

К.М. Мусин¹, Г.Р. Шарифуллина¹, Г.Ф. Кандаурова², А.З. Нафиков³¹ТатНИПИнефть, г. Казань²НГДУ «Лениногорскнефть», г. Лениногорск³ОАО «Татнефть», г. Альметьевск

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС СЛОЖНЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ СТАРОГО ФОНДА СКВАЖИН – НЕСТАНДАРТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Оценка фильтрационно-емкостных свойств пород со сложным минералогическим составом и (или) сложной структурой пустотного пространства по данным геофизических исследований скважин является чрезвычайно сложной и, зачастую, до конца не решенной задачей. Традиционно применяющиеся аппаратура и методы геофизических исследований предполагают, в первую очередь, определение емкости коллектора (нейтронные и гамма методы, метод самопроизвольной поляризации), последующее добавление информации о сопротивлении пласта позволяет оценить нефтенасыщенность (зависимость Дахнова-Арчи), а проницаемость оценивается по керновой зависимости $K_{пр}=f(K_p)$ (Стандарт..., 1999). Этот алгоритм, фактически исходящий из предпосылки межзернового типа строения пустотного пространства, оказывается практически беспомощным при столкновении с каверновыми, трещиноватыми, трещинно-поровыми и каверново-трещинно-поровыми коллекторами.

Справедливо считается, что для корректной интерпретации данных ГИС с разделением общей пористости на ее составляющие (межзерновую, каверновую и трещинную) в сложнопостроенных коллекторах необходимо анализировать большой объем исходных данных. Для этого рекомендуется расширять стандартный комплекс исследований путем комплексирования его данных с данными современных методов каротажа (волновой и широкополосной акустики, спектрального гамма-метода, плотностного каротажа, микроэлектрического сканера (FMI) и других) (Интерпретация..., 1988). Параллельно совершенствуются и алгоритмы анализа данных, используя преимущества вычислительной техники через применение различных методов статистического многомерного анализа, в отечественной геофизике предложенного еще десятилетия назад Элланским М.М. (Интерпретация..., 1988). В том или ином виде такие алгоритмы реализованы и в ряде зарубежных программ, например, в EasyTrace (Beicip-Franlab) или RockCell (Schlumberger). Этот алгоритм применяют, как правило, при наличии расширенного комплекса методов ГИС с включением акустических, плотностных или ЯМР методов. Однако, для старых нефтеносных провинций ситуация зачастую осложняется тем, что сложнопостроенные коллектора ранее не рассматривались в качестве основных эксплуатационных объектов и геофизически представлены данными скважин, пробуренных много лет назад на нижележащие продуктивные отложения. Поэтому комплекс проведенных геофизических исследований бывает довольно ограничен (зачастую даже не включает ни одной из разновидностей акустики), и провести дополнительные исследования для подавляющей части скважин представляется невозможным.

Отложения среднего карбона на Куакбашской площади Ромашкинского месторождения представляют собой в этом смысле яркий пример сложнопостроенных коллекторов, состоящих из известняков, их в различной степени заглинизированных или доломитизированных разностей и доломитов. Структура пустотного пространства осложнена развитием микро- и макро- трещиноватости и вторичных процессов выщелачивания, кальцитизации, перекристаллизации и сульфатизации. В результате по данным керна пористость пород колеблется от 1 % до 22 %, а проницаемость (не учитывающая проницаемости макротрещин) от долей миллидарси до единиц дарси, а стандартные парные петрофизические зависимости характеризуются низкими коэффициентами корреляции (Губайдуллин и др., 2003). Более 80% скважин, вскрывших эти отложения, были пробурены для эксплуатации отложений терригенного девона в прошлом столетии, а потому стандартный комплекс ГИС представлен данными радиоактивным каротажем (ГК, НГК), метода самопроизвольной поляризации (ПС), каротажа сопротивлений (КС, БК), индукционного каротажа (ИК), каверномера. В ряде скважин имеются данные разноглубинных градиент-зондов (БКЗ), и лишь в отдельных скважинах проведен широкополосный акустический каротаж.

Фильтрационно-емкостные свойства сложнопостроенных карбонатных пород верейско-башкирско-протвинского комплекса Куакбашской площади контролируются не столько их литолого-минералогическим составом, сколько вторичными процессами различной природы, определяющими наличие и взаимодействие между собой подсистем поры и капилляры (микро и макро), каверны и трещины. Вследствие этого установить тесные связи между основными петрофизическими параметрами не удастся. Попытка увязать долю емкости каверн или трещин с величиной открытой пористости тоже не увенчалась успехом (Губайдуллин и др., 2003).

Очевидно, что попытка корректно оценить проницаемость сложнопостроенного коллектора на основе одномерной зависимости типа $K_{пр}=f(K_p)$ заведомо обречена на провал. Выделить емкость каверн и трещин из общей пористости по данным ГИС в старом фонде скважин тоже практически невозможно по причине отсутствия данных по акустическому или плотностному каротажу. Остается, на первый взгляд нереальная, попытка оценить проницаемость породы независимо от пористости.

Для определения пористости предлагается использовать неплохо зарекомендовавший себя в условиях Татарстана комплекс НГК-ГК. В результате совместного анализа данных ГИС и керна были уточнены зависимости $K_p^{кern}-K_p^{ГИС}$, апробация которых на тестовом массиве по-

казала неплохую сходимость средне-поинтервальных значений пористости по данным керна и интерпретации ГИС. Учитывая, что емкость трещин (не вошедших в данные пористости по керну) реально бывает существенно ниже пористости матрицы породы, а нейтронный гамма метод фактически оценивает общее водородосодержание, можно считать, что по комплексу ГК-НГК общая пористость пород в данном разрезе оценивается довольно корректно. Однако, критический анализ тестовой коллекции образцов керна показал, что образцы с признаками загипсованности практически не участвовали в обучающей выборке, а потому в загипсованных интервалах возможно некоторое завышение значений пористости по ГК-НГК.

Имея довольно большой набор методов по замеру сопротивлений, можно достаточно корректно определить сопротивление пласта в области, незатронутой проникновением фильтрата промывочной жидкости. Применение закона Дахнова-Арчи позволяет в этом случае довольно корректно определить **нефтенасыщенность матрицы**, которая и содержит основное количество флюидов породы. Конечно, и в этом случае необходимо уделить особое внимание интервалам сульфатизации, причем, в отличие от пористости, не только гипсы, но и ангидриты могут вносить существенное искажение в оценку насыщенности.

В отличие от пористости или насыщенности, являющихся статическими характеристиками коллектора, **проницаемость** представляет собой динамическую характеристику, поэтому говорить об ее определении по данным одновременного замера, в общем, некорректно. Считается, что для определения проницаемости необходимо проводить повторные замеры при использовании промывочных жидкостей с контрастными значениями сопротивления. Однако, в нашем случае интересующие

нас отложения рассматривались как возвратный объект и таких специальных исследований не проводили. Тем не менее, на наш взгляд, и в этом случае даже по данным такого скудного комплекса примененных методов ГИС есть путь оценки проницаемости. Естественным союзником в этом случае для нас служит существенная разница в сопротивлении фильтрата промывочной жидкости (глинистый раствор на пресной воде) и пластовой достаточно ми-

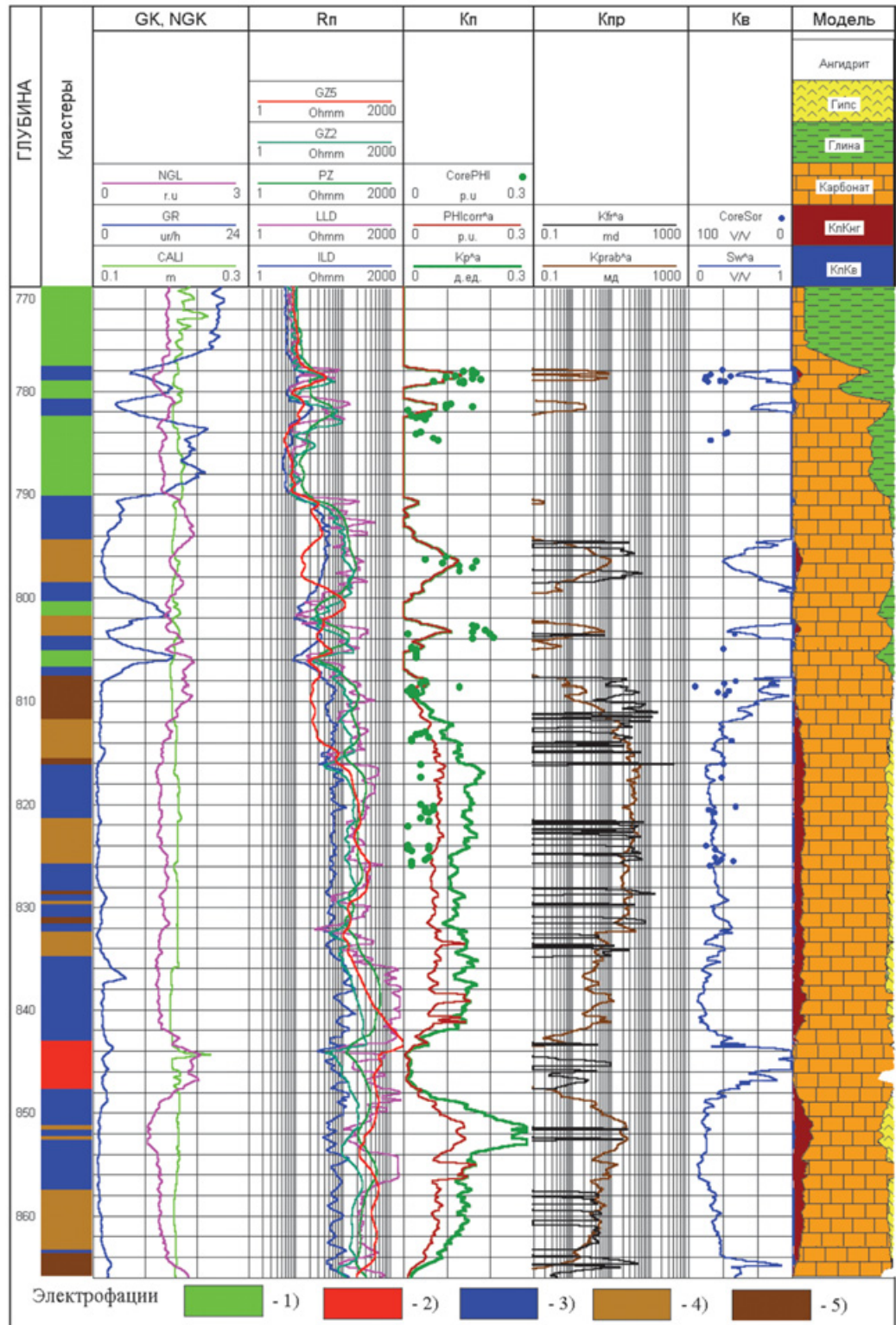


Рис. Пример интерпретации данных ГИС в интервале среднего карбона Куакбашиской площади с применением электрофаций. 1) плотная непроницаемая порода; 2) плотная порода с развитой трещиноватостью; 3) порода с межгранулярной и каверновой пористостью, трещиноватая порода с межгранулярной и каверновой пористостью; 4) сильнотрещиноватая порода с межгранулярной и каверновой пористостью.

нерализованной воды ($\rho_v = 0,051 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Поэтому, достаточно широкий набор зондов различной конфигурации, позволяющий оценивать сопротивления промытой фильтратом прискважинной зоны, промежуточной зоны проникновения фильтрата и зоны исходного флюидонасыщения, позволяет качественно оценить и фильтрационные свойства пород. Очевидно, чем глубже проникновение фильтрата, тем выше при прочих равных условиях проницаемость пропластка. В принципе, это не является чем-то принципиально новым: различия в показаниях методов сопротивления всегда являлись одним из качественных признаков выделения коллектора.

Традиционно по удельному сопротивлению промытой зоны считается возможным количественное определение пористости (даже соответствующий коэффициент носит название «параметра пористости»). Однако, по своей физической природе удельное сопротивление, являясь обратной величиной проводимости, должно значительно лучше коррелировать с проницаемостью, чем с пористостью, поэтому этот же параметр можно использовать и для оценки проницаемости.

В нашем случае ввиду уже упомянутой сложности строения и состава пород, прямое использование удельного сопротивления промытой зоны для окончательного определения проницаемости некорректно. С этой целью мы предлагаем использовать метод многомерного и кластерного статистического анализа.

В представлении многомерного ГИС-гиперпространства при проведении p различных видов каротажа, то данные ГИС по конкретной скважине можно представить в виде точек в p -мерном гиперпространстве, в котором каждая ось связана с определенным средством измерения (каротажа). Очевидно, что группы близкорасположенных друг к другу точек в этом p -мерном каротажном гиперпространстве, или, выражаясь терминами многомерного статистического анализа, кластеров, будут характеризовать прослой пород с близкими измеряемыми параметрами.

Выделение этих групп (электрофаций) позволяет учитывать большее количество параметров для типизации пород, чем это принято в традиционных методиках интерпретации данных ГИС. Тем не менее, это не автоматический метод, который в любом случае ведет к желаемому результату. Сами электрофации и их количество зависят от количества кривых ГИС, участвующих в анализе, их типа и даже нормировки. При механическом применении кластерного анализа можно получить огромное количество кластеров, большинству из которых будет практически невозможно приписать конкретный физический или геологический смысл. Поэтому важнейшим условием успеха является интерпретационное начало.

С учетом сказанного, мы провели предварительное преобразование исходных данных, после которого было выполнено выделение главных компонент. В результате этого нами было выделено два главных фактора, каждый из которых учитывает показания сразу нескольких методов ГИС. Первый из них фактически пропорционален общей пористости породы с поправкой на глинистость и загипсованность. Второй фактор отражает проницаемость, оцененную по данным различных методов измерения сопротивления пород. Приняв эти факторы за определяющие, был проведен кластерный статистический анализ,

позволивший выделить 7 типов пород: плотная порода с развитой трещиноватостью, трещиноватая порода с межгранулярной и каверновой пористостью, слаботрещиватая порода с межгранулярной и каверновой пористостью, сильнотрещиноватая порода с межгранулярной и каверновой пористостью, порода с межгранулярной и каверновой пористостью, плотная непроницаемая порода, слабопроницаемая порода с изолированными порами и кавернами.

На рисунке приведен пример типизации пород по разрезу на примере одной из скважин, вскрывшей продуктивные отложения верейского, башкирского и серпуховского возраста. В этой и двух других скважинах с отбором керна, выделенные электрофации подтверждаются макроописанием пород по керну.

Типизация пород была выполнена нами независимо в пакете статистического анализа STATISTIKA и с помощью специализированной программы EasyTrace 3.15 (Beicip-Franlab). Выделенные типы пород практически полностью совпали.

Далее в оболочке специализированного геофизического пакета Гинтел-2000 составлена программа, учитывающая проведенную типизацию пород в качестве входной информации наряду с исходными данными ГИС и использующая дифференцированные зависимости $K_{пр} = F(K_p, \text{Rocktype})$, полученные по керну. Проведена апробация программы для 70 скважин опытного участка.

С учетом того, что на стандартных образцах керна породы трещиноватые и сильно трещиноватые практически не охарактеризованы, для этих типов пород необходимо провести дополнительные измерения фильтрационно-емкостных свойств на полноразмерном керне или комплексовании данных с результатами гидродинамических исследований скважин.

Описанный подход к интерпретации данных ГИС позволил существенно повысить информативность интерпретации скважин старого фонда в случае сложных карбонатных коллекторов. В результате переинтерпретации данных ГИС выполнено:

- 1) выделение интервалов сульфатизации карбонатных пород с коррекцией данных по пористости;
- 2) выделение по каротажу электрофаций (типов пород) с различной структурой пустотного пространства;
- 3) оценка трещинной проницаемости пород.

Показано, что в разрезе башкирско-серпуховских отложений практически отсутствуют непроницаемые породы, что объясняет промысловые данные по быстрому обводнению скважин с интервалом перфорации значительно выше уровня ВНК.

Литература

Губайдуллин А.А., Мусин К.М., Нурдинова Г.Н., Нафиков А.З., Кандаурова Г.Ф. Дифференциация сложнопостроенных карбонатных коллекторов башкирского яруса. *Труды 12-го Европ. симп. «Повышение нефтеотдачи пластов»*. Казань, 2003. 609-612.

Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: *Справочник*. Под ред. В.М. Добрынина. М.: Недра, 1988.

Стандарт по интерпретации ГИС, алгоритмы определения параметров продуктивных пластов нефтяных месторождений Республики Татарстан. 1999.