

## Геофизика для изучения резервуаров

### Геофизика для изучения резервуаров: что пошло не так?

### Reservoir geophysics: what went wrong?

**Richard Cooper и Richard Uden из Rock Solid Images задали несколько проницательных вопросов, которые никто прежде не решался задать: о медленном развитии и распространении обещанных выгод геофизики для изучения резервуаров с использованием 4D сейсморазведки и других передовых методов.**

**В** середине 1990-х прогнозировался огромный рост нашей индустрии полевых работ с переходом от 3D сейсморазведки к 4D. Ождалось, что данный переход превзойдет огромное развитие индустрии, наблюдаемое 20 лет назад при продвижении 2D сейсмики к 3D, или даже раньше, когда перешли от аналоговой к цифровой записи и обработке.

Итак, что же произошло? Очевидно, сейсмический мониторинг, или 4D сейсмика, не помог перейти геофизической индустрии в новый золотой век богатства и мощи. В этой статье делается попытка объяснить некоторые причины того, почему популярность этого метода оказалась не такой, как ожидалось.

Мы начнем рассмотрение 4D сейсмики в более широкой концепции «геофизики для изучения резервуаров». 3D сейсморазведка была успешна, поскольку она развилась быстро как разведочный метод по выбору. Структурные и стратиграфические риски могли быть сильно снижены при интерпретации сейсмических кубов. Эта технология продолжает развиваться, например, появилось построение глубинного 3D изображения до суммирования, анализ сейсмических атрибутов и объемная визуализация, расширявшая выгоды 3D сейсморазведки как надежного, испытанного и рентабельного разведочного метода.

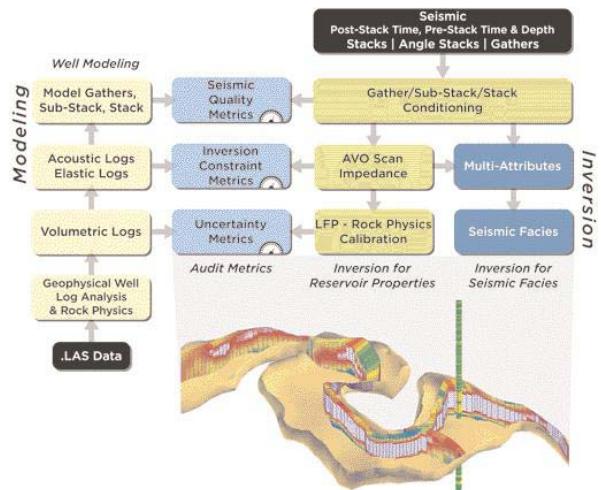
Чем отличается геофизика для изучения резервуаров от разведочной геофизики? Несмотря на то, что нет жестких границ между этими дисциплинами, геофизика для изучения резервуаров может быть рассмотрена как применение геофизических методов для определения свойств резервуаров, как статических, так и динамических, например, тип флюида и насыщенность, пористость (и, возможно, проницаемость), минералогия, давление и температура.

Итак, почему же инженеры-разработчики месторождений не прорубают тропы к нашим дверям для открытия этой новой информации, которую мы можем извлечь с помощью геофизики для изучения резервуаров? Мы бы это объяснили тем, что существует много причин этого тусклого интереса наших коллег — инженеров.

#### Геофизика для изучения резервуаров: трудности

Это сложно!

Переход от 2D к 3D не был слишком сложным для нашей индустрии. Мы были готовы к увеличению масштабов наших методов полевых работ и, к счастью, что самое важное, веря в закон Мура, мы были готовы достичь экспоненциального повышения компьютерной мощи. Многие из алгоритмов построения изображения среды были уже известны: история развития 3D построений во временной и глубинной области, также как и развития методов интерпретации с использованием ЭВМ, является основным геофизическим ноу-хау.



Сложная, мульти-дисциплинарная последовательность процедур геофизики для изучения резервуаров

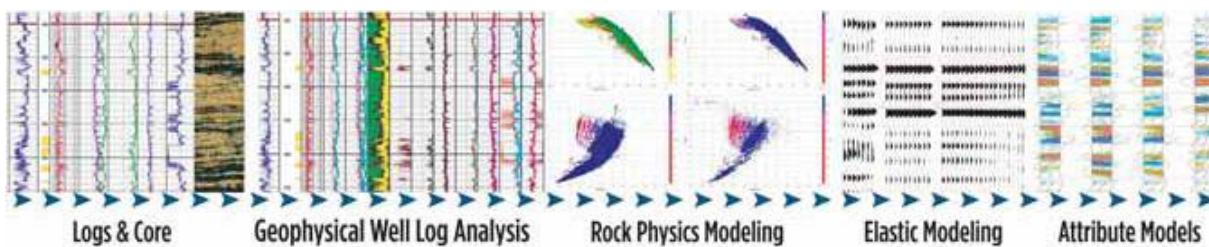
К несчастью, геофизика для изучения резервуаров сложна! Для начинающих это мульти-дисциплинарная задача. Успешный проект геофизики для изучения резервуаров требует вовлечения в работу геофизиков ряда геологов, особенно петрофизиков и инженеров. Это отнюдь не легко. Несмотря на некоторые смелые попытки, подобная интеграция происходит медленно. Современные профессии геолога и геофизика отделены друг от друга, вместе со знаниями высокого уровня, которыми обладает каждая из двух дисциплин, за исключением очень малых знаний о нуждах за пределами нашей профессии.

Хороший пример этого — простая синтетическая сейсмограмма. Синтетические сейсмограммы, или сейсмические модели, получают около десятилетия. Большинство геофизиков понимает, как комбинировать  $V_p$  и кривую плотности (и, возможно, также  $V_s$ ), чтобы создать вертикальную модель акустического импеданса и коэффициента отражения. Эти сейсмограммы — бесценное средство интерпретации, дающее возможность переноса геологических маркеров на наши разведочные сейсмические записи.

Синтетическая сейсмограмма также играет важную роль в геофизике для изучения резервуаров. Сопоставляя интерпретацию наших сейсмических данных с нашими каротажными данными, получаем модель геологической среды. Если синтетическая сейсмограмма и данные наземной сейсморазведки «увязываются», то мы построили правильную модель среды, по крайней мере, в области скважины. Мы бы приняли вариант, при котором данные наземной сейсмики и каротажные данные были обработаны соответствующим образом и результат увязки со скважинными данными наиболее оптимален. Без этой увязки

E-mail: r.cooper@rocksolidimages.com; tel: +1 713 783-5593.

## Геофизика для изучения резервуаров



Для создания синтетической сейсмограммы необходима интеграция петрофизики и геофизики

мы бы не смогли экстраполировать модель геологической среды в сейсмическом кубе за пределы околоскважинного пространства.

К несчастью, получение оптимально обработанных сейсмических и скважинных данных не легкая задача. Требуется ноу-хау геофизиков для подготовки данных 3D сейсмики; для подготовки каротажных данных требуется петрофизики. В этом заключена проблема: большинство петрофизиков не знают о том, что геофизики нуждаются в высокоточных и согласующихся данных  $V_p$ ,  $V_s$  и плотности, чтобы получать другие петрофизические параметры, такие как глинистость и тип флюида. Без этого ряда согласующихся каротажных данных качество синтетических сейсмограмм будет низким, и даже при возможной адекватности для разведочных целей, синтетические сейсмограммы будут неприменимы для геофизики для изучения резервуаров на этапах моделирования и на этапе привязки данных.

Если мы всерьез заинтересованы геофизикой для изучения резервуаров, нам следует развивать мультидисциплинарные процедуры и инструменты, которые не только учитывают потребности в знаниях каждой дисциплины, но также принимают во внимание необходимость в различных данных на границах геофизики, геологии, петрофизики и инженерного дела.

### Отсутствие доверия заказчика

Кто заказчик геофизики для изучения резервуаров? Во многих случаях конечным пользователем является буровик или инженер-разработчик. Это отличается от разведочной геофизики, где обычно мы видим геофизиков, работающих с другими геофизиками для развития инструментария и обработки данных.



Необходимы мультидисциплинарные команды для достижения успеха

Как геофизики, мы часто шутим, что «инженеры не понимают нас». Мы, в самом деле, уверены в отсутствии понимания между геофизиками и инженерами. В действительности, нам следует признать, что проблема еще глубже: инженеры часто не понимают в чем ценность наших данных и во многих случаях инженеры правы в своей скептичности!

### Разрешение ситуации

Что мы можем сделать как геофизики для разрешения этой ситуации? Мы бы предложили заострить внимание на трех основных областях.

#### Производственный цикл

Несмотря на то, что возможна 3D съемка за пару недель и быстрая обработка за другую пару недель или около того, процесс определения характеристик резервуара часто занимает несколько месяцев. Мы уже объяснили, почему некоторые производственные циклы занимают долгое время: задача интеграции данных и интерпретации представляет собой мультидисциплинарную и сложную задачу. Тем не менее, время дорого. Если мы получаем массив данных после принятия решения, значение эффективности данных падает до нуля.

Необходимо совершенствовать процедуры геофизики для изучения резервуаров, такие как инверсия до суммирования и привязка к значениям околоскважинного пространства, которые могут занимать дни, если даже не часы, а не недели или месяцы. Безусловно, цикл полевых работ, обработки данных и интерпретации должен занимать меньше времени, чем период мониторинга!

#### Здравомыслие

Мы все слышали старую шутку, а том, что если ты отдаешь три идентичные записи данных трем разным обрабатывающим компаниям, то ты получишь три разных результата. Печально, но это часто действительно так, однако эта шутка уже не смешная.

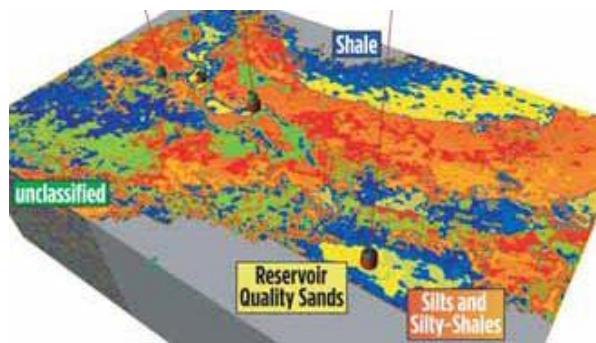
Как индустрия, мы должны много работать для повышения стандартов, общих подходов и процедур. Пока человеческий опыт и знания будут востребованы, мы можем усовершенствовать наши методы, создавать здравый и надежный инструментарий и процедуры, которые занимают не только мало времени, но также дают более достоверные результаты. Без этой достоверности и сопутствующих методов, которые позволяют нам определять точность и правильность наших прогнозов, мы не достигнем успеха в предоставлении инженерам достоверных и своевременно полученных данных.

## Геофизика для изучения резервуаров

### Актуальность

Другая старая шутка — «сколько это две секунды трубы?». Инженеры не работают с акустическими параметрами. Конвертация значений коэффициента отражения в значения акустического импеданса или  $\lambda \cdot \rho / \mu$  может быть приятной забавой для геофизика, но подобные данные будут иметь мелкое значение для инженера. Просто инженерам нужны характеристики резервуара (например, пористость, насыщенность и механические параметры) в глубинном масштабе и с погрешностями. Вот, что требуется и ничего больше.

Итак, хотя AVO, инверсия импеданса и физические модели горных пород — это необходимые инструменты, мы должны довести наши технологии и получаемые данные до изделия конечного пользователя, если мы хотим заинтересовать наших заказчиков из области инженерии.



Массив сейсмических данных, переведенный в геологические характеристики

### Коммерческие модели

Выше мы упоминали об успешном коммерческом развитии от 2D к 3D сейсмике, начавшемся в 1970-х. Параллельно с этим технологическим прогрессом развивалась новая коммерческая модель, которая развивалась с 1980-го и продолжает развиваться по сей день: развитие политики совместного использования данных несколькими компаниями.

Если мы заглянем в историю роли геофизики в нефтяной промышленности, то увидим, что в ранние предвоенные дни было обычным делом, когда нефтяные компании владели и руководили своими собственными отделами полевых наблюдений и выполняли в своих компаниях и обработку, и интерпретацию. После развития индустрии геофизического сервиса в 1950-х компании, предлагающие услуги по разведке и разработке, начали все больше и больше выполнять полевые работы и обработку, хотя это до сих пор происходит на правах собственности.

Как только будут совершенствованы модели совместного использования данных разными компаниями, эта ситуация изменится вместе с сервисными геофизическими компаниями, берущими на себя полевые работы и обработку сейсмических данных, лицензиями на которые тогда обладало так много нефтяных и газовых компаний, насколько это возможно. Давая правильную комбинацию расположения и количества данных, эта доказанная весьма успешная деловая модель приводит к тому, что цветут и сервисные, и нефтяные компании, а также геофизическая индустрия.

Будет ли эта модель работать для геофизики, направленной на изучение резервуаров? Короткий ответ — нет! Мы видим две большие разницы между сейсмическими данными для разведки и для изучения резервуаров:

- Размер: сейсмические наблюдения по изучению резервуаров, вероятно, будут меньше (по площади), чем при разведочных задачах. Это объяснить легко: мы всегда знаем, где расположен резервуар!

- Право собственности: сейсмическая характеристика резервуара — коммерческая операция, выполняемая от лица разработчиков и их партнеров на заданных месторождениях.

По этим причинам не применяются в геофизике для изучения резервуаров модели использования коммерческих данных несколькими компаниями. Это означает, что сервисным компаниям трудно оправдывать инвестиции в современные методы геофизики, направленной на изучение резервуаров, поскольку потенциальный рынок, вероятно, будет меньше, чем существующий рынок геофизических услуг, направленных на разведку.

Если смотреть в будущее, мы можем увидеть тренд развития, где нефтяные и газовые компании могут обладать установленными сейсмическими источниками и группами приемников, почти также как они будут владеть и управлять другими структурными элементами инфраструктуры поверхности. Итак, возможно, индустрия становится кругом, и, в конце концов, мы начнем с компаний, занимающихся разведкой и разработкой, владеющих оборудованием и технологиями, а геофизические компании будут поставлять продукты и услуги в этой среде?

### Конкурирующие технологии

3D сейсмика не единственная. Недавно мы наблюдали повышенный интерес к ряду конкурирующих геофизических методов, особенно к 3D-ВСП, микросейсморазведке и контролируемым электромагнитным источникам. Каждый из этих методов позволяет получить дополнительные данные, но, возможно, некоторые из них смогут даже заменить 3D сейсморазведку, как для целей разведки, так и для задач, связанных с исследованием резервуаров.

Также как геофизики соперничают для получения доллара инженера, нам приходится соперничать и с другими методами. Например, инженер может потратить бюджет на бурение мульти-латеральных скважин, полностью оборудованных датчиками давления, температуры и течений, которые позволяют организовать непрерывный мониторинг резервуара в реальном времени. Разумеется, это наши конкуренты.

### Выводы

Как геофизики, мы можем гордиться вкладом в развитие глобальных ресурсов углеводорода: поставкой ценнейших разведочных данных. Однако мы ошибаемся, полагая, что технологичные и деловые модели, которые так хорошо работали в этой области, можно легко применять и в области бурения и инженерии резервуаров. В данной статье мы обсудили несколько проблем, стоящих перед нашей индустрией, которые нужно решать, если мы не хотим терять наше значение в области добычи углеводорода. Мы считаем, что для всех геофизиков, как для тех, кто работает в нефтяных компаниях, так и для тех, кто работает в секторе сервиса, важно, чтобы они осознали эти проблемы и много работали для их решения.