

ных параметров возбуждения ничем не отличаются от бесконтрольного изменения коэффициента усиления на сейсмической станции. В отличие от последнего изменения указанных параметров возбуждения, как правило, не могут быть автоматически учтены МР-фактором, что способно привести к динамическим искажениям окончательных результатов обработки.

Отметим, что в проведенной серии экспериментов примененные параметры линейного группирования источников были далеки от оптимальных, что связано с чрезмерно большим расстоянием между соседними вибраторами в группе, составлявшим около 12 м. Несмотря на это как обработанные, так и необработанные сейсмограммы демонстрируют заметное ухудшение качества при замене линейного группирования источников на группы типа "квадрат". Основной вывод проведенных исследований состоит в том, что вопросам оптимизации группирования следует уделять основное внимание.

УДК 550.832

А. К. Конысов
ТОО "Techno Trading Ltd."
В. Ф. Козяр
ООО "Нефтегазгеофизика"

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ СЛОЖНО ПОСТРОЕННЫХ РАЗРЕЗОВ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Показана высокая эффективность современного комплекса ГИС для количественной оценки коллекторов в сложных карбонатных геологических разрезах.

Поисково-разведочные работы на месторождениях и площадях Западного Казахстана сосредоточены на обнаружении залежей нефти и оценке их запасов в глубокозалегающих юрских и триасовых отложениях. Терригенные осадки юрского возраста сложены чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Коллекторы представ-

лены песчаниками и реже алевролитами. Песчаники кварцевые и кварцево-полевошпатовые, средне- и мелкозернистые, скрепленные глинистым и слабокарбонатным цементом, отдельные пласты представлены глинистыми песчаниками. Алевролиты мелкозернистые, тонкослоистые, сланцеватые, с глинистым цементом. Породы обогащены пиритом, участками битуминозные.

Триасовые отложения сложены преимущественно карбонатными породами. По условиям осадконакопления в них преобладают известняки, интервалами сильно глинистые и доломитизированные, встречаются пласты аргиллитов. Присутствие по всему разрезу глин свидетельствует о накоплении осадков в открытом море, скорее всего в условиях глубокого шельфа. Доломитизация известняков связана со вторичными процессами. Но именно известняки со вторичной доломитизацией согласно известным условиям метабазиса, а также по данным ГИС, как будет показано ниже, характеризуются максимальными фильтрационно-емкостными параметрами.

Геофизические исследования скважин выполняются полным комплексом ГИС, предусмотренным технической инструкцией [4] для аналогичных отложений на территории Российской Федерации. Комплекс содержит все необходимые виды ГИС для оценки технического состояния ствола скважины – инклинометрию, ДС или профилометрию; для определения литологического состава пород и коэффициентов их общей пористости – АК, ГТКП (или ГГК-П), НК, ГК (или СГК), ПС, ДС; определения удельных электрических сопротивлений пород, промытой зоны и зоны проникновения фильтратов промыточной жидкости в проницаемые пласты, а следовательно, их нефтегазонасыщенности ($k_{нт}$) – БКЗ, БК, ИК, МК, БМК. Исследования выполняются скважинными приборами ООО “Нефтегазгеофизика”.

Тем не менее несмотря на столь широкий комплекс исследований выделение коллекторов и количественные определения их параметров (эффективных толщин, коэффициентов пористости (k_p) и нефтегазонасыщенности ($k_{нт}$)) содержат ошибки, если геологическая интерпретация материалов ведется согласно утвердившимся стереотипам, когда первичные данные каждого вида ГИС обрабатываются отдельно без взаимосвязи друг с другом. Полной альтернативой такому подходу служит комплексная интерпретация первичных материалов АК, ГГК-П, НК, ГК, ПС для определения литологического состава и общей пористости пород, а также всех данных электрических

и электромагнитных методов для расчета удельных сопротивлений пород. Одновременная обработка материалов первой группы данных реализуется решением известной системы линейных или нелинейных уравнений, связывающих показания отдельных видов ГИС с объемным содержанием литологических компонентов и пористостью пород [1, 2, 5]. Обработка данных второй группы производится с использованием изорезистивной методики [3].

Продуктивность применяемой комплексной интерпретации подтверждают сопоставления получаемых геологических результатов с выводами, полученными европейскими интерпретационными компаниями.

В скважине месторождения Аксаз продуктивные отложения триаса разбурены на глубинах более 4000 м. Самый простой кроссплоттинг первичных данных (рис. 1) свидетельствует, что вмещающие породы сложены известняками, в больших интервалах глинистыми. Коллекторы представлены полным набором сочетаний литологической пары известняк–доломит: от чистых известняков до чистых доломитов, иногда обладающих значениями вторичной пористости, равными 1–4%. По измеренным значениям АК (Δt_p), ГГК-П (σ), НК (ω) литологическая модель должна содержать в качестве независимых компонентов известняк, доломит, глинистые минералы, пустотное пространство пород.

Расчет литологической модели и коэффициентов общей пористости разреза и коллекторов привел к вполне ожидаемым результатам (рис. 2): коллекторы (выделены цветными линиями) сложены сильно доломитизированными известняками вплоть до вторичных доломитов. Вмещающими породами служат чистые (относительно редко) или глинистые (чаще) известняки, непроницаемые и незатронутые процессами доломитизации. Кроме того, все проницаемые разности пород выделены по превышениям значений интервальных времен Δt_{St} волны Стоунли над нижним граничным значением Δt_{Stp} , которое не может быть меньшим чем $(\Delta t_{ж} + 15 \text{ мкс/м})$.

За малым исключением те же эффективные толщины коллекторов установлены специалистами фирмы Шлюмберже (рис. 2). Итоговая таблица результатов, полученных фирмой, не дает представлений о признаках и критериях выделения коллекторов. Несколько отличаются между собой значения коэффициентов нефтегазонасыщенности коллекторов. Это могло произойти за счет применения различных

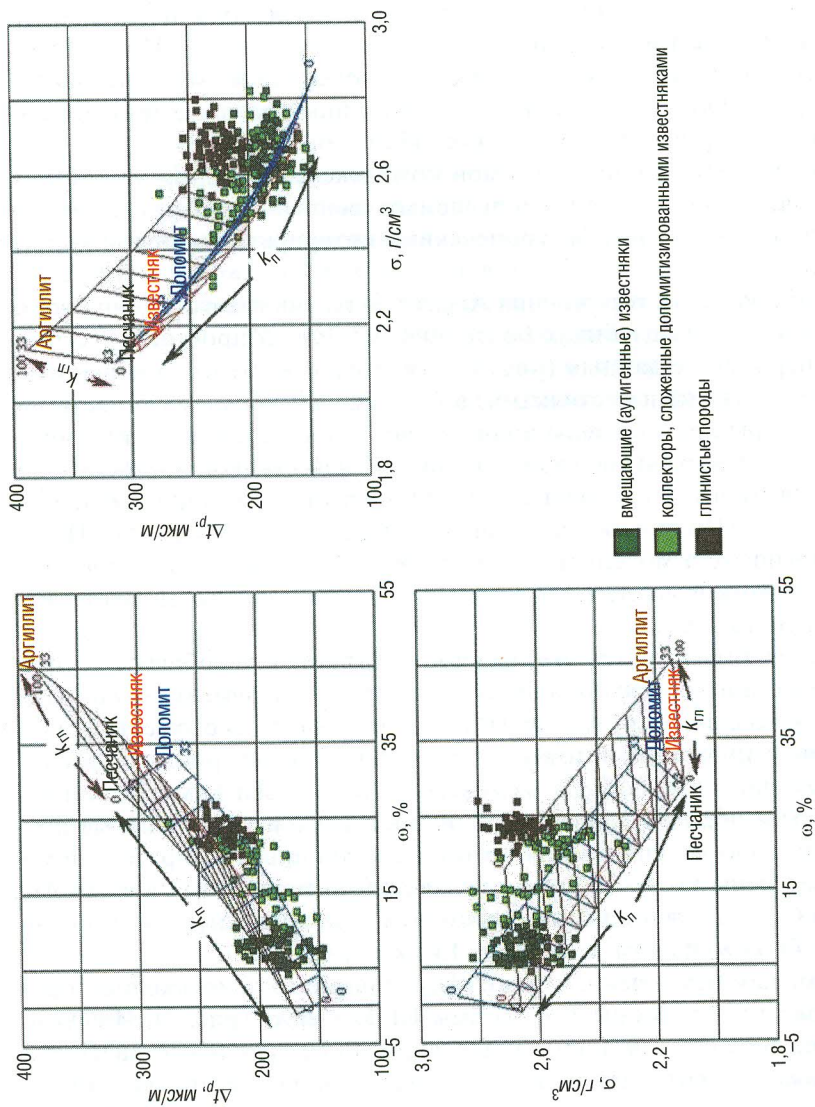


Рис. 1. Простейший кроссплотинг первичных данных, необходимых для обоснования основных литологических компонентов

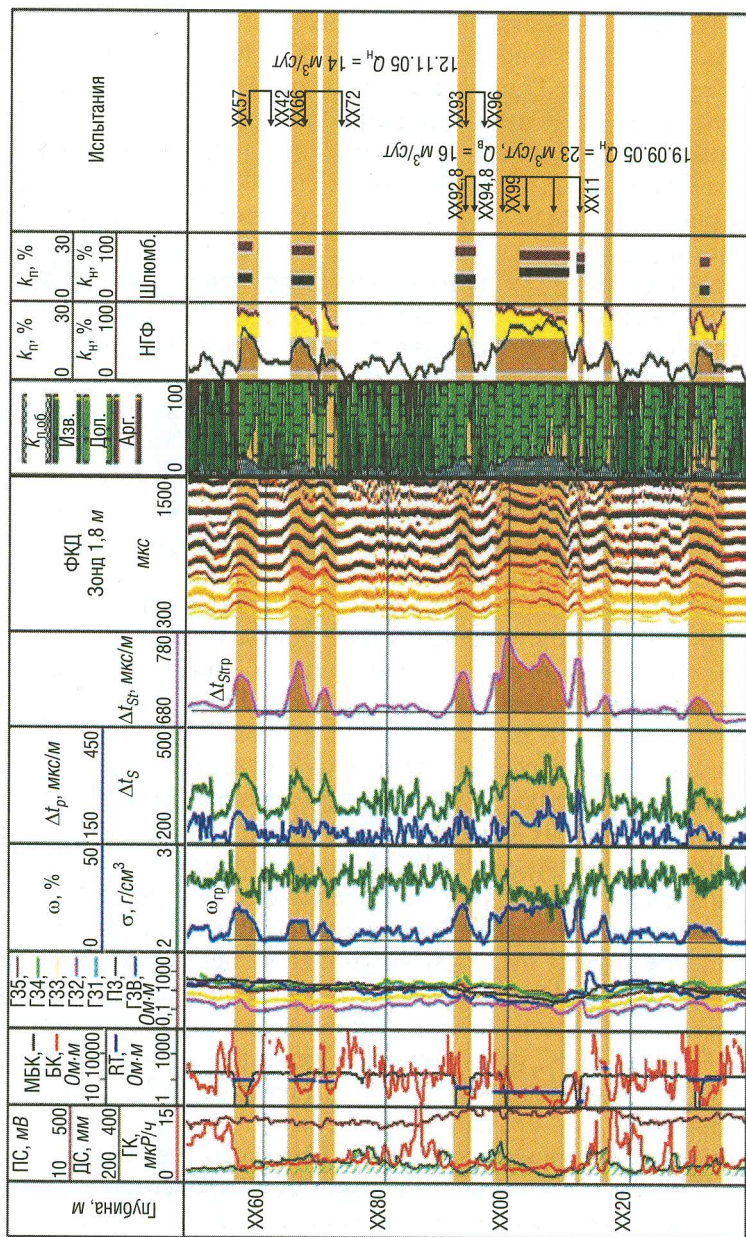


Рис. 2. Выделение порово-каверновых коллекторов в карбонатных отложениях триаса (сопоставление с заключением фирмы Шлюмберже)

коэффициентов в уравнениях, связывающих удельные сопротивления пород с их пористостью и насыщенностью. Коллекторы, выделенные специалистами “Techno Trading Ltd.” и Шлюмберже, испытаны. Из них получены промышленные притоки нефти.

Триасовые отложения в скважине месторождения Тасбулат залегают значительно выше, на глубинах около 3000 м. Однако показанный на рис. 3 интервал глубин более сложен для геологической интерпретации, чем на рис. 1 и 2. Первичные отложения сложены чистыми опесчаненными или глинистыми известняками. По-видимому, это отложения мелкого шельфа. Вторичные процессы обусловили сильную доломитизацию чистых (неглинистых) и опесчаненных известняков, первоначально слабопроницаемых. Так как следствием доломитизации известняков является уменьшение объема минеральной матрицы породы и увеличение ее фильтрационно-емкостных свойств, то именно доломитизированные разности стали основными коллекторами. Кроме того, в отдельных интервалах известняки обладают повышенной (на порядок, иногда более) естественной радиоактивностью. Причиной этого служит не глинистость пород, а повышенное содержание в них радиоактивных элементов ураново-ториевых рядов. Обычно такие породы распознаются по материалам спектрального гамма-каротажа. Глинистые минералы всегда содержат радиоактивный изотоп калия (^{40}K). В неглинистых известняках калий и его радиоактивный изотоп отсутствуют.

Качественными признаками коллекторов на участке разреза, показанном на рис. 3, служат общеизвестные признаки радиальных приращений на разноглубинных зондах МК и двухзондового (БК-7-9) бокового каротажа, низкие значения ГК. В современной интерпретации основополагающую роль играет превышение вычисленных (по зарегистрированным волновым пакетам) значений интервальных времен Δt_{St} волны Стоунли на 15–20 мкс/м над значением $\Delta t_{ж}$ волны в скважинной жидкости. Количественным критерием служит превышение значений общей пористости, вычисленных по первичным данным АК – ГГК-П – НК, над нижним граничным значением ($k_{п.гр}$) пористости для коллекторов. Для чистых известняков $k_{п.гр}$ близко к 7%; оно снижается до 5–6% для доломитов [1].

Геологическая интерпретация данных ГИС выполнена специалистами ТОО “Techno Trading Ltd.” и неизвестной европейской фирмой по заказу румынского обладателя лицензии на производство геолого-

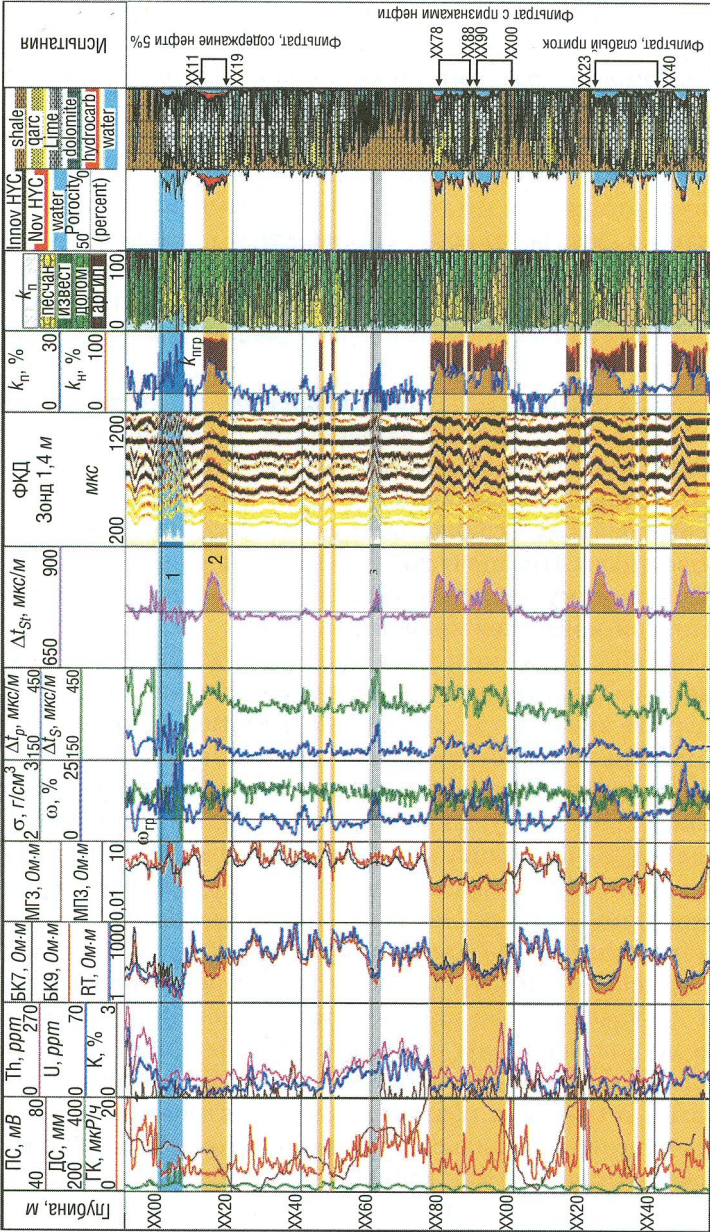


Рис. 3. Выделение (показано цветными полосами) и количественные определения параметров коллекторов в сложном карбонатно-терригенном разрезе (сопоставление с результатами европейской интерпретационной организации)

разведочных работ. Весь набор качественных признаков, количественных критериев и компонентов литологической модели, применяемых европейской фирмой, не раскрыт. Прямое сопоставление результатов интерпретации позволяет сделать следующие выводы:

- специалисты обеих организаций выделили одни и те же интервалы залегания коллекторов и одинаково разделили их на водо- и нефтенасыщенные, отображая это разделение разными способами – коэффициентом k_n у казахстанских специалистов и объемным содержанием подвижной нефти в итоговом документе европейской фирмы. Коэффициенты k_n нефтенасыщенности высокие, что типично для карбонатных коллекторов, особенно при высоком этаже нефтенасыщенности;
- литологическая оценка выделенных коллекторов у обеих организаций разная. У казахстанских геофизиков это сильнодоломитизированные и проницаемые (см. поведение кривой Δt_{Si}) известняки (рис. 4), коэффициенты пористости которых изменяются от 4 до 20%; у европейских – глинистые и, следовательно, низкопроницаемые известняки. Предпочтение, отданное европейскими специалистами глинистому компоненту, связано, очевидно, с неправильной трактовкой поведения кривой ГК;
- литологический состав вмещающих пород, обладающих высокой естественной радиоактивностью, оценен совершенно по-разному. В одном случае это практически чистые известняки с отдельными тонкими прослоями слабоглинистых известняков (рис. 3, 5). Их высокая естественная радиоактивность объясняется повышенным содержанием элементов ураново-ториевого ряда. Радиоактивный изотоп калия ^{40}K , присущий глинистым минералам, отсутствует. В другом случае эти интервалы оценены как аргиллиты. Видимо, такая оценка повлияла на результаты определения литологического состава коллекторов (см. выше).

Результаты испытаний выделенных коллекторов неоднозначны. Имеющиеся достоверные сведения о достаточной проницаемости коллекторов не подтверждены полученными дебитами. Небольшие притоки фильтратов промывочной жидкости с признаками нефти свидетельствуют о глубокой кольматации коллекторов. Интенсификация притоков не производилась, возможно потому, что они оценены европейской компанией как глинистые и, следовательно, низкопроницаемые. Однако когда такой же приток (слабый приток филь-

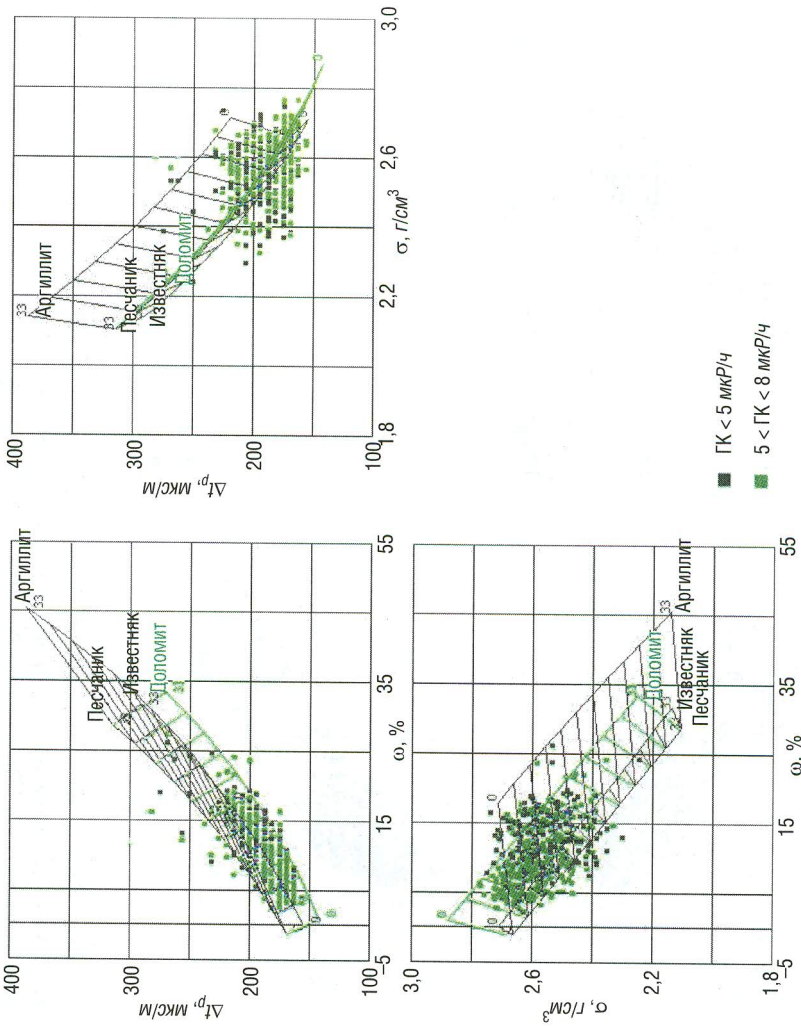


Рис. 4. Кроссплоты данных АК, ГГК-П, НК для коллекторов. Коллекторы сложены сильнодоломитизированными известняками. Значения вторичной пористости носят подчиненный характер

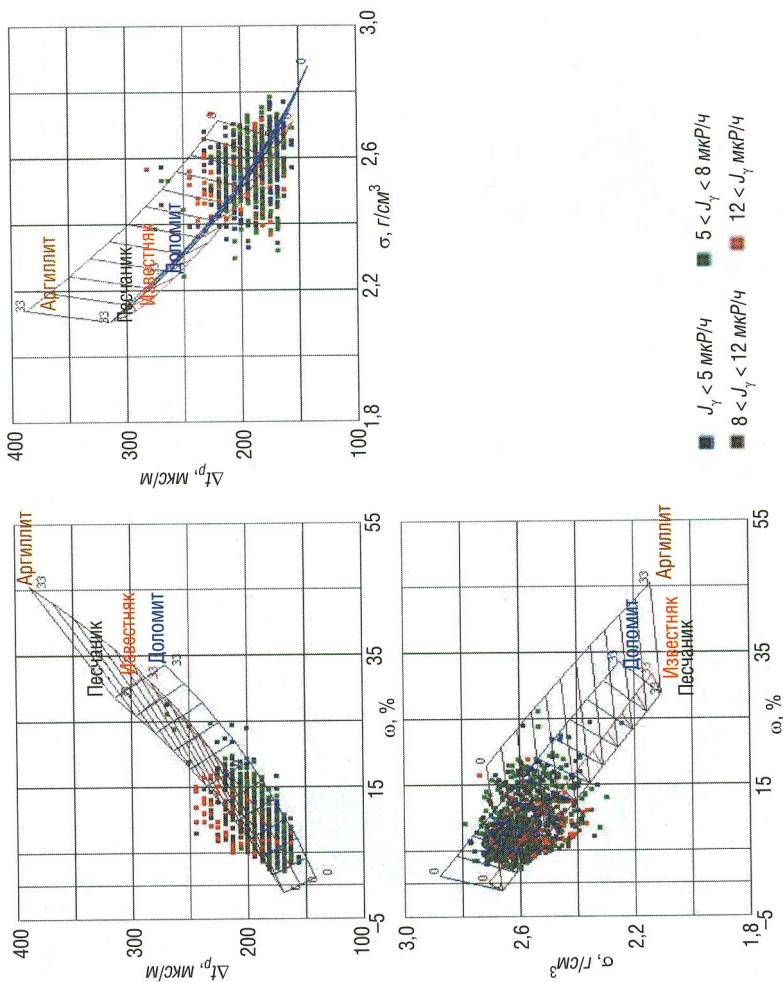


Рис. 5. Кроссплоты данных АК, ГГК-П, НК для вмещающих пород. Последние представлены известняками, интервалами с очень высокой радиоактивностью. Породы неглинистые, о чем свидетельствует предельно низкое содержание изотопа ^{40}K на фоне высоких содержаний U и Th

тра промывочной жидкости) получен из последнего потенциально продуктивного пласта, расположенного за пределами интервала, показанного на рис. 3, то после гидроразрыва он начал работать безводной нефтью с промышленным дебитом.

Резюме. Современный комплекс геофизических исследований скважин позволяет выделять и производить количественные определения параметров коллекторов в самых сложных геологических разрезах. Успех при этом связан с отходом от укоренившихся стереотипов интерпретации, когда данные каждого вида ГИС обрабатываются отдельно друг от друга, и освоением методик их комплексной интерпретации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козяр В. Ф., Ручкин А. В., Яценко Г. Г. Геофизические исследования под-солевых отложений при аномальных пластовых давлениях. М.: Недра, 1983. 208 с.
2. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом; Под ред. В. И. Петерсилье, В. И. Пороскуна, Г. Г. Яценко. М. Тверь: ВНИГНИ, НПЦ "Тверьгеофизика", 2003.
3. Методические указания по комплексной интерпретации данных БКЗ, ИК, БК / Е. В. Чаадаев, И. П. Бриченко, А. А. Левченко и др. Калинин: НПО "Союзпромгеофизика", 1990 (с комплектом палеток).
4. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах // РД 153-90. 0-072-01. М.: Минэнерго РФ. 2001. 271 с.
5. Технология исследований, обработки и геологической интерпретации данных ГИС в карбонатных разрезах / В. Ф. Козяр, Н. В. Козяр, С. В. Мрозовская и др. // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. Вып. 12–13 (139–140). 2005. С. 147–159.