

Наиболее распространенные горные породы, слагающие и вмещающие нефтегазовые коллекторы

Слагающие терригенные коллекторы

Песчаник – осадочная горная порода, состоит в основном из частиц песчаной фракции размером 0.05÷2 мм. Образуется при цементации песчаных отложений различного происхождения и условий образования. В основном состоит из кварца, полевого шпата, слюд, глауконита, при этом любой из этих минералов может преобладать над другими и определять свойства песчаника.

Алевролит – осадочная горная порода, состоит в основном из невидимых глазом пылеватых частиц 0.005÷0.05 мм. Образуется при цементации осадочных пылеватых грунтов. В основном состоит из тонко раздробленных зёрен кварца, полевого шпата и цементирующих глинистых минералов. Таким образом, алевролиты отличаются от песчаников более мелким размером зерен и большей плотностью.

Карбонатные (могут слагать карбонатные коллекторы, где флюиды находятся в трещинах и кавернах)

Известняк – осадочная горная порода, происхождение - органическое (биогенное) или хемогенное (возникающее в результате химического осаждения из природных флюидов или при их испарении). Состоит преимущественно из карбоната кальция CaCO_3 : кальцитовых скелетных остатков организмов и минерала кальцита.

Доломит – осадочная горная порода, состоящая преимущественно из одноименного минерала $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Наиболее распространённая теория происхождения – это химическое превращение из органогенных известняков при их уплотнении под воздействием магниезальных флюидов. Доломиты отличаются от известняков большей плотностью и твердостью. При доломитизации известняка происходит уменьшение объема матрицы горной породы и увеличивается объем пустого пространства (вторичная пористость).

Не коллекторные (флюидоупоры)

Глины – осадочные горные породы, состоящие в основном из частиц до 0.01 мм глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит, бейделлит, галлуазит, иллит и др.). Главный глинообразующий процесс — выветривание и физико-химическое разложение горных пород, содержащих глинозём и кремнезём.

Аргиллит – осадочная горная порода, состоит из невидимых глазом глинистых минералов размером менее 0.005 мм. Образуется в результате уплотнения, дегидратации и цементации осадочных глинистых грунтов. Основные минералы – глинистые, а также кварц и полевой шпат. Аргиллиты отличаются от глин более мелким размером зерен, они тверже и не размокают в воде. Встречается слоистость и другая отдельность, поэтому склонны к обвалам в ствол скважины.

Каменная соль – осадочная горная порода хемогенного происхождения, состоящая преимущественно из минерала галит. В каменной соли вследствие её пластичности нет открытых пустот и трещин, каналов фильтрации, поэтому она экранирует движение нефти и газа.

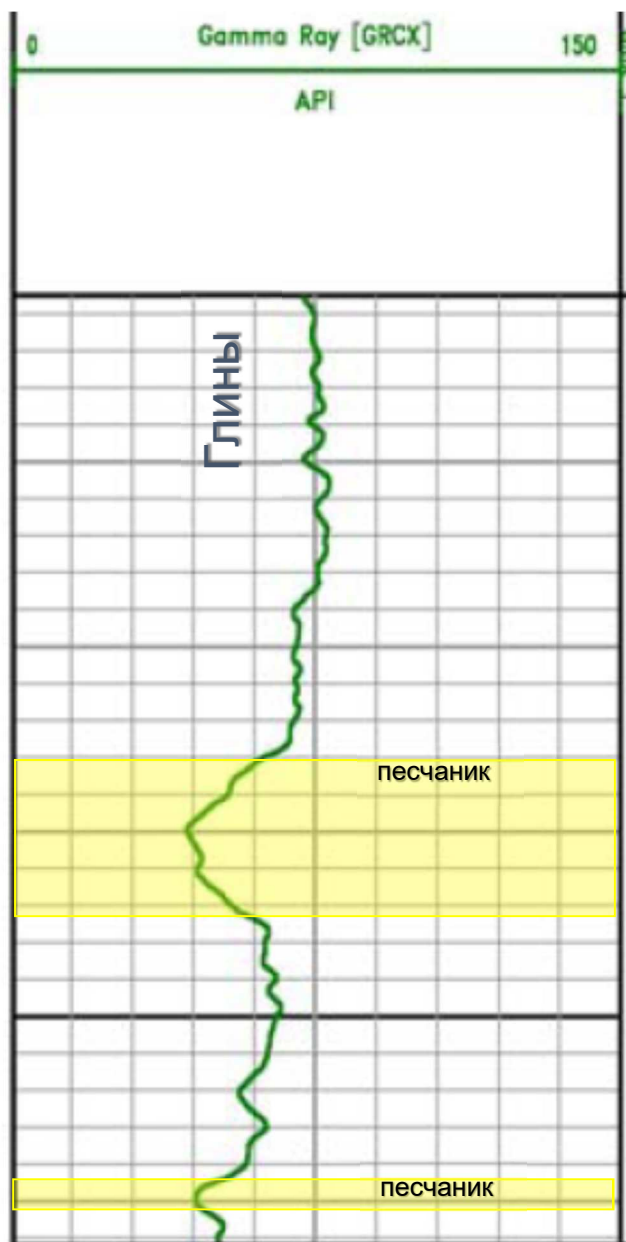
Ангидрит – осадочная горная порода, состоящая преимущественно из одноименного минерала. Образуется при осаждении в водных бассейнах; при дегидратации гипса в условиях повышенных давлений и температур. Распространён в крышах соляных куполов. При увлажнении набухает и переходит в гипс.

Угли – осадочные горные породы, образующиеся при углефикации растительных остатков без доступа атмосферного кислорода, в основном состоят из углерода. Малопрочные, поэтому опасны осыпью в ствол.

Гамма каротаж (ГК)

Физические основы

ГК – простейший, дешевый и наиболее надежный вид каротажа, начавший применяться на кабеле еще в ~1930 году, а в процессе бурения – в конце 1970-х. Измеряемый параметр – количество γ -квантов в единицу времени, определяющих естественную радиоактивность горных пород. Единица измерения – API (American Petroleum Institute), μ Рентген/час (для каротажных приборов made in the USSR).



Радиоактивность горных пород заключается в испускании ими γ -квантов, которые генерируются в процессе ядерных реакций, происходящих в атомах радиоактивных изотопов. В природе существует три радиоактивных ряда: урановый, ториевый и калиевый.

Предельный путь γ -квантов, которые поглощаются, проходя через горную породу, зависит от ее плотности и типично составляет ~45 см. Для приборов каротажа в процессе бурения глубинность ГК (DOI) составляет ~7 см от стенки ствола, разрешающая способность по стволу – 15 см \pm 25 см (зависит от размера и типа детектора, мех. скорости каротажа и частоты измерений).

ГК используется для литологического расчленения горных пород по концентрации радиоактивных элементов, что позволяет, в свою очередь, эффективно различать проницаемые и плотные зоны: обычно непроницаемые глины и аргиллиты имеют высокую радиоактивность, более плотные карбонатные породы характеризуются низкой радиоактивностью, а радиоактивность песчаников варьируется между этими значениями.

Относительно высокая радиоактивность глин и глинистых сланцев объясняется как повышенной сорбцией из природных флюидов урана, радия, тория и калия на глинистых частицах, так и относительно высоким содержанием в этих породах калия (до 6.5%).

В целом, чем меньше размер частиц, слагающих матрицу, тем лучше сорбируются содержащиеся в природных флюидах радиоактивные элементы и тем больше будут значения ГК.

Кривую ГК принято отображать тёмно-зелёным цветом,

масштаб по умолчанию 0 \div 150 API, однако для наглядности целесообразно подбирать масштаб, в котором хорошо видны аномалии, при этом, если присутствуют единичные значительные максимумы, их можно отображать во 2-м масштабе, кратном 1-му как 1:2 или 1:5.

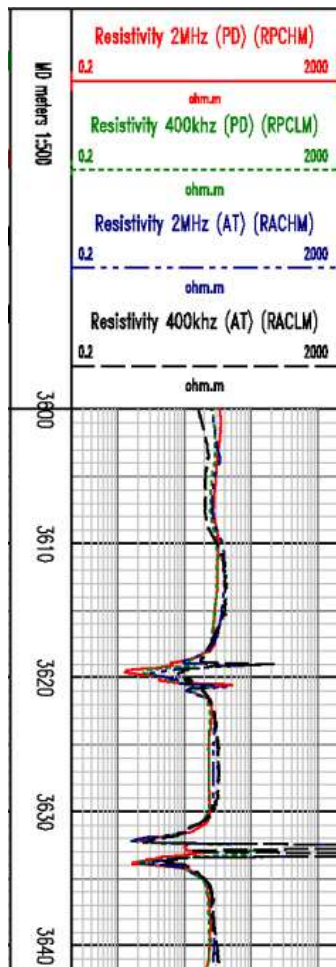
Электрический / Электромагнитный каротаж

Физические основы

Впервые измерение удельного электрического сопротивления (УЭС) в скважинах проведено братьями Шлюмберже в 1926 году, электрический каротаж – ЭК в процессе бурения начал применяться в конце 1970-х, а уже в начале 1980-х появился электромагнитный (индукционный) каротаж – ЭМК в процессе бурения. Измеряемый параметр – кажущееся УЭС горных пород, единица измерения – Ом·м.

УЭС матриц горных пород, слагающих и вмещающих газонефтяные коллекторы, практически бесконечно. Проводимость таких горных пород определяется флюидами – электролитами, содержащихся в поровом пространстве. Чем больше примесей растворено в воде, тем ниже ее УЭС, практически до нуля в типичных геологических условиях Западной Сибири и др. А вот УЭС нефти и, особенно, газа – очень высокие, поскольку они – изоляторы. Таким образом, главный параметр, который выдает электрокаротаж – насыщение.

В целом, глины имеют низкое УЭС, так как содержат много связанной воды (~10 Ом·м); аргиллиты содержат меньше воды, поэтому их УЭС выше (~20 Ом·м). УЭС песчаника ниже у рыхлого и выше у плотного, и так далее – чем меньше электролита в горной породе, тем выше УЭС, – у ангидритов, каменной соли, доломитов, а также в чистых нефтяных песчаных коллекторах оно может превышать верхний предел диапазона измерений приборов ЭМК (>2000 Ом·м).



В отличие от ГК, имеющего дальность измерения порядка 10 см, электрокаротаж имеет дальность обнаружения границ более метра и даже несколько десятков метров (зависит от УЭС горных пород).

Приборы ЭМК оптимальны для поиска более проводимой формации из относительно менее проводимой среды, наоборот они работают хуже.

Приборы бокового ЭК лишены данного недостатка, имеют лучшие разрешающую способность и динамический диапазон, но они не могут работать с растворами на углеводородной основе и имеют существенно меньшую глубинность.

Современные приборы ЭМК в процессе бурения имеют несколько зондов: разной длины, разных частот электромагнитной волны и разного типа измерений УЭС: по отставанию фазы или затуханию амплитуды электромагнитной волны.

Короткий зонд высокой частоты по отставанию фазы (RPCSHX) имеет минимальную дальность измерения, но максимальное разрешение по стволу (например, 0.5 и 0.2 м соответственно), а длинный зонд низкой частоты по затуханию амплитуды (RACLX) имеет максимальную дальность измерений, но наихудшее разрешение по стволу (например, 1.5 и 0.3 м). Также измерения УЭС по затуханию амплитуды имеют высокую погрешность измерений и низкую верхнюю границу диапазона измерений (выше 100 Ом·м погрешность достигает 100%).

Кривые УЭС отображаются в логарифмическом масштабе, зашкалы не допускаются. Стандартная шкала 0.2÷2000 Ом·м, но можно использовать для лучшей наглядности другие шкалы с кратными границами, например, 1÷100 Ом·м, 0.4÷400 Ом·м и т.п.

Наконец, как говорил один преподаватель: «Сейчас записывают только девочки. Электрокаротаж проводится только в необсаженных скважинах».

Заключение

Комплексный анализ ГК и УЭС позволяет расчленить разрез как литологически, так и по насыщению. Кроме того, ГК и УЭС позволяет выполнить корреляцию каротажа по вертикали с соседними разведочными скважинами, в которых выполнен расширенный комплекс каротажа и отобран керн и проведено испытание пластов и, таким образом, получить дополнительную информацию.

Во время бурения анализ ГК и УЭС позволяет, например, выделить в пласте песчаника плотные линзы с карбонатным цементом или угольные пропластки, которые являются причиной осложнений бурения. Карбонатные плотняки образуются в результате осаждения карбонатного цемента между зернами песка из природных флюидов, поэтому они характеризуются повышенными, на общем фоне, значениями УЭС и пониженными – ГК. Угли, наоборот имеют крайне низкую плотность ($\sim 1.3 \text{ г/см}^3$), но легко выделяются по крайне аномальным значениям: высоким – УЭС и низким – ГК.

Выделив такие проблемные участки при бурении из-под башмака вниз, можно предпринять проактивные корректирующие действия при дальнейшем бурении горизонтальной секции.



Таблица 1. Наиболее распространенные петрофизические значения горных пород, слагающих и вмещающие нефтегазовые коллекторы

Матрица / насыщение	Условные обозначения	Гамма	УЭС
Песчаник		средняя	среднее
Известняк		низкая	высокое
Глина		высокая	низкое
Доломит		очень низкая	высокое
Ангидрит		очень низкая	очень высокое
Каменная соль		очень низкая	очень высокое
Уголь		очень низкая	очень высокое
Аргиллит		высокая	низкое
Алеврит		средняя	среднее
Газ		очень низкая	очень высокое
Нефть		очень низкая	очень высокое
Вода		очень низкая	очень низкое

Однако, бывают исключения, например, монацитовые пески и гравелиты (содержащие торий) или калийные соли имеют очень высокую радиоактивность, а удельное электрическое сопротивление воды определяется растворенными в ней химическими соединениями и может быть очень для очень чистой воды.