



**В. Н. Смирнов**  
**А. А. Натеганов**  
**А. П. Девятка**

ООО "ТННЦ", ТЮМЕНЬ  
ООО "ТННЦ", ТЮМЕНЬ  
ООО "ТННЦ", ТЮМЕНЬ

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АТРИБУТНОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**ВВЕДЕНИЕ.** С развитием технологий обработки и интерпретации данных сейсмических съёмок было разработано и внедрено огромное количество атрибутов сейсмической записи. В рассматриваемом программном обеспечении (ПО) PETREL компании *Schlumberger* насчитывается более 30 видов атрибутов, производных от исходного амплитудного массива сейсмических данных, и около 50 атрибутов (большой частью статистических) для анализа изменения сейсмических данных в каком-либо временном интервале [Interpreter's Guide to Seismic Attributes. © Schlumberger. 2007], который, таким образом, может быть охарактеризован 1000 - 1500 различными картами.

Очевидно, что при таком подходе при проведении динамического анализа интерпретатор сейсмических данных вынужден работать с большим объёмом данных, которые изначально необходимо рассчитать, а в последующем проанализировать, что требует существенных временных затрат. В сложившейся ситуации выполнение атрибутивного анализа в целях экономии зачастую стараются упростить.

В самом простом случае интерпретатор может опереться на общеизвестный опыт работ по региону исследований, если на смежных площадях ранее были определены потенциально "работающие" для целей прогнозирования какого-либо петрофизического параметра атрибуты (амплитуда, частота и др.) и ограничить себя только их анализом. Недостаток этого подхода очевиден: любое месторождение уникально как по поверхностным и глубинным сейсмогеологическим условиям, так и по подходам, применявшимся на стадии сбора полевого материала и его обработки, поэтому принцип аналогии, по мнению авторов, не может априори гарантировать получение оптимального результата с сильно ограниченным числом атрибутов.

Чаще всего процесс количественного динамического анализа представляет собой последовательный бессистемный перебор различных атрибутов и временных

окон для анализа, пока не будет получена (если она в итоге все же будет получена) статистически значимая связь между атрибутом и геологическим параметром, после чего процесс анализа чаще всего прекращается. Полученный таким образом результат представляется субъективным, поскольку не гарантирует, что выбранный атрибут обеспечивает оптимальную (лучшую) для конкретного случая статистическую связь и, соответственно, максимально достижимую точность геологического прогноза.

В ходе данной работы был опробован иной подход. Был реализован систематизированный перебор и количественный анализ с целью максимального снижения неопределённостей всех этапов этого процесса:

- вероятности пропуска "работающего" атрибута на конкретный интервал;
- вероятности неоптимального подбора временного интервала (ширины окна) для анализа;
- вероятности присутствия некондиционных данных (например, отдельных скважин), способных потенциально ухудшить качество существующей статистической связи и исказить уравнение для расчёта прямого прогноза геологического параметра.

Решение задачи по представленной схеме, как уже упоминалось, сопряжено с расчётом и анализом большого объёма информации, что делает автоматизацию (максимально возможного числа этапов этого процесса) фактически необходимой для получения желаемого результата.

**Задача.** Автоматизация процесса атрибутивного анализа по заранее разработанной систематизированной схеме путём расширения функциональных возможностей имеющегося в распоряжении и разработки нового ПО. При этом преследуется цель снижения участия геофизика-интерпретатора в рутинных операциях атрибутивного анализа, что приведёт к улучшению качества прогноза, снижению временных затрат и, как следствие, повышению эффективности решения задачи.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ С СЕЙСМИЧЕСКИХ КУБОВ

Рассматриваемый процесс разбивается на три этапа: на первом проводится извлечение значений сейсмических атрибутов в точках скважин; на втором - поиск корреляционных связей между извлечёнными значениями и скважинными параметрами; на третьем - получение и анализ карт, показавших лучшие статистические связи с искомыми геологическими параметрами, выбор конечной карты для одномерной или набора карт для многомерной регрессии, получение конечной прогнозной карты и её “доподсадка” (*фитинг*) на точные скважинные значения. Очевидно, что самыми трудоёмкими этапами, представляющими собой большей частью однотипные, но многочисленные операции, являются первые два, которые и необходимо оптимизировать за счёт автоматизации, и только третий этап требует максимальной задействованности непосредственно самого интерпретатора.

Автоматизация первого этапа была осуществлена с помощью нескольких *workflow* (скриптов), реализованных авторами в ПО PETREL и описывающих запрограммированные последовательности действий. Сами по себе *workflow* различались по типу решаемой задачи (рис. 1).

Изначально на основе подаваемого на вход амплитудного или любого другого сейсмического куба (например, относительного импеданса) с использованием первого *workflow* рассчитываются все доступные в ПО производные амплитудные, фазовые и частотные атрибуты для анализа, за исключением тех, которые обычно применимы только для целей структурной интерпретации, в частности для выделения разломов (например, когерентность), и которые тем самым не имеют физического основания для использования в прогнозе литологии, пористости и других петрофизических параметров. Все

рассчитанные кубы делятся на две группы, в рамках данной работы условно называемые *центрированные* относительно нуля (амплитуды, относительный импеданс и т. д.), с положительными и отрицательными значениями и *нецентрированные* - только с положительными значениями (частоты, абсолютный импеданс и т. д.).

Затем выбирается предварительный временной интервал для анализа, определяемый сейсмической корреляцией кровли и подошвы анализируемого пласта (если они разрешимы в спектре сейсмических данных), или задаётся постоянное окно от одной из прокоррелированных границ, если они обе одновременно не разрешимы в сейсмической записи. Ширина окна выбирается исходя из средней толщины пласта и интервальной скорости распространения сейсмических волн в изучаемой части разреза.

Далее каждый производный куб атрибута пропускается через *workflow* для расчёта статистических оценок (арифметическое среднее, среднеквадратичное значение, стандартное отклонение и т. д.) сейсмического атрибута в заданном интервале. При этом для центрированных кубов количество статистических оценок интервала несколько больше, чем у нецентрированных (27 и 16, соответственно). Дополнительные оценки описывают различные виды взаимоотношений положительных и отрицательных отсчётов (отношение положительных значений к отрицательным, количество переходов через ноль и т. д.).

Помимо конкретных статистических оценок интервала также рассчитываются погоризонтные/пропорциональные слайсы (срезы). Погоризонтные слайсы рассчитываются путём сдвига единственной имеющейся корреляции (кровля или подошва) на шаг дискретизации сейсмических данных, а их количество определяется, таким образом, шириной временного окна анализа. В случае наличия двух откоррелированных поверхностей с изменением толщины по латерали между ними рассчитываются слайсы по пропорциональному принципу. Таким образом, за один проход по одному производному кубу рассчитывается от 45 до 55 карт атрибутов в зависимости от его типа (центрированный/нецентрированный).

По описанному циклу проходят все изначально рассчитанные кубы производных атрибутов, после чего на количественном уровне (подробнее описывается ниже) устанавливаются наиболее информативный атрибут и статистическая оценка интересующего интервала по нему.

Последним (также автоматизированным) шагом этого этапа является уточнение и получение оптимального окна для расчёта выбранного атрибута. В случае постоянного окна, опирающегося на конкретную сейсмическую корреляцию в интервале интересующего пласта, границы анализируемого интервала итеративно изменяются путём сдвига имеющейся поверхности вверх и вниз

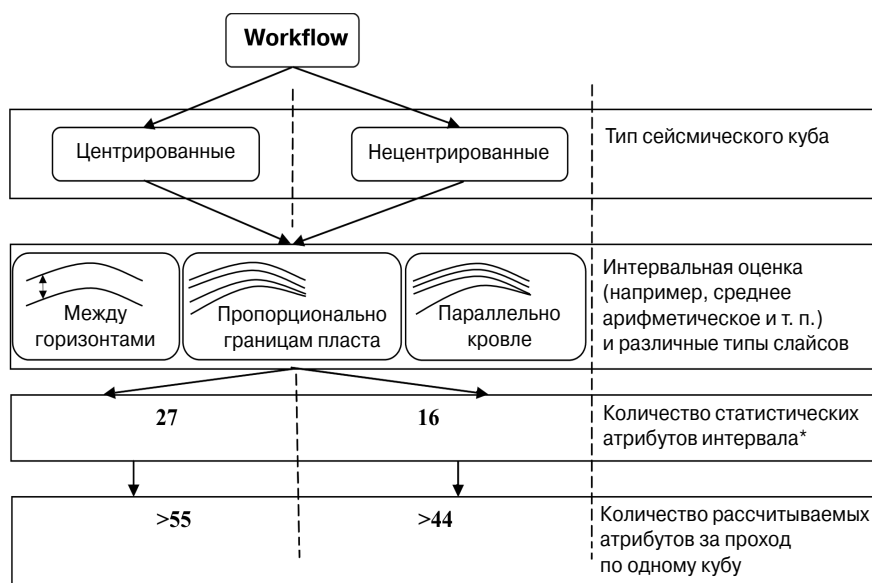


Рис. 1. Принципы работы *workflow*:

\* - для заданного типа расчёта

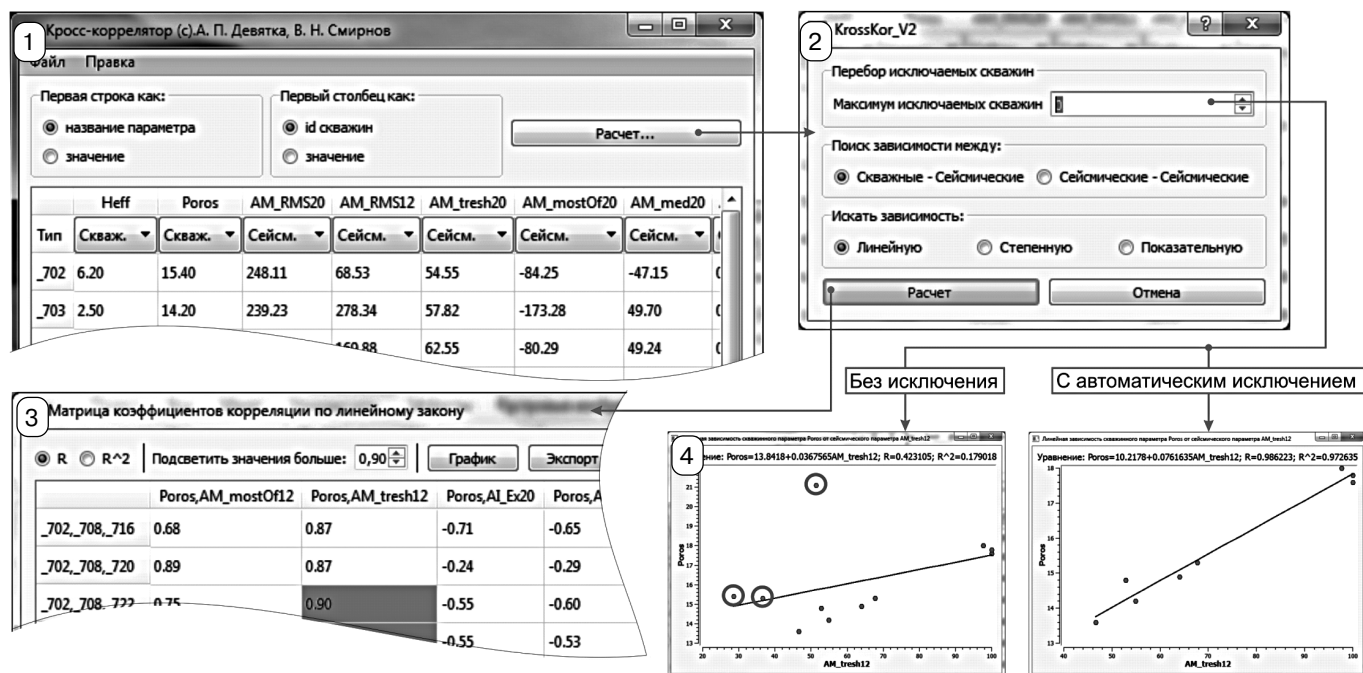
согласно шагу дискретизации сейсмической записи. Критерием достижения оптимального окна анализа является максимальный коэффициент корреляции между атрибутом и геологическим параметром. В случае наличия двух сейсмических корреляций в интервале аналогичным образом подбираются оптимальные верхний и нижний пропорциональные слайсы для окна анализа.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОИСКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

После перебора всевозможных кубов и атрибутов получена матрица значений сейсмического атрибута, снятого в точке пересечения траектории ствола скважины карты сейсмического атрибута. Следующим этапом идёт поиск зависимостей между значением сейсмического атрибута и скважинным параметром. В данной статье рассматривается автоматизация процесса поиска зависимостей с одним атрибутом, поэтому не приводится пример многофакторного анализа. Если же планируется привлечение нескольких сейсмических атрибутов для поиска зависимости со скважинным параметром, то необходимо предварительно исключить взаимозависимые сейсмические атрибуты. Здесь можно придерживаться следующего правила: на вход многофакторного анализа необходимо подавать сейсмические атрибуты, не коррелируемые между собой и при этом имеющие наибольший коэффициент корреляции со скважинным параметром.

Поиск корреляционных связей между сейсмическими атрибутами и скважинными параметрами выполнялся в самостоятельно реализованной авторами программе “Кросс-Коррелятор”. Её основной задачей является анализ входной информации, подаваемой в матричной форме (значения геологических параметров, меняющихся по скважинам, и сейсмических атрибутов в точках тех же скважин), и представление матрицы коэффициентов корреляции в удобном для интерпретатора виде, позволяющем определять как излишне коррелируемые между собой сейсмические атрибуты, так и атрибуты, имеющие явную статистическую связь с определённым геологическим параметром.

Важным фактом является то, что в промежуточном диалоговом окне есть возможность определения количества скважин для исключения из статистического анализа (рис. 2, 2). Практика атрибутного анализа показывает, что зачастую ввиду некондиционности отдельных данных (некорректные результаты интерпретации ГИС, ошибки в устьевых координатах и/или инклинометрии отдельных скважин, некорректная сейсмическая интерпретация или наличие ложных аномалий в сейсмической записи, не скомпенсированных в должной мере на стадии обработки и т. д.) некоторые точки на графике отлетают от общего тренда (см. рис. 2, 4). Задачей интерпретатора является идентификация отлетающих (некондиционных) точек, анализ причин подобного несоответствия, перестроение графика зависимости и повторный анализ коэффициентов корреляции между сейсмическими атри-



**Рис. 2.** Реализация программы “Кросс-Коррелятор”: 1 - окно загрузки, в котором загруженные данные делятся на два типа: “скважинные/сейсмические”; 2 - промежуточное окно, в котором задаётся количество скважин, исключаемых из поиска корреляционных связей, тип используемой зависимости, а также какие наборы данных подвергаются анализу; 3 - получаемая матрица коэффициентов корреляции; 4 - графики зависимостей

бутами и скважинными параметрами. В программе “Кросс-Коррелятор” реализована функция автоматического исключения скважин, количество которых задаёт пользователь программы. При этом программой автоматически предлагается исключение количества скважин, соответствующих 10% от общего количества выборки (скважин), согласно “Методическим рекомендациям по использованию данных сейсморазведки (2D, 3D) для подсчёта запасов нефти и газа” (авторы В. Б. Левянт, Ю. П. Ампилов, В. М. Глоговский, В. В. Колесов, М. Б. Коростышевский, С. Н. Птецов), в предположении, что не более 10% элементов выборки может содержать случайные (несистематизированные) погрешности, в то время как оставшиеся 90% характеризуют истинные распределения геологических параметров и сейсмических атрибутов согласно применявшимся методикам на стадии интерпретации материалов ГИС, обработки и интерпретации сейсмических данных.

Как уже упоминалось, результатом работы программы является матрица коэффициентов корреляции (см. рис. 2, 3), на которой, выделив интересующий элемент матрицы, представляющий коэффициент корреляции между определённым атрибутом и конкретным геологическим параметром, можно построить график (кросс-плот) зависимости между ними (см. рис. 2, 4). При этом на графике выводится вся необходимая для анализа информация: коэффициенты корреляции и ковариации, а также уравнение регрессии, основанной на методе наименьших квадратов, для прямого пересчёта сейсмического атрибута в геологический прогноз.

Так как в настоящий момент программа “Кросс-Коррелятор” не имеет прямой связи с ПО PETREL, сейчас нет возможности автоматизировать процесс построения прогнозных карт. Указанная задача - предмет будущих разработок, и наиболее оптимальное решение может быть получено путём объединения функционала рассматриваемых *workflow* и программы “Кросс-Коррелятор” с добавлением функции картопостроения прогнозных параметров.

## ВРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ

Специалистам-интерпретаторам данных сейсмических съёмки известно, что атрибутный анализ может занимать достаточно много времени. Между тем описанный подход позволил значительно сократить (до одного часа) время на выполнение расчёта атрибутов,

извлечение значений в точках пересечений со скважинами и поиска корреляционных связей. Процесс построения прогнозных карт не был автоматизирован, и в рамках работы время на его выполнение сокращено не было. Дальнейшим развитием процесса автоматизации атрибутного анализа станет разработка алгоритма (*workflow*, модуля, плагина), который включит все этапы атрибутного анализа, в т. ч. и построение прогнозных карт.

## ВНЕДРЕНИЕ И АПРОБАЦИЯ

Рассматриваемые программные решения (специальные *workflow* и программа “Кросс-Коррелятор”) использовались для автоматизации атрибутного анализа и построения прогнозных карт по нескольким месторождениям, среди которых: Русско-Реченское, Сузунское, Верхнечонское, Ем-Еговское и месторождения Увата. Автоматизация процесса позволила значительно сократить время выполнения атрибутного анализа, увеличить количество привлекаемых атрибутов и улучшить качество прогноза.

## ВЫВОДЫ

1. Атрибутный анализ - важный процесс в изучении месторождений УВ, заключающийся в поиске корреляционных связей между сейсмическими атрибутами и скважинными параметрами (такими как пористость, эффективные толщины и т. д.). При этом обилие атрибутов, сейсмических кубов и интервалов анализа, а также отсутствие автоматизации данного процесса приводят к затрате больших временных ресурсов, снижению качества прогноза (за счёт уменьшения вариантов расчёта) и т. д.

2. Рассматриваемые в статье подходы и программные решения позволили автоматизировать следующие процессы атрибутного анализа: расчёт атрибутов, извлечение значений в точках скважин и поиск корреляционных зависимостей. Это привело к тому, что значительно сократилось время проведения атрибутного анализа.

3. Неавтоматизированным пока остаётся процесс построения прогнозных карт, что является дальнейшим развитием процесса автоматизации атрибутного анализа.

4. Планируется автоматизация и разработка программного обеспечения для проведения многофакторного анализа.

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Владимир Николаевич СМИРНОВ* - главный специалист, ООО “Тюменский нефтяной научный центр” (группа компаний ТНК-ВР). E-mail: VNSmirnov2@tnk-bp.com

*Артур Анатольевич НАТЕГАНОВ* - менеджер по сейсморазведке, ООО “Тюменский нефтяной научный центр” (группа компаний ТНК-ВР). E-mail: AANateganov@tnk-bp.com

*Андрей Петрович ДЕВЯТКА* - программист, ООО “Тюменский нефтяной научный центр” (группа компаний ТНК-ВР).