

PP02

Study of the Surface Area Water-Saturated Sand-Siltstone-Rocks by NMR-Relaxometry Data

M.Y. Shumskayte* (IPGG SB RAS) & V.N. Glinskikh (IPGG SB RAS)

SUMMARY

The paper deals with studying the surface area of water-saturated sand-siltstone rocks by NMR relaxometry. There are two groups of samples, each of which is addressed separately. The evaluation of the core samples surface area characterized by clay-bound and capillary-bound fluids is estimated by NMR relaxometry data. Surface area, clay content and resistivity relations are revealed and studied in detail using NMR method and the results of laboratory core analysis. They demonstrate the interconnection of electrophysical, lithological and relaxational data. It is established that the surface area value is influenced both by clay content and its type, as well as by surface properties of sand-siltstone particles

Изучение удельной поверхности водонасыщенных песчано-алевритовых пород по данным ЯМР-релаксометрии

*М.И. Шумская**, *В.Н. Глинских (ИНГГ СО РАН)*

Введение

Одним из современных методов лабораторных исследований петрофизических свойств пород-коллекторов является импульсная ЯМР-релаксометрия. Этот метод, получивший за последние два десятилетия широкое распространение, позволяет экспрессно и дистанционно получать исчерпывающую информацию о геологической среде. За это время произошел качественный скачок в области развития и применения метода ЯМР, обусловленный появлением аппаратуры нового поколения и совершенствованием алгоритмов обработки и интерпретации данных ЯМР-измерений. Основными направлениями его применения являются лабораторные исследования образцов породы, шлама и их фильтрационно-емкостных свойств, а также изучение ЯМР-свойств пластовых флюидов.

Эффективная пористость и объемы свободного и связанного флюида являются главными параметрами, получаемыми методом ЯМР, по которым в последующем рассчитываются все остальные параметры и характеристики. Поскольку, количество и тип глинистых минералов оказывают существенное влияние на ЯМР-сигнал, интерпретация результатов, полученных на образцах керна с увеличенной долей глинистой фракции, приводит к погрешностям в определении этих параметров [2, 4, 6]. В литературе встречается мало работ, посвященных детальному анализу влияния глинистости на ЯМР-сигнал.

Описание исследуемых образцов керна

Получены результаты ЯМР-измерений около трехсот песчано-алевролитовых образцов керна из терригенных разрезов нефтяных скважин. Они представлены нижнемеловыми мелко- и среднезернистыми песчаниками и алевролитами с глинистым цементом порового типа и характеризуются коэффициентом пористости от 14 до 43% и глинистостью – от 5 до 47%. В состав глины входят каолинит и хлорит с незначительными примесями гидрослюда и смешанослойных соединений.

Глина в рассматриваемых образцах представлена рассеянным (дисперсным) типом распределения, образующемся вследствие осаждения и преобразования глин уже накопившегося осадка. Данный тип глины значительно снижает проницаемость породы, увеличивая при этом ее водонасыщенность за счет адсорбционных свойств глины [3, 5]. Глина данного типа распределения может быть представлена каолинитом, хлоритом или гидрослюдой. Известно, что каолинит распределяется в виде дискретных частиц, имеющих размерность около 10-20 мкм и небольшую удельную поверхность. Хлорит выстилает поры частицами порядка 1-2 мкм и обладает большой удельной поверхностью. У гидрослюдистых минералов, закупоривающих поры, удельная поверхность соизмерима с частицами хлорита, или больше.

Для получения наиболее полной информации об образцах керна использовались результаты следующих методов: гранулометрический анализ (количественное содержание глинистой фракции), рентгеноструктурный анализ (тип глинистых минералов), центрифугирование (остаточная насыщенность), фотографии, полученные с помощью электронного микроскопа (пространственное распределение частиц), и ЯМР-релаксометрия (времена поперечной релаксации при 100% и остаточном насыщении).

На основе анализа полученных результатов выделяются две группы образцов. Песчаники с коэффициентом пористости в диапазоне 20-40% со средним значением 28%, с содержанием глины – 5-47% со средним значением 19%, в составе которой преобладает каолинит. Алевролиты с коэффициентом пористости – 14-19% со средним значением 16%, в составе глинистой фракции преобладает хлорит, ее содержание – 8-21% со средним значением 12%. На рисунке 1 приведены фотографии шлифов типичных образцов этих групп.

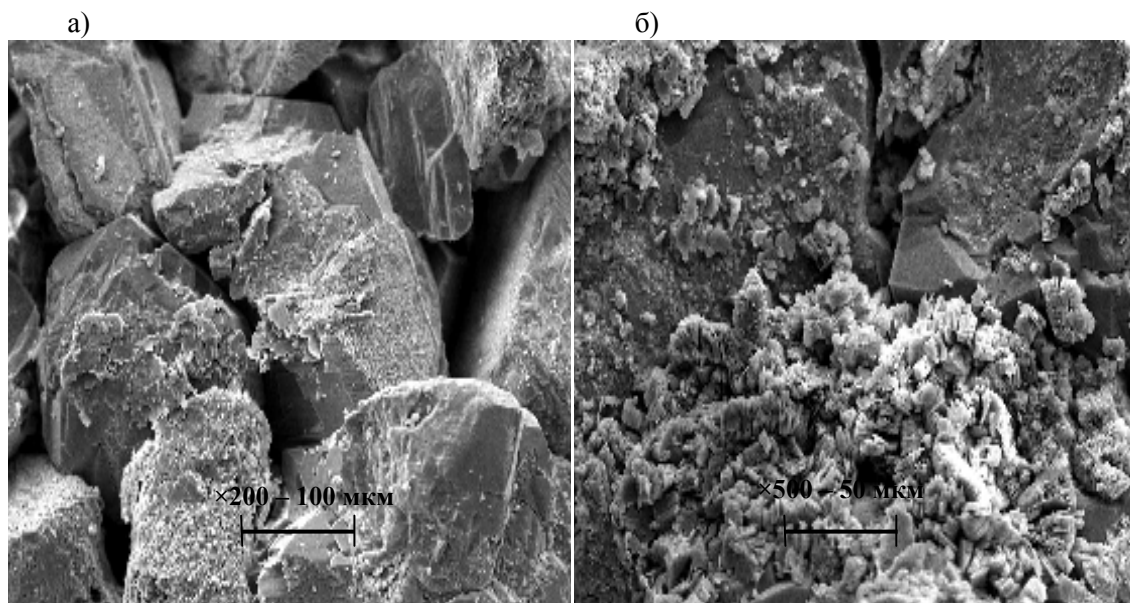


Рисунок 1 Фотографии илифлов типичных образцов песчаника с каолиновой глиной (а) и алевролита с хлоритовой глиной (б).

Оценка удельной поверхности с использованием ЯМР-релаксометрии

Глинистые минералы имеют большую удельную поверхность, обусловленную размерностью глинистых частиц и удерживающими свойствами их поверхности, что отражается на результатах ЯМР-измерений. Оценка удельной поверхности по ЯМР-данным заключается в нахождении отношения суммарного связанного флюида к свободному, характеризующих поверхностные и объёмные свойства. Определяемая таким образом удельная поверхность соответствует общей удельной поверхности скелета и глинистой фракции и связана с временем

поперечной релаксации следующим выражением: $\frac{1}{T_2} = \rho \frac{S}{V}$. Здесь ρ – релаксационная

активность породы, определяющая интенсивность релаксационных процессов, происходящих вблизи поверхности твердой фазы [4, 8, 9, 10]. С увеличением доли глинистости и удельной поверхности релаксационная активность уменьшается.

Отметим, что величина удельной поверхности песчаных образцов зависит главным образом от содержания глины и её типа. На величину удельной поверхности алевролитов значительно влияет и размер самих частиц алевролита, что затрудняет оценку удельной поверхности непосредственно глинистой фракции. В работе анализ удельной поверхности, полученной по ЯМР-характеристикам, приведен только для песчаных образцов.

Как известно, петрофизические параметры и удельное электрическое сопротивление (УЭС) насыщенных песчаников связаны уравнением Дахнова-Арчи [1, 7]. Эта основополагающая эмпирическая зависимость ограничивается только «чистыми» песчаниками с непроводящим скелетом и не учитывает глинистость, которая существенно влияет на общее УЭС породы. При изучении УЭС также необходимо учитывать пространственное распределение глинистых минералов. На рисунке 2 приведены установленные зависимости УЭС от глинистости и удельной поверхности. Установленные зависимости с высоким коэффициентом аппроксимации ($R^2 > 0,9$) хорошо описывают как низко-, так и высокоомные образцы в широком диапазоне изменения глинистости. С увеличением удельной поверхности, обусловленным изменением содержания глины, повышается доля глинисто-связанного флюида, что приводит к уменьшению УЭС. Поскольку удельная поверхность в значительной степени определяется содержанием глинистых минералов, зависимости практически совпадают.

На рисунке демонстрируется связь электрофизических, литологических и релаксационных данных и подтверждается возможность оценки удельной поверхности по данным ЯМР.

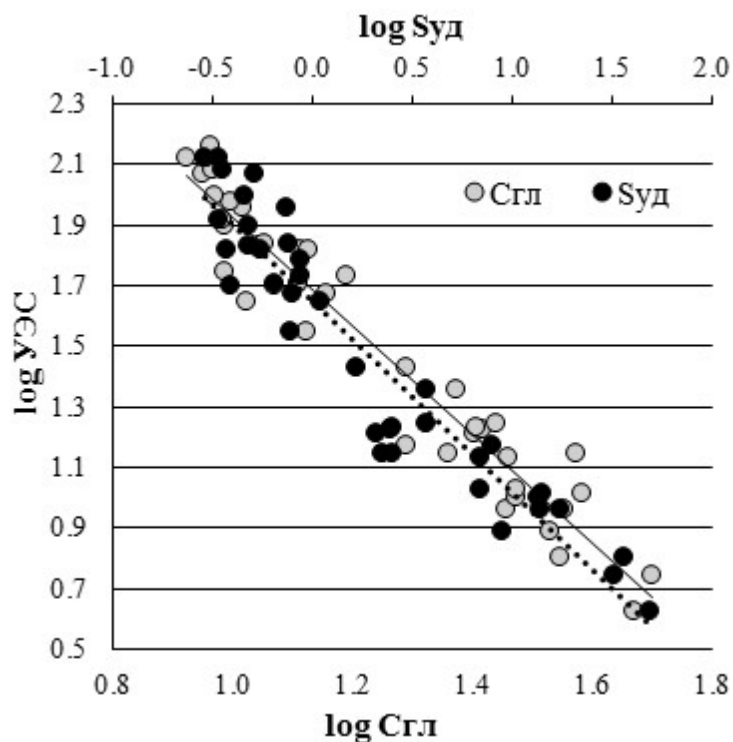


Рисунок 2 Зависимость удельного электрического сопротивления от глинистости и удельной поверхности.

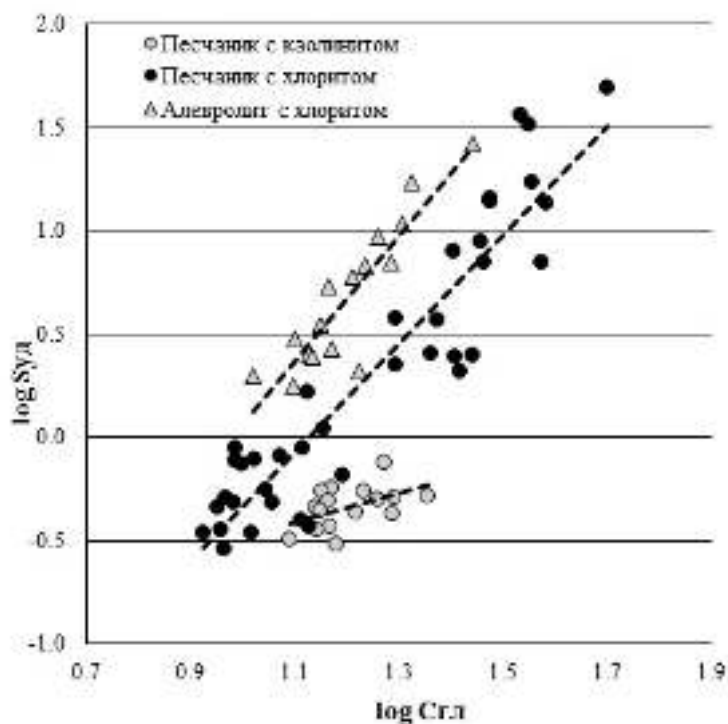


Рисунок 3 Зависимость удельной поверхности от глинистости.

На основе детального анализа связи удельной поверхности и глинистости для исследуемых образцов выделяются три подгруппы (рисунок 3). Первая и вторая подгруппы представлены песчаниками с каолинитовой и хлоритовой глиной, третья – алевролитами с хлоритовой глиной. Для всех подгрупп характерно увеличение удельной поверхности с ростом глинистости. В песчаниках с каолинитовой глиной удельная поверхность слабо меняется с ростом глинистости. В алевролитах с хлоритовой глиной это увеличение происходит

значительно быстрее, что связано с поверхностными свойствами, как глинистых, так и самих частиц алевролита. Подгруппа песчаников с хлоритовой глиной является промежуточной между первой и второй и характеризуется существенным увеличением удельной поверхности с изменением содержания глины.

Таким образом, по ЯМР-данным установлено, что количество каолининовой глины незначительно влияет на изменение удельной поверхности в отличие от хлоритовой. Даже незначительное изменение ее содержания приводит к увеличению удельной поверхности. Наряду с этим, частицы алевролита также оказывают влияние на величину удельной поверхности.

Выводы

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы. Проведена оценка удельной поверхности образцов керна по данным ЯМР-релаксометрии, которая характеризуется глинисто- и капиллярно-связанными флюидами. Выявлены и детально изучены зависимости удельной поверхности, глинистости и удельного электрического сопротивления заглинзированных образцов с использованием метода ЯМР и результатов лабораторных исследований керна. Установлено, что на величину удельной поверхности влияют как объемное содержание и тип глинистых минералов, так и поверхностные свойства песчано-алевритовых частиц.

Библиография

1. Дахнов, В.Н. [1941] *Каротаж скважин, интерпретация каротажных диаграмм*. М.: Гостоптехиздат, 496.
2. Джафаров, И.С., Сынгаевский, П.Е. и Хафизов, С.Ф. [2002] *Применение метода ядерного магнитного резонанса для характеристики состава и распределения пластовых флюидов*. М.: Химия, 439.
3. Доналдсон, Э.Ч. и Тиаб, Д. [2009] *Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов*. М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 840.
4. Коатес, Дж.Р., Хиао, Л.Ч. и Праммер, М.Д. [2001] *Каротаж ЯМР. Принципы и применение*. Хьюстон: Халлибуртон Энерджи Сервисез, 342.
5. Саркисян, С.Г. и Котельников, Д.Д. [1971] *Глинистые минералы и проблемы нефтегазовой геологии*. М.: Недра, 184.
6. Сынгаевский, П.Е. [2001] *Метод ЯМР для характеристики состава и распределения пластовых флюидов*. Хьюстон: Халлибуртон Энерджи Сервисез, 942.
7. Archie, G.E. [1942] The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Trans. AIME*, **146**, 54-62.
8. Chen, J.H., Zhang, J., Jin, G., Quinn, T. and Frost, E. [2012] Capillary condensation and NMR relaxation time in unconventional shale hydrocarbon resources. *53th Annual logging symposium*, Extended Abstract, C.
9. Straley, C., Rossini, D., Vinegar, H., Tutunjian, P. and Morriss, C. [1997] Core analysis by low-field NMR. *The log analyst*, **38**, 84-94.
10. Kenyon, W.E. [1992] Nuclear magnetic Resonance as a petrophysical measurements. *Nuclear geophysics*, **6**(2), 153-171.