



С.К. Ахмедсафин
ПАО «Газпром»¹
заместитель начальника
департамента
S.Akhmedsafin@adm.gazprom.ru



С.А. Кирсанов
канд. техн. наук
ПАО «Газпром»¹
заместитель начальника
управления
S.Kirsanov@adm.gazprom.ru



И.В. Шпуров
д-р техн. наук
профессор
ФБУ «ГКЗ»²
генеральный директор
ShpurovIV@gkz-rt.ru



С.А. Егурцов
ООО «Инновационные
нефтегазовые технологии»³
генеральный директор
s.egurtsov@iogt.ru



А.Ф. Зайцева
канд. геол.-мин. наук
ООО «Инновационные
нефтегазовые технологии»³
главный специалист отдела
комплексной интерпретации
ГИС
a.zaitseva@iogt.ru



Ю.В. Иванов
канд. техн. наук
ООО «Инновационные
нефтегазовые технологии»³
заместитель генерального
директора по производству –
технический директор
y.ivanov@iogt.ru



А.Г. Новиков
ООО «Инновационные
нефтегазовые технологии»³
начальник отдела комплексной
интерпретации ГИС
a.novikov@iogt.ru

Опыт применения технологии многозондового мультиметодного нейтронного каротажа с целью комплексного изучения коллекторов ачимовской толщи севера Западной Сибири

¹Россия, 190000, Санкт-Петербург, Московский проспект, 156, BOX 1255.

²Россия, 119180, Москва, ул. Большая Полянка, 54, стр. 1.

³Россия, 117342, Москва, ул. Обручева, 36, стр. 2

Изложены результаты применения нового методического подхода к комплексному изучению литолого-петрофизических свойств и характера насыщения коллекторов ачимовской толщи с применением технологии мультиметодного многозондового нейтронного каротажа (ММНК). Представлены возможности ММНК при исследовании ачимовских коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами УВС (ТРИЗ), характеризующихся литологической неоднородностью, сложной структурой пустотного пространства и низкими коллекторскими свойствами. Подтверждены возможности детальной литологической типизации пород с применением технологии ММНК. Применение предложенного подхода существенно повышает точность и детальность выделения пластов-коллекторов с ТРИЗ даже при недостаточном количестве ядерного материала

Ключевые слова: трудноизвлекаемые запасы; сложнопостроенные коллекторы; технология мультиметодного многозондового нейтронного каротажа; литолого-петрофизические свойства; характер насыщения; ачимовская толща

Наращивание ресурсной базы ПАО «Газпром», в том числе ее восполнение на обустроенных площадях месторождений с развитой инфраструктурой, необходимость повышения эффективности и продления рентабельного периода разработки НГКМ имеют для ПАО «Газпром» стратегическое значение.

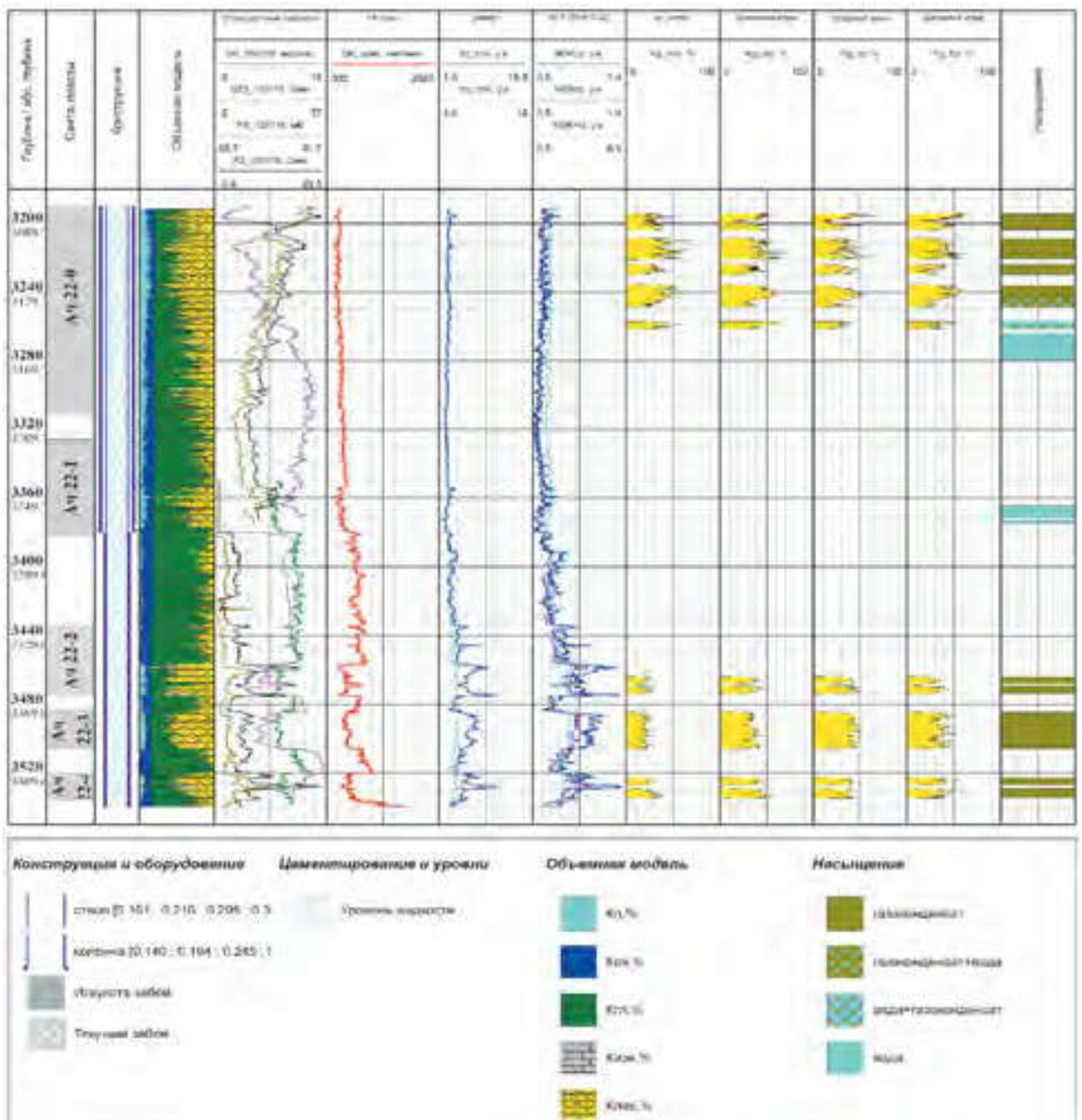
С 2017 г. в ПАО «Газпром» реализуется утвержденная Программа освоения нетрадиционных и трудноизвлекаемых ресурсов газа (да-

лее – Программа). Программа содержит оценку сырьевой базы, а также обоснование приоритетных направлений и наиболее перспективных территорий по изучению и добыче газа, в том числе из надсеноманских, ачимовских и юрских отложений месторождений ЯНАО [1].

Несомненный интерес с точки зрения изучения и промышленного освоения представляют запасы газа, конденсата, нефти, сосредоточенные в ачимовской толще. Ресурсный потенциал ачимовских отложений огромен и исчисляется

Рис. 1.

Сводный планшет поисково-оценочной скважины НГКМ севера Западной Сибири в интервале ачимовской толщи



Продуктивные пласты	Исследованные интервалы ГИС, м			Средневзвешенные коэффициенты компонентного состава пород, %															
				Средние ФЕС					Низкие ФЕС					Неколлекторы					
	Кровля	Подошва	Н	Кп	Ксв	Кгл	Кпесч	%	Кп	Ксв	Кгл	Кпесч	%	Кп	Ксв	Кгл	Кпесч	%	
Ач22-0	3191	3311	120	15	5	17	61	28	11	12	35	42	46	5	20	52	23	26	
Ач22-1	3327	3382	55	16	2	4	78	1	10	13	37	39	31	5	20	59	16	68	
Ач22-2	3434	3475	41	отсутствуют				0	13	5	21	59	42	3	21	61	15	58	
Ач22-3	3485	3507	21	отсутствуют				0	12	6	21	60	100	отсутствуют					0
Ач22-4	3521	3535	14	отсутствуют				0	9	10	33	47	100	отсутствуют					0

Таблица 1.

Средневзвешенные коэффициенты компонентного состава изученных ачимовских отложений со средними, низкими ФЕС и неколлекторами

миллиардами тонн условного топлива. По экспертным оценкам в этих отложениях находится около 16% разведанных запасов свободного газа России. Более половины из 10 млрд т начальных геологических запасов ачимовки в Западной Сибири находятся в сфере влияния «Газпрома» и «Газпром нефти» [2].

Освоением части глубокозалегающих труднодоступных ачимовских залежей занимается совместное предприятие ПАО «Газпром» и Wintershall – АО «Ачимгаз» [3]. В соответствии с Программой ведутся геологоразведочные работы в четырех северных дочерних газодобывающих обществах. Для освоения залежей ачимовской толщи в компании «Газпром нефть» в 2017 г. запущен проект «Большая Ачимовка» [2, 4].

Учитывая геологическое строение, литологические особенности и коллекторские свойства, продуктивные пласты ачимовской толщи (K_1v) Западной Сибири, представленной песчано-алевритовыми телами со сложным чередованием песчано-алевритовых и глинистых прослоев, с полным основанием относятся к сложнопостроенным коллекторам с трудноизвлекаемыми запасами УВС, являющимися одним из наиболее сложных объектов поисково-разведочных работ и разработки.

На сегодняшний день известно значительное количество публикаций с результатами изучения тектонического и геологического строения ачимовской толщи с учетом материалов сейсморазведки и стандартных методов ГИС, но остается еще много нерешенных вопросов.

В чем основные сложности? Особенности ачимовских отложений меняются от региона к региону, однотипные технологические решения могут не работать на всей территории, где

обнаружены такие запасы. Ситуацию усугубляют плохие фильтрационно-емкостные свойства коллекторов, которые могут варьироваться от скважины к скважине. Сложное геологическое строение, связанное с особенностями их формирования, затрудняют интерпретацию данных ГИС [2].

Одним из основных направлений решения указанных задач является создание и внедрение новейших аппаратно-методических комплексов отечественной разработки и инновационных технологий, позволяющих проводить исследования на современном уровне и получать достоверную качественную информацию, в том числе и ответы на разнообразные «ачимовские вызовы».

Одним из примеров осуществления такого подхода является созданная на базе ядерно-геофизических методов инновационная техноло-

Рис. 2.

Компонентный состав песчаников неравномерно алевритистых со средними ФЕС пластов Ач22⁰ и Ач22¹



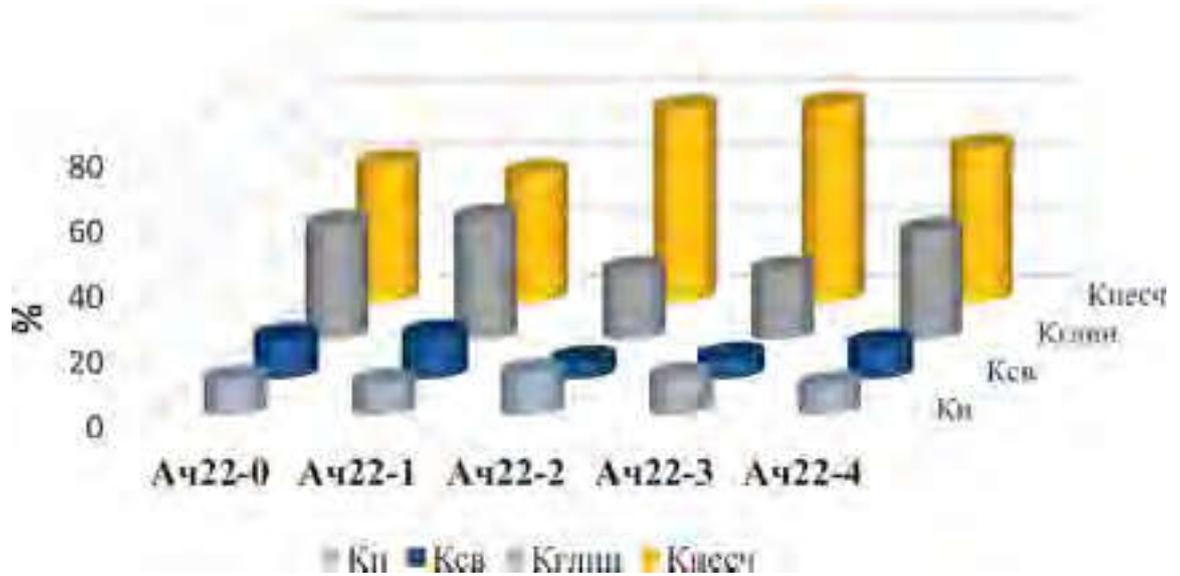


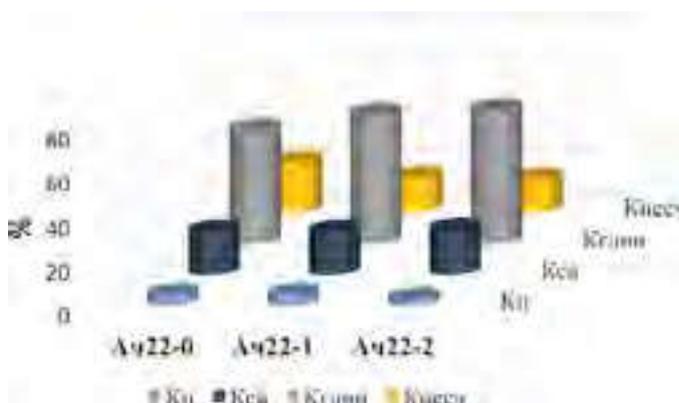
Рис. 3.
Компонентный состав пород с низкими ФЕС: алевролитов глинистых пластов Ач22⁰ и Ач22¹; песчаников алевритистых пластов Ач22² и Ач22³; алевролитов пласта Ач22⁴

гия мультиметодного многозондового каротажа (технология ММНК), реализующая комплексные геофизические исследования действующих многоколонных нефтегазовых скважин с целью литолого-петрофизической характеристики пород, выделения и оценки характера насыщения пластов-коллекторов [5, 6].

Технология является мультиметодной поскольку в основном нейтронном модуле реализуются основные модификации стационарного нейтронного каротажа: ННКт, ННКнт, СНГК, и комплексной – в сборку скважинных приборов включаются модули спектрометрического гамма каротажа (СГК), сканирующей магнитоимпульсной дефектоскопии (МИД-С), высокочувствительной термометрии (ТМ), локатора муфт (ЛМ) и барометрии (БМ).

Технология является многозондовой поскольку в нейтронных модулях аппаратуры

Рис. 4.
Компонентный состав аргиллитов (неколлекторов) пластов Ач22⁰; Ач22¹ и Ач22²



ММНК реализовано 5 и более зондов в широком диапазоне их длин. Это дает возможность разноглубинного зондирования приквацинной зоны коллекторов (ПЗК) и определения характера радиального распределения текущей нефтегазонасыщенности внутри ПЗК: возрастающей, постоянной или убывающей, что позволяет ранжировать продуктивные отложения по ФЕС и выявлять техногенные нарушения внутри ПЗК (заколонные перетоки, техногенные скопления УВ и т.д.), нарушающие естественное распределение K_г в пласте, поэтому многозондовость является физической предпосылкой для разделения эффектов, связанных с нефтегазонасыщенностью и с техногенными помехами.

В технологии ММНК измерения различными методами и зондами выполняются за одну спуско-подъемную операцию, т.е. сопряжены во времени и совмещены в пространстве, что значительно повышает достоверность интерпретации.

Предложенный и примененный методический подход к комплексному изучению литолого-петрофизических свойств и характера насыщения пород-коллекторов, выполненному в интервале залегания ачимовских отложений в обсаженных скважинах нефтегазоконденсатного месторождения севера Западной Сибири с применением технологии ММНК [5, 6], заключается в следующем.

Начальный этап исследований включает построение и интерпретацию объемной литологической модели по данным спектрометрического радиоактивного каротажа (СГК + СНГК) и ГИС открытого ствола. Модель строится методом

петрофизических уравнений, позволяющих рассчитать на основании элементного состава (U, Th, K, Si, Ca, H, Cl) и физических свойств пород компонентный состав: коэффициенты пористости (Кп), связанной воды (Ксв), глинистости (Кгл), песчаности (Кпесч), нормированные на 100%.

В результате литомодель визуально отображает непрерывные кривые компонентного состава, соответствующие объемам долям емкостного пространства, связанной воде, скелетной и цементной частям породы в каждой точке исследуемого разреза скважины, что является существенным преимуществом ГИС по сравнению с дискретным набором данных, получаемых по керновому материалу.

На **рис. 1** представлен сводный планшет исследованной скважины в интервале залегания ачимовских продуктивных пластов Ач22⁰, Ач22¹, Ач22², Ач22³, Ач22⁴ с результатами ММНК.

Далее непрерывная модель с помощью специализированного программного обеспечения [5], в зависимости от значений коэффициентов Кп, Ксв, Кгл, Кпесч, преобразуется в систему подынтервалов, соответствующих литотипам, отличающихся друг от друга по своим литологическо-петрофизическим свойствам.

Предельные значения коэффициентов компонентного состава, позволяющие выделить литотипы, определяются на основании анализа результатов модельных, опытно-экспериментальных и опытно-промышленных работ с применением ММНК (в нашем случае работы проведены в 2013–2018 гг.), сравнительного анализа статистических связей типа керн – ГИС и ГИС – ГИС и многолетнего опыта, полученного при комплексном изучении керна в лабораториях физики пласта. Емкостные свойства коллекторов

определены на количественном уровне, фильтрационные – на качественном на основании информации о литотипе и в соответствии с классификацией коллекторских свойств терригенных пород А.А. Ханина.

Примененный методический подход позволил выделить коллекторы, оценить ФЕС и спрогнозировать качество коллекторов в исследованном интервале продуктивного пласта Ач22 (**табл. 1**).

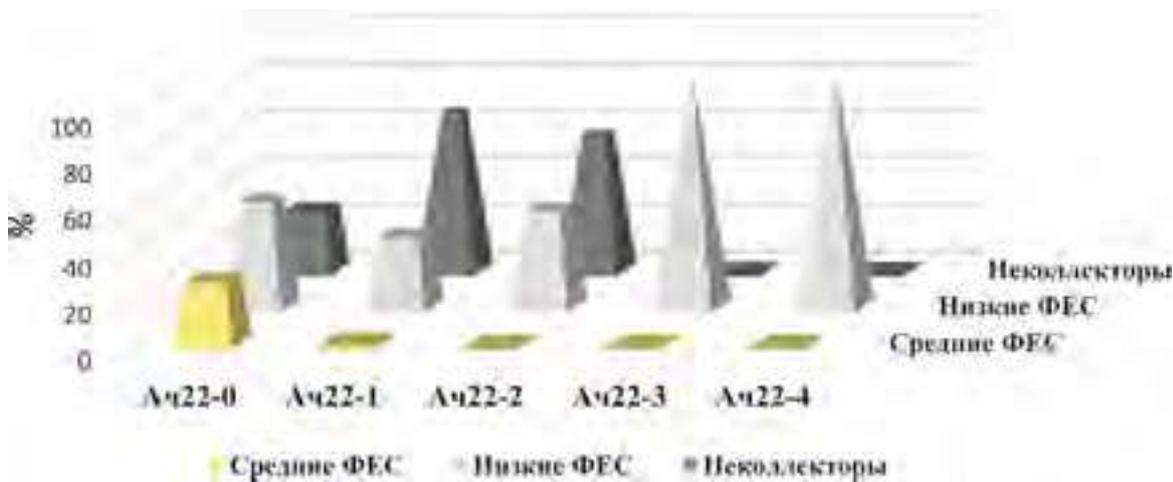
Ниже на **рис. 2, 3, 4, 5** графически отображены данные литолого-петрофизической характеристики ачимовских отложений, приведенные в **табл. 1**.

На основании приведенных выше данных литолого-петрофизические свойства ачимовской толщи в исследованном интервале скважины охарактеризованы следующим образом (**табл. 1**):

- пласт Ач22⁰ (3195–3280 м) (толщина 120 м) – толща переслаивания:
 - песчаников неравномерно алевритистых ($K_{п.ср.взв} = 15\%$, $K_{св.ср.взв} = 5\%$, $K_{гл.ср.взв} = 17\%$, $K_{песч.ср.взв} = 61\%$) со средними фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), составляющих 28% от интервала;
 - глинисто-алевритовых отложений ($K_{п.ср.взв} = 11\%$, $K_{св.ср.взв} = 12\%$, $K_{гл.ср.взв} = 35\%$, $K_{песч.ср.взв} = 42\%$) с низкими ФЕС, составляющих 46%;
 - в нижней части аргиллитов (неколлекторы), составляющих 26%;
- пласт Ач22¹ – (3327–3382 м) (толщина 55 м) – аргиллиты (неколлекторы), составляющие 68% от толщины интервала, переслаивающиеся с глинисто-алевритовыми отложениями ($K_{п.ср.взв} = 10\%$, $K_{св.ср.взв} = 13\%$, $K_{гл.ср.взв} = 37\%$, $K_{песч.ср.взв} = 39\%$) с низкими ФЕС, составляющими

Рис. 5.

Соотношение различных типов коллекторов в пластах Ач22⁰; Ач22¹; Ач22²; Ач22³ и Ач22⁴



Продукт пласты	Интервалы коллекторов, м			Литология	Кпр.зв	Кг_ННК, %	Кг_СНГК по зонам, %			Характер насыщения
	Кровля	Подовша	Н				Ближн	Средн.	Дальн.	
Ач22-0	3195	3197	3	песчаник алевроитистый	15	41	42	40	44	газоконденсат
	3197	3204	6	глинисто-алевритовые отл.	13	35	35	32	32	газоконденсат
	3209	3221	12	песчаник алевроитистый	15	41	50	40	44	газоконденсат
	3222	3229	7	песчаник алевроитистый	14	40	40	34	43	газоконденсат
	3236	3243	7	песчаник	16	45	53	48	50	газоконденсат
	3243	3249	6	глинисто-алевритовые отл.	12	37	40	32	34	газоконденсат + вода
	3257	3262	5	глинисто-алевритовые отл.	9	35	35	32	32	вода + газоконденсат
	3264	3280	16	глинисто-алевритовые отл.	9	-	-	-	-	вода
	3365	3372	7	алевролит	12	-	-	-	-	вода
	3374	3377	3	глинисто-алевритовые отл.	10	-	-	-	-	вода
Ач22-1	3464	3467	4	песчаник алевроитистый	13	21	34	36	33	газоконденсат
	3469	3474	5	песчаник алевроитистый	12	18	33	34	30	газоконденсат
Ач22-2	3485	3506	21	песчаник алевроитистый	12	21	32	36	34	газоконденсат
Ач22-3	3523	3535	12	алевролит	9	27	34	36	36	газоконденсат

Таблица 2.
Характер и степень насыщения ачимовских пластов-коллекторов

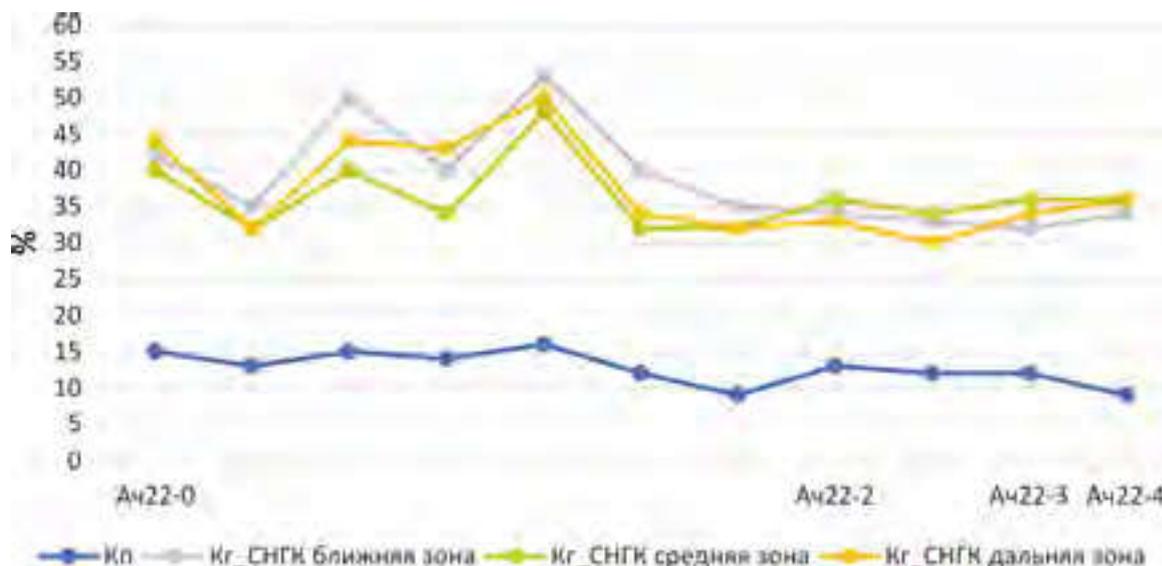


Рис. 6. Сопоставление $K_{п\text{ ср.бзв.}}$ и $K_{г\text{ ср.бзв.}}$ ачимовских продуктивных пластов Ач22⁰, Ач 22², Ач22³, Ач22⁴, характеризующихся газоконденсатным насыщением

31%. Редкие прослои песчаников ($K_{п\text{ ср.бзв.}} = 16\%$, $K_{св\text{ ср.бзв.}} = 2\%$, $K_{г\text{ ср.бзв.}} = 4\%$, $K_{песч\text{ ср.бзв.}} = 78\%$) со средними ФЕС, составляющие 1%;

– пласт Ач 22² – (3434–3475 м) (толщина 41 м) – аргиллиты (неколлекторы), составляющие 58% от интервала, переслаивающиеся с песчано-алевритовыми отложениями ($K_{п\text{ ср.бзв.}} = 13\%$, $K_{св\text{ ср.бзв.}} = 5\%$, $K_{г\text{ ср.бзв.}} = 21\%$, $K_{песч\text{ ср.бзв.}} = 59\%$) с низкими ФЕС;

– пласт Ач22³ – (3485–3507 м) (толщина 21 м) – песчано-алевритовые отложения ($K_{п\text{ ср.бзв.}} = 12\%$, $K_{св\text{ ср.бзв.}} = 6\%$, $K_{г\text{ ср.бзв.}} = 21\%$, $K_{песч\text{ ср.бзв.}} = 60\%$) с низкими ФЕС;

– пласт Ач22⁴ – (3521–3535 м) (толщина 14 м) – алевриты ($K_{п\text{ ср.бзв.}} = 9\%$, $K_{св\text{ ср.бзв.}} = 10\%$, $K_{г\text{ ср.бзв.}} = 33\%$, $K_{песч\text{ ср.бзв.}} = 47\%$) с низкими ФЕС;

– понижение ФЕС песчано-алевритовых отложений пластов Ач 22², Ач22³; Ач22⁴ связано с интенсификацией процессов постседиментационных преобразований.

На заключительном этапе исследований комплексом нейтронных методов ЗСНГК и 2ННКт определяется характер и степень насыщения выделенных пластов-коллекторов (табл. 2; рис. 6).

Сравнительный анализ емкостных свойств и степени насыщения коллекторов ачимовских продуктивных пластов показал:

– пласт Ач22⁰ – коллекторы преимущественно насыщены газоконденсатом, в интервалах песчаников с $K_{п} = 15\text{--}16\%$ – $K_{г} = 43\text{--}50\%$, в интервалах глинисто-алевритовых отложений с $K_{п} = 9\text{--}12\%$ – $K_{г} = 32\text{--}34\%$, в нижней части пласт водонасыщен, отмечается корреляционная зависимость между $K_{п}$ и $K_{г}$;

– пласт Ач22¹ водонасыщен;

– пласты Ач 22², Ач22³, Ач22⁴ – песчано-алевритовые коллекторы с $K_{п} = 9\text{--}13\%$ насыщены газоконденсатом, $K_{г}$ изменяется в пределах 32–36%.

Выводы

1. Получен положительный опыт применения нового методического подхода по комплексному изучению литолого-петрофизических свойств и характера насыщения ачимовских пластов-коллекторов с применением технологии ММНК на скважинах ПАО «Газпром».

2. Технология мультиметодного многозонного нейтронного каротажа – ММНК, позволяющая получить послойную детальную информацию о пластах-коллекторах (в том числе об их литологическом составе, коллекторских свойствах, характере и степени насыщения, эффективной насыщенной УВС толщине продуктивного пласта, положении флюидоразделяющих контактов и др.) в скважинах любой конструкции может быть успешно применена для изучения продуктивных пластов с ТРИЗ.

3. Предлагаемый методический подход к интерпретации литологических моделей пород позволяет проводить детальную литологическую-петрофизическую типизацию пород по данным ГИС, что существенно повышает информативность результатов ММНК.

4. Приведенные примеры типизации коллекторов и возможность нахождения корреляционных зависимостей между типами коллекторов и степенью их насыщения УВС показали преимущества технологии ММНК при прогнозировании запасов на объектах УВС.

5. Технология ММНК по определению необходимых подсчетных параметров (Кнг, Кп, Нэф. и др.) открывает новые дополнительные возможности прогнозирования при проведении разведки и доразведки запасов УВС в условиях

построенного фонда скважин на газовых, газо-конденсатных, нефтегазоконденсатных и нефтяных месторождениях, что без глушения скважин и бурения дополнительного фонда обеспечивает значительный экономический эффект. **КМ**

Литература

1. Разнообразие проектов. Интервью заместителя председателя правления ПАО «Газпром» В.А. Маркелова // Газпром. 2018. № 4. С. 16–23.
2. Путь вверх. «Газпром нефть» готовится к активному освоению ачимовской свиты // Сибирская нефть. 2018. № 2/149. С. 25–29.
3. Интервью члена правления «Wintershall» Тило Виланда // Газпром. 2018. № 4. С. 24–26.
4. ТриЗ, как объективная реальность. Особенности классификации и разработки и трудноизвлекаемых запасов // Сибирская нефть. 2018. № 2/149. С. 17–23.
5. Развитие технологии многозондового нейтронного каротажа для исследования газонасыщенности в обсаженных скважинах. Методология и практика применения / Под ред. В.В. Черепанова. М.-Тверь: ПолиПРЕСС. 2018. 238 с.
6. Ахмедсафин С.К., Егуртов С.А., Кирсанов С.А., Иванов Ю.В. и др. Технология ММНК. Мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж: справочное пособие. М.-Тверь: ПолиПРЕСС. 2018. 24 с.

UDC 550.832.5

S.K. Akhmedsafin, Deputy Department Head, Public Joint Stock Company Gazprom¹, S.Akhmedsafin@adm.gazprom.ru
S.A. Kirsanov, PhD, Deputy Head of Directorate, Public Joint Stock Company Gazprom¹, S.Kirsanov@adm.gazprom.ru.
I.V. Shpurov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director General of State Commission on Mineral Reserves², ShpurovIV@gkz-rf.ru.
S.A. Egurtsov, Director General, OOO “Innovative Oil & Gas Technologies”³, s.egurtsov@iogt.ru.
A.F. Zaitseva, Doctor of Geology, Chief Specialist of the GIS Integrated Interpretation Department, OOO “Innovative Oil & Gas Technologies”³, a.zaitseva@iogt.ru
Yu.V. Ivanov, PhD, Deputy General Director for Production – Technical Director, OOO “Innovative Oil & Gas Technologies”³, y.ivanov@iogt.ru
A.G. Novikov, Head of the GIS Integrated Interpretation Department, OOO “Innovative Oil & Gas Technologies”³, a.novikov@iogt.ru

¹Public Joint Stock Company Gazprom. BOX 1255, St. Petersburg, 190000, Russia.

²54, bldg 1, Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russia.

³36, building 2, Obruchev street, Moscow, 117342, Russia

Experience of Using Multiprobe Multimethod Neutron Logging Technology in Order to Comprehensively Study the Collectors of the Achimov Sequence of the North of Western Siberia

Abstract. The results of applying a new methodological approach to the complex study of lithological and petrophysical properties and the nature of saturation of collectors of the Achimov formation using the method of multimethod multiprobe neutron logging are presented. Opportunities for MMOs are presented in the study of Achimov reservoirs with hard-to-recover hydrocarbon reserves, characterized by lithological heterogeneity, complex structure of the void space and low reservoir properties. The possibilities of detailed lithological typing of rocks using multimethod multiprobe neutron logging technology are confirmed. The application of the proposed approach significantly improves the accuracy and detail of the selection of reservoir beds with a hard to recover reserves even with an insufficient amount of core material.

Keywords: hard to recover reserves; complex reservoirs; multimethod multiprobe neutron logging technology; lithologic and petrophysical properties; nature of saturation; Achimov series

References

1. *Raznoobrazie proektov* [Variety of projects]. Interview with Deputy Chairman of the Board of PAO Gazprom V.A. Markelov. *Gazprom* [Gazprom], 2018, no. 4, pp. 16–23.
2. *Put' naverkh. «Gazprom nef't» gotovitsia k aktivnomu osvoeniiu achimovskoi svity* [Way up. Gazprom Neft Prepares for Active Development of the Achimov Formation]. *Sibirskaiia nef't* [Siberian oil], 2018, no. 2/149, pp. 25–29.
3. *Interv'iu chlena pravleniia «Wintershall» Tilo Vilanda* [Interview of Tilo Wieland, a member of the Board of Wintershall]. *Gazprom* [Gazprom], 2018, no. 4, pp. 24–26.
4. *TriZ, kak ob'ektivnaia real'nost'. Osobennosti klassifikatsii i razrabotki i trudnoizvlekaemykh zapasov* [Hard-to-recover reserves, as an objective reality. Features of the classification and development and hard to recover reserves]. *Sibirskaiia nef't* [Siberian oil], 2018, no. 2/149, pp. 17–23.
5. *Razvitie tekhnologii mnogozondovogo neitronnogo karotazha dlia issledovaniia gazonasyshchennosti v obsazhennykh skvazhinakh. Metodologiya i praktika primeneniia* [Development of multiprobe neutron logging technology for gas saturation research in cased wells. Methodology and practice of application]. By edited V.V. Cherepanov. Moscow-Tver, PoliPRESS Publ., 2018, 238 p.
6. Akhmedsafin S.K., Egurtsov S.A., Kirsanov S.A., Ivanov Yu.V. i dr. *Tekhnologiia MMNK. Mul'timetodnyi mnogozondovyi neitronnyi karotazh: spravocnoe posobie* [MMNK technology. Multimethod Multiprobe Neutron Logging: Reference Guide]. Moscow-Tver, PoliPRESS Publ., 2018, 24 p.