

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭТАЛОННО-ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

В. Н. Староверов*, В. В. Матвеев**

*Нижне-Волжский научно-исследовательский институт Геологии и Геофизики

**Геофизическая экспедиция Нижне-Волжского научно-исследовательского института
Геологии и Геофизики

Поступила в редакцию 5 сентября 2012 г.

Аннотация. Предлагается метод использования наиболее информативных фациальных признаков при составлении эталонно-прогнозных моделей для реконструкций древних обстановок осадконакопления в определенных возрастных интервалах формирования продуктивных нефтегазоносных пластов. Обосновывается возможность создания банка данных с геолого-технологической информацией для нефтедобывающих компаний.

Ключевые слова: визуализация разреза, литологические признаки, фации, палеогеография, эталонно-прогнозная модель.

Abstract. The paper proposes a method of using the facial features in the preparation of the standard prognosis models for the reconstruction of ancient environments of sedimentation. Using this method is promising for certain age ranges of forming of productive oil and gas bearing layers. The ability to create a data bank with geological and technological information for the oil companies is substantiated.

Key words: visualization of cut, lithologic signs, facies, paleogeography, standard-prognosis model

Введение

Геолого-технологические исследования (ГТИ) широко распространены при бурении поисковых и эксплуатационных скважин. Они заключаются в определении геохимических и технологических показателей 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 механическая скорость бурения. Предлагается традиционные методы ГТИ дополнить фациальным моделированием, основанном на изучении комплекса литологических признаков и не требующим использования технически сложного лабораторного оборудования.

Основной целью моделирования геологического строения изучаемого объекта является обеспечение эффективного решения целого ряда задач,

таких как литолого-стратиграфическое расчленение разреза; визуализация разреза; детализация геологического строения; выявление в разрезе зон размывов и перерывов в осадконакоплении, участков выклинивания пластов; выделение реперов разного ранга и типа, а также фациальное районирование.

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. Решение перечисленных задач предлагается реализовывать в виде эталонно-прогнозных моделей (ЭПМ), которые представляют собой макет с изображением геологического разреза в точке бурения, совмещенный с петрошлагограммой и таблицей литологических признаков.

1. Характеристика основных признаков

Суть метода состоит в описании комплекса фациально-литологических признаков разбуриваемых пород и выделения фациальных зон. При описании шлама определяется цвет породы (и оттенки), минеральный состав, структура, текстура, наличие включений, степень карбонатности пород, органические остатки и степень их сохранности, также оцениваются размеры и форма шламинок,

тип коллектора. 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 разновидности.

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-минералогическое 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.

Признаками аутигенности минералов является 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 устанавливается пелитоморфная, зернистая или порфириобластовая структура. Пелитоморфная структура характерна для тонко- или скрытокристаллических известняков и мергелей. Зернистые (кристаллические) разности 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 удается 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, шамозита. 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.

Ритмичность. 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 отсортированности 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 петрошламограмм.

Ритмически построенные известняково-доломитистые и карбонатно-глинистые толщи широко распространены в палеозойских разрезах Волго-Уральской нефтегазоносной 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. Так, изучение 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 с средней мощностью 5–8 м разделены пластами (1–2 м), проходка которых требовала 18–23 мин/м. 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. 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 более мелкого порядка. 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 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 по-

род. Например, в известняках могут быть выделены органогенно-обломочные, штафелловые, фузулиновые, фораминиферовые, остракодовые, коралловые, криноидные, водорослевые и другие разновидности [2]. 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 шламовых частиц, изменчивостью их размеров и формы. В зависимости от размеров всю совокупность шламинок 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.

2. Способы обработки информации и интерпретации

Конечной целью использования метода фациального моделирования является составление ЭПМ для каждой разведочной площади. Они должны в себя включать прогнозный геологический разрез, эталонную коллекцию шлама и керна, сводную таблицу литологических признаков. Опорными

звеньями прогнозного геологического разреза являются реперные горизонты четырех порядков, каждый из которых характеризуется индивидуальным набором фациально-литологических признаков. Репером мы называем пласт горных пород, который отличается от смежных по вертикали пластов не менее, чем тремя фациальными признаками. Эталонная коллекция горных пород формируется в соответствии с требованиями, перечисленными в [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-литологический признак. При этом доля каждого признака соотносится к 100 % и заштриховывается определенным цветом. Такой подход позволяет проследивать 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 ЭПМ. 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 аллювиальных 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 шламочастиц), условные числовые характеристики (для люминисценции) или эталонные коллекции (шлама и органических остатков).

Интерпретацию данных фашиально-литологического 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.

Заключение

По мере использования метода фашиальных признаков и составления эталонно-прогнозных моделей в нефтедобывающих компаниях появляется возможность формирования банка данных с геолого-технологической информацией. Следующим шагом может стать разработка генерализован-

ных 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 фашиального 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 фашиальном отношении. В частности, в пределах Волго-Уральской НГП полифашиальностью отличается бобриковский горизонт нижнего карбона, верейский горизонт среднего карбона и целый ряд стратиграфических подразделений в составе среднего девона. Значительная фашиальная изменчивость также характерна для отложений рифогенных построек фаменского яруса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чекалин Л. М. Геолого-технологические исследования скважин / Л. М. Чекалин, А. С. Моисеенко, А. Ф. Шакиров [и др.]. – М. : Недра, 1993.
2. Староверов В. Н. Фашиальный анализ шлама и керн в процессе геолого-технологических исследований скважин / В. П. Белобородов, С. В. Кожевников // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2011. – Вып. 67. – С. 27–33.

Нижне-Волжский научно-исследовательский институт Геологии и Геофизики

*В. Н. Староверов, доктор геолого-минералогических наук, профессор
staroverown@mail.ru*

Геофизическая экспедиция Нижне-Волжского научно-исследовательского института Геологии и Геофизики

*В. В. Матвеев, директор филиала «Саратовская геофизическая экспедиция» ФГУП НВНИИГГ, кандидат геолого-минералогических наук
matveev@renet.com*

Bottom and Volga research institute of Geology and Geophysics

*V. N. Staroverov, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, Professor
staroverown@mail.ru*

Geophysical expedition of the Lower-Volga research institute of Geology and Geophysics

*V. V. Matveev, director of the branch of Federal State Unitary Enterprise NVNIIGG, candidate of Geological and Mineralogical Sciences
matveev@renet.com*