

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

О. В. Андреева, Д. В. Новоселов

(ТО «СургутНИПИнефть»; Тюменский государственный нефтегазовый университет)

Ключевые слова: горная порода, объемная и электронная плотности, галит, ангидрит, продуктивный интервал
Key words: rock, the volume and electron density, halite, anhydrite, producing interval

В настоящее время в отделе петрофизики ТО «СургутНИПИнефть» одним из методов изучения полноразмерного керна является плотностной гамма-гамма метод (ГГМ-П). При этом регистрируемое рассеянное γ -излучение определяется электронной плотностью породы δ_e . Электронная δ_e и объемная δ плотности среды, представленной одинаковыми атомами, связаны соотношением $\delta_e/\delta=2(Z/M)$ [1], где Z – атомный номер; M – относительная атомная масса. Поскольку для основных породообразующих минералов осадочных пород пластов группы А, Б и Ю Западной Сибири величина $2(Z/M)$ близка к единице, то есть $\delta_e=\delta$, то регистрируемая величина электронной плотности характеризует также и объемную плотность породы.

Однако на ряде промысловых объектов, в связи с появлением в составе пород компонентов с соотношением δ_e/δ отличным от единицы (водород в битуме, атомы железа, хлора, натрия и другие элементы с $2(Z/M)$ отличным от 1), применяемая методика ($\delta_e=\delta$) не всегда является верной.

На основе анализа данных стандартных (ФЕС) и специальных (электронная плотность, РСА и др.) методов изучения кернового материала определяем содержание галита и ангидрита в поровом пространстве с учетом влияния этих факторов при выделении продуктивных интервалов методами ГИС.

Для примера рассмотрим горизонт, выделенный как продуктивный по данным геофизических исследований (низкая радиоактивность и невысокая плотность), в котором в результате испытаний в одной из скважин получен приток газа и конденсата, в ряде других скважин притока получено не было. Изучение литологических характеристик в шлифах показало, что по минералогическому составу преобладает кварц, составляющий 90-95%, встречаются отдельные участки шлифа, где в порах защемлен ангидрит, галит и битум. При этом по классификации Ханина, песчаники скважины с притоком относятся к коллекторам IV класса, а песчаники скважин, где притока получено не было, – к коллекторам V и VI класса. Допустим, что изначально все коллектора обладали хорошими коллекторскими свойствами, тогда их ухудшение связано, в основном, с очаговым распространением галита и ангидрита (битуминизация для данного района – незначительная).

Для исследований взяли коллекцию образцов (42 шт.), отобранных из рассматриваемых скважин данного горизонта. Оценка объемных содержаний кварца, ангидрита и галита проводилась по известным уравнениям средней объемной и электронной плотности [2]. Учитывая известные значения объемных и электронных плотностей (для кварца – $\delta_{\text{кв}} = 2,65 \text{ г/см}^3$, $\delta_{\text{е кв}} = 2,647 \text{ г/см}^3$, ангидрита – $\delta_{\text{анг}} = 2,95 \text{ г/см}^3$, $\delta_{\text{е анг}} = 2,949 \text{ г/см}^3$, галита – $\delta_{\text{гал}} = 2,18 \text{ г/см}^3$, $\delta_{\text{е гал}} = 2,09 \text{ г/см}^3$), и то, что расчеты проводились для сухих проэкстрагированных образцов (для воздуха объемная плотность $\delta_{\text{ф}} \approx 0$ и электронная плотность $\delta_{\text{е ф}} \approx 0$), эти уравнения примут вид

$$\delta_{\text{сух}} = 2,65k_{\text{кв}} + 2,95k_{\text{анг}} + 2,18k_{\text{гал}} ; \quad (1)$$

$$\delta_{\text{е сух}} = 2,647k_{\text{кв}} + 2,949k_{\text{анг}} + 2,09k_{\text{гал}} , \quad (2)$$

где $\delta_{\text{сух}}$ и $\delta_{\text{е сух}}$ – соответственно объемная и электронная плотности сухого проэкстрагированного образца, а $k_{\text{кв}}$, $k_{\text{анг}}$, $k_{\text{гал}}$ – соответственно объемные содержания песчаника, ангидрита, галита в образце.

При этом учитывается соотношение

$$k_{\text{кв}} + k_{\text{анг}} + k_{\text{гал}} + k_{\text{п}} = 1, \quad (3)$$

где $k_{\text{п}}$ объемное содержание пустот в образце, заполненных воздухом.

Для расчета объемных содержаний галита и ангидрита в образце необходимо решить совместно уравнения (1), (2) и (3), где значения $k_{\text{п}}$ и $\delta_{\text{сух}}$ определяются газоволюметрическим методом.

Для замера электронной плотности δ_e образцов горных пород использовалась установка, созданная на основе гамма-регистратора «EGL 255» (рис.1).

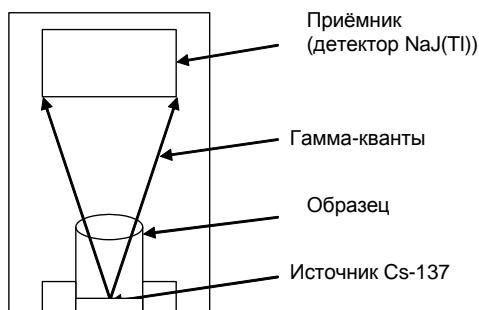


Рис.1. Схема установки по определению электронной плотности

N – поверхность плоской мишени, перпендикулярно к ней падает поток γ -квантов I_0 . Ослабление пучка в веществе вызывается поглощением и рассеянием γ -квантов. Рассеянный γ -квант теряет часть своей энергии при столкновении с электронами и меняет направление распространения. На расстоянии x от внешней поверхности потока γ -квантов ослабляется до величины $I(x)$ по закону:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} . \quad (4)$$

Коэффициент пропорциональности μ называют полным линейным коэффициентом ослабления. Он имеет размерность см^{-1} и численно равен доле моноэнергетических γ - квантов, выбывающих из параллельного пучка на единице пути излучения в веществе.

В результате проведенных измерений, построив зависимость $I(x)$ от высоты каждого образца, по формуле (4), можно определить значение μ .

Затем значение электронной плотности с достаточно высокой точностью определяется по эталонной зависимости $\delta_{\text{есух}}$ от коэффициента ослабления μ . Для построения эталонной кривой выбрали коллекцию образцов-эталонов, электронная плотность которых известна. Такая кривая, построенная по значениям образцов ангидрита, галита, чистого кварцевого песчаника и воды, приведена на рис. 2.

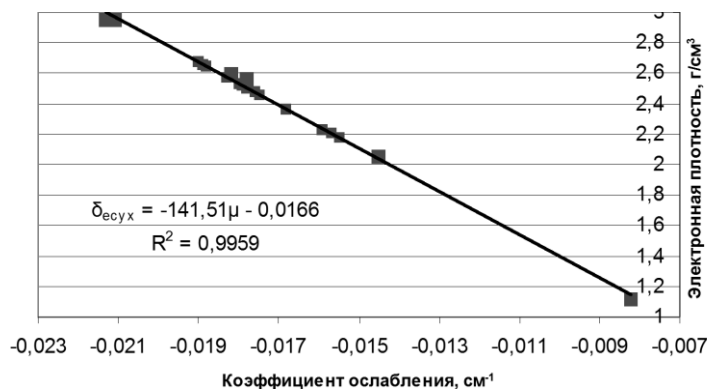


Рис. 2. Зависимость электронной плотности $\delta_{\text{есух}}$ образцов-эталонов от коэффициента ослабления μ

Аппроксимирующее уравнение (линия тренда, см. рис. 2) имеет вид

$$\delta_{\text{есух}} = -141,51\mu - 0,0166 . \quad (5)$$

Уравнение (5) верно в области от 1 до 3 г/см^3 . Отметим также высокий коэффициент корреляции этой зависимости, равный 0,9959 (см. рис. 2).

Далее, в результате расчетов получили значения $k_{\text{нес}}$, $k_{\text{анг}}$ и $k_{\text{гал}}$ для каждого из выбранных образцов. Для последующего анализа выбрали в качестве критерия соотношение δ_e/δ . Ангидрит даёт увеличение объёмной плотности и соотношение $\delta_e/\delta \approx 1$. Галит, в свою очередь, уменьшает объёмную плотность и соотношение $\delta_e/\delta < 1$. На основе этого выделяем три группы образцов:

- 1) образцы, в которых значения объёмной и электронной плотностей соответствуют следующим условиям: $0,96 < \delta_e/\delta < 1$ и $2,42 < \delta < 2,8$, что говорит о возможном присутствии ангидрита, и галита;
- 2) образцы, у которых объёмная плотность $\delta > 2,65 \text{ г/см}^3$ и отношение $\delta_e/\delta \approx 1$, то есть эти образцы не содержат галит ($k_{\text{гал}}=0$);
- 3) образцы, у которых $\delta < 2,65$ и $\delta_e/\delta > 1$, что может свидетельствовать о наличии битума.

Образцы, которые попали в третью группу (битуминизация данных пород не превышает 3%), либо не попали ни в одну из выделенных групп (возможно содержание неучтенных в данной методике элементов), в рамках нашего исследования не рассматривались.

Итак, в образцах, относящихся к первой группе, рассчитаны содержание ангидрита $k_{\text{анг}}$ и галита $k_{\text{гал}}$, откуда установлено, что в среднем $k_{\text{анг}} = 15 - 20\%$, а $k_{\text{гал}} = 5 - 10\%$, при этом $k_{\text{п}}$ не превышает 6%. В образцах, относящихся ко второй группе – $k_{\text{анг}} = 20 - 25\%$, при этом значение $k_{\text{п}} = 1 - 2\%$.

Такое содержание ангидрита и галита в породе необходимо учитывать при выделении продуктивных интервалов, которые характеризуются низкими значениями радиоактивности. Отметим, что плотность породы определяется минеральным составом скелета (в нашем случае это кварц, ангидрит, галит), объемом пустотного пространства и плотностью насыщающего флюида. При этом, интервальное время зависит от соотношения минералов и их взаимного расположения в скелете (ангидрит имеет значение 164-189 мкс/м, галит – 208-238 мкс/м [3]). Для примера рассмотрим литолого-петрофизические разрезы. Представлен разрез, где выделен интервал с низкой радиоактивностью, плотностью 2,5 г/см^3 , который может характеризоваться как продуктивный (рис. 3).

Однако уменьшение интервального времени до 200 мкс, свидетельствует о том, что данный интервал засолен и не является продуктивным.

На рис. 4 представлен разрез, в котором по условиям низкой радиоактивности и плотности породы 2,6 г/см^3 выделен, возможно, продуктивный интервал. По значению интервального времени, которое составляет 190-200 мкс, можно сделать вывод, что данный интервал, скорее всего, ангидритизирован и в какой-то степени засолен (о чём свидетельствуют результаты исследований образцов группы I).

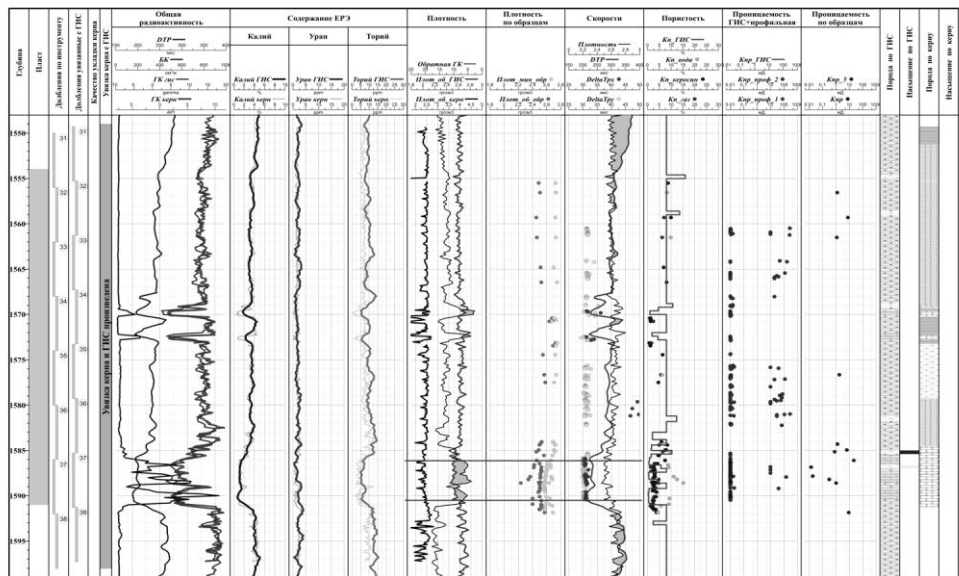


Рис. 3. Литолого-петрофизический разрез исследуемого горизонта с выделенным «интервалом засоления»

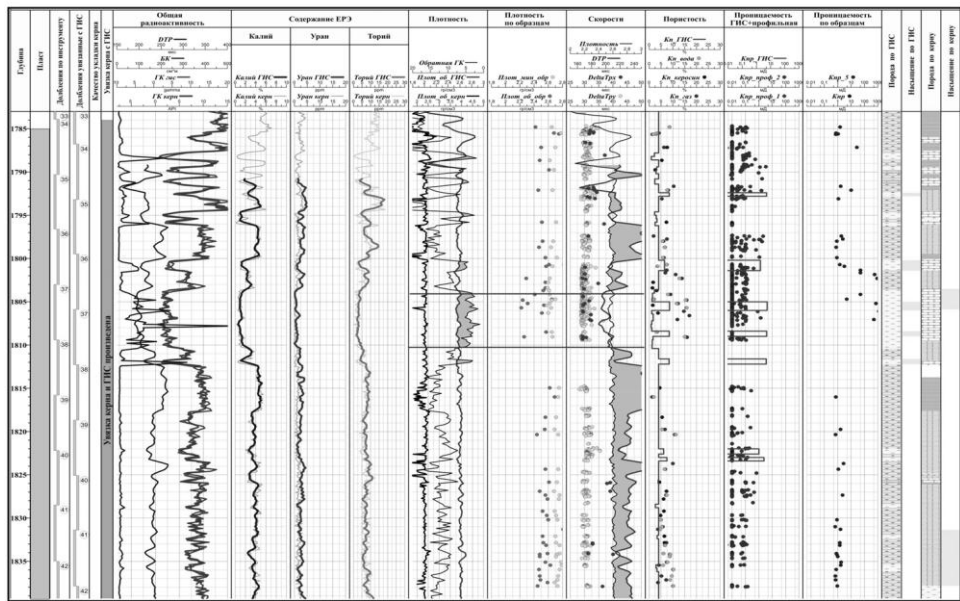


Рис. 4. Литолого-петрофизический разрез исследуемого горизонта с выделенным «интервалом засоления и ангидритизации»

Соответственно, для выделения продуктивного интервала необходимо соблюдение следующих условий: низкая радиоактивность и уменьшение плотности при средней скорости (рис. 5).

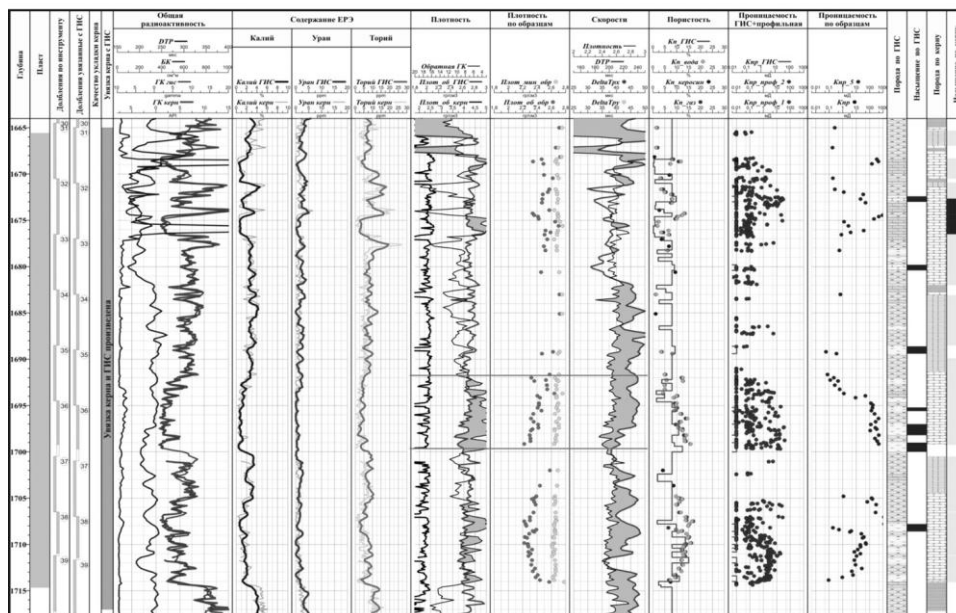


Рис. 5. Литолого-петрофизический разрез исследуемого горизонта с выделенным продуктивным интервалом

Выводы

- Разработана методика проведения экспериментов по определению электронной плотности образцов горных пород на основе гамма-регистратора «EGL 255».
- Определены качественные критерии δ_e/δ и δ , по которым возможно прогнозировать наличие ангидрита и галита в породе.
- Выделены геофизические параметры продуктивных интервалов: низкая радиоактивность – менее 3 мкр/ч, плотность – менее 2,5 г/см³ и значение интервального времени от 215 до 225 мкс/м.
- Предложенная методика позволяет выявлять в породе минералы содержащие элементы, у которых электронная плотность не равна объемной. При этом детальное изучение таких минералов (значение плотностей, интервального времени и т.д.) позволит более точно прогнозировать продуктивные интервалы.

Список литературы

1. Петерсилье В. И., Порожун В. И., Яценко Г. Г. Методические рекомендации по подсчёту геологических запасов нефти и газа объёмным методом. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003.
2. Латышева М. Г., Мартынов В. Г., Соколова Т. Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: учебное пособие для вузов. – М: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 327с.
3. Добрынин В. М. Интерпретация результатов исследований нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1988.

Сведения об авторах

Андреева О. В., научный сотрудник, ТО «СургутНИПИнефть», тел.: 687-216

Новоселов Д. В., ассистент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Тюменский государственный нефтегазовый университет (3452)41-68-89

Andreeva O.V., researcher SurgutNIPIneft, tel.: 687-216

Novoselov D. V., assistant Department «Development and exploitation of oil and gas fields», Tyumen State Oil and Gas University, tel.: (3452) 41-68-89