

**ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШЛАМА И КЕРНА
В ПРОЦЕССЕ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН****В.Н. Староверов¹, В.П. Белобородов², С.В. Кожевников³**

1 – ФГУП "НВНИИГГ"

2 – ООО "Фация"

3 – ООО "Газпромгеофизика"

Введение

Геолого-технологические исследования (ГТИ) широко распространены при бурении как поисковых, так и эксплуатационных скважин. Они заключаются в определении геохимических и технологических показателей (свойств) разреза, таких, как коэффициенты битуминизации и люминесценции (в %), скорость проходки скважин и некоторые другие. Основным источником информации является шлам и керн, получаемый в процессе бурения. Для решения геологических задач рекомендуется [1] использовать целый ряд методов, которые объединяются в две группы. К числу обязательных относятся макро- и микроскопия каменного материала, фракционный анализ шлама, карбонатометрия, люминисцентный анализ, оценка пористости и плотности пород, газовый каротаж и газовый анализ пластового флюида, механическая скорость бурения. Предлагаются традиционные методы ГТИ дополнить фациальным моделированием, основанным на изучении комплекса фациальных признаков и не требующим использования технически сложного лабораторного оборудования.

Основной целью моделирования геологического строения изучаемого объекта является обеспечение эффективного решения целого ряда задач. Все эти задачи могут быть разделены на две большие группы: геологические и технологические. К числу первых относятся: *литолого-стратиграфическое расчленение разреза; визуализация разреза; детализация геологического строения; выявление в разрезе зон размывов и перерывов*

вов осадконакопления, участков выклинивания пластов; решение некоторых геологических задач в приразломных зонах; выделение реперов разного ранга и типа, а также фациальное районирование; корректировка геологического строения разреза в точке бурения и предсказание отметок вскрытия потенциально-перспективных пластов; прогнозирование геологического строения разрезов для составления ГТН.

К разряду технологических задач принадлежат: *определение момента вскрытия кровли потенциально-перспективного пласта; оценка сплошности и толщин покрышек над продуктивными пластами; геологическая навигация в продуктивной части пластов при бурении горизонтальных скважин; уточнение геометрии продуктивных пластов при бурении горизонтальных скважин; определение зон ВНК и установление их внутреннего строения; выявление зон возможных поглощений в трещиноватых и кавернозных коллекторах; выделение зон вероятных осложнений (прилипание и прихваты) в мелкозернистых сыпучих породах; оценка степени продуктивности коллекторов по индексу продуктивности.*

Важно, что большинство указанных задач решается оперативно в режиме он-лайн, непосредственно в процессе бурения. Однако некоторые из них требуют дополнительных графических построений и аналитических заключений. Например, выявление в разрезе зон размывов и перерывов в осадконакоплении, а также интервалов выклинивания или фациального замещения определяется после построения корреляционных схем.

Решение перечисленных задач реализуется в виде эталонно-прогнозных моделей, которые представляют собой макет с изображением геологического разреза в точке бурения, совмещенный с петрошлагограммой и таблицей фациальных признаков. Основным методом, который позволяет решить перечисленные задачи и построить эталонно-прогнозную модель, является метод фациального анализа разбуриваемых пород (ФЛИШ), заключающийся в изучении целого ряда их генетических признаков. Предлагаемый метод выходит за рамки традиционных геолого-технологических исследований, и потому требует специально подготовленных геологов для его реализации.

1. Характеристика основных признаков. Суть метода состоит в описании комплекса фациально-литологических признаков разбуриваемых пород и выделении фациальных зон. Среди фациальных признаков выделяются две большие группы: группа традиционных признаков и группа специфических признаков, используемых только при геолого-технологических исследованиях скважин. Первая группа включает цвет породы (и оттенки), минеральный состав, структуру, текстуру, наличие включений, внутриформационные перерывы, биомические признаки. Вторая группа объединяет такие характеристики пород, как размеры и форма шламинок, скорость разбуривания, степень карбонатности пород, наличие и цвет битуминозности, тип коллектора и некоторые другие. В настоящее время службой ГТИ изучается только часть указанных признаков, мы предлагаем существенно расширить их спектр.

Цвет породы может меняться в очень широких пределах, а причины изменений обычно обусловлены особенностями происхождения осадков, а также условиями диагенеза и катагенеза. Цветовая гамма разбуриваемых пород тесно зависит от их минерального состава (особенно наличия аутигенных минералов), степени глинистости и карбонатности, наличия углеводов. По

своему происхождению окраска может быть первичной или вторичной. В результате вторичных изменений горной породы часто возникают бурые (за счет углеводов), голубовато-серые (за счет включений ангидрита), желтовато-серые (результат сульфатизации) или зеленовато-серые (при хлоритизации) оттенки. Нередко вторичные окраски распознаются по пятнистому облику, который создают, например, битумизация в кавернах карбонатных пород.

Прозрачность. Это свойство минералов и горных пород пропускать свет зависит от их химического состава, наличия примесей, в том числе и биогенных. В шламе наряду с цветом можно выделять прозрачные, полупрозрачные, просвечивающие (шламинки пропускают свет на тонких сколах или в краевых участках) и непрозрачные разности.

Минеральный состав характеризуется наличием аллотигенных и аутигенных минералов. Среди аллотигенных в составе осадочного чехла наиболее распространенными являются кварц и полевые шпаты. Соотношение между двумя этими минералами и типоморфные особенности полевых шпатов позволяют выделить в разрезах фациальные реперы и трассировать их от одной разведочной площади к другой.

Аутигенные минералы более разнообразны, наибольший палеогеографический интерес среди них представляют железистые минералы и карбонаты. Наиболее распространенными являются кальцит и доломит, слагающие мощные толщи карбонатов. Указанные минералы характеризуются различными размерами, степенью кристалличности и корродированности. Среди железистых минералов наибольший фациальный интерес представляют глауконит, сидерит, пирит и минералы группы лимонита. Их изучение позволяет выявить дополнительные фациальные реперы, обосновать геохимические параметры среды осадконакопления и диагенеза (величины рН и Eh). Основным методом, способствующим решению этой задачи, является магнито-минералогиче-

ческое изучение шлама и керна. Среди сульфатов наиболее распространенным минералом является ангидрит, для которого отмечаются две главные формы встречаемости: в виде хорошо окристаллизованных щестоватых и призматических кристаллов, а также в виде плотного голубоватого тонкозернистого агрегата.

Интересная информация может быть получена при изучении аутигенного кварца, который способен образовывать регенерационные каемки вокруг терригенных зерен в песчано-алевритовых породах. Для палеозойских разрезов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции многократно отмечалась закономерность увеличения аутигенного кварца в водоносных частях залежи по сравнению с продуктивной. Следовательно, при разбурировании пластов-коллекторов можно использовать количество регенерационного кварца в качестве дополнительного косвенного критерия приближения к ВНК, как в разрезе, так и по площади. В отличие от кварцевых зерен, регенерационный цемент полевых шпатов обычно формируется в результате кальцитизации.

Признаками аутигенности минералов являются их форма, идиоморфные очертания, соотношения с аллотигенными минералами, приуроченность к кавернам и крупным порам, в том числе возможность замещения или образования регенерационных нарастаний.

Структура горных пород. Изучение этого признака имеет важное значение при разбурировании как терригенных, так и карбонатных литотипов. В первом случае все сводится к стандартным операциям гранулометрического анализа и интерпретации этих данных. Кроме того, огромное значение имеет форма обломочных зерен, степень их корродированности, окатанности или регенерированности. В таблице фациальных признаков рекомендуется выделять 4-5 разновидностей поверхности обломочных частиц (окатанные, полуокатанные, не окатанные, корродированные и регенерированные). При исследованиях карбонатных пород ус-

танавливается пелитоморфная, зернистая или порфиробластовая структура. Пелитоморфная структура характерна для тонкоили скрытокристаллических известняков и мергелей. Зернистые (кристаллические) разновидности в большей степени присущи доломитам и молочно-белым известнякам.

Текстура горных пород. В полном объеме изучение этого признака возможно только при описании керна. При этом отмечаются различные типы слоистости, стилолитовые швы, текстуры на подошвенной части и кровле слоев. Существенно ограничены возможности текстурного анализа при характеристике шламового материала. Однако в ряде случаев и в шламках удастся выделить некоторые типы микротекстур.

Включения в горных породах представляют собой небольшие геологические тела (обычно несколько мм) с четкими ограничениями и сложенные аутигенными минералами типа кальцита, лимонита, шамотита. Чаще всего они имеют округлую форму, однородное или концентрическое внутренне строение, образуют скопления в пределах карбонатных пород. Пласты, обогащенные включениями, довольно легко распознаются в разрезе, могут служить надежными реперными горизонтами.

Внутриформационные перерывы могут быть выявлены только при изучении керна. Это могут быть следы размыва, горизонты конденсации, участки с биотурбированной текстурой. В скв.1 Березовского месторождения в бобриковских отложениях нам удалось выявить два интервала с внутриформационными перерывами по фациальным реперам, выделенным по шламу. В скв.2 эти перерывы отсутствуют.

Ритмичность – это один из результирующих фациальных признаков, так как он может выявляться на основании одной или нескольких характеристик горных пород. Ритмичность может быть установлена на основании изменений породного и минерального состава, структурных особенностей, степени окатанности и отсортирован-

ности зерен в терригенных коллекторах, геохимических показателей и скорости проходки. Выявление ритмичности способствует решению таких задач, как выявление реперов различного ранга и корреляция разрезов, установление тенденции развития палеогеографических обстановок (по смене проциклитов и рециклитов), обнаружение эффекта скольжения реперов (в том числе пластов-коллекторов). Наиболее уверенно ритмичность выявляется в терригенных разрезах, причем имеет различную масштабность от годовых микроритмов, составляющих доли или первые мм, до георитмов мощностью в несколько десятков метров. Несколько типов ритмичности легко выделяется при чтении таблиц фациальных признаков терригенных разрезов, в карбонатных разрезах ритмичность легко считывается при визуализации фактического каменного материала петрошлямограмм.

Ритмически построенные известняково-доломитистые и карбонатно-глинистые толщи широко распространены в палеозойских разрезах Волго-Уральской нефтегазональной провинции. В стратиграфическом отношении они приурочены к верхнему девону, турнейскому ярусу нижнего карбона, башкирскому ярусу, каширскому и подольскому горизонтам среднего и верхнего карбона. Примечательно, что ритмичность в строении разрезов выявляется даже в случае разбуривания макроскопически однородных карбонатных толщ. Средства ГТИ (кальциметрия, скорость бурения) и ГИС (кривая ПС и гаммакаротаж) помогают улавливать ритмическое строение в казалось бы абсолютно монотонных карбонатных разрезах. С другой стороны, при разбуривании мощных карбонатных толщ служба ГТИ сталкивается с проблемой вертикальной привязки в точке бурения и выделением надежных реперных горизонтов при построении эталонно-прогнозных моделей различных уровней. Одним из возможных способов решения проблемы является анализ ритмичности, которая может оперативно выявляться не-

посредственно в процессе бурения скважин. Изучение мощной карбонатной толщи средне-, верхнекаменноугольного возраста в скважинах на юго-западе Бузулукской впадины позволило выделить ритмичность двух типов. В верхней части разреза, мощностью около 700 м, установлено несколько фрагментов, которые отличаются мощностью и строением ритмов. Вблизи кровли залегает монотонная толща известняков, разбуривание которых происходило практически с неизменной нагрузкой на долото. Время разбуривания (величина ДМК) обычно составляло 4-8 мин/м. Интервалы средней мощностью 5-8 м разделены пластами (1-2 м), проходка которых требовала 18-23 мин/м. Вероятно, они сложены более глинистыми разностями, так как в большинстве случаев такие пласты не четко проявляются на гамма-каротаже и находят отражение на кривой кавернометрии. У наиболее заглинизированных пластов наблюдаются очень четкие контакты. А самые мощные пропластки разбуриваются с несколько более высокими скоростями, а их подошва на кривой ДМК выглядит более расплывчатой. Затем характер ритмичности меняется, и в нижней половине наблюдается ритмичность двух порядков. Отмеченная смена характера ритмичности зафиксирована в некоторых соседних скважинах. Следовательно, имеется возможность корреляции с помощью новых видов реперных горизонтов, выявляемых средствами ГТИ в карбонатных разрезах.

Явление ритмичности, выявляемое в процессе геолого-технологических исследований скважин, также способствует решению некоторых задач секвентной стратиграфии. В частности, корреляция реперных горизонтов в пределах разведочных площадей или отдельных геоструктурных элементов более эффективно осуществляется не на основе сопоставления отдельных точек-индексов, а на основании крупных фрагментов осадочного разреза.

Анализ секвентных элементов в настоящее время осуществляется преимущественно

но на основании сейсмических данных или каротажных диаграмм. Нами предлагается **выделение пакетов секвенций** на основе совместной интерпретации графика скорости проходки скважин с кривой гамма-каротажа.

Биономические признаки могут быть проанализированы как при исследованиях керна, так и при изучении шлама. Особенно эффективно их использовать при разбуривании карбонатных пород. Например, в известняках могут быть выделены органогенно-обломочные, штафелловые, фузулиновые, фораминиферовые, остракодовые, коралловые, криноидные, водорослевые и другие разновидности. Особенно важно отмечать интервалы, в которых органические остатки (например, фузулиниды) встречаются в массовых скоплениях. Их диагностика не только способствует выявлению реперных горизонтов, обогащенных указанными комплексами организмов, но и позволяет проводить диагностику рифогенных фаций, уточнять геометрию тел биогермного происхождения.

Размеры и форма шламинок. После отмучивания, отсева на ситах и отделения обвальных частиц остается шлам, который и подвергается дальнейшему изучению. Каждая проба может отличаться степенью однородности шламowych частиц, изменчивостью их размеров и формы. В зависимости от размеров всю совокупность шламинок, в соответствии с рекомендациями РД 39-0147716-102-87, следует разбивать на 4 класса (Ф1 с размерами 1-3 мм; Ф2 – 3-5 мм; Ф3 – 5-7 мм; Ф4 – более 7 мм) и подсчитывать процентное содержание в пробах каждого класса. При фациальных исследованиях алевритовых пород такого деления может быть недостаточно, и мы предлагаем выделение двух дополнительных классов (0,5-1 мм и менее 0,5 мм). В основу использования этого признака положен принцип тесной зависимости размера фракций от твердости пород. При прочих равных условиях (не изменяющийся режим бурения) в момент

разбуривания мягких пород будут формироваться частицы классов Ф0 и Ф1, частицы фракций Ф2 и Ф3 обычно образуются при проходке пород средней твердости, а фракции Ф3 и Ф4 чаще представлены наиболее твердыми разностями. Шламовые частицы могут обладать удлиненной, пластинчатой, плоско изометричной, остроугольной, таблитчатой или шарообразной формой. Для характеристики этого признака целесообразно использовать круговую диаграмму, в секторах которой будут изображены (в виде зарисовок или приклеенных шламинок) эталоны той или иной формы.

На первый взгляд, размеры и форма шламовых частиц во многом определяются способом бурения и физико-механическими свойствами пород и со значительной степенью условности могут быть отнесены к числу фациальных. На самом деле, физические свойства пород в основном закладываются на стадии седиментогенеза, то есть зависят от условий осадконакопления.

Скорость разбуривания является очень чутким фациально-литологическим признаком, в тоже время легко измеряемым. Скорость проходки во многом определяется составом разбуриваемых пород и их коллекторскими свойствами, хотя тесно зависит от некоторых технологических факторов (режим бурения, тип бурового раствора, нагрузка на долото и частота его вращения). Поэтому, если режим бурения не меняется, то кривая механического каротажа будет полностью отражать степень прочности и особенности коллекторских свойств горных пород. В результате появляется надежный критерий литологического расчленения разреза и выявления пластов с высокими фильтрационно-емкостными свойствами.

Наиболее принципиальным моментом интерпретации графика механического каротажа является выявление интервалов, в которых происходит резкое увеличение скорости бурения. Так, низкие значения механической скорости характерны для глин и аргиллитов, поэтому информативность ме-

тогда значительно повышается при бурении терригенных разрезов. Более стабильно кривая механического каротажа ведет себя в карбонатных породах. Двух и трехкратное увеличение скорости в небольшом интервале часто означает вхождение в пласт-коллектор.

Анализ графиков механического каротажа может обеспечить важной информацией о генезисе разбуриваемых толщ. Предлагается выделять технологические разновидности фаций на основании изменения облика кривой скорости проходки. Под технологическими разновидностями фаций понимаются фрагменты кривой ДМК (механического каротажа), отличающиеся от смежных фоновых значений аномально высокими или аномально низкими показателями скорости, и отражающие изменения физико-механических свойств горных пород, которые обусловлены их генезисом. В результате удается оперативно в процессе бурения диагностировать песчаные пласты аллювиально-дельтового или морского генезиса. Объективность выделения технологических разновидностей фаций подтверждается корреляцией данных механического каротажа с показаниями радиоактивного каротажа.

2. Способы обработки информации и интерпретации. Конечной целью использования метода фациального моделирования является составление эталонно-прогнозных моделей для каждой разведочной площади. Они должны в себя включать прогнозный геологический разрез, эталонную коллекцию шлама и керна, сводную таблицу фациальных признаков. Опорными звеньями прогнозного геологического разреза являются реперные горизонты четырех порядков, каждый из которых характеризуется индивидуальным набором фациально-технологических признаков. Репером называют пласт горных пород, который отличается от смежных по вертикали пластов не меньше чем тремя фациальными признаками. Эталонная коллекция горных пород формируется в соответствии с требованиями, перечисленными

в работах [1, 2]. Что касается таблицы фациальных признаков, то она может выглядеть по-разному, в зависимости от количества анализируемых признаков, но общими должны оставаться принципы составления. В левой стороне таблицы приводится информация о глубинах и стратиграфии. В правой – целый ряд индивидуальных фрагментов, каждый из которых характеризует тот или иной фациально-технологический признак. При этом доля каждого признака соотносима со 100 % и заштриховывается определенным цветом. Такой подход позволяет прослеживать изменчивость признаков и на этом основании выделять реперные горизонты. При бурении новых скважин в пределах анализируемой площади создаются новые варианты фациальных таблиц и проводится корреляция разрезов.

Анализ комплекса фациальных признаков и их изменчивость следует начинать с описательной части этих признаков. Дело в том, что какой бы емкой не была финальная таблица фациальных признаков, она не сможет вместить в себя многообразие нюансов, характеризующих ту или иную породу. Описательная часть фациальных признаков должна быть унифицирована, легко заполняема и читаема. Особенно важно там отмечать факты изменчивости того или иного признака и приводить характеристику реперных горизонтов. Для заполнения граф таблицы не всегда хватает времени в процессе бурения, особенно при очень большой скорости проходки. В таких случаях проще отмечать изменчивость фациальных признаков в виде описания, а позднее учитывать эти данные при составлении эталонно-прогнозной модели. Иногда возникают ситуации, при которых для правильной интерпретации может не хватить описательной части фациальных признаков. Например, когда наблюдается постепенная изменчивость одного или нескольких признаков (изменение окраски за счет хлоритизации разреза при пересечении приразломной зоны, постепенное укрупнение размера зерен при разбурировании аллю-

виальных отложений или постепенное осветление пород в зоне ВНК). В такой ситуации требуется контроль каменного материала в пределах крупных интервалов.

Любой фрагмент таблицы, характеризующий тот или иной признак, в свою очередь должен состоять из нескольких столбцов, каждый из которых будет отражать различные вариации изучаемого признака. Чтобы отнести пробу шлама к конкретной вариации какого-либо признака можно использовать эталонные круговые диаграммы (для таких признаков, как структура породы, размер шламовых частиц), условные числовые характеристики (для люминисценции) или эталонные коллекции (шлама и органических остатков).

Интерпретацию данных фациального анализа лучше проводить комплексно для 10-15 наиболее информативных признаков, так как нередко изменения вещественного состава не четко проявляются в индивидуальных показателях породы, но зато уверенно выделяются в их ассоциациях. В алевро-песчаных пластах аллювиального генезиса в направлении от кровли к подошве почти синхронные изменения происходят в структуре породы, ее окраске, степени окатанности зерен, количестве глинистой примеси и углефицированной органики, качественном и количественном составе аутигенных минералов.

Для подтверждения продуктивности нефтенасыщенных коллекторов целесообразно оперативно использовать график индекса продуктивности, который строится на основании анализа следующих показателей: коэффициентов люминесценции и битуминозности, плотности пород, размера зерен в терригенных коллекторах, степени сортировки и окатанности этих зерен. График индекса продуктивности строится как тренд

основных признаков продуктивности. Особенно это важно при бурении горизонтальных участков и боковых стволов, когда непосредственно производится выбор наиболее продуктивных участков и геологический слалом по этим пластам.

Заключение. По мере использования метода фациальных признаков и составления эталонно-прогнозных моделей в нефтедобывающих компаниях появляется возможность формирования банка данных с геолого-технологической информацией. Следующим шагом может стать разработка генерализованных моделей, отражающих геологическое строение геоструктурных элементов различного ранга. Например, в Саратовском Заволжье подобные модели могут быть созданы для Пугачевского свода, Иргизского прогиба, Бортовой зоны Прикаспийской впадины или крупных ее фрагментов.

Еще одна возможность интерпретации результатов фациального моделирования связана с региональными палеогеографическими реконструкциями. Огромный объем информации, получаемый при массовом использовании ГТИ, позволяет реконструировать древние обстановки осадконакопления для геологических интервалов, в течение которых произошло формирование того или иного продуктивного пласта. Особенно важно такие построения проводить для тех регионов, где распространены продуктивные горизонты, изменчивые в фациальном отношении. В частности, в пределах Волго-Уральской НГП полифациальностью отличается бобриковский горизонт нижнего карбона, верейский горизонт среднего карбона и целый ряд стратиграфических подразделений в составе среднего девона. Значительная фациальная изменчивость также характерна для отложений рифогенных построек фаменского яруса.

Л и т е р а т у р а

1. Чекалин Л.М. Геолого-технологические исследования скважин /Л.М. Чекалин, А.С. Моисеенко, А.Ф. Шакиров и др. – М.: Недра, 1993.
2. Лукьянов Э.Е. Геолого-технологические исследования в процессе бурения. – М.: Нефть и газ, 1997.