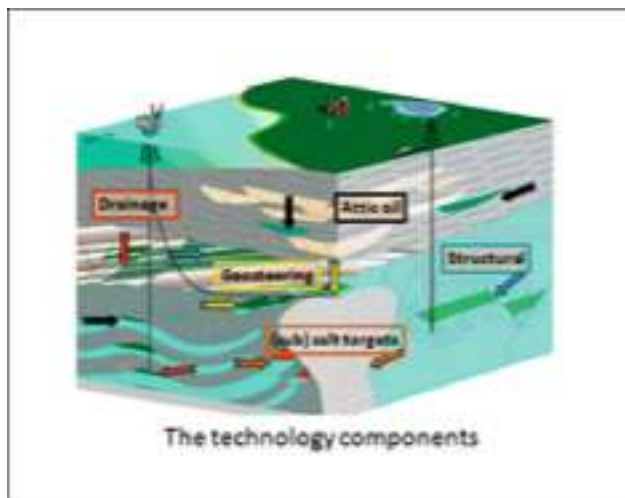


Рис. 1 Модель земли, иллюстрирующая важные задачи, намеченные KMS Technologies.

Для оптимального решения и пространственного покрытия датчики могут быть размещены и в скважине, и на поверхности.

Приоритетным в настоящее время является time domain CSEM (tCSEM) (Метод становления поля) и надежная интеграция его с сейсмическим методом. Чтобы охватить скважинные измерения, была развернута глубинная читающая система TEM (метод переходных процессов) для контроля и управления параметрами бурения. Метод предназначен для того, чтобы обеспечить высоко разрешающие измерения проницаемости окружающих горных пород в радиусе до нескольких десятков метров. Эффективность этой методики заключается в способности объединять различные измерения в общую модель Земли, как показано на рис. 1, чтобы решить ряд очень важных задач в нефтяной индустрии. Они включают в себя: изображение подсолевых отложений, наблюдение за эксплуатацией, скважинный электромагнитный метод, обнаружение шунтированной нефти и распознавание углеводородных структур в стороне от ствола скважины.

Чувствительн. элемент	Разрешающая способность				
	Расстояние	флюид	поверхность-поверхность	поверхность скважина	скважина
сейсмика	превосходная	плохая	превосходная	превосходная	Ок(слабый шум)
ЕМ	Ок (5%глубины)	Превосходная (вода до НС)	Ок	превосходная	Превосходная (меньший шум&расстояние)
гравиметрия	плохая	Ок(нефть-газ)	плохая	Плохая (нет источника)	Плохая (нет источника)
Высокая синергия	сейсмическая	ЕМ/сейсмика	Сейсмика/ЕМ/гравиметрия	Сейсмика/ЕМ	Сейсмика/ЕМ/гравиметрия

Таблица 1 Сопоставление чувствительности датчика с разрешающей способностью. Сейсмический и ЕМ методы дополняют друг друга, и эти два метода используются вместе, чтобы представить самую высокую оценку.

Несейсмические методы

Почему электромагнитные методы?

Ценность электромагнитных методов состоит в способности измерять и интерпретировать содержание флюида в поровом пространстве. Обнаружение резервуара физически основано на контрасте имеющего удельное сопротивление резервуара с проводящими окружающими породами. Временная изменчивость магнитных полей другого естественного или искусственного происхождения вызывает турбулентные течения внутри проводящих осадочных слоев. Так как эти турбулентные течения являются временной изменчивостью, они также вызывают вторичное ЕМ поле, которое может быть обнаружено магнитным или электрическим датчиком, размещенными на дне моря или в стволе скважины.

Сейсморазведка имеет длинную историю как геофизическая «рабочая лошадка» нефтяной индустрии. Хотя она дает самое лучшее описание стратиграфии и формы резервуара, она терпит неудачу при описании свойств флюида порового пространства, так как эластичные волны преимущественно идут через скелет породы. В частности, многие изменения, имеющие место в течение эксплуатации резервуара, не поддаются обнаружению. Существует важная особенность, которая может быть реализована комбинированием усилий сейсморазведки и ЕМ в единый унифицированный подход и фокусированием на представлении рынку интегрированного ЕМ и сейсмического решения для скважинных и поверхностных измерений. Задача заключается в том, чтобы включить существующие электромагнитные измерения в поисковый эксплуатационный цикл и

использовать их эффективность для характеристики резервуара, мониторинга эксплуатации и, в конечном итоге, оптимальной ликвидации скважины.

Методика стационарного датчика для мониторинга резервуара

Понимание перемещения нефти при вытеснении ее водой и паром исторически признано как самая большая ценность в мониторинге резервуара. Экономическая эффективность какой-либо методики мониторинга заключается в ее способности однозначно проследить характеристики резервуара, которые изменяются со временем и могут быть свойственны поведению резервуара. С такими совершенными измерениями мониторинг может потенциально выявлять исчезающие характеристики, обнаруживать уменьшение давления или идентифицировать остаточный или шунтированный продуктивный горизонт, а также определять оптимальную отдачу пласта на основании прогнозирования. Базирующаяся на веских положительных результатах изучения значимости методики глубинной интерпретации одиночной скважины, комбинация сейсморазведки и метода становления поля ЕМ предлагает оптимальное сочетание непрерывного считывания (в скважине или на поверхности), чтобы осуществлять контроль за выработкой резервуара. Смотри таблицу 1 для анализа возможностей датчиков (чувствительных измерительных систем). Так как ЕМ измерения могут обнаруживать изменения свойств флюида там, где акустические методы не могут, интеграция ЕМ с сейсморазведкой является ключевым моментом в проведении всеобъемлющего мониторинга флюида и пористости в трехмерном пространстве. Размещение датчиков в стволе скважины, а не только на поверхности, является крайне необходимым для получения решения, необходимого для программы эффективного мониторинга.

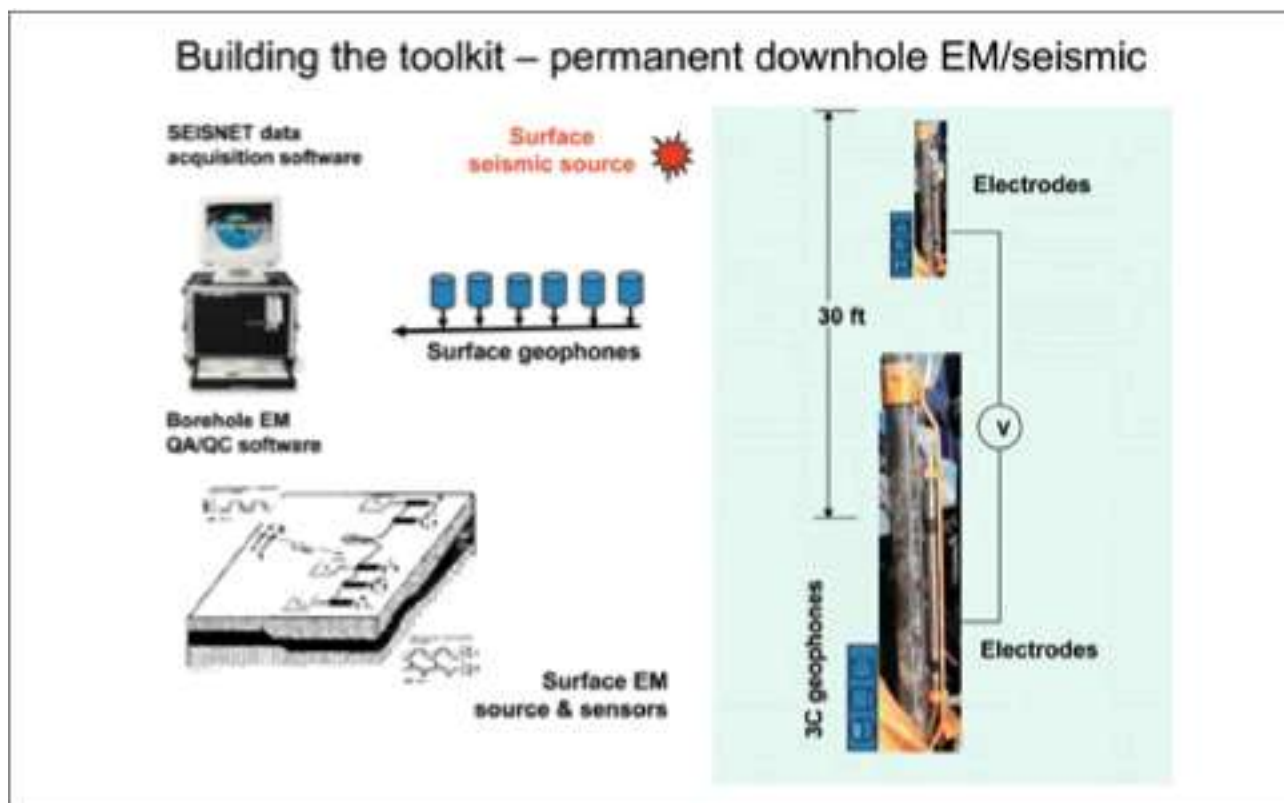


Рис. 2 Обобщенное схематическое изображение, показывающее связь скважинных и поверхностных измерений ЕМ с сейсморазведкой. Регистрация в скважине обеспечивает оптимальное разрешение, в то время как регистрация на поверхности обеспечивает площадное покрытие. Система интеграции является ключевым моментом.

Несейсмические методы

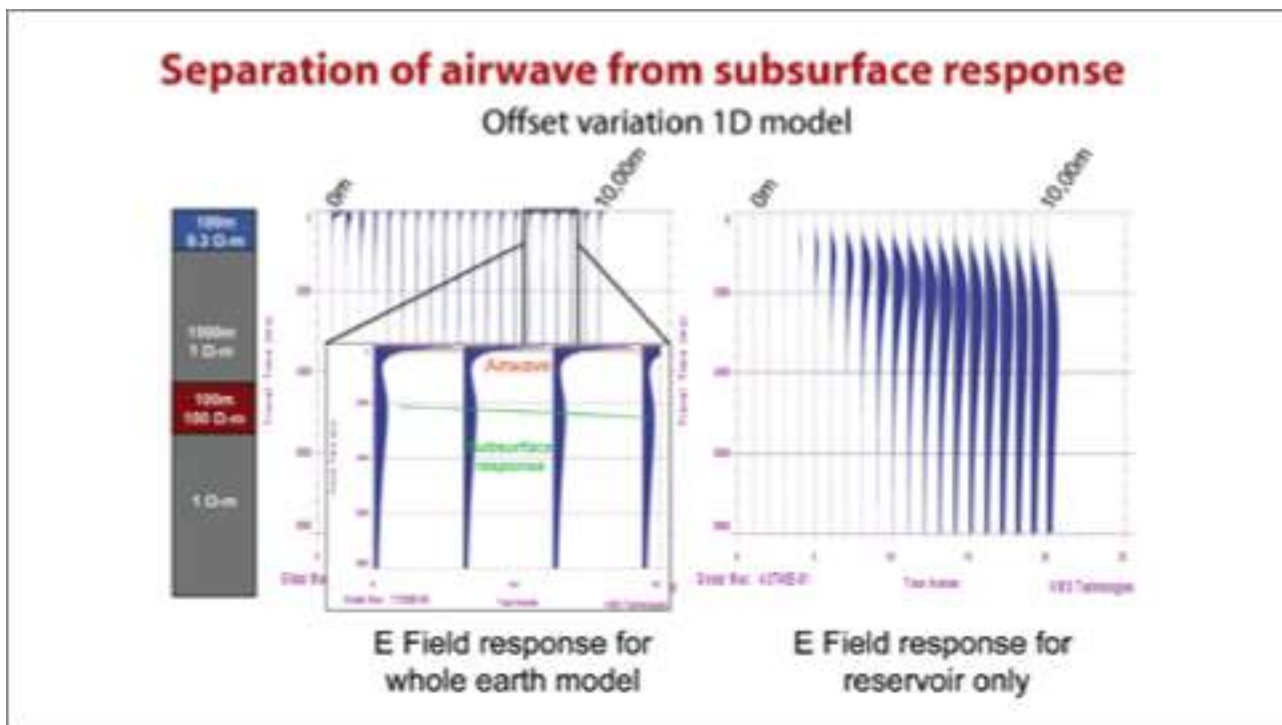


Рис. 3 1D опережающая модель временной области для типичного резервуара на мелководье. Переходные процессы обработаны так же, как и сейсмические трассы, и создана общая приемная запись. Может быть показан эффект атмосферных волн, чтобы выделить его из подповерхностного отклика на мелководье как функцию времени и расстояния.

Модельные исследования регулярно показывают пятикратное увеличение чувствительности (к изменениям флюидного насыщения/удельного сопротивления) для всех поверхностных EM измерений, когда приемники размещены в стволе скважины. Завершены инженерно-технические исследования для понимания технических задач и оценки годности к эксплуатации, и KMS в настоящее время нацелена вместе с ее коммерческими партнерами WellDynamics на полевые исследования. Рис. 2 представляет обзор будущей работы такой системы. В конечном итоге объединение скважинных и поверхностных измерений EM с сейсморазведкой предоставит инженерам-промысловикам метод мониторинга, который использует эффективность сейсмического изображения и возможности выявления флюидов EM.

Морской метод CSEM

Пять лет назад рынок начал свои первые пробные попытки по применению морских электромагнитных методов контролируемых источников (CSEM) для обнаружения углеводородов. С тех пор использование морского метода CSEM набрало силу и сейчас может стать самой важной методикой нефтепоисковых работ в связи с появлением 3D сейсморазведки.

Преимущество метода морской CSEM заключается в его способности измерять и истолковывать содержание флюида в пористом пространстве без наличия предварительного бурения скважины. Как реостат в электрическом поле, в морской CSEM мы используем горизонтальный электрический диполь — активный «контролируемый источник» — чтобы возбудить искусственное электрическое поле в Земле. Литология, имеющая высокое удельное сопротивление, и флюиды пор являются сопротивлениями, которые затем изменяют

это искусственное электрическое поле, и для регистрации этих изменений используются датчики, расположенные на морском дне.

Большинство провайдеров методологии CSEM помещает источник с целевой частотой в землю, часто это относится к частотной области CSEM или fCSEM. Этот источник почти всегда является непрерывным прямоугольным импульсом, и активный источник и подповерхностный отклик регистрируются в узловых точках, распределенных на морском дне. Как следствие, намного более мощное главное поле часто забивает помехами более слабый земной отклик, особенно на коротких расстояниях между источником и приемником и на глубинах воды менее 200 м.

KMS Technologies начал привлекать морскую CSEM в 2001 г., во время, когда немногие на производстве могли предположить, что становления поля могут быть востребованы в открытом море.

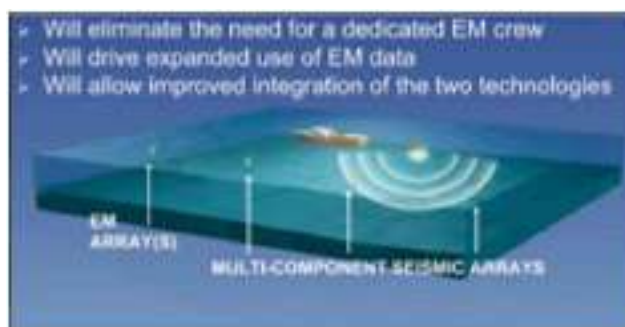


Рис. 4 OBC тип электромагнитной регистрации, размещенной аналогично сейсмической OBC. Эта схема предлагает имеющую преимущество совместное проведение сейсморазведки и EM при обнаружении и сборе данных.

Несейсмические методы



Рис. 5 Задачи глубинного рассмотрения удельного сопротивления дают существенный эффект в эксплуатации месторождения, начиная с лучшей углеводородной оценки и электромагнитных скважинных наблюдений и LWD (картаж в процессе бурения).

Благодаря программе IPP (Инициативная программа резкого роста предупредительных мер) министерства электроэнергии US KMS стал единственным коммерческим партнером по применению tCSEM (метода становления поля), разработанного в России, запатентованного как морской метод CSEM (tCSEM) – Метод становления поля. В 2007 г. KMS и ее партнеры по IPP успешно провели съемку методом tCSEM в Каспийском море на глубинах 15-20 м со специально разработанным прототипом системы.

При использовании метода tCSEM, или CSEM с переходными процессами, мы посылаем электрический ток в Землю и заряжаем подповерхностные горизонты. Затем электрический ток выключается, и заряд вытекает из земли. В течение этих режимов «on» (включение) и «off» (выключения) время является оптимальным в каждом конкретном случае. Импульсные отклики на это искусственное электрическое поле затем измеряются датчиками, которые регистрируют электрическую и магнитную компоненты. Каждое выключение электрического тока представляет время вступления, или нулевое время, для данного импульса. Так же, как и в сейсморазведке, где зарегистрированный отклик синхронизируется с его импульсным источником, переходные процессы tCSEM имеют начало и конец, которые коррелируют с изменениями электрического тока в источнике. Для каждого расстояния между источником и приемником мы получаем единственный импульс (переходный процесс), и мы можем использовать эту взаимосвязь при обработке и интерпретации данных.

Так как tCSEM укомплектован в том же конструктивном стиле, что и сейсмический метод, он может быть объединен с сейсмическим. В таком случае может быть использована эффективность сейсмической обработки там, где она может подавить шумовую помеху, улучшить качество сигнала и применить алгоритмы получения изображения. Объединение с сейсморазведкой особенно важно, так как метод EM базируется на диффузной физике и является намного менее естественным решением, чем таковое в сейсморазведке, которая базируется на теории распространения волны.

Так как метод регистрирует только земной отклик и является широкополосным, он может обнаруживать слабые резервуарные отклики, обусловленные низким контрастом удельных сопротивлений или сложной формой резервуара. Еще одно преимущество регистрации в отсутствии активного источника состоит в том, что эффект атмосферной волны может быть потенциально отделен от подповерхностного отклика на небольших глубинах. На больших расстояниях атмосферные волны приходят и уходят благодаря их большой диффузионной скорости, и подповерхностный отклик возникает позже в переходном процессе. На примере моделирования на рис. 3 можно видеть, как подповерхностный отклик отделяется от эффекта атмосферной волны как функции времени и расстояния.

При небольших глубинах (от 70 до 1110 м) обводнение ослабевает по мере удаления от Средиземного моря в сторону Египетского побережья. BP в 2007 г. на SEG Recent Advances и Road Ahead заявил, что «CSEM становлением поля выявляет известные резервуары там, где традиционная CSEM не имеет успеха». Это подразумевает, что tCSEM метод можно использовать на небольших глубинах во всемирно известных нефтяных провинциях или в новых осваиваемых областях, таких как Арктический шельф. Съемка для BP была выполнена по индивидуальному заказу коммерческой системой CSEM. Электромагнитная геослужба (Electromagnetic Geoservices – EMGS) приобрела эти данные, что привело к сотрудничеству с компанией. Это позволило KMS Technologies выставить tCSEM на рынок. Были оптимизированы самые последние поколения аппаратного обеспечения EMGS's CSEM, чтобы получить высококачественные данные с той же оперативной эффективностью.

Кабельная акустическая система

В апреле 2007 г. компания подписала эксклюзивный контракт с Reservoir Exploration Technology (RXT), предусматривающий использование электромагнитного метода для донных сейсмоприёмных кос. Предполагается, что разрабатываемая кабельная система EM будет готова для коммерческого применения в 2009 году и будет развернута с RXT's VectorSeis Ocean (VSO) кабелем и четырьмя компонентными датчиками. Система будет характеризоваться приспособленными, регистрирующими и контролирующими в реальном времени качество данных, обеспечивая пользователя совершенной эксплуатационной и финансовой эффективностью.



Рис. 5 Задачи глубинного рассмотрения удельного сопротивления дают существенный эффект в эксплуатации месторождения, начиная с лучшей углеводородной оценки и электромагнитных скважинных наблюдений и LWD (картаж в процессе бурения).

Несейсмические методы

Результатом инновационной морской технологии будет эффективное применение и поиск информации с минимальным участием человека, исключая, таким образом, HSSE риск. Дипольный источник, позволяющий действия (операции) по горизонтали и вертикали, теперь оптимизирован для передачи сигнала становления поля и для операций в воде на глубинах 10-500 м.

Кабельная система tCSEM будет регистрировать измерения и электрического и магнитного поля и обеспечит более плотное размещение датчиков, чем типичное размещение CSEM. Полностью интегрированные и синхронизированные датчики, специально изолированные от шума и уничтожения, будут гарантировать самое высокое качество данных. Плотное размещение датчиков является особенно важным, поскольку пространственная разрешимость метода tCSEM масштабируется по ней. Другими словами, более плотное размещение приемников, лучшее пространственное разрешение и интеграция с отдельной скважиной и скважинно-поверхностными измерениями.

Использование кабельной tCSEM системы влечет за собой ЕМ резервуарный мониторинг посредством непрерывной съемки. Кабельная система имеет очень высокую степень точности для позиционирующих повторных работ аналогично той, которая реализована в 4D сейсморазведке. Несомненно, полученные ЕМ данные в форме, аналогичной сейсмической, и в сочетании с сейсмическими данными могут быть признаны самой лучшей возможной интеграцией двух методологий. Рисунок 4 демонстрирует возможное ЕМ и сейсмическое ОВС применение.

Усовершенствование скважинной системы

Вместе с tCSEM для скважинных и глубинных измерений удельного сопротивления, разработанный скважинный зонд генерирует магнитное поле в окружающих породах и регистрирует индуцированное напряжение, созданное выключением электрического тока. Искажения в зарегистрированном напряжении показаны изменениями удельного сопротивления. Физические процессы аналогичны наземной системе Lotem (длительные по времени переходные процессы ЕМ) или tCSEM системе. Разработка началась с пилотного проекта, фондируемого DeepLook консорциумом (совместная поддержка нефтяной индустрии созданием новых технических средств), в 2000 году. С той поры успешно завершено несколько этапов, а также главной Е&Р компанией проведены полевые испытания, где были надежно зарегистрированы изменения удельного сопротивления в десятках метров в стороне от скважинного зонда. Рисунок 5 представляет множество областей применения, которые могут быть отнесены к методу глубинного рассмотрения удельного сопротивления.

Чтобы оптимизировать регистрацию сигналов переходных процессов, KMS Technologies разработала собственные индукционные катушки, которые предлагают превосходный диапазон рабочих частот и чувствительность. Индукционные катушки в частности разработаны для применения при ЕМ измерениях. Продуктом KMS являются также морские индукционные катушки для частотного области. Наши морские катушки имеют компактный размер и умеренный вес, сокращая расстояние, требуемое для размещения на дне океана приемного устройства и размер необходимых набортных аппаратных блоков. Задача оптимизации частотного

© 2007 EAGE



Рис. 7 Полевой отряд, собирающий МТ станции.

отклика катушки для заданной цели заставила KMS работать с несколькими опытными группами датчиков, обладающими наивысшей чувствительностью и диапазоном рабочих частот. К тому же, мы также предлагаем наземные индукционные катушки, которые разработаны для измерения изменчивости естественного магнитного поля Земли, и особенно хорошо удовлетворяющие МТ. Как требует МТ, они охватывают широкую частотную полосу от 0.0001 Hz до 1.000 Hz. Как и все наши индукционные катушки, они показали низкий уровень промышленных помех и стабильную функцию переходного процесса при изменении температуры и времени. Смотри рисунок 6 с образцами наших магнитных датчиков.

Несейсмические методы

Наземная ЕМ съемка

Множество методов ЕМ описывает электропроводность Земли от небольших до больших глубин. Они включают CSEM и для пассивного измерения естественного ЕМ поля Земли, магнитотеллурического метода разведки или ТМ. Посредством объединения с BGP, одной из ведущих мировых геофизических подрядных организаций, мы во всемирном масштабе проводим ЕМ съемки (по большей части МТ и Lotem) при нефтяных и геотермических исследованиях. KMS Technologies предлагает сбор данных наземными методами МТ и Lotem, услуги по обработке и интерпретации, а также обработку и интерпретацию морских МТ данных, включая инверсию 3-D морских данных. Сочетание МТ с сейсморазведкой будет иметь значительную эффективность в бассейнах, где сейсмическое изображение подвергается сомнению из-за присутствия соли или базальтов.

Выводы

Область применения электромагнитных методов расширилась за прошедшие два десятилетия благодаря более совершенному пониманию технологии и доступности услуг и более высокому качеству ЕМ измерений. Исторически электромагнитные методы глубинных переходных процессов полностью охватывали различные дисциплины в геофизике, несмотря на тот факт, что многие из принципов аналогичны сейсмическим. По мере развития аппаратных средств, однако, современные системы сбора данных могут теперь предложить надежный сбор данных методом ЕМ во временной области. Тесный контакт и объединение с сейсморазведкой, с данными каротажных диаграмм и другими геофизическими измерениями

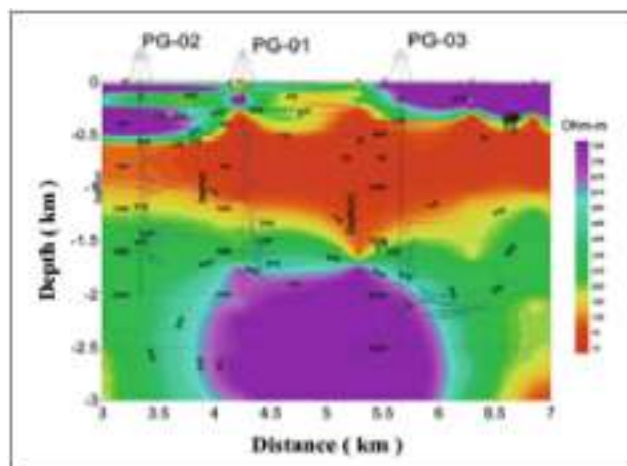


Рис. 8 Свободная 2D инверсия МТ данных показывает сильную корреляцию со скважинным контролем. Высокие значения кажущегося удельного сопротивления окрашены цветами от зеленого до пурпурного. Области высокого удельного сопротивления по МТ данным также имеют место и в скважинных данных.

(гравиразведка, магниторазведка и т.д.) в дальнейшем увеличит достоверность и точность ЕМ метода. Можно ожидать, что электромагнитный метод электроразведки станет установившейся практикой исследования эксплуатационного срока резервуара и будет играть существенную роль в определении характеристики резервуара, наблюдении за эксплуатацией и, в конечном счете, в оптимальном закрытии (ликвидации) резервуара.