СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

GEO214 ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН (ПРОДВИНУТЫЙ)

10– лекция

Интерпретация диаграмм акустического каротажа.Правила определения границ пластов. Изучение разрезов скважин в комплексе с другими геофизическими методами. Использование комплекса АК-НГК-ГГК-П для изучения карбонатных разрезов и определения типа пористости для карбонатных коллекторов

Д.т.н., профессор
Ратов Боранбай Товбасарович

SATBAYEV UNIVERSITY

Department of Geophysics and Seismology

Акустический каротаж

Акустический каротаж - совокупность методов исследования скважин, основанных на изучении полей упругих колебаний в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот, которые создаются излучателем, размещенным в скважине.

В основе акустического каротажа лежит различие упругих свойств пород, слагающих разрезы скважин.

Горные породы в естественном залегании при тех напряжениях, которые возникают при исследовании разрезов скважин ультразвуковым методом, являются практически упругими телами. Если на элементарный объем породы в течение некоторого времени действует сила, то происходит деформация частиц породы и их перемещение. Это приводит к возникновению напряжений в слое, окружающем точку возбуждения. В результате во всех направлениях от точки приложения возбуждающей силы изменяется состояние среды.

Процесс последовательного распространения деформаций называется упругой волной. Упругие свойства горных пород, а значит и скорости распространения в них упругих волн обусловлены их минеральным составом, пористостью и формой порового пространства и, таким образом, тесно связаны с литологическими и петрофизическими свойствами.

Основы метода АК

Акустический каротаж основан на разной скорости распространения упругих волн от источника к приёмнику прибора.

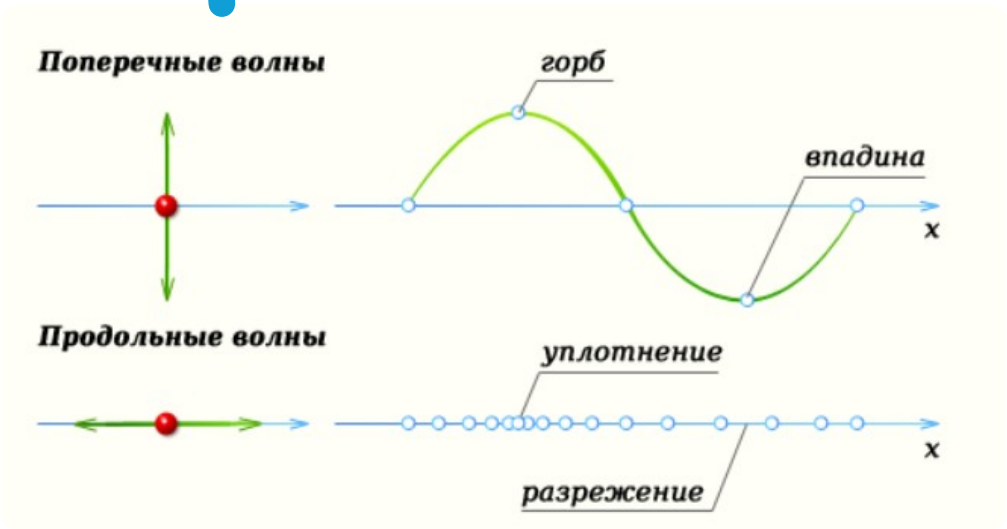
Акустические (звуковые) волны представляют собой упругие механические возмущения, которые распространяются с конечной скоростью в твердых, жидких и газообразных телах и осуществляют перенос энергии без переноса веществ.

Основные параметры, характеризующие распространение упругих волн в среде:

- Скорость распространения волны;
- Обратная ей величина – интервальное время;
- Амплитуда волны;
- Эффективное затухание;
- Частота и связанная с ней длина волны.

Виды волн

- Волны бывают:
- **Продольные P-волны**: колебания частиц волны происходит в направлении распространения волны, создавая области разряжения и сжатия.
- **Поперечные S-волны:** колебания частиц среды происходит перпендикулярно направлению распространения волны



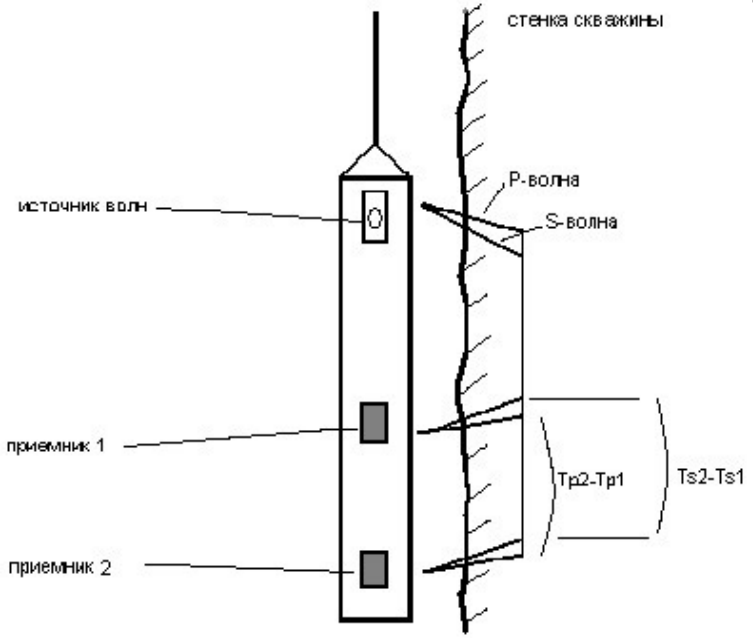
Скорость распространения продольных волн и интервальные времена в различных средах

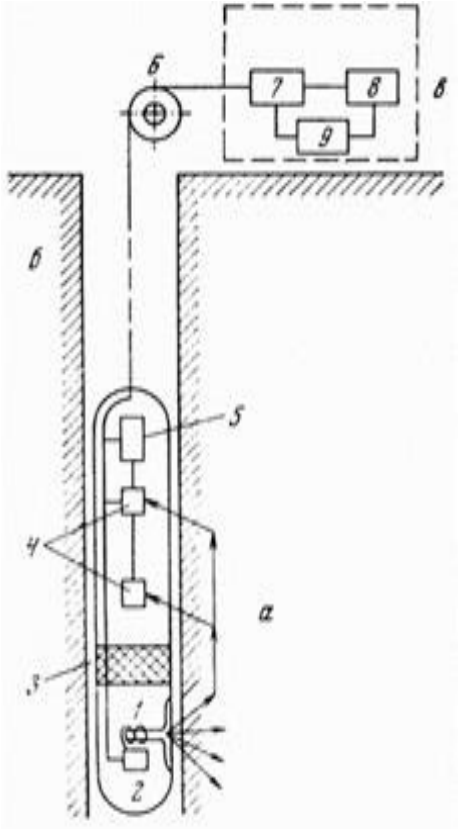
- Скорость упругих волн в горных породах зависит от минерального состава пород, их структурно-текстурных особенностей, пористости и влажности, а также от давления, под которым эти породы находятся.
- Более подробные сведения о скорости продольных и поперечных волн приведены в следующей таблице.

Горная порода, среда	V_P, км/с	$\Delta T_P = \frac{1}{V_P}$, мкс/м
Глина	2-3,3	300-500
Песчаник	3-5,7	175-333
Известняк	2,6-7,1	141-385
Каменная соль	4,2-4,8	208-238
Кристаллические породы	4,5-6,5	154-222
Ископаемый уголь	1,9-2,9	340-525
Цементный камень	2,5-3,5	286-400
Сталь	5,2-5,7	175-192
Воздух	0,33	3030
Нефть	1,3-1,4	714-770
Вода	1,5	667
Буровой раствор	1,5-1,7	588-667

Схема прибора АК

При акустическом каротаже используют обычно так называемые «трехэлементные» зонды. Такой **зонд состоит** из двух источников – **излучателей упругих волн** и одного **приемника** или, наоборот, двух приемников и одного излучателя. Упругие колебания измеряют с помощью двух пьезоэлектрических сейсмоприемников, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5 - 2 м друг от друга и от излучателя. Между излучателем и ближайшим приемником устанавливается звукоизолятор, например, из резины, препятствующий передаче упругих ко

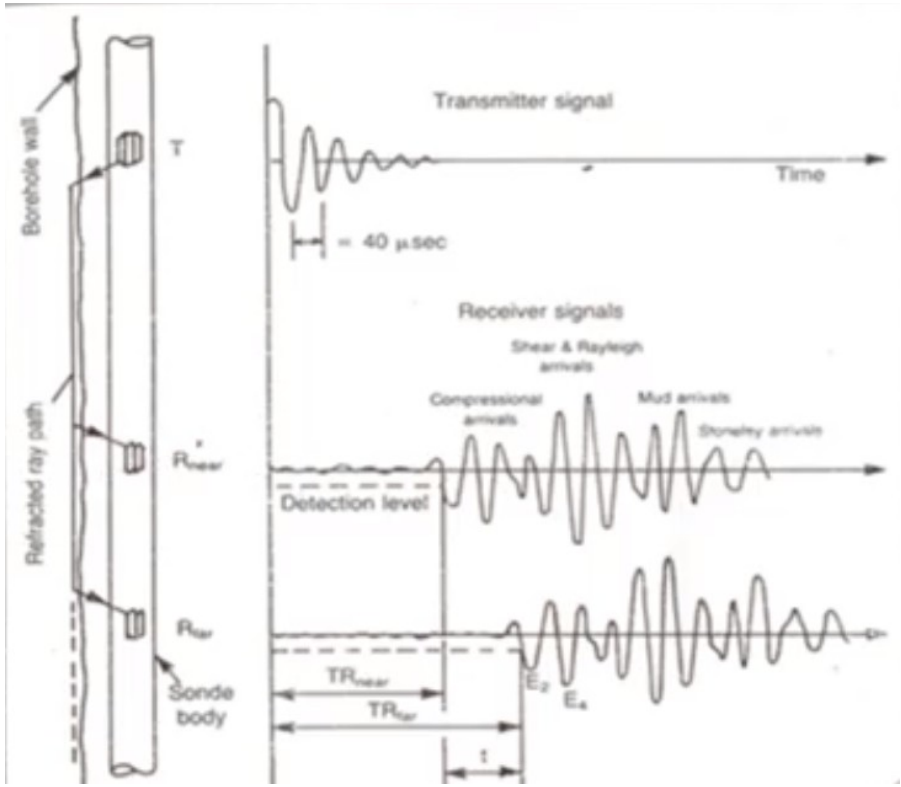


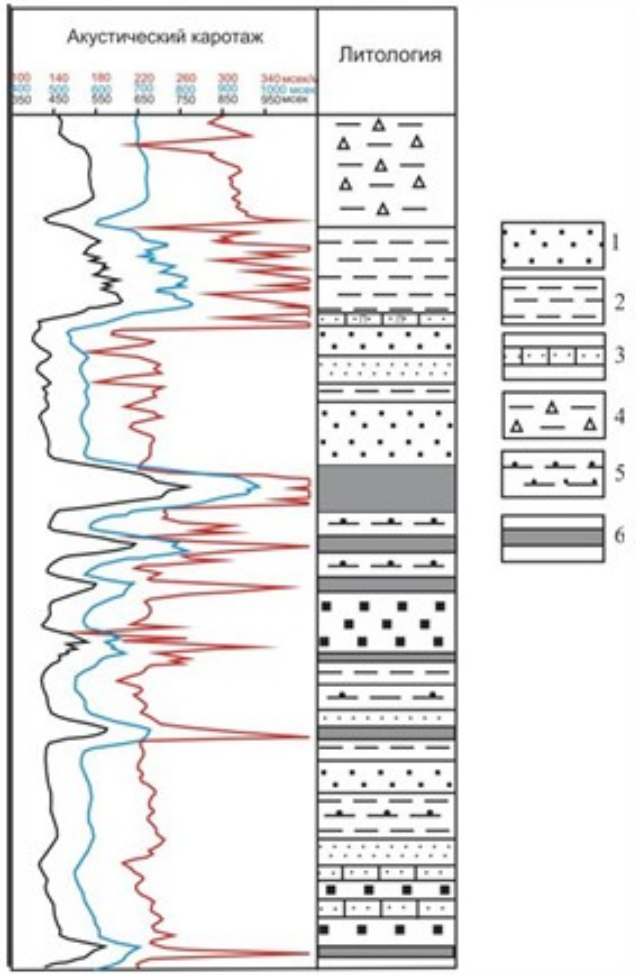


а – скважинный снаряд; б - кабель; в-наземная аппаратура; 1 –излучатель; 2 – генератор акустических волн ; 3 – акустический изолятор; 4 – приемники; 5 – усилитель; 6 - блок-баланс; 7 - усилитель; 8 – регистратор; 9 - блок питания.

Модификации АК:

- **АК по затуханию.** Динамические характеристики связаны с поглощающими свойствами исследуемой среды: относительными амплитудами продольных и поперечных колебаний от ближнего и дальнего излучателей – A_1 и A_2, коэффициентом поглощения для упругих волн, измеряемым в дб/м. Регистрируют амплитуды колебаний A_1 и A_2 и определяют коэффициент поглощения энергии (параметр затухания) α ($м^{-1}$) на участке породы между элементами зонда: $\alpha = (1/l) \ln (A_1/A_2)$.
- Метод АК используется для выделения в разрезе трещинно-кавернозных зон и для определения характера насыщения пласта. В современной аппаратуре одновременно регистрируются 6 параметров: t_1, t_2, Δt, A_1, A_2, α.





При акустических исследованиях горных пород измеряют кинематические и динамические характеристики упругих волн.

Кинематические характеристики определяют скорость распространения упругих волн в породах: время распространения упругих колебаний между приемником и ближним и дальним излучателем – T_1 и T_2, измеряемое в мкс; интервальное время распространения упругой волны ΔT, измеряемое в мкс/м – акустический каротаж по скорости.

Рис. 1. Пример интерпретации кривой АК по скорости: 1 – песчаники пористые; 2 – глины; 3 – известняки; 4 - битуминозные аргиллиты; 5 – алевролиты; 5 – угли

Динамические характеристики связаны с поглощающими свойствами исследуемой среды: относительными амплитудами продольных и поперечных колебаний от ближнего и дальнего излучателей – А1 и А2, измеряемым в мВ; коэффициентом поглощения а для упругих волн, измеряемым в дБ/м – акустический каротаж по затуханию. Упругие свойства горных пород, т.е. скорости распространения упругих волн в них обусловлены их минеральным составом, пористостью и формой пустотного пространства. В терригенном разрезе максимальные значения ΔТ и соответствуют углям и глинам, минимальные – плотным песчаникам и алевролитам неколлекторам, промежуточные значения ΔТ и соответствуют песчаникам и алевролитам с различной пористостью и глинистостью (рис. 18). В карбонатном разрезе величина ΔТ отражает в основном пористость, отмечая минимальными показаниями плотные участки разреза, максимальными – межзерновые коллекторы. В трещинных зонах значения существенно возрастают. Прослои мергелей отличаются повышением величин ΔТ и . Максимальные показания ΔТ и , как и в терригенном разрезе, соответствуют пластам глин

Решаемые задачи методом АК

Итак, данные АК применяются для решения следующих задач:

В открытом стволе:

- -литологическое расчленение разреза;
- -определение коэффициента пористости коллекторов.

В обсаженной скважине:

- -контроля качества цементажа эксплуатационных колонн.
- -контроля технического состояния труб эксплуатационной колонны.

Акустический метод контроля качества цементажа использующий свойства преломленной волны, позволяет:

- -определять высоту подьема сформировавшегося цементного кольца (при определенных условиях);
- -определять интервалы бездефектного цементного кольца;
- -выделять интервалы с дефектами цементного кольца и оценивать размеры дефектов;
- -определять влияние механических и других воздействий на состояние цементного кольца;

Для изучения литологического состава пород используются большинство существующих методов ГИС в различных сочетаниях. Оптимальный комплекс ГИС выбирается в зависимости от конкретных геологических условий разреза. Это связано с тем, что каждый из методов ГИС обладает разной эффективностью при «узнавании» той или иной литологической разновидности пород. Классификация осадочных горных пород основывается на различии их физических и химических свойств. Исследование разрезов скважин по материалам ГИС также базируется на различии физических свойств пород, которые, однако, нельзя отождествлять с физическими параметрами пород. Это своеобразные «геофизические» параметры: удельное электрическое сопротивление (КС), естественная радиоактивность (ГК) и т.п. Необходимо подчеркнуть, что при геологической интерпретации основное значение имеют не абсолютные величины тех или иных параметров, а их соотношения.

Выделение коллекторов и определе- ние их параметров осуществляется после литологического расчленения разреза скважины. Породы-коллекторы способны вмещать нефть и газ и отдавать их при разработке. Они являются основными объектами поисков и изучения методами ГИС в скважинах поиско-
вого, разведочного и эксплуатационного бурения. В природных ус ловиях в качестве коллекторов чаще всего выступают песчаные, алевритовые и карбонатные отложения.

Рассмотрим методику литологического расчленения и выделения коллекторов на примере терригенных и карбонатных отложений

Терригенный разрез

Литологическое расчленение разреза по данным геофизических исследований скважин (ГИС) проводят в два этапа:

сначала разделяют породы на **коллекторы** и **неколлекторы**, а затем среди коллекторов и неколлекторов выделяют **отдельные литологические разности** [22].

Песчаные и алевритовые коллекторы выделяются в терригенном разрезе наиболее надёжно по совокупности **диаграммы потенциального зондирования (ПС)**, **гамма-каротажа (ГК)** и **кавернограммы**.

Против чистых коллекторов наблюдается следующее:

- наибольшее отклонение кривой ПС от линии глин;
- минимальная активность по кривой ГК;
- образование глинистой корки и **сужение диаметра скважины** на кавернограмме (рис. 1.1).

Присутствие **глинистого материала** в горной породе влияет на показания ГИС.

Поэтому **песчаные коллекторы**, содержащие заметное количество глинистого материала, принято выделять в отдельную группу — **глинистые коллекторы**.

Глинистые коллекторы, особенно при их большой относительной глинистости, **не всегда уверенно выделяются** на диаграммах ГИС.

В терригенном разрезе **неколлекторы** делятся на **глинистые** и на **все прочие вмещающие породы**.

По данным ГИС **безошибочно можно определить только группу глинистых пород** (собственно глины, аргиллиты, глинистые сланцы).
Все эти породы характеризуются:
- **увеличением диаметра скважины** по сравнению с номинальным (КВ);
- **низким кажущимся удельным электрическим сопротивлением (КС)**;
- **наиболее высокими показаниями ПС и ГК**;
- **низкими показаниями НГК и микрозондов**;
- **наиболее высокими значениями Δt (по акустическому каротажу — АК)**.

Среди прочих вмещающих пород можно выделить по крайней мере **два класса неколлекторов** — с различной **глинистостью** и **пористостью**.

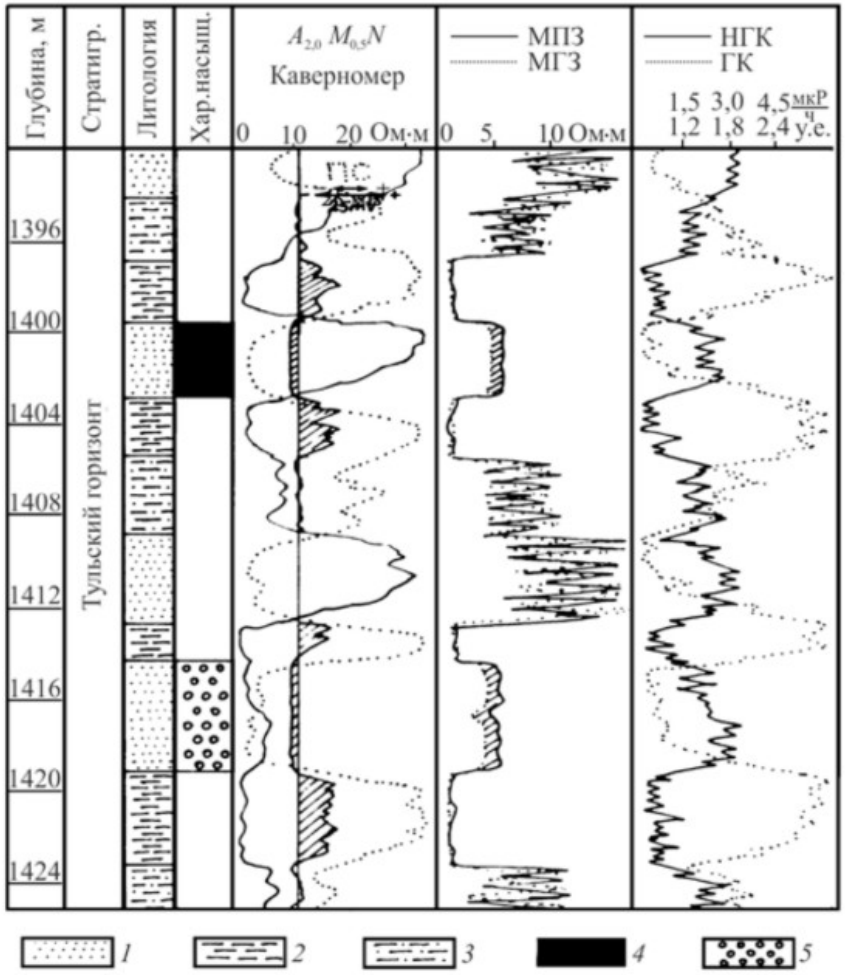


Рис. 1.1. Литологическое расчленение терригенного разреза и выделение коллекторов по данным ГИС: *1* – песчаник; *2* – алевролит; *3* – аргиллит; *4* – нефтенасыщенный коллектор; *5* – водонасыщенный коллектор. Заштрихованные участки: на кавернограмме – признаки коллектора (уменьшение диаметра скважины) и глинистых пород (увеличение диаметра скважины); на кривой микрокаротажа – признаки коллектора

К первому классу относятся песчаники и алевролиты, характеризующиеся более низкой пористостью и более высокой глинистостью по сравнению с худшими коллекторами; они отмечаются высокими показаниями на диаграммах БКЗ, БК и микрозондов, низкими значениями t на диаграммах АК, повышенными показаниями НГК, промежуточными значениями на диаграммах ПС и ГК, но более близкими к показаниям в худших коллекторах.

Второй класс включает глины, содержащие песчаный, алевритовый или карбонатный материал, для которых характерны показания методов ГИС, типичные для глин. Некоторое их отличие заключается в небольшом увеличении удельного сопротивления по сравнению с сопротивлением чистых глин, в наличии незначительных отрицательных аномалий ПС по отношению к линии чистых глин и в незначительном понижении радиоактивности по сравнению с чистыми глинами на диаграмме ГК.

В терригенном разрезе возможно также присутствие неколлекторов, представленных песчаниками и алевролитами с карбонатным цементом и плотными известняками. Эти породы отмечаются обычно низкими показаниями на кривых ПС и ГК – такими же, как чистые коллекторы. Наряду с этим для них характерны высокие показания на диаграммах НГК, микрозондов и минимальные значения t на кривых АК.

Карбонатный разрез. При расчленении карбонатного разреза по данным ГИС сначала выделяют межзерновые коллекторы, а в остальной части разреза проводят литологическое расчленение с выделением сложных коллекторов [17, 22].

В зависимости от структуры порового пространства и условий фильтрации карбонатные коллекторы можно условно разделить на два типа: **гранулярные** (с межзерновой пористостью) коллекторы и **трещинные** (трещинные, кавернозные и смешанного типа) коллекторы.

Гранулярные карбонатные коллекторы имеют такую же геофизическую характеристику, как и песчаные коллекторы. Выделение коллекторов в этом случае заключается в расчленении разреза на глинистые и неглинистые породы и в выявлении среди последних высокопористых разностей.

Расчленение карбонатного разреза, представленного тонким переслаиванием плотных и пористых разностей, по данным ГИС в общем случае затруднительно. Наиболее надежные результаты, как и в случае терригенного разреза, могут быть получены по данным микрокаротажа.

Трещинные и кавернозно-трещинные коллекторы имеют весьма широкое распространение среди карбонатных пород. На каротажных кривых они не имеют четко выраженных характеристик, и распознавание их в разрезе скважины по обычному комплексу ГИС связано с большими трудностями.

Глины хорошо выделяются по диаграммам ГИС так же, как и в терригенном разрезе. **Мергели** отмечаются повышенными значениями КС — более высокими, чем глины, но меньшими, чем известняки и доломиты.

На диаграммах НГК мергелям отвечают промежуточные показания, а на кавернограмме — обычно показаниям номинального диаметра скважины.

Низкопористые известняки и доломиты расчленяются на классы неколлекторов и кавернозно-трещинных коллекторов по фильтрационным свойствам и на классы известняков, доломитов и промежуточных литологических разностей по минеральному составу скелета. Первая задача может быть решена по диаграммам стандартного комплекса и специальных исследований ГИС, вторая — по данным комплексной интерпретации диаграмм ННК-Т, ГГК и АК.
Максимальные значения сопротивления свойственны **плотным карбонатным породам**; пористым и проницаемым разностям — более низкие значения сопротивления. Естественная радиоактивность в чистых известняках и доломитах **минимальна** и возрастает с повышением глинистости этих пород. Эта зависимость настолько очевидна, что по данным ГК можно оценивать **степень глинистости карбонатных пород**.
Показания **НГК** против плотных пород максимальные, в высокопористых и кавернозных породах существенно понижены. **Глинистые карбонатные породы** также отмечаются низкими значениями НГК. Отличить их от пористых пород удается путем сопоставления диаграмм НГК с диаграммами ГК и ПС, на которых глинистые породы четко отображаются.

В **плотных карбонатах** диаметр скважины соответствует номинальному, в глинистых разностях и (очень редко) в кавернозных породах отмечается **увеличение диаметра скважины**, против пористых пород наблюдается образование глинистой корки. Следует отметить, что проследить те небольшие изменения диаметра скважины удается только по **кавернограмме повышенной точности**.
Известняки и доломиты по данным ГИС часто нельзя отличить от песчаников, а также от гипса (рис. 1.2).

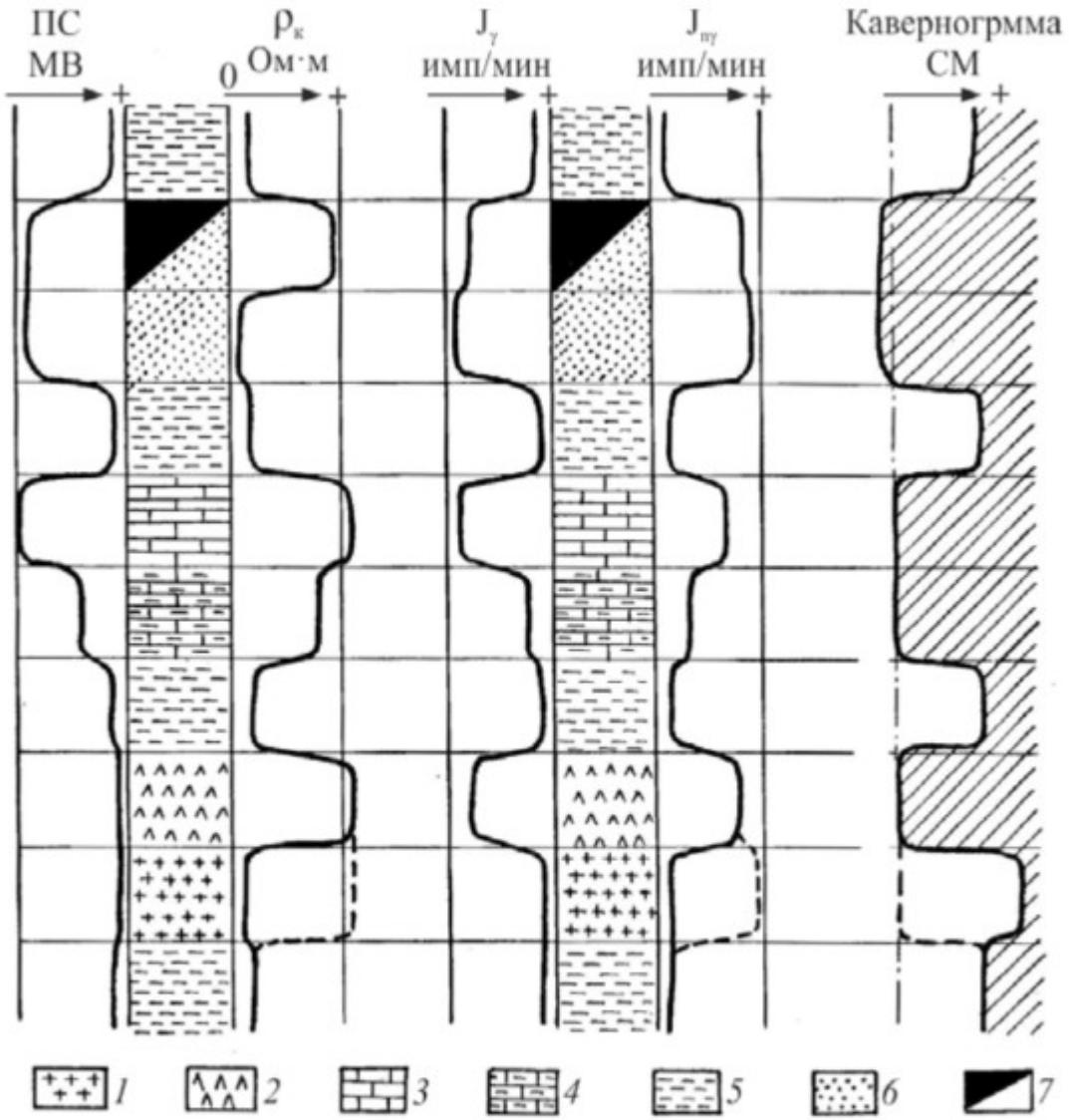


Рис. 1.2. Характеристика различных горных пород по конфигурации кривых ГИС: *1 – соль; 2 – ангидрит;3 – известняк или доломит плотный; 4 – известняк или доломит глинистые; 5 – глинистая порода; 6 – песчаник; 7 – нефтенасыщенный коллектор*