

Несейсмические методы

специальная тема

Electromagnetic prospect scanning moves seabed logging from risk reduction to opportunity creation

Сканирование расширяет функцию электромагнитных исследований морского дна: от уменьшения риска – к нахождению новых месторождений

Dave Ridyard,¹ Tor Atle Wicklund,² и Bjorn Petter Lindhom¹ из норвежской компании Electromagnetic Geoservices (emgs) объясняют, как стандартные контролируемые методы электромагнитной разведки могут быть адаптированы для обнаружения углеводородов в неизученных областях.

За последние четыре года emgs провела более 200 электромагнитных исследований морского дна. Этот метод широко используется в качестве способа проверки наличия углеводородов в районах, обнаруженных с помощью сейсморазведки. Исследования проводятся с помощью измерения сопротивления подповерхностных пластов в различных геологических условиях. В руках квалифицированного исследователя полученные данные могут помочь определить, содержит ли структура углеводороды, а при положительном ответе обозначить границы коллектора.

Новое приложение этой технологии, известное как «электромагнитное сканирование», предоставляет возможность обнаружения нефтеносных участков в малоизученных регионах, опираясь лишь на общие знания о структуре бассейна. В этой статье мы объясняем концепцию сканирования и обсуждаем некоторые детали проектирования и проведения разведки с использованием этого метода.

Что такое «сканирование»?

Традиционный подход к исследованию неизученной области требует значительных усилий при проведении сейсмической разведки и предварительного бурения до получения первого подтверждения присутствия углеводородов. Электромагнитное (ЭМ) сканирование выгодно отличается тем, что позволяет определить перспективные области гораздо быстрее. При сборе данных с решетки датчиков можно обозначить области дна, содержащие значительные аномалии сопротивления, и сконцентрировать дальнейшие исследования на этих областях. Таким образом, ЭМ-сканирование может чрезвычайно сократить время и ресурсы, требующиеся для обнаружения нового пласта.

Разница между сканированием и обычным электромагнитным исследованием морского дна заключается в том, что данные для сканирования собираются по относительно разреженной сетке (шире традиционного интервала между датчиками в 1 км). Так становится возможным сканирование больших площадей за короткий срок. Предварительный анализ данных идет быстро, так что обнаружение потенциальных коллекторов возможно еще до того, как судно покинет район. Это

предоставляет возможность более тщательного изучения интересных участков. Затем бурение может быть проведено лишь в самых перспективных районах. Такой подход может помочь сократить время разработки месторождения на срок до года. Этот метод может быть использован и в хорошо исследованных районах для обнаружения ранее незамеченных нефтяных пластов, что может продлить срок эксплуатации месторождения с использованием существующей инфраструктуры.

Другая возможность использования сканирования может представиться в районах, где сложно получить разрешения на сейсмическую разведку – как, например, зоны повышенной экологической чувствительности. Сканирование наиболее эффективно при исследовании больших площадей, так что целесообразным кажется сотрудничество между несколькими компаниями и органами, выдающими лицензии на разведку.

Планирование электромагнитной разведки

Подготовка к обычному электромагнитному исследованию включает в себя детальное трехмерное моделирование участка. Этот сложный процесс требует использования всех имеющихся сейсмических и скважинных данных. Далее моделируются ожидаемые результаты, в присутствии углеводородов и без них. Если разница между результатами достаточно велика для регистрации приборами, можно начинать исследования. При схожих результатах этот метод становится бесполезным.

Подход к сканированию, где данные о конкретном резервуаре часто отсутствуют, должен быть другим. На данный момент, во всем мире не так много мест, о которых неизвестно абсолютно ничего, так что имеющиеся знания о структуре бассейна могут быть использованы для создания одной или нескольких моделей. Сканирование используется в малоизученных областях, так что ключевой целью поиска должно быть крупное месторождение – небольшие пласты не оправдывают создание нужной инфраструктуры и не являются ценными находками (Рис. 1).

Оценка запланированного исследования

Каждый возможный проект исследования создает кривые ответов для, возможно, сотен датчиков. Для того чтобы

¹emgs Americas, 16000 Barkers Point Lane, Suite 145, Houston, TX 77079, USA. E-mail: findinghydrocarbons@emgs.com.

²emgs Asia Pacific, Unit E-12-4, 12th Floor, East Wing, Wisma Rohas Perkasa, No. 8 Jalan Perak, Kuala Lumpur, Malaysia.

Несейсмические методы

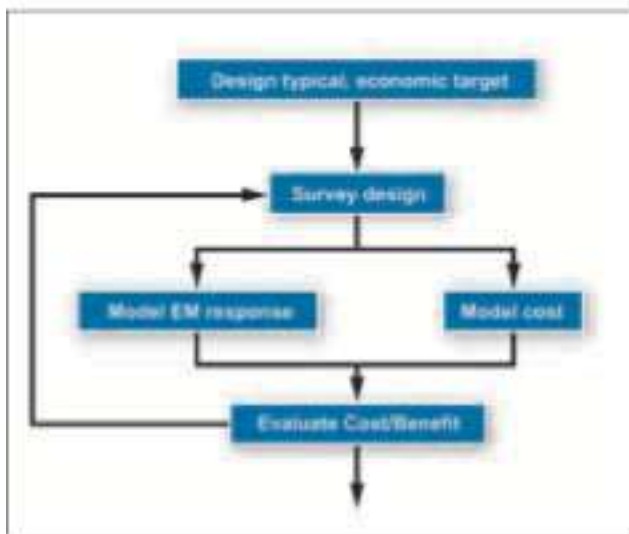


Рис. 1. Сканирование должно быть оптимизировано для того, чтобы обнаруживать экономически выгодные участки без увеличения стоимости разведки.

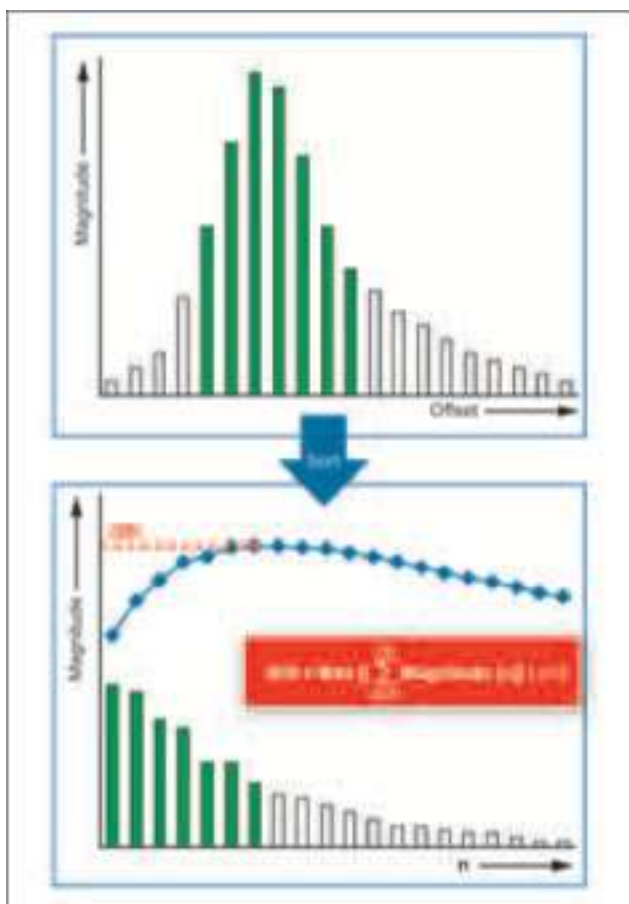


Рис. 2. Индикатор геометрического ответа (GRI) – смоделированный атрибут, описывающий количество электромагнитной энергии, которое должно достичь дна от подповерхностного слоя. На каждой точке карты GRI – взвешенная сумма ожидаемых амплитуд наиболее чувствительных расстояний.

оценить различные проекты, создаются карты подходящих «атрибутов», позволяющие сравнивать относительные выгоды различных проектов. В этой статье для иллюстрации процесса будет использован атрибут, названный «индикатор геометрического ответа» (GRI). Первым шагом в расчете GRI является создание набора карт стандартных величин удалений с помощью интерполяции смоделированных данных на серединные точки. Затем GRI рассчитывается для каждой точки как взвешенная сумма амплитуд самых чувствительных удалений (Рис.2). Полученный в результате атрибут обладает схожими свойствами с интегралом нормализованной кривой зависимости величины от удаления (MVO). В отсутствие вариаций в батиметрических данных и сопротивления субстрата, GRI измеряет энергию, достигающую дна в исследуемой модели.

Следует заметить, что анализ, использующий один атрибут, может быть использован лишь в искусственно созданных моделях. Настоящие электромагнитные данные содержат множество разнообразной информации; их интерпретация требует интегрированного анализа различных атрибутов, выведенных из амплитуды и фазы трехмерных электромагнитных волновых полей, измеренных на всех удалениях и в нескольких частотах. GRI отражает лишь малую часть этой информации.

Практическое использование GRI

Практическое приложение GRI может быть иллюстрировано с помощью простой модели, содержащей три блока, ограниченных сбросами (Рис.3). Северный и южный блоки содержат углеводороды, а средний блок – минерализованную воду. В этой модели учитывается лишь геометрия расположения датчиков и глубина залегания пласта. Тем не менее, при оценке реального исследования нужно учитывать и такие факторы, как различия в сопротивляемости пород, их направление, глубину воды и спектральный состав

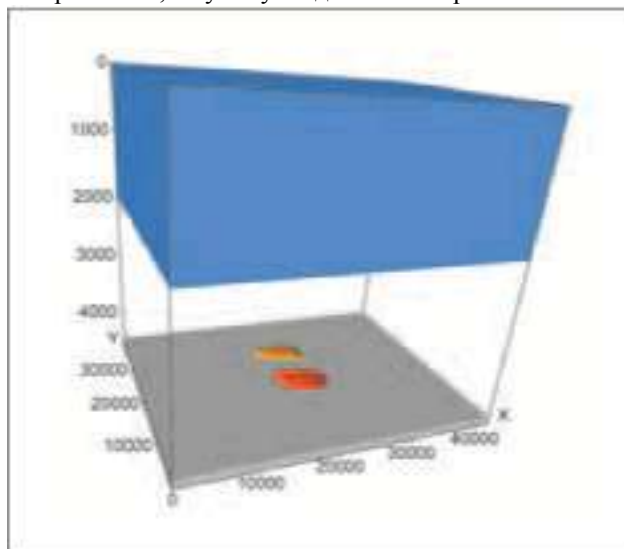


Рис. 3. Для расчета GRI (Рис. 4 и 6) была использована простая модель, содержащая два углеводородных блока (оранжевые). Расстояния указаны в футах.

источника электромагнитных волн. Этот пример будет использован для демонстрации потери разрешения при уменьшении плотности снятия данных.

Пространственное разрешение

Разница в расстоянии между линиями наблюдения может иметь серьезное влияние на время, потраченное на проведение исследования. Увеличение расстояния между линиями с 1 до 4 км сокращает время, требуемое для снятия данных, более чем на 80%. Рис. 4 иллюстрирует влияние различных интервалов снятия данных на картах GRI, для двух разных схем расположения источника и датчиков: вдоль линии наблюдения и перпендикулярной.

На расстоянии 1 км, обе схемы демонстрируют хорошую чувствительность. Снятие данных вдоль линии наблюдения дает мало информации о структуре коллекторов, но данных достаточно для создания изображения структуры после глубинной миграции, как латерально, так и в глубину. Перпендикулярное снятие данных демонстрирует значительно лучшую чувствительность, нежели параллельные схемы.

При уменьшении пространственной плотности снятия данных, все карты GRI показывают стабильное падение

амплитуды сигнала и увеличивающееся искажение структуры коллектора, так как алгоритм интерполяции может использовать все меньше и меньше данных. При разреженном снятии данных, использование глубинной миграции становится невозможным. Хотя расчеты здесь не показаны, дальнейшее увеличение расстояния между линиями наблюдения уменьшает вероятность обнаружения одного или обоих блоков.

Важность перпендикулярной схемы снятия данных была бы еще очевиднее, если бы модель обладала другим соотношением размеров. Тем не менее, перпендикулярные замеры занимают почти вдвое больше времени, нежели снятие данных вдоль линий наблюдения, так что улучшение качества информации сопряжено с дополнительными затратами.

Ценность сканирования по широкому азимуту

Большинство электромагнитных данных собирается вдоль линии наблюдения. Тем не менее, некоторые схемы расположения датчиков позволяют изучение районов между линиями наблюдения за счет снятия данных под несколькими углами. Эта возможность особенно полезна, если исследуемый участок содержит длинные узкие коридоры, которые могут быть пропущены при использовании стандартной геометрии съемки. Пример двумерного сканирования по широкому азимуту, где на каждой линии наблюдения располагаются три датчика, приведен в Рис. 5.

Также может быть использована схема трехмерной разведки, где все датчики активны для всех источников. Такая схема занимает приблизительно столько же времени, как и перпендикулярная, но требует гораздо большего количества датчиков. Рис. 6 сравнивает карты GRI при использовании снятия данных вдоль линии наблюдения, широкоазимутного двумерного сканирования и трехмерного сканирования.

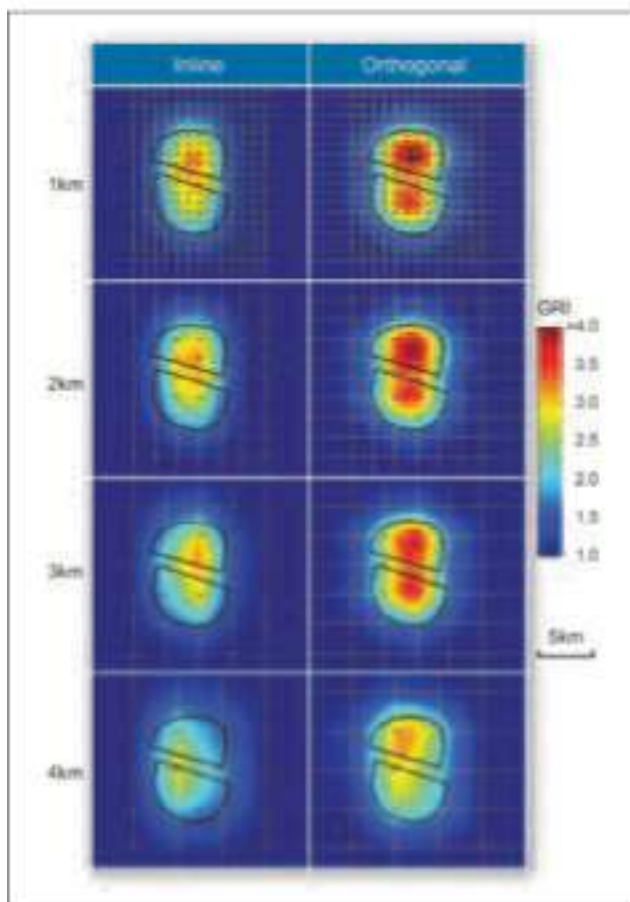


Рис. 4. GRI, рассчитанные для модели с двумя нефтеносными блоками, показаны для линий параллельного и перпендикулярного снятия данных, расположенных на расстоянии от 1 до 4 км друг от друга. Белые линии – траектории сигналов источников, желтые квадраты указывают на расположение датчиков.

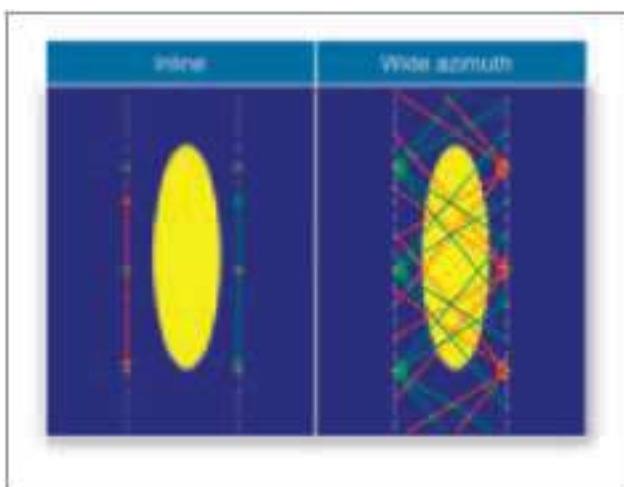


Рис. 5. Пласты, находящиеся между линиями сканирования, расположенными на большом расстоянии друг от друга, могут быть обнаружены при снятии данных под разными углами от линии наблюдения. Снятие данных с трех датчиков, расположенных на линии рядом с линией сигнала (справа), позволяет увидеть длинный, узкий пласт, который невозможно обнаружить при помощи параллельного снятия данных (слева).

Несейсмические методы

И трехмерная, и двумерная широкоазимутная схемы обе содержат данные, снятые под углом к линии наблюдения и, соответственно, получают значительно более высокую амплитуду сигнала, что приводит к более высокой вероятности обнаружения нефтеносных пластов. Это вызывает предположение, что в определенных условиях может быть использовано еще большее расстояние между линиями наблюдениями. Широкоазимутные схемы также демонстрируют гораздо лучшее отображение формы структуры, что

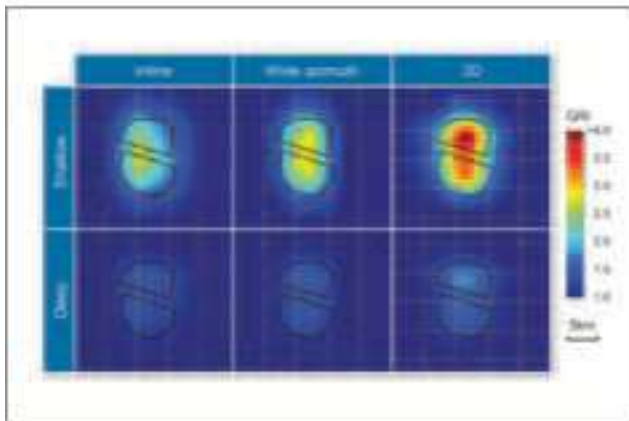


Рис. 6. Карты GRI, построенные для глубоких и неглубоких объектов, обследованных с использованием трех схем: снятия данных вдоль линий наблюдения, широкоазимутной двумерной и трехмерной перпендикулярной. Даже довольно широко расположенные линии наблюдения могут получить амплитуду сигнала, нужную для обнаружения глубоких объектов.

подтверждает их высокий потенциал обнаружения объектов, находящихся между линиями наблюдения.

Широкоазимутная двумерная геометрия требует примерно таких же временных затрат, как и снятие данных вдоль линий наблюдения, но втрое большего числа датчиков – хотя это все равно гораздо меньше, чем число, требующееся для проведения трехмерной съемки. При наличии достаточного количества датчиков, широкоазимутная двумерная схема снятия данных обладает значительными преимуществами и почти не отличается от стандартной схемы затратами времени и процессом обработки конечных данных.

Заключение

В то время, когда становится все сложнее обнаружить новые месторождения, и временные требования становятся все жестче, электромагнитное сканирование обладает огромным потенциалом обнаружения новых участков, и ускорения цикла разработки малоизученных регионов. Ранняя идентификация богатых углеводородами участков поможет сконцентрировать дальнейшие исследовательские работы там, где они будут наиболее эффективны.

За последние два года были сделаны значительные успехи в области проектирования, сбора, обработки, и интерпретации данных сканирования. Наш опыт использования этой технологии продолжает расти, так что стоит ожидать дальнейшего развития этой области. Уже очевидно то, что сканирование дает хорошие результаты и позволяет расстановку линий наблюдения на большие расстояния. Особенно большим потенциалом в практическом приложении сканирования обладают широкоазимутные схемы снятия данных.