

## Лекция 6

# ОСНОВНЫЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Профессор,  
Доктор геолого-минералогических наук  
**В.Г. Фоменко**

# **ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНЫХ ТОЛЩИН**

**В основе оценки геологических запасов нефти, газа лежит выделение пластов-коллекторов, определение их эффективных толщин и фильтрационно-емкостных свойств.**

**Основными свойствами породы-коллектора является содержание в ней нефти, газа или воды и способность её отдавать их при разработке.**

<b>Пласт-коллектор</b>	Пласт, обладающий свойствами коллектора
<b>Промышленно продуктивный пласт-коллектор</b>	Пласт, способный отдавать нефть или газ в промышленных объемах при существующих способах разработки и конъюнктуре рынка
<b>Продуктивный пласт-коллектор</b>	Пласт, способный отдавать нефть (нефтеносный пласт) или газ (газоносный пласт) в любых объемах при существующих способах разработки
<b>Водоносный пласт-коллектор</b>	Пласт, способный отдавать воду
<b>Типы коллекторов по морфологии пустотного пространства</b>	Классификация коллекторов по морфологии пустотного пространства, обеспечивающего коллекторские свойства
<b>Поровый коллектор. Межзерновой коллектор. Гранулярный коллектор</b>	Коллектор, в котором аккумуляция и фильтрация пластовых флюидов осуществляется порами
<b>Каверновый коллектор</b>	Коллектор, в котором аккумуляция и фильтрация пластовых флюидов осуществляется кавернами
<b>Трещинный коллектор</b>	Коллектор, в котором аккумуляция и фильтрация пластовых флюидов осуществляется трещинами
<b>Смешанный коллектор</b>	Коллектор, пустотное пространство которого образовано одновременно двумя или тремя видами пустот. <u>Примечание.</u> В названии смешанного коллектора указываются все присутствующие в коллекторе компоненты пустотного пространства в порядке их значимости для фильтрации. <u>Пример:</u> трещинно-поровый коллектор

При определении геологических запасов УВ к коллекторам относятся породы, способные вмещать нефть, газ или воду и отдавать их при разработке; величина извлекаемых объемов жидкости либо газа и их дебиты при этом не оговариваются. Определенные таким образом коллекторы характеризуются стабильными признаками и критериями и содержат геологические запасы УВ.

По условиям образования пласты-коллекторы нефти и газа относятся преимущественно к осадочным отложениям, редко к вулканогенным и вулканогенно-осадочным и иногда к изверженным породам кристаллического фундамента. По вещественному составу пласты-коллекторы могут быть в терригенных, карбонатных, вулканогенных породах и их смешанных типах. Известны также пласты-коллекторы, связанные с галогенными отложениями, представленными гипсом, ангидритом и смесью галита с карбонатными породами.

По морфологии порового пространства коллекторы делятся на поровые (межзерновые, гранулярные), трещинные, каверновые и смешанные (порово-трещинно-каверновые). Наименования последних, варьируют в зависимости от вклада отдельных видов пустот в общую емкость и проницаемость коллектора.

В терригенных и карбонатных пластах большинство коллекторов поровые. Трещинные коллекторы характерны для плотных метаморфизованных низкопористых пород, прежде всего для карбонатных, частично – для вулканогенных и редко – для терригенных.

Трещинно-каверновый и порово-трещинно-каверновый коллекторы типичны для карбонатных, а также для вулканогенных отложений и практически не встречаются в терригенных породах.

Поровые коллекторы считаются простыми, если они сложены одним породообразующим минералом (за исключением цементирующих веществ) и содержат один тип подвижного флюида (нефть, газ либо воду).

**К сложным относят коллекторы, обладающие одним из следующие признака:**

- **сложным минеральным составом породообразующих веществ, включая высокое содержание глинистых минералов;**
- **сложной структурой порового пространства;**
- **многофазной насыщенностью в пределах одного пластопересечения.**

**На практике (в России и за рубежом) выделение пластов-коллекторов реализуется по прямым качественным признакам или с использованием количественных критериев, обоснование которых проводится по результатам геологоразведочных работ и эксплуатации.**

**Прямой информацией о наличии коллекторов в разрезе является получение притоков пластовых флюидов при опробовании и испытании пластов, о том числе приборами на каротажном кабеле. Прямые качественные признаки используются как для непосредственного выделения коллекторов в разрезах скважин, так и для обоснования вспомогательных количественных критериев.**

**Прямым качественным признаком коллектора является проникновение фильтрата ПЖ в пласты, которое устанавливается по данным ГИС и является следствием движения пластовых флюидов в поровом пространстве породы.**

**Под количественными критериями коллекторов понимаются величины фильтрационно-емкостных ( $K_p$ ,  $K_{пр}$  и др.) или соответствующих им геофизических ( $\alpha_{пс}$ ,  $\Delta t$ ,  $W$ ,  $\sigma$ ,  $\Delta J_y$  и др.) характеристик, по которым на статистическом уровне пласты разделяются на проницаемые и непроницаемые, т.е. на коллекторы и неколлекторы.**

# **ВЫДЕЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ПРЯМЫМ И ПО ПРЯМЫМ КАЧЕСТВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ**

Среди методов ГИС, применяемых при изучении вскрытых скважиной горных пород, наибольшей информативностью и достоверностью при выделении в изучаемом разрезе проницаемых интервалов, т.е. пластов-коллекторов, обладают так называемые прямые методы исследования пласта ОПК и ГДК. Факт получения из пласта флюида о любом количестве и измерения пластового давления аппаратурой ОПК и ГДК является прямым доказательством наличия коллектора независимо от геофизической характеристики пласта. Неполучение притока флюида из пласта при ОПК и ГДК в случае благоприятной геофизической характеристики не является достаточным основанием для отнесения пласта к неколлектору. В таких случаях требуется проведение дополнительных (повторных) исследований.

К сожалению, прямые исследования в нашей стране, за исключением отдельных регионов (Якутия, Республики Башкортостан и Татарстан, Астраханская и Оренбургская области, шельф о. Сахалин), практически не применяются или применяются крайне редко (Западная Сибирь), поэтому на практике повсеместно для выделения коллекторов используется комплекс качественных (прямых и косвенных) признаков, а также количественные критерии.

*Прямые качественные признаки* являются наиболее надежным способом выделения коллекторов. Они основаны на доказательстве подвижности пластовых флюидов. Таким доказательством является установление факта наличия проникновения в пласты фильтрата ПЖ и формирования (или расформирования) зон проникновения: эти факты в большинстве случаев являются достаточным признаком коллектора.

**Признаками проникновения по данным ГИС являются:**

- сужение диаметра скважин, зафиксированное на кривой кавернометрии, вследствие образования глинистой или шламовой корки;**
- радиальный градиент сопротивления, измеренных зондами с разной глубиной исследований;**
- изменение показаний методов ГИС, выполненных по специальным методикам и фиксирующих формирование или расформирование зоны проникновения.**

**В коллекторах со сложной структурой пустотного пространства прямые качественные признаки устанавливаются чаще всего только по материалам ГИС, выполненным по специальным методикам и фиксирующим формирование зоны проникновения при:**

- повторных измерениях во времени при сохранении свойств ПЖ в стволе скважины (методика временных измерений);**
- измерениях на ПЖ с различными физическими свойствами (методика двух ПЖ с различной минерализацией, методики с закачкой активированных меченных жидкостей);**
- направленном воздействии на пласты путем создания дополнительной репрессии (методика "каротаж-репрессия-каротаж") или депрессии (каротаж-испытание-каротаж").**

**В обсаженных скважинах прямые качественные признаки устанавливаются при повторных измерениях стационарными импульсными видами нейтронного каротажа (НК), свидетельствующих о расформировании во времени зоны проникновения.**

**Весьма информативными для выделения коллекторов являются также данные ГТИ (данные механического каротажа, расходомерии, газового каротажа и результаты анализа шлама и керна).**

**Косвенные качественные признаки** обычно сопутствуют прямым признакам и характеризуют породы, которые по своим емкостным свойствам и чистоте минерального скелета могут принадлежать к коллекторам.

**К этим признакам относятся:**

- аномалии на кривой самопроизвольной поляризации ПС (отрицательные, если удельное сопротивление ПЖ больше сопротивления пластовой воды, и положительные при их обратном соотношении);
- низкие показания на кривой гамма-каротажа (ГК);
- показания ядерно-магнитного каротажа (ЯМК), превышающие фоновые;
- затухание упругих волн, создаваемое трещинами и кавернами, при акустическом каротаже.

**Косвенные качественные признаки отражают присутствие, но не движение в исследуемой породе свободных флюидов. Например, показания ядерно-магнитного каротажа, превышающие фоновые с равным успехом могут характеризовать сообщающиеся и несообщающиеся между собой поры и каверны, Увеличенное затухание упругих волн при акустическом каротаже может быть вызвано присутствием в породах открытых либо залеченных трещин и каверен и т.п.**

**В общем случае выделение коллекторов по качественным признакам следует проводить по совокупности прямых признаков, указывающих на наличие проникновения фильтрата ПЖ в пласты, с использованием косвенных качественных признаков.**

**Для исключения присутствующих и выделенных пластах-коллекторах тонких плотных высококарбонатных или глинистых непроницаемых прослоев привлекаются данные всего имеющегося комплекса ГИС (МК, БМК, БК, ГК, НК, АК).**

**Эффективность выделения коллекторов по прямым качественным признакам существенно зависит от времени между разбуриванием и исследованием разреза, а также от ряда технологических и геологических факторов, к которым, прежде всего, следует отнести величину репрессии на пласт и свойства ПЖ. Эффективность снижается при низкой водоотдаче ПЖ, в разрезах с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД) или при бурении на равновесии (репрессия на пласт близка к нулю). Снижается эффективность выделения коллекторов по прямым качественным признакам и на газовых месторождениях с высотой залежей в сотни метров, где в приподнятых участках залежей репрессии значительно ниже, чем вблизи ГВК (или ГНК).**

**Известны факты отсутствия прямых признаков проникновения против высокопроницаемых коллекторов в длительно бурящихся скважинах вследствие кольтматации пластов глинистыми частицами, а также гематитом и магнетитом при применении утяжеленных промывочных жидкостей. Кольматация пластов с ухудшенными коллекторскими свойствами происходит медленнее, и они дольше сохраняют признаки коллекторов.**

**В породах с пластовыми водами хлоркальциевого типа, разбурывающихся на промывочных жидкостях с добавками карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ), со временем проникновение фильтрата ПЖ в коллекторы прекращается вследствие появления в порах нерастворимого осадка, образующегося при взаимодействии пластовой воды с КМЦ; более того, существовавшие вначале корки исчезают. Скорость образования осадка зависит от интенсивности фильтрации, концентрации КМЦ и содержания воды в порах.**

**Например, в скважинах Ботубинского нефтегазоносного района (Якутия), бурящихся на рассолах, исчезновение шламовых корок против низкопористых водонасыщенных коллекторов наблюдается в первые 5 суток после их вскрытия. Против водонасыщенных высокопористых ( $K_{\text{п}} = 16 - 24\%$ ) коллекторов корки сохраняются до 25 суток. В продуктивных коллекторах процессы закупорки происходят более медленно вследствие малых величин остаточной водонасыщенности  $K_{\text{во}}$ .**

# НАЛИЧИЕ ГЛИНИСТОЙ (ШЛАМОВОЙ) КОРКИ

Фильтрация в пласты ПЖ имеет следствием образование глинистых или шламовых корок. Если образующиеся корки вызывают заметное уменьшение диаметра скважины по сравнению с номинальным, то наличие корок легко устанавливается на кривых кавернометрии или профилеметрии.

Толщина глинистой корки зависит от качества ПЖ: чем больше водоотдача ПЖ, тем толще корка. При водоотдаче 6 – 8 см<sup>3</sup>/30 мин толщина корки обычно превышает 1 – 2 см. Шламовые корки, которые образуются при бурении скважин на неглинистых ПЖ, более рыхлые: их толщина достигает 3 – 5 см.

Судить о наличии корок затруднительно в интервалах с увеличенным диаметром скважины, например, против рыхлых или сильно трещиноватых выкрашивающихся разностей.

**Уменьшение диаметра скважины не является признаком коллектора в интервалах образования сальников против пластичных глинистых пород, к призабойной зоне с осевшими шламовыми частицами и против тонких уплотненных прослоев, расположенных в толще коллектора, против которых происходит "размазывание" корки в ходе спуско-подъемных операций в процессе бурения.**

**Отсутствие глинистых или шламовых корок при наличии других признаков и критериев коллектора не может служить основанием для отнесения породы к неколлекторам, так как оно может быть следствием прекращения проникновения фильтрата ПЖ в коллекторы по ряду перечисленных выше технологических и геологических причин.**

# **НАЛИЧИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ПРИРАЩЕНИЙ НА КРИВЫХ МИКРОКАРОТАЖА**

Превышение показаний микропотенциал-зонда (МПЗ) над показаниями микроградиент-зонда (МГЗ), именуемое положительным приращением, обусловлено наличием корки. Поэтому положительные приращения на диаграммах МК являются надежным признаком коллектора в той мере, насколько надежен признак наличия корки.

При использовании данных МК необходимо обращать внимание не только на наличие или отсутствие положительных приращений, но и на абсолютные величины измеренных зондами МК кажущихся сопротивлений  $\rho_k$ . При высоких  $\rho_k$  начинает проявляться нелинейность аппаратуры, причем для МП она возникает при меньших  $\rho_k$ , чем для МПЗ. По этой причине положительные приращения иногда наблюдаются против плотных прослоев неколлекторов с высоким сопротивлением.

Верхний предел диапазона сопротивлений, в котором обеспечивается линейность измерений  $\rho_k$  обоими зондами МК, для каждого прибора определяется при его эталонировке. Для современной цифровой аппаратуры он достигает 50 – 60 Ом·м, для ранее выпускавшейся аналоговой аппаратуры он был значительно ниже и во многих случаях составлял 15 - 20 Ом·м.

С особой предосторожностью следует использовать данные МК в неоднородных коллекторах, содержащих тонкие плотные прослои. При большой толщине корки (более 2 см), а также в случае неполного прижатия башмака микрозонда к стенке скважины уплотненные прослои могут не отмечаться на кривых МК.

Положительных приращений на кривых МК может не быть при бурении скважин на технической воде в условиях отсутствия корок и в скважинах, пробуренных на минерализованных ПЖ ( $\rho_c < 0,2$  Ом·м). В последнем случае показания обоих зондов против коллекторов отличаются несущественно вследствие близости удельных сопротивлений корки и промытой зоны. Однако в ряде случаев в скважинах с минерализованной ПЖ при тонких корках и неглубоких зонах проникновения получают кривые МК удовлетворительного качества, поэтому эффективность МК для выделения коллекторов должна проверяться в конкретных геолого-технических условиях.

# НАЛИЧИЕ РАДИАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЙ

Изменение удельного электрического сопротивления (УЭС) пород в радиальном направлении обусловлено проникновением фильтрата ПЖ в пласт и поэтому является однозначным признаком коллектора. Наличие радиального градиента сопротивлений устанавливается сравнением показаний однотипных зондов с разным радиусом исследований (БКЗ, ВИКИЗ, многозондовые установки БК и ИК) или показаний комплекса разнотипных разноглубинных зондов БМК-БК-ИК. При использовании данных БМК нельзя забывать, что верхний динамический диапазон УЭС, измеряемых при БМК, ограничен. Для ранее выпускавшейся отечественной аппаратуры БМК он составлял 150 – 200 Ом·м; для современной цифровой аппаратуры он значительно выше и достигает 800 – 1000 Ом·м.

Если кривые названных методов зарегистрированы (или перестроены) в одинаковом масштабе кажущихся сопротивлении  $\rho_k$ , показания зондов исправлены за влияние скважины и кривые совмещены между собой, что легко осуществимо в компьютеризированных системах обработки, то коллекторы довольно наглядно выделяются визуально по расхождению показаний разноглубинных зондов при условии, что в породах-неколлекторах показания зондов совпадают. При наличии в пределах коллекторов плотных прослоев эффективность БКЗ снижается из-за влияния экранирования.

Формирование радиального градиента сопротивлений зависит от многих факторов, в том числе от свойств ПЖ и сроков проведения каротажа. В разные сроки проведения каротажа можно получить разные радиальные градиенты. Нередки случаи, когда в одних и тех же продуктивных пластах при более поздних измерениях – ярко выраженное повышающее проникновение.

При бурении на ПЖ с высокой водоотдачей и проведении каротажа через большой промежуток времени после вскрытия пластов бурением могут образовываться очень глубокие зоны проникновения. В таких случаях радиальный градиент может быть вообще не зафиксирован. Подобная картина наблюдается также в случаях центрального проникновения, когда УЭС зоны проникновения и неизменной части пласта одинаковы. Поэтому наличие градиента является качественным признаком коллектора, но отсутствие радиального градиента сопротивлений по данным ГИС, полученным при статических скважинных условиях, не может служить основанием для отнесения породы к неколлекторам, особенно при благоприятной геофизической характеристике, т.е. при наличии косвенных качественных признаков (отрицательная аномалия на кривой ПС, низкие показания на кривой ГК и др.).

# **ВЫДЕЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ ПО КОСВЕННЫМ КОЛИЧЕСТВЕННЫМ КРИТЕРИЯМ**

Главными критериями выделения коллекторов являются прямые и прямые качественные признаки. При их отсутствии для выделения коллекторов используются количественные критерии, устанавливаемые на статическом уровне.

Основными причинами отсутствия информации для выделения коллекторов по прямым признакам являются:

- отсутствие и выполненном комплексе ГИС диаграмм методов, по которым устанавливается проникновение фильтрат ПЖ и пласт (МК, каверномер, БК+БМК, многозондовые БК, ИК, ВИКИЗ и др.); в абсолютном большинстве регионов в эксплуатационных скважинах эти диаграммы не записывают;
- плохое качество диаграмм вышеназванных методов;
- бурение скважин на токонепроводящих, малофильтрующихся или высокоминерализованных ПЖ;
- бурение скважин на равновесии.

**Выделение коллекторов с использованием количественных критериев основано на следующих предпосылках:**

- 1) в исследуемом разрезе породы-коллекторы отличаются от вмещающих пород-коллекторов значениями фильтрационно-емкостных свойств, а, следовательно, и значениями геофизических характеристик, отражающих эти свойства:**
- 2) граница между коллекторами и неколлекторами на статистическом уровне характеризуется граничными значениями фильтрационно-емкостных (проницаемость  $K_{пр.гр}$ , пористость  $K_{п.гр}$ , и др.) или геофизических (относительная амплитуда  $\alpha_{пс.гр}$ , интервальное время  $\Delta t_{гр}$ , объемная плотность  $\sigma_{гр}$ , двойной разностный параметр  $\Delta J_{\gamma.гр}$ ,  $\Delta J_{пп.гр}$ ,  $\Delta J_{п\gamma.гр}$  и др) характеристик.**

**Выделение коллекторов проводят сравнением измеренных значений фильтрационно-емкостных или геофизических характеристик с найденными граничными значениями.**

**Граничное значение каждого параметра определяют отдельно для коллекторов с различной насыщенностью (газ, нефть, вода).**

**Количественные критерии коллектора могут быть найдены для любой фильтрационно-емкостной или геофизической характеристики породы, однако чаще всего устанавливают граничное значение пористости  $K_{п.гр}$ , как параметра, оценка которого по данным исследования керна и ГИС выполняется достаточно надежно и в массовом масштабе.**

Количественные критерии, определяющие на статическом уровне границу «коллектор - неколлектор», устанавливаются двумя принципиально различными способами – *статистическими*, определяющими количественный критерий по результатам обработки данных непосредственного разделения пластов в разрезе базовой скважины (или нескольких скважин) на коллекторы и неколлекторы и *корреляционными* с оценкой численных значений количественных критериев.

# **РАЗДЕЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ ПО СТРУКТУРЕ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА**

**Тип коллектора определяется на основе анализа всей имеющейся геолого-геофизической информации по изучаемому объекту или интервалу разреза.**

**По данным ГИС с достаточной степенью достоверности возможно разделение коллекторов на три основных типа: поровый, порово-каверновый, трещинный. Более дробное, уверенное разделение коллекторов по структуре порового пространства возможно по комплексу данных ГИС, ГТИ, петрофизических исследований и испытаний лишь в редких благоприятных случаях при наличии достаточной информации.**

**Поровые коллекторы** обычно выделяются по наличию прямых качественных признаков. По косвенным количественным критериям выделяют их только в скважинах. В которых по имеющимся материалам ГИС невозможно надежно установить проникновение ПЖ в пласты из-за технологических условий бурения скважин или недостаточности выполненных исследований. При этом пористости пластов превышают нижние граничные значения ( $K_p > K_{п.гр}$ ). Петрофизическим признаком порового коллектора является наличие тесных корреляционных связей между фильтрационными и емкостными параметрами пород, а также между физическими свойствами и емкостными параметрами пород.

**Порово-каверновые коллекторы не имеют устойчивых прямых качественных признаков и выделяются, как правило, с использованием косвенных количественных критериев. Основные геофизические признаки; расхождение значений  $K_p$ , определенных по данным РК (НК, ГГКП) и по АК, на величину, превышающую погрешности определения этого параметра ( $\pm 2 - 3\%$  от объема пород); как правило,  $K_p^{PK} > K_p^{AK}$ ; превышение общей пористости (по данным РК) над  $K_{п.гр}$ . Другие геофизические признаки (состояние стенки скважины, величина затухания продольных колебаний и др.) являются неустойчивыми и считаются вспомогательными. Для порово-кавернового типа коллекторов характерна меньшая теснота корреляционных связей между физическими параметрами пород и их фильтрационными и емкостными свойствами.**

**Трещинные коллекторы по геофизическим признакам характеризуются: повышенным затуханием продольных и поперечные акустических колебаний; повышенной интенсивность волн Лэмба-Стоунли; неравномерным увеличением фактического диаметра скважины; наличием трещин на стенках ствола скважины, фиксируемым на диаграммах высокоразрешающих акустических и электрических сканеров; низкой общей пористостью пластов (меньше нижнего граничного значения, установленного для коллекторов порового типа). Все перечисленные геофизические признаки трещинного коллектора не являются обязательными. Обязательным считается факт установления проникновения фильтрата ПЖ или получения притока флюида при низкой (меньшей граничного значения) общей пористости пород.**

Наличие трещиноватости в керне и повышенной за счет этого фактора его проницаемости еще не является критерием наличия в разрезе трещинных коллекторов. Трещинные коллекторы не имеют косвенных количественных критериев. Для них не характерны определенные значения  $K_{п.гр}$ ; взаимосвязь между  $K_n$  и  $K_{пр}$  отсутствует. При разбуривании интервалов с трещинными коллекторами часто отмечаются поглощение промывочной жидкости и увеличение скорости бурения, фиксируемые на диаграммах ГТИ.

**Спасибо за внимание!**