

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
И ДЕЛОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ
ИССЛЕДОВАНИЯМ И РАБОТАМ В СКВАЖИНАХ

ISSN 1810-5599



8

(242)



Месторождение
им. Ю. Корчагина

ТВЕРЬ 2014

КАРОТАЖНИК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ В НТВ “КАРОТАЖНИК”

1. Статья представляется в электронной версии по E-mail или на CD с приложением отпечатанной копии. Используются форматы *.doc или *.rtf без элементов верстки, шрифт Times New Roman, 14 пунктов, через 2 интервала.
2. Графические материалы – в виде отдельных файлов форматов: *.TIF, *.PSD, *.JPG, *.GIF, *.EPS, *.PDF, *.CDR с разрешением не менее 300 dpi. Максимальный размер рисунков – А5.
3. Оптимальный объем статьи – 12–15 машинописных стр. (включая рисунки, таблицы и список литературы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008): все упоминаемые работы в алфавитном порядке (фамилия и инициалы автора, название работы, название издания, место издания, изд-во, год, выпуск, № стр.). В тексте – номер работы в квадратных скобках).
4. Статья должна иметь: УДК; аннотацию (примерно 500 знаков); ключевые слова (до 5 слов); адрес для переписки, телефон, если есть – E-mail; сведения об авторах (точное название места работы, должность, ученая степень, учебное заведение, которое окончил автор, научные интересы и число публикаций). Фотографии четкие, без повреждений присылаются по электронной почте в формате *.TIF, либо *.BMP, *.JPG (300 dpi).
5. Рисунки – четкие, наглядные, без надписей на полях, пронумерованы в порядке упоминания. Рисунки, надписи, символы на них должны допускать уменьшение в 2–4 раза. Подрисуночные подписи представляются в виде отдельного списка.
6. Формулы – напечатаны отчетливо, единообразно, с пробелами между строками и буквами, одинаковыми по начертанию. Нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках. Расшифровка буквенных обозначений должна быть полной в последовательности их расположения в формуле. Греческие буквы набираются прямым шрифтом, латинские – курсивом.
7. Таблицы должны иметь заголовки, если более одной – нумерацию.
8. Применение аббревиатур в заголовке не допускается. В тексте необходимо дать их расшифровку.
9. Редакция оставляет за собой право сокращать статью и вносить редакционные изменения с учетом замечаний рецензентов.
10. Плата за публикацию не взимается с аспирантов и авторов, работающих в организациях – членах АИС.

Производственный опыт

УДК 550.832.582

М. Ю. Зубков, А. Г. Потапов
ООО “ЗапСибГЦ”

СПЕКТРЫ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПОРОД БАЖЕНО-АБАЛАКСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Приведены спектры ЯМР различных литологических типов пород, входящих в состав баженовской и абалакской свит. Выявлены и объяснены причины расхождения в значениях пористости, определенных с помощью ЯМР-релаксометра и весовым методом. Рассмотрены особенности спектров ЯМР пород-коллекторов и неколлекторов, входящих в состав баженовской свиты. Предложена модель “двойной пористости” в глинистых минералах и понятие “твердых растворов” углеводородов в битумах.

Ключевые слова: баженовская, абалакская свиты, литологические типы пород, пористость, спектры ЯМР, время поперечной релаксации, пиролиз.

Введение

В последнее время у нефтегазодобывающих компаний вновь возник интерес к верхнеюрским отложениям или бажено-абалакскому комплексу Западной Сибири. Это объясняется тем, что содержащиеся в них углеводородные (УВ) залежи отнесены к разряду так называемых трудноизвлекаемых с вытекающими из этого факта налоговыми льготами. Однако до настоящего времени не разработаны общепринятые методики выделения коллекторов в верхнеюрском разрезе и оценки их емкостных свойств [6]. В этой связи следует отметить, что в последнее время наблюдается интенсивное развитие метода

ядерно-магнитного каротажа (ЯМК) в сильном поле, позволяющего производить определение не только величины пористости в различных типах коллекторов, но и оценивать распределение пор, присутствующих в них, по размерам [1, 2, 4, 5, 7–9].

Логично предположить, что ЯМК может оказаться полезным при выделении продуктивных интервалов в разрезе бажено-абалакского комплекса. Однако никто из специалистов, занимающихся проблемами нефтегазоносности рассматриваемых отложений, не проводил целенаправленных исследований ЯМР-спектров образцов различных литологических типов пород, слагающих верхнеюрские отложения, для оценки возможности использования этого метода при определении их емкостных свойств. Поэтому целью настоящей публикации является анализ спектров ЯМР различных литологических типов пород, входящих в состав верхнеюрских отложений, в лабораторных условиях, включая разновидности, не являющиеся коллекторами, и те, которые имеют прямые признаки нефтенасыщения.

Методы и объемы исследований

Основой для публикации послужили результаты литолого-петрофизических и геохимических исследований 39 образцов, отобранных из отложений баженовской и абалакской свит в пределах Каменной и Пальяновской площадей, а также Тортасинского лицензионного участка (ЛУ).

Изучение вещественного состава отобранных образцов осуществлялось с помощью рентгено-структурного анализа (РСА), оптической и электронной (РЭМ) микроскопии, а также с использованием геохимических методов – пиролиза (Рок-Эвал) и анализатора органического углерода ($C_{орг}$) – АН-7529М. Спектры ЯМР получены на релаксометре Хроматэк Протон 20М. Для определения величины объемного водородосодержания в образцах использовались кривые поперечной релаксации (T_2).

Образцы, отобранные из бажено-абалакского комплекса Каменной площади, после получения первоначального (предварительного) спектра ЯМР в воздушно-сухом состоянии подвергались термической обработке в течение 6 ч (сначала в реторте при температуре 180 °С, а затем в сушильном шкафу при 250 °С). После каждого этапа термообработки снимался спектр ЯМР с оставшимися в образцах

водородсодержащими флюидами. После этого получались спектры ЯМР образцов, полностью насыщенных сначала керосином, а затем водой. Кроме того, для сравнения определялась пористость тех же образцов весовым методом как по керосину, так и по воде ($k_{п.кер}^{вс}$ и $k_{п.вода}^{вс}$ соответственно).

Использование реторты позволило определить объемы воды (H_2O) и углеводородов (УВ), выделившихся из образцов при 180 °С, которые обозначены соответственно $V_{H_2O}^p$ и $V_{УВ}^p$, причем их объемы измеряются в мл. Потери веса образцов после их сушки в сушильном шкафу при 250 °С обозначены как M_c . Эти потери веса измеряются в граммах.

По результатам пиролиза определены содержания низкотемпературных УВ (пик S_1 на пирограмме) и высокотемпературных УВ (пики S_2^1 и S_2 на пирограммах), причем как в $см^3$, так и в объемных процентах (от объема исследованных образцов). Их объемы соответственно обозначены как V_{S_1} и V_{S_2} . Низкотемпературные УВ в первом приближении соответствуют преимущественно керосиновой фракции нефти, а высокотемпературные УВ входят в состав масляной фракции, а также выделяются в результате термокрекинга битумов и твердого органического вещества (ОВ), нерастворимого в органических растворителях (керогена). Содержание ОВ приводится в весовых процентах.

Результаты исследований

Предваряя обсуждение полученных результатов исследования спектров ЯМР, обратим внимание на то, что употребление понятия “пористость” по ЯМР ($k_n^{ЯМР}$) не вполне корректно, так как на самом деле с помощью релаксометра определяется не собственно пористость образцов, а суммарное объемное содержание водорода, входящего в состав флюидов, насыщающих тот или иной образец. Далее будет показано, что высушивание образцов по стандартной методике при 105 °С не позволяет полностью освободить их от водородсодержащих флюидов, поэтому донасыщая их затем, например, водой или керосином, получают завышенные значения пористости по данным ЯМР по сравнению с весовым методом. Особенно большие ошибки получаются при исследованиях с помощью ЯМР глинистых образцов и образцов, содержащих в себе жидкие УВ, как, например,

битуминозные отложения баженовской свиты. Напротив, образцы, в которых присутствуют смешанослойные образования с набухающими компонентами в их составе, обладают специфическими свойствами, заключающимися в том, что молекулы водородсодержащих флюидов, попадая в межслоевое пространство этих глинистых минералов, настолько прочно удерживаются ими, что время релаксации атомов водорода, входящих в их состав, становится слишком коротким, чтобы быть зафиксированными прибором ЯМР. Поэтому значения пористости этих образцов, полученные весовым методом, оказываются выше, чем величины “пористости”, полученные с помощью ЯМР. Тем не менее, учитывая вышесказанное, для краткости используем понятие “пористость” по ЯМР, обозначив его как $k_{п}^{ЯМР}$.

Прежде чем приступить к анализу полученных спектров ЯМР, сделаем некоторые замечания по поводу особенностей наименования литологических типов пород, входящих в состав баженовской и абалакской свит, так как в настоящее время отсутствует общепринятая классификация этих пород. Для этого за основу возьмем принцип преобладающих компонентов, слагающих породы, включая также и органические остатки, если они также являются породообразующими, например, пирит-керогеновый аргиллит или карбонатный радиолярит или, наконец, фосфоритовый копролит.

В состав отложений баженовской свиты входят преимущественно аутигенные, в том числе биогенные компоненты, такие как ОВ, представленное преимущественно керогеном и битумами, кремнезем, пирит, фосфаты (ихтиодетрит), копролиты (карбонатного, фосфатного состава), карбонаты (кальцит, доломит), а также терригенный материал (мелкоалевритовые обломки кварца, альбита, слюды, а также гидрослюды и другие глинистые минералы).

Абалакская свита в ее верхней части, также как и баженовская, сложена преимущественно аутигенными, в том числе и биогенными компонентами, однако по направлению к подошве в ее составе начинают преобладать терригенные обломки глинистой и алевритовой размерности с маломощными карбонатными пропластками, имеющими аутигенное, скорее всего, преимущественно хемогенное происхождение.

Наиболее многочисленная коллекция образцов отобрана из верхнеюрских отложений Каменной площади, однако все они не являются

коллекторами, так как имеют низкую открытую пористость и практически непроницаемы. Среди образцов, поднятых из битуминозных отложений баженовской свиты в пределах этой площади, можно условно выделить три основных литологических типа:

- 1) слабокремнистые кероген-пиритовые аргиллиты, характеризующиеся сравнительно невысоким содержанием в них ОВ (8–10%) и высоким – пирита (16–18%);
- 2) кремнистые пирит-керогеновые аргиллиты с высоким содержанием ОВ (18–20%) и пирита (20–22%);
- 3) карбонатные радиоляриты с низким содержанием ОВ (2–4%) и пирита (1–3%).

Образцы, отобранные из абалакской свиты Каменной площади, представлены двумя литологическими типами:

- 1) карбонатно-алевритовыми аргиллитами с низким содержанием ОВ (2–3%) и средним – пирита (4–6%);
- 2) алеврит-глауконитовыми аргиллитами с еще более низким содержанием ОВ (1–2%) и более высоким – пирита (8–10%).

Анализ спектра ЯМР слабокремнистого кероген-пиритового аргиллита (рис. 1, а, б) показал, что в нем происходит закономерное уменьшение величины объемного водородсодержания в результате термического воздействия сначала в реторте, а затем в сушильном шкафу (рис. 1, в). Если в воздушно-сухом состоянии объемное водородсодержание в рассматриваемом образце ($k_{п}^{ЯМР}$) составляло 5,27%, то после реторты $k_{п}^{ЯМР}$ уже стало равным 2,99%, а после сушки – всего 1,49% (рис. 1, в).

Сопоставление объемов воды и УВ, выделяющихся из образцов в реторте, и изменение значений $k_{п}^{ЯМР}$ до и после реторты показывают, что величина уменьшения $k_{п}^{ЯМР}$ в 1,4–2,5 раза больше, чем суммарный объем выделяющихся из образцов воды и УВ. Если допустить, что отмеченные несовпадения связаны не только с погрешностями измерений, расчетов и возможными потерями флюидов в ловушках реторты, то получается, что в процессе температурного воздействия на образец часть водородсодержащих флюидов, не удаляясь из образца, переходит в высоковязкое состояние и не фиксируется с помощью релаксометра. Здесь следует отметить, что воды в процессе термодистилляции образцов выделяется гораздо больше, чем УВ, – в 2–5 раз (например, рис. 1, в).

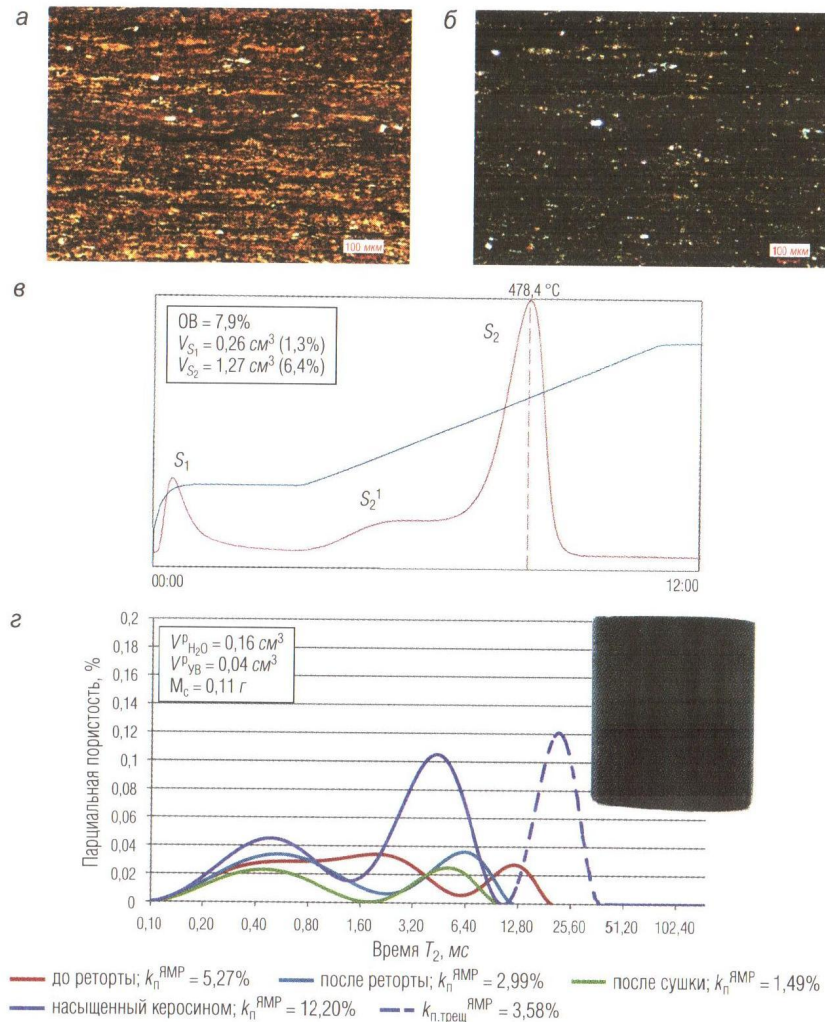


Рис. 1. Фотографии шлифов без анализатора (а) и с анализатором (б); пиrogramма (в); спектры ЯМР слабокремнистого кероген-пиритового аргиллита до и после термического воздействия и последующего насыщения его керосином (з); Каменная площадь, баженовская свита (расшифровка сокращений приведена в тексте); на врезке приведена фотография этого же образца, насыщенного керосином, на которой хорошо видны “техногенные” трещины, выделяющиеся темно-серым цветом

Скорее всего, основная часть УВ и в целом нафтидов после термодистилляции остается в образцах, превращаясь в вязкую субстанцию из-за удаления самых легких УВ, переходящих в газообразное состояние.

В процессе сушки, следующей за термодистилляцией (ретортой), из образцов удаляется гораздо меньше флюидов, чем после термодистилляции (рис. 1, з). Поэтому разница между изменением $k_n^{\text{ЯМР}}$ (реторта) и $k_n^{\text{ЯМР}}$ (сушка), с одной стороны, и величиной потери веса (M_c), с другой, не так велика. Причем для некоторых образцов получается, что потери веса при их сушке превышают величину уменьшения их “пористости”, полученную по данным ЯМР ($k_n^{\text{ЯМР}}$). То есть в этих образцах наблюдаются “опережающие” потери веса при их высушивании по сравнению с уменьшением их объемного водородосодержания по результатам замеров с помощью ЯМР. Такое явление становится возможным (если не считать этот феномен связанным с погрешностями в замерах и расчетах) в том случае, если происходит выделение (термическая возгонка) водородсодержащих флюидов (скорее всего УВ), которые в силу, например, высокой их вязкости не фиксировались на спектрах ЯМР, а потому удаление этих УВ из образцов при сушке не отражается на спектрах.

После термического воздействия образец слабокремнистого кероген-пиритового аргиллита был насыщен керосином, и его $k_n^{\text{ЯМР}}$ в этом состоянии составила 12,2% (рис. 1, з). Здесь, однако, следует обратить внимание на то, что после всех экспериментов с этим и большинством других образцов они покрылись частой сетью микротрещин (врезка на рис. 1, з), а некоторые даже разрушились по этим трещинам. Поэтому вполне вероятно, что появившийся после насыщения образца керосином пик с самым большим временем релаксации на спектре ЯМР обязан этим трещинам, в которых присутствует керосин, удерживаемый капиллярными силами (рис. 1, з). То есть это дополнительная “техногенная” трещинная емкость, которая в пластовых условиях в образце в таком явном виде не существовала, хотя и была заложена природными процессами при уплотнении осадка и последующих тектонических напряжений, которым он подвергался.

Поскольку остающиеся в образцах после термического воздействия водородсодержащие флюиды, скорее всего, представлены УВ или более широким классом нафтидов, то представляет интерес проанализировать результаты пиролиза рассматриваемых образцов.

На пирограммах фиксируются обычно два (S_1 и S_2) или три (S_1 , S_2 и S_2^1) пика (рис. 1, в). Первый (низкотемпературный) пик, максимум которого приходится примерно на 180–200 °С, соответствует нефтеподобным сравнительно легким УВ (представленным преимущественно бензиновой и керосиновой, а также частично масляной фракциями). Происхождение второго (высокотемпературного) пика (или пиков) связано с испарением более высокотемпературных УВ и УВ, выделяющихся из битумов и керогена в результате процесса их термкрекинга.

По данным пиролиза получается, что в рассматриваемом образце низкотемпературных УВ содержится порядка $0,26 \text{ см}^3$, или 1,3% от объема образца (рис. 1, в). Причем в результате термодистилляции около $0,04 \text{ см}^3$ УВ испарилось из образца и соответственно в нем осталось порядка $0,22 \text{ см}^3$. В процессе последующей сушки испарилось еще $0,11 \text{ г}$, или приблизительно $0,12 \text{ см}^3$ УВ (принимается, что после термодистилляции в образце воды уже не осталось). Таким образом, в образце осталось порядка $0,22 \text{ см}^3 - 0,12 \text{ см}^3 = 0,1 \text{ см}^3$, или 0,5% от объема образца низкотемпературных УВ (рис. 1, з).

По результатам анализа спектра ЯМР величина $k_n^{\text{ЯМР}}$ после сушки рассматриваемого образца составила 1,49%. Тогда за минусом объема низкотемпературных УВ ее величина равна $1,49\% - 0,5\% = 0,99\%$. Оставшиеся $0,99\%$ – это, скорее всего, объем, занятый высокотемпературными УВ, входящими в состав пика S_2^1 , а может быть, и S_2 (рис. 1, в). Суммарный объем УВ, выделившихся при пиролизическом разложении высокомолекулярных соединений и керогена, входящих в состав рассматриваемого образца, составляет порядка 6,4% от объема рассматриваемого образца (рис. 1, в). Полученный спектр ЯМР соответствует лишь 0,99% УВ или примерно 15% от всего объема этих УВ. То есть основная часть высокотемпературных УВ, входящих в состав пиков S_2^1 и S_2 , скорее всего присутствует в виде “твердых растворов” в составе очень вязких или даже твердых битумов, а потому они не дают ЯМР-спектров, о чем уже говорилось выше. Основная же часть этих высокотемпературных УВ выделяется вследствие термкрекинга не только битумов, но и собственно самого керогена, содержание которого в рассматриваемом образце составляет около 8% (рис. 1, в).

Следующий образец, представленный кероген-карбонатным радиоляритом (рис. 2, а, б), не подвергался термообработке.

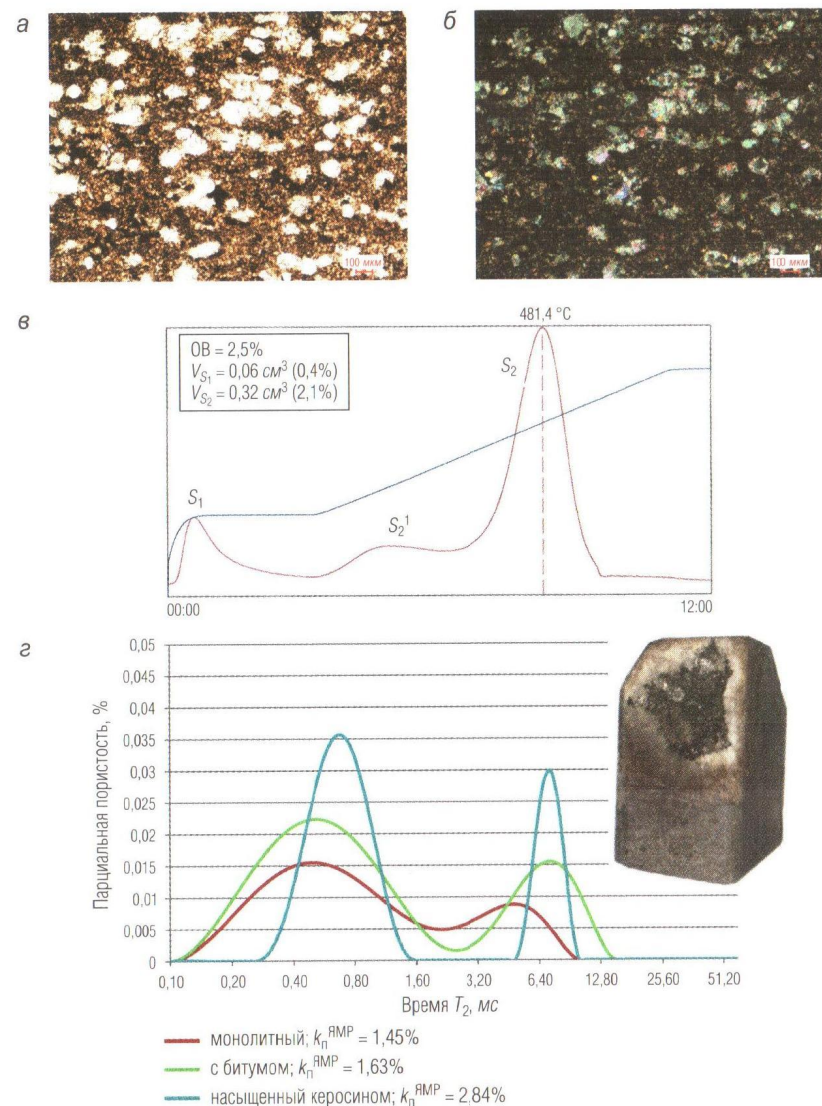


Рис. 2. Фотографии шлифов без анализатора (а) и с анализатором (б); пирограмма (в); спектры ЯМР кероген-карбонатного радиолярита монслитного и с каверной, заполненной черным битумом (фото на врезке), а также в насыщенном керосином состоянии (з); Каменная площадь, баженовская свита

Из него было изготовлено два образца, один из которых являлся монолитным, а второй содержал каверну, заполненную твердым битумом черного цвета (рис. 2, з, врезка). Сопоставляя ЯМР-спектры, полученные от обоих образцов в воздушно-сухом состоянии, можно отметить, что $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ второго (с каверной) образца имеет немного большую величину, чем у первого (монолитного), и время релаксации ЯМР-сигнала у второго образца также немного больше, чем у первого (рис. 2, з). Казалось бы, логично предположить, что увеличение пористости и времени релаксации у второго образца связано с наличием в нем твердого битума, но это совсем не так. Скорее всего, отмеченный феномен связан с наличием дополнительных объемов микрокапельной нефти, захваченной в процессе роста кристаллов эпигенетического кальцита, окружающего каверну с битумом, из-за чего он приобрел светло-коричневую окраску (рис. 2, з, врезка).

$k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ рассматриваемого образца в насыщенном керосином состоянии составляет всего 2,48% (рис. 2, з). В отличие от рассмотренного выше и других исследованных образцов, в нем отсутствуют “техногенные” микротрещины, поэтому расположение пиков на кривой релаксации после насыщения образца керосином не изменилось, увеличилась лишь их амплитуда (рис. 2, з).

После сушки данного образца при 105 °С величина его $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ уменьшилась до 1,11%. Скорее всего отмеченное уменьшение значения $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ связано с испарением воды, так как УВ, сохраняющиеся в негерметизированных образцах, имеют, как правило, более высокие температуры кипения, что и наблюдается на пирограммах (рис. 1, в; 2, в). Следовательно, полученная величина $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ после сушки образца вероятнее всего соответствует объемному содержанию в нем жидких УВ.

По результатам пиролиза в рассматриваемом кероген-карбонатном радиолярите содержание низкотемпературных УВ составляет всего порядка 0,06 см³, или 0,4% от его объема, а высокотемпературных, соответственно, 0,32 см³, или 2,1% (рис. 2, в). С учетом воды, которая испарилась из порового пространства радиолярита в процессе его сушки, доля высокотемпературных (подвижных) УВ, которые фиксируются на спектре ЯМР, составляет 1,11% – 0,4% = 0,71%. Следовательно, лишь третья часть от высокотемпературных УВ является подвижной (фиксируется на спектре ЯМР), а остальные присутствуют в растворенном состоянии в битумах и выделяются

вследствие их термокрекинга, а также при термическом разложении керогена (рис. 2, в, з).

Кремнисто-пирит-керогеновый аргиллит характеризуется самым высоким содержанием в нем ОВ, составляющим 20,3% (рис. 3). Судя по его спектру ЯМР, большинство пор, присутствующих в нем, имеют очень мелкие размеры, из-за чего их максимальное количество имеет время поперечной релаксации около 0,2–0,3 мс. Кроме того, он характеризуется очень низкой пористостью (рис. 3, з).

Сопоставляя изменение $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ до и после реторты с объемами выделившихся из образца в результате термодистилляции воды и УВ, можно отметить, что, как и в рассмотренном выше случае с кероген-пиритовым аргиллитом, изменение $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ намного (в 1,6 раза) больше, чем суммарный объем собранных в реторте воды и УВ (рис. 3, з). Действительно, вследствие термодистилляции величина $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ рассматриваемого образца уменьшилась на 1,83%, а суммарный объем выделившихся из образца воды и УВ составил 1,16% от объема образца. Отмеченный феномен, скорее всего, объясняется той же причиной, о которой говорилось выше, а именно резким увеличением вязкости остающегося после термодистилляции в поровом пространстве образца битума, из-за чего время релаксации сигнала ЯМР некоторой части содержащихся в нем в растворенном состоянии УВ уменьшается настолько, что уже не фиксируется на спектре ЯМР.

Величина $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ после реторты составляет всего 0,72%, а объем низкотемпературных УВ по данным пиролиза (за вычетом собранных в реторте УВ – 0,42%) равен 1,57 – 0,42 = 1,15% (рис. 3, в, з). Следовательно, 0,43% этих УВ имеют очень короткое время релаксации, из-за чего прибор ЯМР не фиксирует их существование в образце. Это свидетельствует о том, что они присутствуют в образце в виде упоминавшихся выше “твердых растворов”, в очень вязких, почти твердых битумах, заполняющих поровое пространство образца.

Смещение максимума на кривой релаксации в область больших времен после термодистилляции может объясняться перераспределением остаточного флюида либо особенностями математической обработки очень слабого сигнала ЯМР (рис. 3, з).

Величины $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$, полученные на рассматриваемом образце в случае насыщения его керосином, а затем водой, показали очень близкие значения (около 3%), да и сами кривые релаксации имеют близкую форму с основным максимумом вблизи времени поперечной релаксации T_2 , равного 0,2–0,3 мс (рис. 3, з).

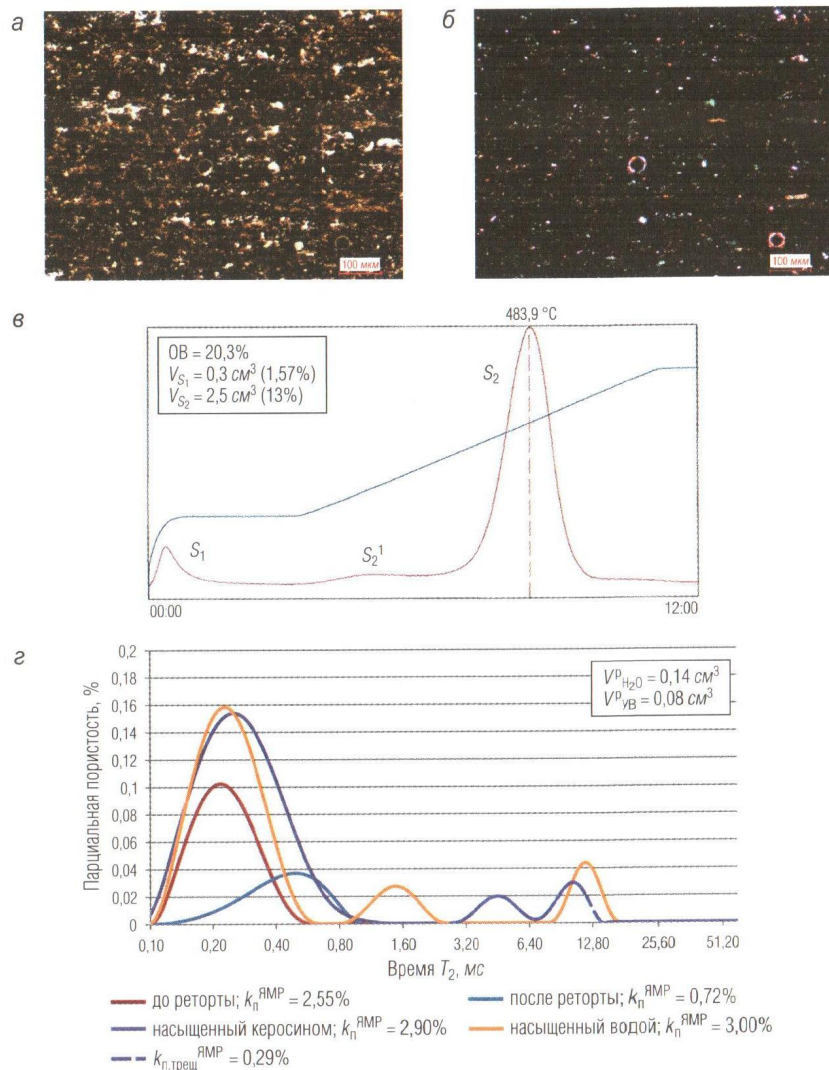


Рис. 3. Фотографии шлифов без анализатора (а) и с анализатором (б); пи-рограмма (в); спектры ЯМР кремнисто-пирит-керогенового аргиллита до и после термического воздействия и последующего насыщения его керосином и водой (з); Каменная площадь, баженовская свита

Появление небольших пиков на кривых релаксации в области больших времен скорее всего объясняется образованием уже упоминавшейся выше “техногенной” трещиноватости, обусловленной термическим воздействием на образец, а также его разуплотнением вследствие снятия литостатической нагрузки, существовавшей в пластовых условиях.

Отложения абалакской свиты отличаются от баженовских осадков меньшим содержанием в них ОВ, а также других компонентов биогенного происхождения, и напротив, более высокой концентрацией терригенного (абиогенного) материала, представленного преимущественно мелкоалевритовой и глинистой фракциями.

Анализ ЯМР-спектров образца карбонатно-алевритового аргиллита (рис. 4, а, б) показал, что он обладает низкой $k_{п}^{\text{ЯМР}}$, величина которой закономерно уменьшается по мере увеличения интенсивности температурного воздействия на образец – с 3,57 до 1,91% (рис. 4, з). При этом отмечается постепенное уменьшение амплитуд пиков и их смещение в область меньшего времени релаксации T_2 (рис. 4, з). Сопоставление разницы значений $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ до и после термодистилляции, с одной стороны, и объемы выделившихся в результате этого процесса воды и УВ, с другой, показало, что они практически совпадают по величине – 1,29 и 1,26% соответственно (рис. 4, з). Иными словами, для рассматриваемого образца эффект влияния “твердых растворов” не проявляется, что связано, скорее всего, со свободным состоянием всех выделившихся в процессе термодистилляции флюидов. Здесь же следует заметить, что основной объем собранных в реторте флюидов представлен водой, а доля УВ в 5 раз меньше (рис. 4, з).

Сравнивая объем низкотемпературных УВ (пик S_1 на пиетрограмме) и объем УВ, выделившихся вследствие термодистилляции карбонатно-алевритового аргиллита, можно отметить, что объем последних составляет лишь около половины от объема первых (рис. 4, в, з).

Последующая сушка образца при 250 °C привела к уменьшению $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ до 1,91%, а абсолютное значение уменьшения пористости составило 0,37% (рис. 4, з). Если предположить, что при сушке удалялись лишь УВ, так как вся вода, присутствовавшая в образце, испарилась в процессе термодистилляции, то почти половина значения уменьшения величины $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ объясняется испарением оставшихся низкотемпературных УВ, входящих в состав пика S_1 , а вторая половина – это УВ из пика S_2^1 (рис. 4, в, з).

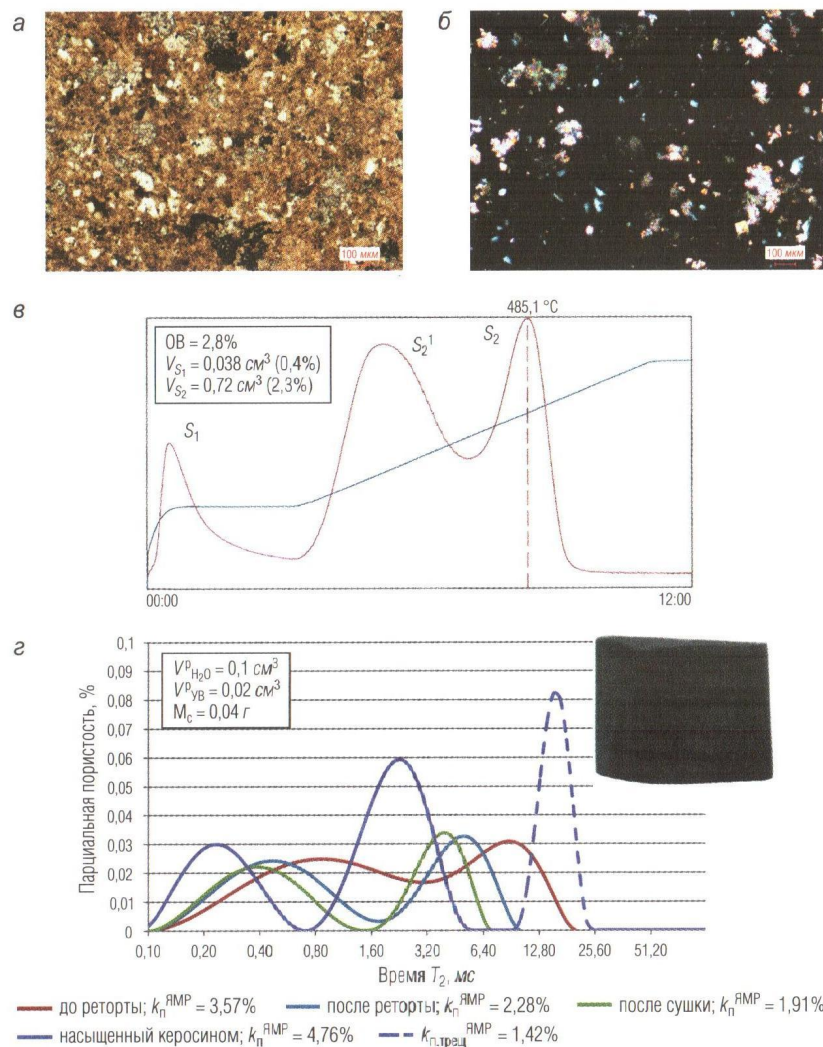


Рис. 4. Фотографии шлифов без анализатора (а) и с анализатором (б); пи-рограмма (в); спектры ЯМР карбонатно-алевритового аргиллита до и после термического воздействия и последующего насыщения его керосином (з); Каменная площадь, абалакская свита, на врезке приведена фотография этого же образца, насыщенного керосином, на которой хорошо видны "техногенные" трещины, выделяющиеся на снимке темно-серым цветом

Несмотря на достаточно жесткое температурное воздействие на образец, в нем после сушки осталось порядка 1,91% от его объема подвижных УВ, входящих, скорее всего, в масляную фракцию (рис. 4, з).

Последующее насыщение образца керосином отразилось на его спектре повышением интенсивности пиков и появлением дополнительного третьего пика в области больших времен релаксации T_2 (рис. 4, з), что, вероятнее всего, объясняется присутствием в нем "техногенной" микропористости, о которой уже говорилось выше и которая не была заполнена флюидами во время предыдущих замеров.

Алеврит-глауконитовый аргиллит (рис. 5, а, б) имеет очень низкую величину $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ в воздушно-сухом состоянии (всего 2,18%), которая резко уменьшается в процессе термодистилляции до 0,52% и менее значительно вследствие его последующей сушки – до 0,45% (рис. 5, з). Сопоставление величины изменения $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ при термодистилляции (1,66%) и объема выделившейся из образца в результате этого процесса воды (0,32 см^3 , или 2,1%) свидетельствует о том, что воды в реторте собралось примерно в 1,3 раза больше ожидаемого, исходя из величины уменьшения $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ (рис. 5, з). В реторте присутствуют также и УВ, но их объем слишком мал, чтобы оценить их количество объемным методом. Так как этим способом можно определить содержание УВ только в том случае, если их в реторте присутствует более 0,01 см^3 , предположим, что их выделилось из образца менее 0,01 см^3 , или менее 0,07% от объема образца. В этом случае, судя по результатам пиролиза, могло испариться около половины низкотемпературных УВ, присутствующих в образце (рис. 5, в).

Еще более разительные отличия изменения величины $k_{п}^{\text{ЯМР}}$ от потерь веса вследствие испарения флюидов отмечаются после сушки образца – 0,07 и 0,53% соответственно (рис. 5, з). То есть испарилось флюидов примерно в 7,6 раз больше, чем изменилась величина $k_{п}^{\text{ЯМР}}$. Это несовпадение можно было бы попытаться объяснить описанным выше феноменом "твердого раствора", но из-за невысокой концентрации в алеврит-глауконитовом аргиллите ОВ и в первую очередь УВ, а также битумов, только этим феноменом отмеченное явление не объяснить. Остается предположить, что в рассматриваемом образце не вся вода, присутствующая в нем, испаряется при 180 $^\circ\text{C}$. Она, вероятнее всего, продолжает испаряться и при 250 $^\circ\text{C}$. И лишь после сушки оставшийся объем $k_{п}^{\text{ЯМР}}$, равный 0,45%, вероятно, занят УВ, относящимися преимущественно к масляной фракции (рис. 5, в, з).

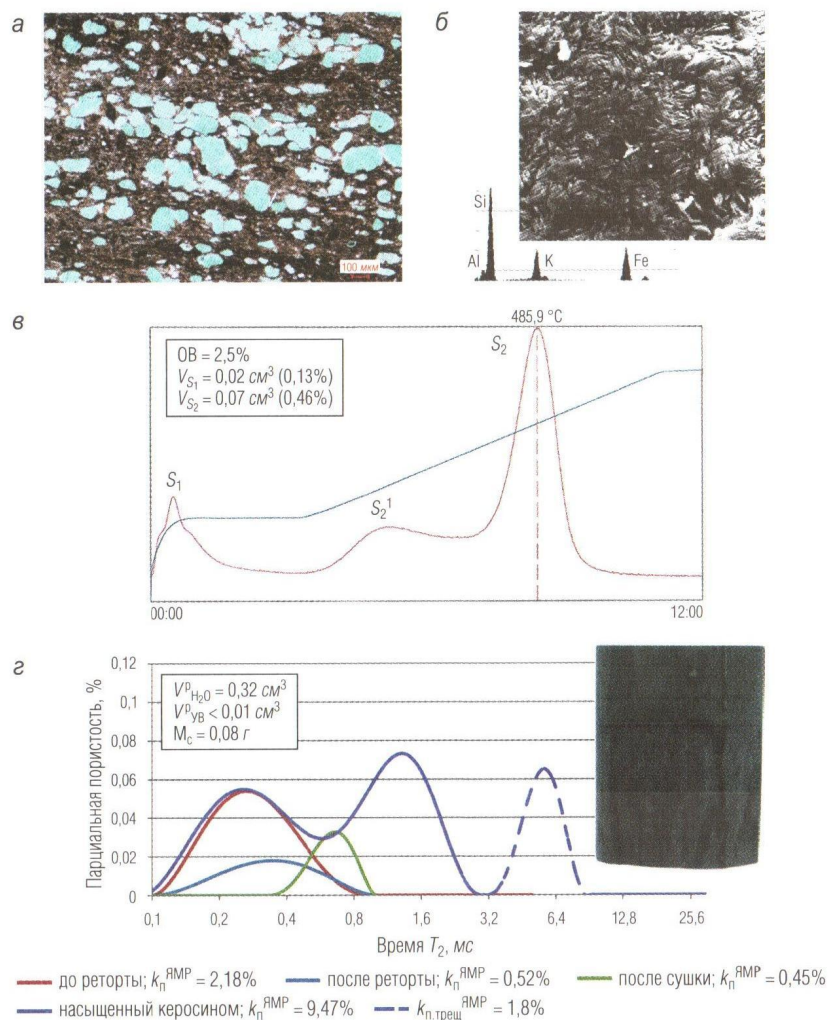


Рис. 5. Фотография прозрачного петрографического шлифа без анализатора (а); снимок РЭМ глауконитовых зерен с их элементарным спектром (б); пирограмма (в); спектры ЯМР алеврит-глауконитового аргиллита до и после термического воздействия, а также последующего насыщения его керосином (г); Каменная площадь, абалакская свита; на врезке приведена фотография этого же образца, насыщенного керосином, на которой хорошо видны "техногенные" трещины, выделяющиеся темно-серым цветом

Однако возникает вопрос: почему ЯМР "не видит" выделившийся объем воды? Для того чтобы на него ответить, необходимо вспомнить, что представляет собой глауконит, содержащийся в этом образце.

Глауконит – это железистая разновидность смешанослойных образований (ССО) на основе гидрослюда и монтмориллонита, в которых основная часть алюминия замещена железом (см. элементный спектр на рис. 5, б). Причем в этом минерале число набухающих (монтмориллонитовых) компонентов может достигать 50–60% и даже более. Именно поэтому при прохождении глауконитовой пачки скважинами очень часто наблюдается образование в стволе скважины многочисленных крупных каверн, а иногда происходят и прихваты инструмента. При больших увеличениях хорошо видно, что зерна глауконита сложены плотно прижатыми друг к другу многочисленными чешуйками, между которыми присутствуют очень узкие щелевидные поры с раскрытостью в среднем 0,1–0,3 мкм (рис. 5, б). Но самые узкие "двумерные поры" находятся в межслоевых промежутках, в которых при полном насыщении набухающих разновидностей может находиться до 4 молекул воды на каждую молекулу глауконита. Зная формулу глауконита, несложно подсчитать, что в 100 г этого глинистого минерала может содержаться около 9 г воды, или 9% от его веса. Поскольку содержание глауконита в рассматриваемом образце варьирует в среднем в пределах 30–40% (рис. 5, а), то максимально возможное весовое содержание воды в нем может составлять около 2,7–3,6%. Из-за того что эти слои не являются электрически нейтральными (имеется избыточный отрицательный заряд на их поверхности, поэтому в них всегда присутствуют обменные катионы), то присутствующая в них вода активно взаимодействует с поверхностью слоев и обладает аномальными свойствами (в первую очередь аномально высокой плотностью) [3]. В зависимости от типа катионов, находящихся в межслоевом пространстве, вода, присутствующая в них, может сохраняться при нагревании образцов ССО до 200 °С и даже выше [3].

Исходя из сказанного, можно предположить, что межслоевая вода настолько прочно удерживается электростатическими и иными видами связи в межслоевом пространстве, что время релаксации ядер водорода, входящих в ее состав, слишком мало, чтобы быть зафиксированным релаксометром. Поэтому вода, испаряющаяся из межслоевого пространства глауконита в процессе термодистилляции,

собирается в реторте, однако на спектрах ЯМР уменьшение объемного водородосодержания в образце не фиксируется.

На спектре алевроит-глауконитового аргиллита, насыщенного керосином, выделяются три пика, отвечающие порам различного размера, присутствующим в образце (рис. 5, з). Пик, отвечающий максимальному времени поперечной релаксации, скорее всего характеризует объем многочисленных “техногенных” микротрещин, заполненных керосином, о причинах происхождения которых говорилось выше (рис. 5, з).

Возвращаясь к феномену “твердых растворов” УВ в битумах, рассмотрим результаты пиролитических исследований образца битума и его поведения в магнитном поле релаксометра. Исследуемый образец битума имеет черный цвет и микротрещиноватую поверхность, а в петрографическом шлифе он полупрозрачен и обладает темно-бурой окраской (рис. 6, а, б). В рассматриваемом образце, помимо самого битума, присутствуют захваченные им в процессе движения по трещине обломки карбонатов (рис. 6, б). Интересно, что, несмотря на то, что на пирограмме этого битума присутствуют уже известные пики низкотемпературных (S_1) и высокотемпературных (S_2^1 и S_2) УВ, спектр ЯМР от этого битума на релаксометре не фиксируется, а уровень сигнала и шума сопоставимы по амплитуде (рис. 6, в, з).

Таким образом, подтверждается сделанное выше предположение о существовании так называемых “твердых растворов” УВ в битумах, которые не дают спектра ЯМР, хотя и присутствуют в составе содержащих битум образцов. Поэтому при испарении этих УВ из образцов в процессе их термодистилляции или обычной сушки спектры ЯМР этих образцов не изменяются и по ним (спектрам ЯМР) невозможно зафиксировать процесс выхода из образцов УВ.

Сопоставление величин пористости в насыщенных керосином образцах, определенных весовым методом ($k_{п.кер}^{вес}$) и по спектру ЯМР ($k_{п.кер}^{ЯМР}$), отобранных из баженовской и абалкской свит, показало, что между этими параметрами существует значимая связь, однако при этом наблюдается систематическое завышение величины пористости, полученной по данным ЯМР по сравнению с весовым методом (рис. 7, а). Отмеченное завышение величины $k_{п.кер}^{ЯМР}$ по сравнению с весовым методом объясняется тем, что даже после высушивания образцов при 105 °С в них остается некоторая часть прочносвязанной (или так называемой “глинистой”) воды, а также и УВ, сигнал от которых уже присутствует в спектре ЯМР еще до насыщения образцов керосином.

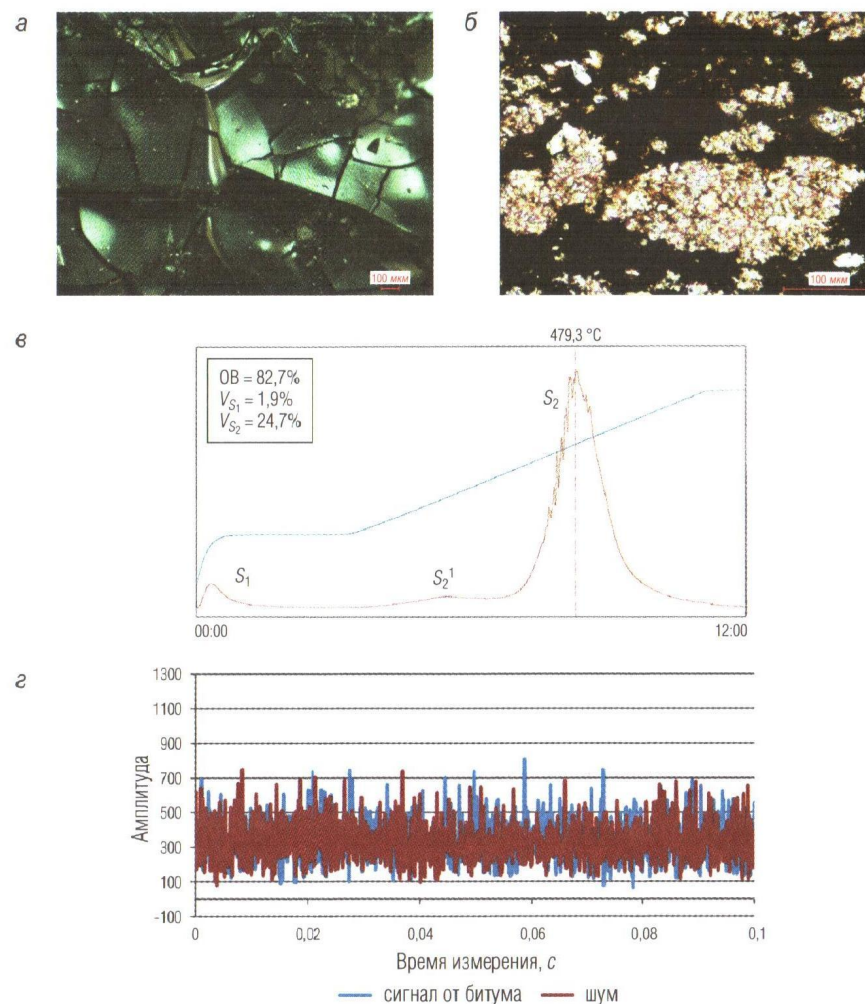


Рис. 6. Фотографии поверхности (а) и прозрачного петрографического шлифа (б), пирограмма (в) и релаксационные кривые ЯМР-сигнала от твердого битума и шума (сигнал в отсутствии образца); Пальнянская площадь, баженовская свита; в петрографическом шлифе (б) видно, что в битуме присутствуют обломки карбонатов

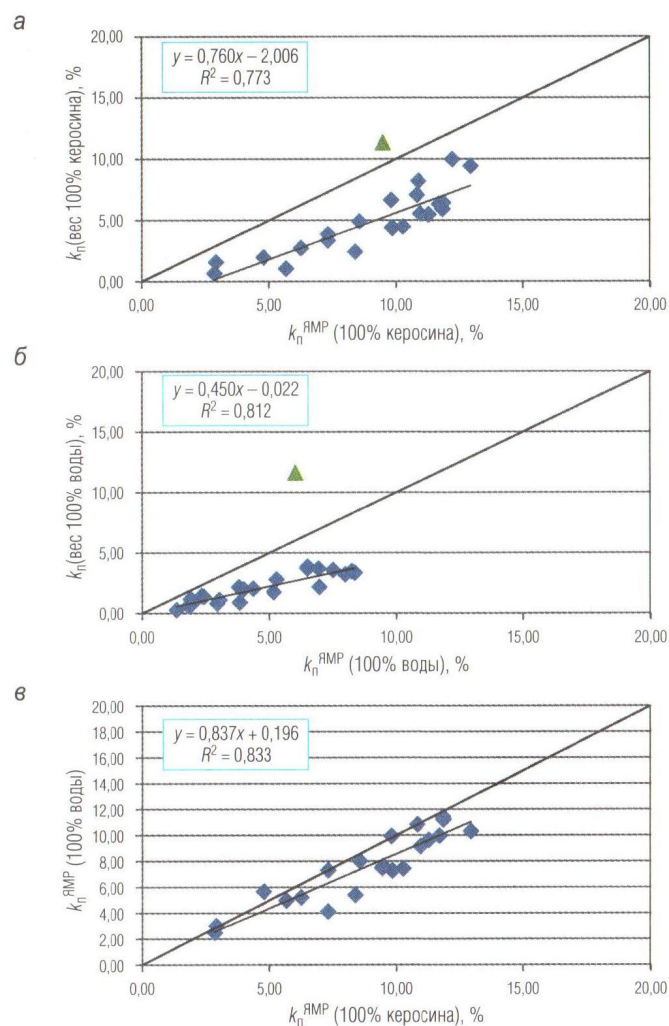


Рис. 7. Зависимости значений пористости, определенные весовым и ЯМР методами:

а – $k_n^{\text{вес}} - k_n^{\text{ЯМР}}$ при 100%-ном насыщении образцов керосином; б – $k_n^{\text{вес}} - k_n^{\text{ЯМР}}$ при 100%-ном насыщении водой; в – $k_n^{\text{ЯМР}}(\text{вода}) - k_n^{\text{ЯМР}}(\text{керосин})$, между образцами, насыщенными соответственно водой и керосином; Каменная площадь, баженовская и гбалакская свиты; треугольником обозначены фигуративные точки, соответствующие алеврит-глауконитовому аргиллиту (рис. 5, а, б)

Однако существует образец алеврит-глауконитового аргиллита, который имеет гораздо более высокую пористость, определенную весовым методом ($k_{\text{п.кер}}^{\text{вес}}$) по сравнению с $k_{\text{п.кер}}^{\text{ЯМР}}$ (рис. 7, а). Отмеченная особенность этого образца объясняется описанными выше свойствами глауконита, а именно тем, что молекулы керосина, так же как и воды, попадая в межслоевое пространство набухающих слоев, оказываются настолько прочно связанными некомпенсированными зарядами их поверхности, что время релаксации становится слишком коротким, чтобы релаксометр смог его зафиксировать. Поэтому разница в величине пористости, определенной весовым и ЯМР методами, должна соответствовать объему межслоевого керосина, который “не видит” ЯМР-релаксометр. В рассматриваемом случае эта разница составляет около 2%, что примерно соответствует нижнему пределу сделанных выше оценок содержания межслоевого флюида.

График зависимости между значениями $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ и пористостью, определенной весовым методом при насыщении образцов водой ($k_{\text{п.вода}}^{\text{ЯМР}}$ и $k_{\text{п.вода}}^{\text{вес}}$ соответственно), оказался более пологим, что скорее всего связано с методическими особенностями определения пористости частично гидрофобных образцов при насыщении их водой, а также присутствием в них после сушки при 105 °С связанной воды и УВ (рис. 7, б). Действительно, в образцах, высушенных при стандартных условиях (105 °С), величина $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ изменяется от 1,1% (в карбонатных типах пород) до 6,9% (в глинисто-битуминозных разновидностях).

Как и в рассмотренной выше зависимости, фигуративная точка, соответствующая алеврит-глауконитовому аргиллиту, оказалась заметно выше остальных, что объясняется той же причиной, а именно вхождением молекул воды в межслоевое пространство, в котором они оказываются прочно связанными с поверхностью слоев, а потому имеют чрезвычайно короткое время релаксации, которое не фиксируется прибором ЯМР (рис. 7, б). Разница между величиной $k_{\text{п.вода}}^{\text{ЯМР}}$ и $k_{\text{п.вода}}^{\text{вес}}$ для рассматриваемого образца оказалась равной 4%. Более значительные различия между $k_{\text{п}}^{\text{ЯМР}}$ и $k_{\text{п}}^{\text{вес}}$ при насыщении образцов водой по сравнению с насыщением керосином, скорее всего, объясняются тем, что упаковка молекул воды в межслоевом пространстве более плотная, чем упаковка гораздо более крупных молекул УВ, входящих в состав керосина. Поэтому содержание молекул воды в межслоевом пространстве набухающих слоев глауконита примерно в два раза больше, чем молекул УВ.

Интересно, что зависимость $k_{п.вода}^{ЯМР} - k_{п.кер}^{ЯМР}$ является не просто значимой, но и имеет довольно высокий коэффициент корреляции (рис. 7, в). Небольшое превышение значений $k_{п.кер}^{ЯМР}$ над величинами $k_{п.вода}^{ЯМР}$ может объясняться двумя причинами: во-первых, небольшим недонасыщением водой в различной степени гидрофобных аргиллитов баженовской свиты, а во-вторых, чуть более высоким водородосодержанием УВ, входящих в состав керосина, по сравнению с водой (в 1,15–1,2 раза).

Рассмотрим теперь спектры ЯМР пород-коллекторов, входящих в состав баженовской свиты.

По керну разреза баженовской свиты, вскрытой в пределах s1 x Тортасинского ЛУ, выделяются интервалы, люминесцирующие в ультрафиолетовом свете, что указывает на наличие в них легких УВ (рис. 8, а). Образцы, отобранные из этих интервалов, представлены прослоями битуминозных радиоляритов, в которых пустотное пространство между раковинками радиолярий заполнено УВ и битумами (рис. 8, б). Величина $k_{п}^{ЯМР}$ одного из образцов радиоляритов составила 11,4% (рис. 8, в). Причем, если воспользоваться в качестве формального критерия для определения доли свободного флюида отсечкой в 33 мс, то окажется, что его содержание в рассматриваемом образце составляет 1,7%.

Образцы, отобранные из нелюминесцирующих интервалов (неколлекторы), представлены керогеновыми силицитами, сложенными преимущественно очень мелкими обломками (пелитовой размерности) раковинок диатомей (?) и радиолярий, а также керогеном, представляющим собой микроскопические углефицированные обломки наземной и морской растительности, и аморфным гелефицированным веществом бурого цвета (рис. 8, з). Этот тип пород обладает очень низкой пористостью, которая по данным интерпретации спектра поперечной релаксации одного из образцов силицитов составляет всего 2,7% (рис. 8, д). Причем, судя по очень короткому времени релаксации, флюид присутствует в очень мелких порах и активно взаимодействует с их стенками.

Следующим примером пород-коллекторов, присутствующих в составе баженовской свиты, могут служить копролиты, имеющие фосфатный или карбонатный состав (рис. 9, а, б, д). Копролитовые фосфориты, как и рассмотренные выше радиоляриты, представляют собой псевдогранулярный коллектор, состоящий из многочисленных овальных комочков (копролитов), имеющих алевритовую и мелкозернистую песчаную размерность (рис. 9, а).

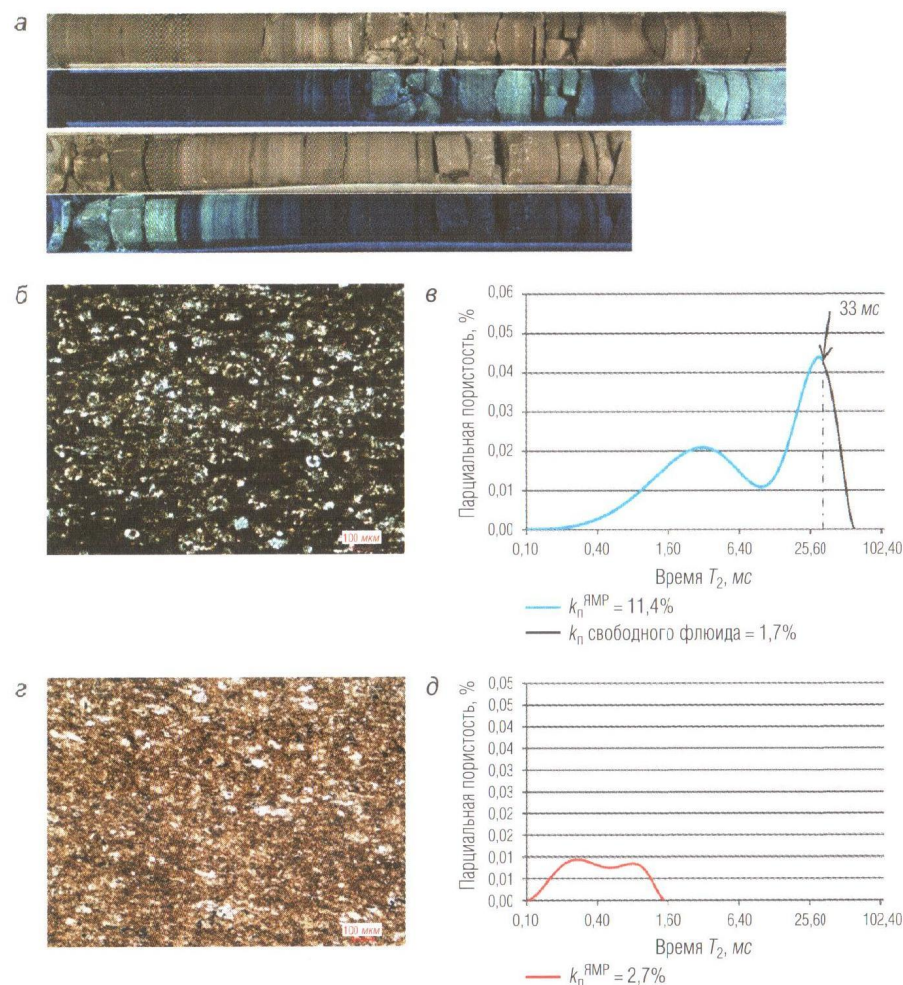


Рис. 8. Фотографии полноразмерного керна из баженовской свиты с мало-мощными нефтенасыщенными интервалами, снятые при дневном и ультрафиолетовом свете (а); фотографии прозрачных петрографических шлифов образцов из нефтенасыщенного (люминесцирующего) интервала, представленные радиоляритами (б), и ненасыщенного УВ интервала, представленного обычными силицитами (з); спектры ЯМР: образцов из нефтенасыщенного интервала (радиоляриты) (в) и нелюминесцирующего интервала (силициты) (д); Тортасинский ЛУ

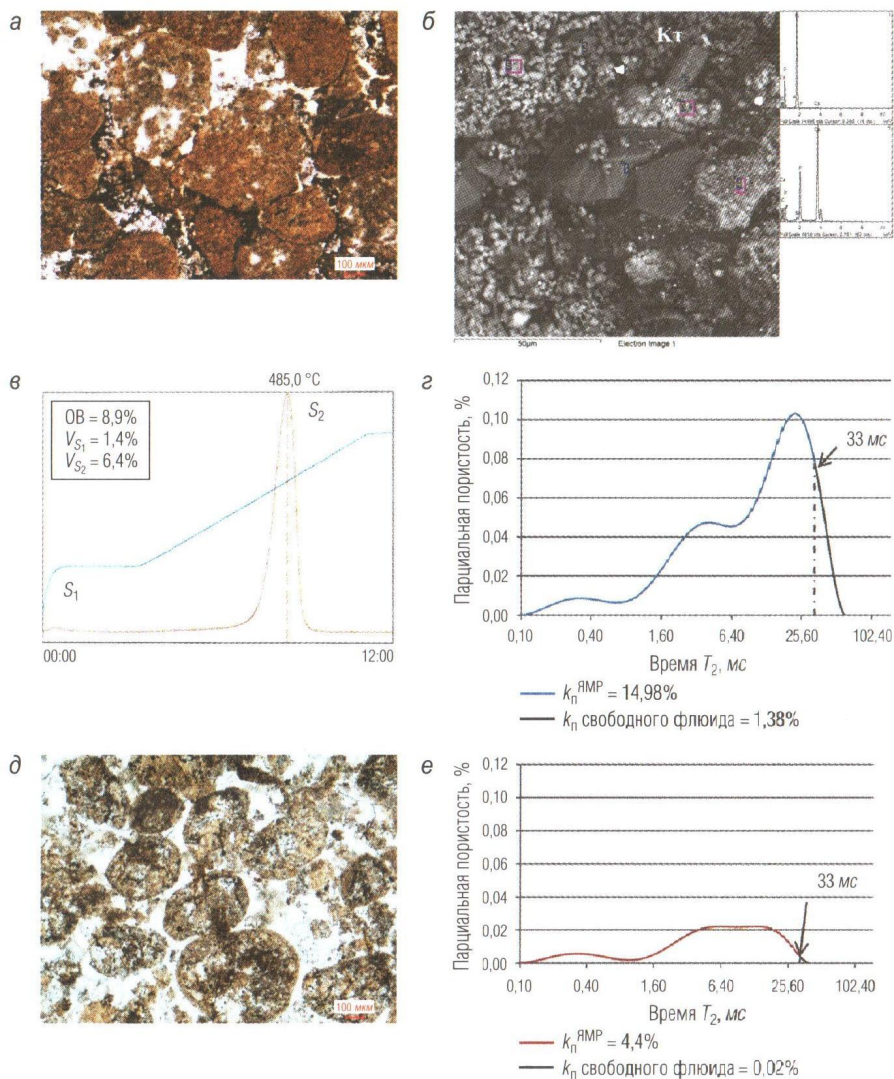


Рис. 9. Фотографии прозрачных петрографических шлифов (а, д), снимок РЭМ (б), пирограмма копролитовых фосфоритов (в), спектры ЯМР (z, е) копролитовых фосфоритов (а–z) и копролитовых карбонатов (д, е); Пальянская площадь, отложения баженовской свиты; рядом со снимком РЭМ приведены элементные спектры микрообъектов, Кт – каолинит

В порах между отдельными фосфатными комочками встречаются разнообразные эпигенетические образования, представленные многочисленными, часто буклетовидными, агрегатами каолинита, кристаллами кварца и карбонатов (рис. 9, б). Сами комочки копролитов не являются монолитными, а сложены многочисленными очень мелкими оолитами, имеющими фосфатный состав (рис. 9, б). Такое микрооолитовое строение зерен копролитов обуславливает наличие в них многочисленных пор микроскопических размеров – от 0,3 до 4 мкм (рис. 9, б).

По результатам геохимических, включая пиролитические, исследований в копролитовых фосфоритах содержание ОВ составляет около 9%, оно представлено гелефицированным аморфным веществом, присутствующим и в самих комочках копролитов, и в межзерновом пространстве, а также УВ и битумами, заполняющими поровое пространство копролитовых фосфоритов (рис. 9, а–в). Объемное содержание низкотемпературных УВ в исследованном образце копролита составляет порядка 1,4%, а высокотемпературных – 6,4%. Их суммарное содержание почти в два раза меньше значений $k_{п.кер}^{ЯМР}$. Это свидетельствует о том, что основная часть флюидов, насыщавших образец и представлявших собой воду и УВ, испарилась в процессе хранения. Содержание свободного флюида в рассматриваемом образце, определенное методом отсечки (33 мс), составляет всего 1,38% (рис. 9, z).

Копролитовые карбонаты или, что то же самое, карбонатные копролиты из-за того, что поровое пространство между отдельными копролитовыми зернами и сами зерна заполнены эпигенетическим кальцитом, имеют низкие значения $k_{п.кер}^{ЯМР}$. У исследованного образца пористость составляет всего 4,4% (рис. 9, д, е). Доля свободного флюида в рассматриваемом образце, определенная методом отсечки, равна всего лишь 0,02%.

Обсуждение полученных результатов

Во всех изученных образцах, отобранных из бажено-абалакского комплекса и находящихся в воздушно-сухом состоянии, в их поровом пространстве присутствуют УВ и вода. Причем по результатам термодистилляции, происходившей при температуре 180 °С, основная часть выделившихся из них флюидов представлена водой, объем которой

даже в битуминозных аргиллитах бажендовской свиты в 1,7–4 раз больше, чем объем УВ. При этом наблюдается закономерное уменьшение содержания воды в образцах по мере роста концентрации в них ОВ и битумов, что объясняется вытеснением исходной поровой воды генерируемыми керогеном битумами и УВ.

В аргиллитах абалакской свиты, где процессы генерации УВ развиты слабо из-за низкого содержания в ней ОВ (керогена), доля воды еще больше и превышает содержание в них УВ в 5–30 и более раз.

Вероятно, основная часть воды, присутствующей в образцах, выделяется из них в процессе термодистилляции. Однако наиболее прочно связанная ее часть, содержащаяся в глинистом цементе, сохраняется в образцах даже при этих достаточно “жестких” термических условиях. Поэтому в случае отсутствия в них жидких УВ на спектрах ЯМР все равно фиксируется присутствие водородсодержащего флюида, представленного водой. Исходя из этого, логично допустить, что при высушивании образцов, содержащих глинистый цемент, по стандартной методике при 105 °С в них обязательно останется “глинистая” вода, дающая на спектре ЯМР соответствующий ей сигнал. Следовательно, при дальнейшем насыщении таких образцов керосином или водой для определения их пористости методом ЯМР получим завышенное, по сравнению с весовым методом, значение.

Другая, противоположная рассмотренной выше, особенность глинистого цемента заключается в том, что вода, находящаяся в межслоевом пространстве набухающих глинистых минералов (например, рассмотренного выше глауконита), настолько прочно связана с их поверхностью, что время ее релаксации оказывается слишком коротким, чтобы быть зафиксированным ЯМР-релаксометром. Поэтому при насыщении предварительно высушенных образцов, содержащих глинистый цемент с набухающими пакетами, например, водой, для определения их пористости, используя метод ЯМР, получают заниженные по сравнению с весовым методом значения пористости.

Таким образом, для глинистых минералов (например, глауконита) можно представить модель их порового пространства следующим образом. В глауконите присутствуют два основных типа пор.

Первые можно условно назвать *макропорами*. Это “двумерные” щелевидные поры, расположенные между соседними чешуйками или, правильнее сказать, кристаллами глауконита, которые хорошо видны

на снимке, сделанном с помощью РЭМ (рис. 5, б). Раскрытость этих “плоских” пор, как уже отмечалось выше, составляет 0,1–0,3 мкм. Однако определение расстояний между соседними чешуйками выполнено на поверхности глауконитовых зерен, где эти чешуйки находятся в “распушенном” состоянии. Во внутренней части зерен эти чешуевидные кристаллы упакованы гораздо плотнее, и расстояние между ними может оказаться меньше 0,1 мкм. Флюиды, находящиеся в этих “плоских” порах, имеют малое, но все же фиксируемое прибором время релаксации сигнала ЯМР с максимумом пика примерно в интервале 0,2–0,3 мс.

Второй тип пор можно условно назвать *микропорами*. К ним относятся межслоевые поры или межслоевое пространство, расположенное внутри набухающих пакетов, в котором содержатся очень прочно связанные молекулы воды или УВ, которые поэтому имеют чрезвычайно короткое время релаксации, из-за чего сигнал ЯМР не успевает зафиксироваться прибором. Расстояние между слоями в набухающих пакетах в зависимости от количества молекул межслоевых флюидов (например, воды) может изменяться приблизительно от $0,3 \cdot 10^{-3}$ (монослой) до $1,2 \cdot 10^{-3}$ мкм (4 слоя межслоевой воды). В процессе сушки глауконита, например, насыщенного водой, из межслоевого пространства набухающих пакетов постепенно слой за слоем выделяется межслоевая вода. Причем чем меньше слоев воды остается в межслоевом пространстве набухающих пакетов, тем выше требуется температура для их удаления из глауконита. Последний слой (монослой) в зависимости от типа катионов, находящихся в межслоевом пространстве, может быть удален при температуре около 200 °С и даже при более высокой температуре [3]. Таким образом, флюиды, находящиеся в *микропорах* глин, в отличие от их *макропор*, не дают спектра релаксации сигнала ЯМР и их объем невозможно определить с помощью ЯМР-релаксометра. Поэтому при сопоставлении результатов определения пористости в глинистых образцах с межслоевым типом пористости (*микропористости*) с помощью ЯМР и весовым методом окажется, что весовой метод даст более высокую величину пористости, чем ЯМР-релаксометр.

Определение с помощью ЯМР-релаксометра объемного содержания УВ, присутствующих в битуминозных аргиллитах, также имеет свои особенности, связанные с образованием так называемых “твердых

растворов” с битумами. Углеводороды, присутствующие в виде таких растворов в битумах, из-за высокой вязкости этих растворов и, соответственно, очень короткого времени релаксации не фиксируются на спектрах ЯМР. Поэтому в процессе сушки таких (содержащих битум) образцов потери их веса за счет испарения УВ никак не отражаются на спектрах ЯМР. Нельзя также исключить и возможность того, что во время сушки подвижные в начале этого процесса УВ (которые фиксировались на спектре ЯМР), потеряв наиболее легкие фракции, становятся настолько вязкими, даже битумоподобными, что время релаксации их спектра ЯМР сокращается до такой степени, что перестает фиксироваться релаксометром. В этом случае наблюдается “опережающее” уменьшение значения $k_{п}^{ЯМР}$ по сравнению с объемами флюидов, выделяющихся вследствие сушки образца.

Вязкие и твердые битумы, по результатам пиролитических исследований, содержат в своем составе как низко-, так и высокотемпературные УВ, которые, однако, не проявляются на спектрах ЯМР, что подтверждает существование упоминавшихся выше так называемых “твердых растворов” между УВ и битумами.

Рассмотренные в настоящей публикации два типа пород-коллекторов с прямыми признаками их нефтеносности отобраны из отложений баженовской свиты (рис. 8, 9). Они представлены псевдогранулярными разновидностями коллекторов.

Первые – это радиоляриты, в которых УВ вместе с битумами содержатся в пространстве между раковинками радиолярий, имеющих преимущественно алевритовую размерность (рис. 8, б). Радиоляриты – достаточно прочные породы, благодаря чему в них частично сохранилась первичная (межраковинная) пористость, а также возникшая позднее в эпигенезе вторичная емкость – за счет процесса нефтегенерации из присутствующего в них керогена.

Вторые – это копролиты фосфатного и/или карбонатного состава, в которых также отмечается псевдомежгранулярная или, вернее, межкопролитовая емкость (рис. 9). Копролиты, имеющие фосфатный состав, лучше сохранили первичную (межкопролитовую) пористость, так как в них процессы заполнения первичной пористости вторичными (эпигенетическими минералами) выражена не так сильно, как в карбонатных копролитах, в которых карбонаты заместили не только сами копролиты, но и поровое пространство, находящееся между ними (рис. 9, а, б, д).

В целом, оба типа пород-коллекторов характеризуются невысокой эффективной емкостью, которая, если воспользоваться методом отсечки по времени поперечной релаксации, равным 33 мс, составляет всего от 0,02 (в карбонатных копролитах) до 1,4% и 1,7% в радиоляритах и фосфоритовых копролитах соответственно. Следовательно, изученные породы-коллекторы, находящиеся в составе баженовской свиты, обладают низкой эффективной емкостью и больших запасов УВ с ними связывать не приходится.

Выводы

1. Основная масса различных литологических типов пород, составляющих бажено-абалакский комплекс, не являются коллекторами и характеризуются очень короткими временами релаксации сигналов ЯМР и низкими значениями $k_{п}^{ЯМР}$.
2. Рассмотренные в настоящей публикации породы-коллекторы представлены псевдогранулярными разновидностями, в которых поры присутствуют либо между раковинками радиолярий (в радиоляритах), либо между комочками копролитов (фосфоритовые и карбонатные копролиты); в них по данным ЯМР присутствует эффективная емкость, заполненная “свободным” флюидом, они же характеризуются довольно высокой, по сравнению с другими литологическими типами пород, пористостью ($k_{п}^{ЯМР}$).
3. Наличие чрезвычайно узких микроскопических пор в межслоевом пространстве набухающих глинистых минералов, а также “твердых растворов” УВ в битумах ограничивает возможность определения содержания флюидов в этом типе пор глинистых минералов и “твердых растворах” битумов методом ЯМР.
4. Вследствие процессов разуплотнения, а также взаимодействия с водой тонкослоистых глинистых образцов, отобранных из бажено-абалакского комплекса, в них происходит образование многочисленных микротрещин (заложенных еще в процессе их неравномерного уплотнения и под действием последующих тектонических напряжений в пластовых условиях), которые в насыщенном водой или керосином состоянии на спектрах ЯМР дают дополнительные пики с максимальными значениями времен поперечной релаксации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельрод С. М. Многомерные ЯМР-исследования разрезов скважин // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2008. Вып. 172. С. 84–123.
2. Аксельрод С. М. Современные тенденции развития ядерно-магнитных методов в петрофизике и геофизических исследованиях в скважинах // Труды Всероссийской научно-практической конференции "Состояние и перспективы развития ядерно-магнитных методов исследований нефтегазовых и рудных скважин, каменного материала и флюидов". М.: ГНЦ ВНИИгеосистем, 2011. С. 28–42.
3. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 162 с.
4. Джафаров И. С., Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф. Применение метода ядерно-магнитного резонанса для характеристики состава и распределения пластовых флюидов. М.: Химия, 2002. 437 с.
5. Зубков М. Ю., Потапов А. Г. Результаты изучения ЯМР-спектров водонасыщенных моделей из шариков различного диаметра. Геофизические, геохимические и петрофизические исследования и геологическое моделирование при поиске, разведке и контроле эксплуатации нефтегазовых месторождений // Труды международной научно-практической конференции. М.: ВНИИгеосистем, 2013. С. 237–245.
6. Скрылев С. А., Чуйко А. И., Зубков М. Ю. Опыт и проблемы применения геофизических методов при изучении залежей нефти в абалакской свите Красноленинского месторождения // НТВ "Каротажник". Тверь: ГЕРС. 1997. Вып. 41. С. 49–58.
7. Топорков В. Г., Денисенко А. С. Практическое применение данных ЯМР для оценки свойств структуры пород продуктивных нефтегазоносных залежей // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2008. Вып. 177. С. 162–188.
8. Топорков В. Г., Денисенко А. С., Мурцовкин В. А. Этапы развития экспериментальных исследований нефтегазовых коллекторов методом ЯМР 1990–2010-х годов // Труды Всероссийской научно-практической конференции "Состояние и перспективы развития ядерно-магнитных методов исследований нефтегазовых и рудных скважин, каменного материала и флюидов". М.: ГНЦ ВНИИгеосистем, 2011. С. 82–99.
9. Coates G. R., Xiao L., Prammer M. G. NMR Logging Principles and Applications. Houston: Halliburton Energy Services, 1999. 335 p.

Рецензент доктор геол.-мин. наук В. Г. Топорков

УДК 550.832

М. В. Ракитин, Е. А. Игленкова, Д. В. Штепин
 ООО "ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть"
Д. В. Васильев, Т. Р. Ассанова
 Schlumberger

ТЕХНОЛОГИЯ УВЯЗКИ ДАННЫХ ГИС ПРИ БУРЕНИИ СВЕРХПРОТЯЖЕННЫХ НАКЛОННО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Показана технология увязки данных ГИС при каротаже на геофизическом кабеле и при каротаже в процессе бурения для наклонно-горизонтальных сверхпротяженных скважин на месторождении им. Ю. Корчагина, Северный Каспий.

Ключевые слова: наклонно-горизонтальная скважина, каротаж, увязка данных, буровой инструмент, обсадная колонна.

Месторождение им. Ю. Корчагина, расположенное в российском секторе Каспийского моря, является первым нефтегазоконденсатным месторождением в данном регионе, введенным в промышленную эксплуатацию ОАО "ЛУКОЙЛ".

Залежи нефти этого месторождения по своему типу относятся к пластово-сводовому с газовой шапкой и приурочены к пологой антиклинальной структуре (рис. 1). Разработка месторождения ведется системой сверхпротяженных скважин длиной от 3000 до 7000 м со стационарной платформы, установленной в районе купола геологической структуры (рис. 2).

При строительстве и эксплуатации скважин используются разные способы измерения протяженности (глубины) ствола скважины. В зависимости от технических условий измерения проводятся разными мерами – с помощью обычного измерения каротажного кабеля при работах ГИС, с использованием технологии мокрого соединения при использовании кабеля с трубами (TLC), с использованием скважинного трактора, мер инструмента и обсадной колонны. На одной из скважин месторождения им. Ю. Корчагина спущено оптоволоконно, соответственно, используется мера глубин оптоволоконка по стволу скважины.

Каждая из этих мер имеет свои достоинства и недостатки, но глубина по стволу не может быть разной, поэтому все данные привязываются к глубинам, полученным при строительстве скважины.