

УДК 552.54

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ЕСТЕСТВЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В
НИЗКОПОРИСТЫХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ
АНОМАЛЬНОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ**

А.Н. Мингазутдинов, О.В. Семенова

Институт «ТатНИПИнефть»

**IDENTIFY ZONES OF NATURAL FRACTURES IN LOW-
POROSITY CARBONATE SEDIMENTS ON THE BASIS OF
ANOMALOUS RADIOACTIVITY**

A.N. Mingazutdinov, O.V. Semenova

TatNIPIneft Institute

E-mail: MingazutdinovAN@tatnipi.ru

Аннотация. Карбонатные породы содержат более половины мировых запасов нефти, при этом только часть запасов сосредоточена в коллекторах порового типа. Значительное количество углеводородов находится в низкопроницаемых карбонатных породах, которые могут быть коллекторами промышленного значения только при наличии в них открытых трещин. В этой связи актуальной является задача поисков трещинных зон и оценки степени трещиноватости в карбонатных толщах.

Наличие открытых трещин определяют с помощью различных методов, чувствительных к изменениям физических свойств пород, вызванных трещиноватостью. Однако, имеющиеся способы оценки трещиноватости физическими методами имеют ряд недостатков, не являясь прямыми методами.

Целью работы является анализ данных, полученных при спектральном гамма-каротаже (СГК) на керне и их сопоставлении с данными, полученными при изучении полноразмерного керна, для

повышения полноты исследований свойств пластов и выделению интервалов трещинно-разуплотненных зон.

Для определения трещинно-разуплотненных зон на основе явления «аномальной» радиоактивности, анализировались данные полученные при изучении керна по нескольким скважинам. Работа с материалами СГК выявила общую закономерность распределения радиоактивных элементов в интервалах трещиноватых пород.

Анализ материала проведенных исследований показал, что спектральный гамма-метод достаточно объективно решает задачу выявления тектонических трещин. К тому же данный метод оперативен по времени реализации и не требует значительных материальных затрат.

Abstract. Carbonate rocks contain more than half the world's oil reserves, while only a portion of the reserves is concentrated in reservoirs of porous type. A significant amount of the hydrocarbons is in low permeability carbonate rocks, which may be reservoirs of commercial value only in the presence of open cracks. In this regard, relevant is the challenge of finding fracture zones and the assessment of the degree of jointing in carbonate strata.

The presence of open cracks are determined using various methods that are sensitive to changes in the physical properties of rocks, caused by the fracture. However, existing methods for evaluation of fracture by physical methods have several disadvantages, not being direct methods.

The aim of this work is the analysis of data obtained in the spectral gamma-ray logging (SGK) in the core and their comparison with the data obtained when studying full-size core, to increase the completeness of investigation of properties of reservoirs and the allocation of intervals of fractured and loosened zones.

To determine the fractured and loosened zones on the basis of the phenomenon of "abnormal" radioactivity, we analyzed data obtained in the study

of the core in several wells. Work with the content of SGK showed a General pattern of distribution of radioactive elements in the intervals of fractured rock.

Material analysis studies have shown that the spectral gamma method is objectively solves the problem of identification of the tectonic cracks. In addition, this method operational at the time of implementation and does not require significant material costs.

Ключевые слова: спектральный гамма-каротаж, полноразмерный керн, естественную радиоактивность, трещиноватость, низкопроницаемые карбонатные коллектора.

Key words: spectral gamma-ray logging, full-size core, natural radioactivity, fracturing, low-permeability carbonate reservoirs.

Карбонатные породы содержат более половины мировых запасов нефти, при этом только часть запасов сосредоточена в коллекторах порового типа. Значительное количество углеводородов находится в низкопористых карбонатных породах, которые могут быть коллекторами промышленного значения только при наличии в них открытых трещин. В этой связи актуальной является задача поисков трещинных зон и оценки степени трещиноватости в карбонатных толщах [1].

Наличие открытых трещин определяют с помощью различных методов, чувствительных к изменениям физических свойств пород, вызванных трещиноватостью. Среди всех исследований, важнейшим источником информации о параметрах пород является комплекс геофизических исследований скважин (ГИС). В настоящее время существуют специальные методы ГИС, направленные на выявление трещин, пересекающих скважины. Наиболее эффективными являются метод электрического сканирования стенки скважины и способы,

связанные с закачкой в прискважинную зону индикаторов (радиоактивных, нейтронопоглощающих). Но в большинстве скважин комплекс ГИС включает стандартный набор методов. Известно, что наиболее чувствительными к трещиноватости горных пород являются волновой акустический каротаж (ВАК) и электрометрия скважин, в частности, боковой каротаж (БК) [2]. Однако, имеющиеся способы оценки трещиноватости физическими методами имеют ряд недостатков, не являясь прямыми методами. Прямые исследования проводятся на керне и являются наиболее достоверными и информативными.

Целью работы является анализ данных, полученных при спектральном гамма-каротаже на керне и их сопоставлении с данными, полученными при изучении полноразмерного керна, для повышения полноты исследований свойств пластов и выделению интервалов тектонической трещиноватости.

Основой геологической интерпретации данных спектрометрического гамма-каротажа (СГК) является корреляция содержания урана (U), тория (Th) и калия (K) в горных породах глубинных отложений с их литологическими и петрофизическими свойствами, а также генезисом этих отложений.

При СГК определяют суммарную естественную радиоактивность породы и раздельное содержание в ней калия, урана и тория. Для чистых карбонатных пород характерно низкое содержание K, U и Th и соответственно низкая гамма-активность. Обогащение карбонатных пород глинистым материалом отмечается спектральным гамма-каротажем максимумом на кривой ГК и увеличением содержания K, U и Th. В отдельных случаях против карбонатных пород наблюдается повышенная гамма-активность по ГК при низком содержании K и Th, но высокой концентрации U. Эти интервалы совпадают с трещиноватыми и высокопродуктивными зонами карбонатных отложений.

Соединения тория труднорастворимы в воде и являются малоподвижными в процессе выветривания горных пород. Поэтому в осадочных породах торий концентрируется в основном в глинистых и некоторых тяжелых минералах, калий же встречается как во многих горных породах, так и пластовых водах. На содержание калия влияют процессы выветривания и диагенеза.

Соединения урана обладают высокой подвижностью. Поэтому на характер его накопления в пластах осадочных горных пород оказывает влияние взаимодействие физических, химико-минералогических и гидрогеологических факторов.

В результате окислительно-восстановительных реакций, происходящих при движении пластовых вод, ионы урана растворяются в пластовых водах и в присутствии органического вещества или других минералов выпадают в осадок. Поэтому скопления урана обнаруживаются вдоль плоскости геологических нарушений, в зонах естественной трещиноватости или раздробленности пород. [3]

Спектральный гамма-каротаж по керну проводился на ГАММА-Спектрометрической установке «МУЛЬТИРАД-Гео» производства НПЦ «Амплитуда».

Установка представляет собой стационарное лабораторное оборудование, которое состоит из четырех спектрометрических блоков детектирования, расположенных в центральной части установки, блока измерения плотности керна, блока управления механизмом подачи керна, двигателя с редуктором (слева внизу), станины с конвейерной лентой и пульта управления, расположенного справа от блоков детектирования (рис. 1).

Блоки детектирования снабжены свинцовой защитой от внешнего гамма-излучения.

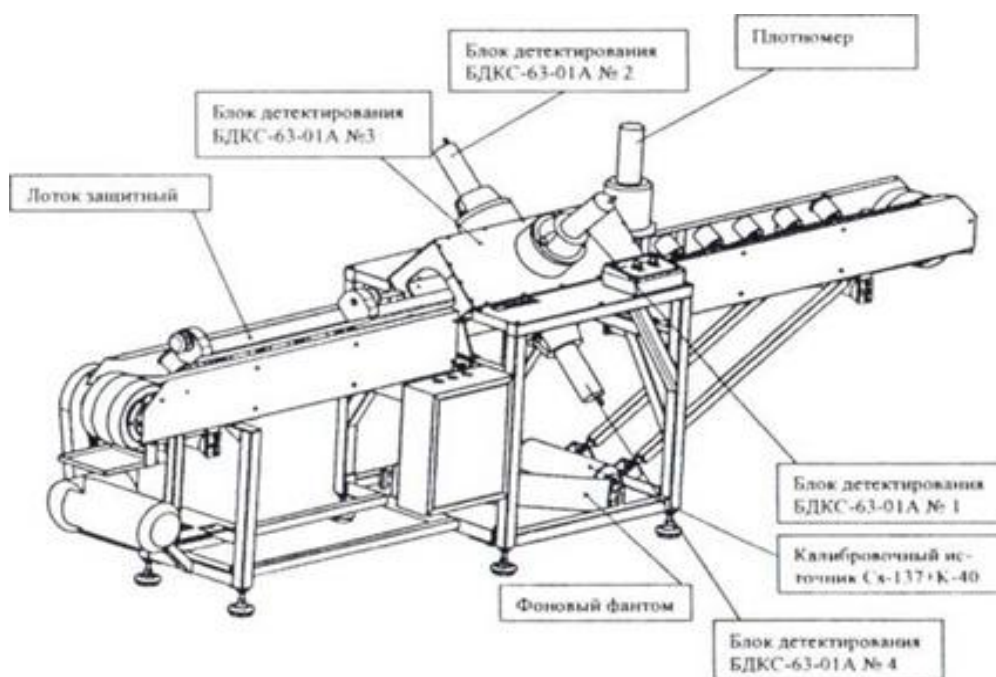


Рис.1 ГАММА-Спектрометрическая установка МКС-01А «МУЛЬТИРАД-Гео»

Для проведения калибровки и контроля сохранности параметров установки в состав установки включены контрольный источник CS-I37+K-40 и фоновый фантом. Контрольный источник имеет активность меньше МЗА и не требует специальных мер в части безопасности, учета и хранения.

Принцип действия установки заключается в получении аппаратного спектра импульсов от детекторов, регистрирующих излучение счетного образца, экспонируемого в фиксированных условиях измерения. Активность радионуклида в исследуемом образце определяется путем обработки полученной спектрограммы на ПК с помощью специального пакета программ «ПРОГРЕСС». Пакет программ «ПРОГРЕСС» позволяет управлять работой каждого спектрометрического тракта, анализировать спектрограмму и идентифицировать радионуклиды, определять активность соответствующих нуклидов в образце, рассчитывать погрешность измерения активности и протоколировать результаты измерений.

Каждый спектрометрический тракт содержит: сцинтилляционный блок детектирования гамма-излучения на основе кристалла йодистого цезия, усилитель, свинцовую защиту от фонового излучения [4-5].

На основе измерений были получены данные по Th (SGRT) - торию, U (SGRU) - урану, K (SGRK) - калию и интегральной гамма-активности (SGR), которые затем вводились в виде Las-файлов в программный пакет «Gintel-97», где увязываются с геофизической непрерывной кривой гамма-каротажа. В результате были построены планшеты данных ГИС с данными ГК-спектрометрии по керну.

В первом и третьем столбцах планшетов представлены каротажные кривые ГИС и ГК-спектрометрии, во втором столбце - в логарифмическом масштабе точно изображены профильные измерения проницаемости (в 10^{-3} мкм²).

Для определения трещинно-разуплотненных зон на основе явления «аномальной» радиоактивности, анализировались данные полученные при изучении керна по нескольким скважинам. Работа с материалами SGK по другим скважинам выявила общую закономерность распределения радиоактивных элементов в интервалах трещиноватых пород [6-7].

С целью анализа эффективности выделения трещин в низкопористой карбонатной породе по данным SGK, автором были выполнены сопоставления данных спектрального гамма-каротажа с данными полученными при исследовании полноразмерного керна скважин № 7426д Ташлиярской площади, № 32923 Березовской площади, № 9916 б Карамалинской площади.

На рисунках 1-3 стрелками отмечены области, на которых отмечаются повышенные значения концентрации урана при пониженных значениях тория и калия. Отсюда можно предположить, что на этих глубинах скважину могут пересекать макротрещины, по которым происходило движение пластовых вод.

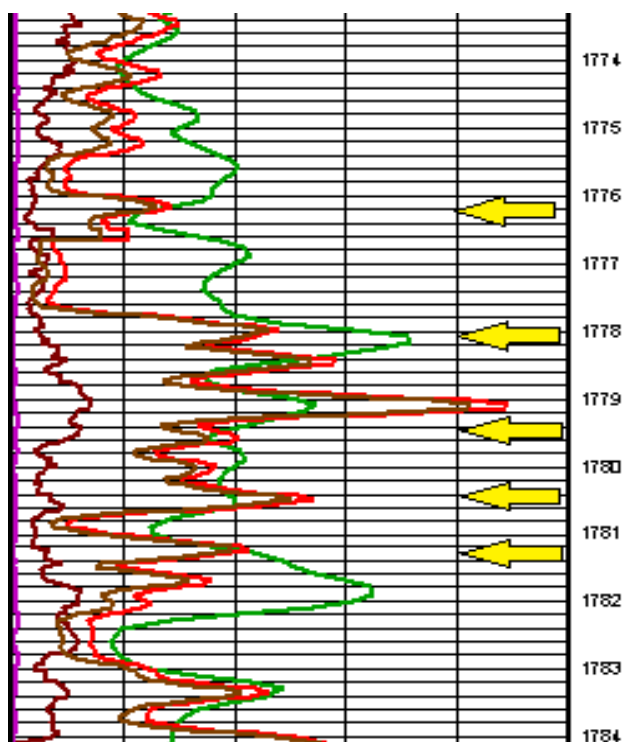
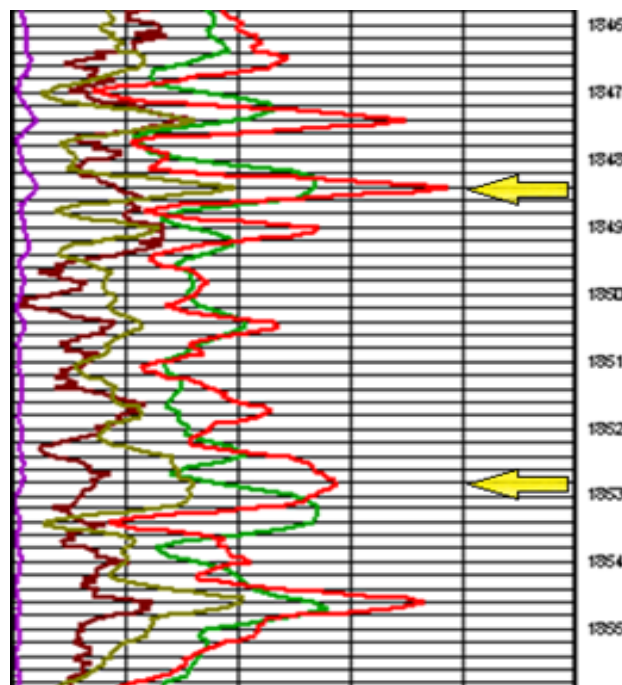


Рис. 1 Кривые спектрального гамма-каротажа в скважине № 7426 д Таулиярской площади в интервале 1777,2-1784,2 м (Th (SGRT) – бурым цветом, U (SGRU) –коричневым цветом, K (SGRK) – фиолетовым цветом, интегральная гамма-активность (SGR) - красным цветом). Зеленым цветом выделена интегральная кривая гамма-каротажа (GR).

Рис. 2 Кривые спектрального гамма-каротажа в скважине № 32923 Березовской площади в интервале 1846,0-1856,0 м (Th (SGRT) – коричневым цветом, U (SGRU) – оливковым цветом, K (SGRK) – фиолетовым цветом, интегральная гамма-активность (SGR) - красным цветом). Зеленым цветом выделена интегральная кривая гамма-каротажа (GR)



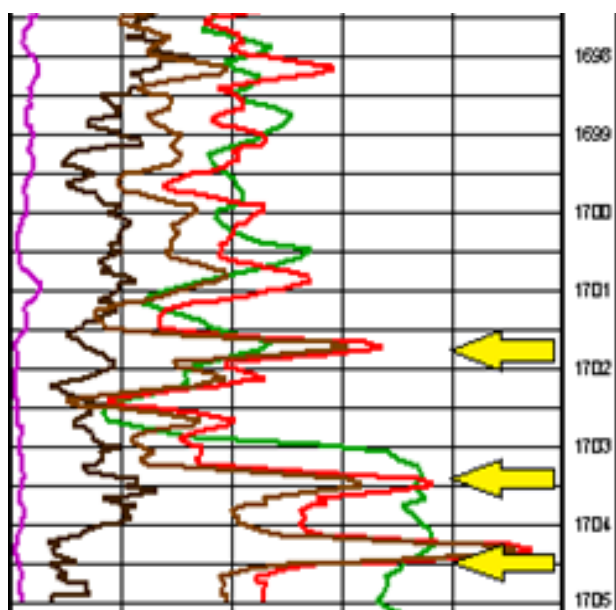


Рис. 3 Кривые спектрального гамма-каротажа в скважине № 9916 б Карамалинской площади в интервале 1696,0-1705,0 м (Th (SGRT) – черным цветом, U (SGRU) – коричневым цветом, K (SGRK) – фиолетовым цветом, интегральная гамма-активность (SGR) - красным цветом). Зеленым цветом выделена интегральная кривая гамма-каротажа (GR).

Данные выводы подтверждаются исследованиями керна. На фотографиях керна (рис. 4 - 6) на соответствующих глубинах желтыми стрелками указаны зоны разуплотнения пород, линиями указаны плоскости трещин.



Рис. 4 Фотографии керна скважины № 7426 д Ташлирской площади



Рис. 5 Фотографии керна скважины № 32923 Березовской площади



Рис. 6 Фотографии керна скважины № 9916 б Карамалинской площади

Нередко наблюдаемым на керне трещинам не соответствуют аномальные значения урана. Например, в скважине № 32923 группа трещин, выделенная розовым цветом. Возможно, это связано с тем, что миграция пластовых флюидов по ним не происходила. При изучении полноразмерного керна, было установлено, что эти трещины не эффективные и затухают в пределах слоя.

Таким образом, была доказана эффективность использования СГК для выделения зоны разуплотнения и трещиноватости в однородных неглинистых карбонатных участках, что особенно актуально в настоящее время при поисках и освоении сложнопостроенных низкопроницаемых карбонатных коллекторов.

К сожалению, исследования керна по СГК носят дискретный характер и ограничены интервалами отбора керна. Использование метода спектрального гамма-каротажа в скважинах без отбора керна позволит получать оперативную информацию о наличии зон разуплотнения и трещиноватости.

Список литературы

1. Оценка трещиноватости низкопористых карбонатных нефтенасыщенных пород по результатам геофизических исследований скважин/А.Р. Князев// автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. - Пермь, 2009 – с.3
2. Интерпретация результатов геофизических скважин: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп./С.С. Итенберг - М.: Недра, 1987. 375с, ил.
3. Влияние качества регистрации и обработки спектрального гамма-каротажа на результаты интерпретации/ Е.А. Сидорчук// Геология, география и глобальная энергия.2010 №3(38) – с.228.
4. Комплексное исследование по профилю полноразмерного керна / К.М. Мусин, Т.Р. Абдуллин // Нефтяное хозяйство. — 2012.— № 9 .— С. 52-54.
5. Комплексное исследование по профилю полноразмерного керна и анализ полученных данных / Т.Р. Абдуллин .— Электрон. текстовые дан. // Молодежная научно-практическая конференция института «ТатНИПИнефть» [Электронный ресурс] [Электронный ресурс] : Секция № 1 «Геология, разработка нефтяных и нефтегазовых месторождений» .— Бугульма, 2012 .

6. Использование спектрального гамма-каротажа для выявления трещиноватых зон в низкопористых карбонатных отложениях (на примере скв. 39516 Западно-Ленинградской площади) / А.Н. Мингазутдинов, О.В. Семенова // Молодежная научно-практическая конференция института «ТатНИПИнефть» [Электронный ресурс] [Электронный ресурс] : Секция № 1 «Геология, разработка нефтяных и нефтегазовых месторождений» .— Бугульма, 2015
7. Выделение зон тектонической трещиноватости карбонатных отложений с использованием метода спектрального гамма-каротажа / А.Н. Мингазутдинов, О.В. Семенова // Сборник докладов научно-технической конференции, посвященной 60-летию ТатНИПИнефть ПАО "Татнефть": 13-14 апр. 2016 г., г. Бугульма / ПАО "Татнефть". — Набережные Челны, 2016 .— С. 90-93.

Сведения об авторах

Мингазутдинов Алмаз Ниязович, инженер, отдел ИСКиУ, институт «ТатНИПИнефть»
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская
Федерация

E-mail: MingazutdinovAN@tatnipi.ru

Семенова Оксана Вячеславовна, инженер, отдел ИСКиУ, институт «ТатНИПИнефть»
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская
Федерация

E-mail: Semenova@tatnipi.ru

Authors

A.N. Mingazutdinov, Engineer, Formation Evaluation and Well Test Department, TatNIPIneft
Institute-PJSC TATNEFT, Bugulma, Republic of Tatarstan, Russia

E-mail: MingazutdinovAN@tatnipi.ru

O.V. Semenova, Engineer, Formation Evaluation and Well Test Department, TatNIPIneft
Institute-PJSC TATNEFT, Bugulma, Republic of Tatarstan, Russia

E-mail: Semenova@tatnipi.ru

Мингазутдинов Алмаз Ниязович

423236, Российская Федерация, Республика Татарстан,

г. Бугульма, ул. Мусы Джалиля, 32

тел.: 8(85594) 78-892

E-mail: MingazutdinovAN@tatnipi.ru