



А.В. Хабаров
канд. техн. наук
«Сахалин Энерджи»¹
руководитель
петрофизического направления
A.Khabarov@sakhalinenergy.ru



И.М. Иванцов
«Сахалин Энерджи»¹
ведущий петрофизик
Igor.Ivantsiv@
sakhalinenergy.ru



Р. Саймон
«Сахалин Энерджи»¹
Экс руководитель
петрофизического
направления
Roya.Simon@shell.com



С.В. Полушкин
канд. физ.-мат. наук
«Салым Петролеум
Девелопмент»²
петрофизик
Sergey.Polushkin@
salympetroleum.ru

Особая роль ядерно-магнитного каротажа при построении модели литологии и проницаемости коллекторов с переменным газонасыщением

¹Россия, 693020, Южно-Сахалинск, ул. Дзержинского, 35

²Россия, 123242, Москва, Новинский бульвар, 31, торгово-деловой центр «Новинский», 6 этаж

Лунское оффшорное газоконденсатное месторождение характеризуется остаточной газонасыщенностью в подконтактной зоне. Имеются две группы каротажных данных: каротаж на кабеле в старых разведочных скважинах и каротаж во время бурения в современном эксплуатационном скважинном фонде. Керна отобран исключительно в разведочных скважинах, в то время как ядерно-магнитный каротаж и другие специальные методы ГИС проведены в эксплуатационных скважинах. В статье излагаются детали определения литологии и проницаемости коллекторов в ситуации, где ЯМК играет связующую роль между разобценными кернам и каротажем во время бурения (LWD)

Ключевые слова: газонасыщенные коллекторы; типы коллекторов; LWD; ядерно-магнитный каротаж; проницаемость

Лунское представляет собой оффшорное газоконденсатное месторождение со специфичной зоной остаточной газонасыщенности в области аквифера (так называемая зона палеогазонасыщения). Месторождение расположено в Охотском море вблизи северо-восточного побережья острова Сахалина. Интервал продуктивных коллекторов представлен терригенными отложениями миоценового возраста и прибрежно-морского генезиса с широким диапазоном порис-

тости и проницаемости. Каротажные данные подразделяются на две группы: каротаж на кабеле в старых разведочных скважинах и каротаж во время бурения в современном эксплуатационном скважинном фонде. Керна отобран исключительно в разведочных скважинах, в то время как ядерно-магнитный каротаж (ЯМК) и другие специальные методы ГИС проведены в эксплуатационных скважинах.

Современные эксплуатационные скважины и каротаж LWD играют основную роль

при построении петрофизической модели. Поскольку каротаж *LWD* и отбор керна были проведены в разных скважинах, ЯМК был использован для объединения этих изолированных групп данных с целью построения модели литологии и проницаемости.

Анализ керновых данных и выделение типов коллекторов

На первом этапе были проанализированы все имеющиеся керновые данные. Как результат, были выделены пять типов коллекторов, характеризующихся отличительными зависимостями проницаемости от пористости (*рис. 1*).

Необходимо отметить, что весь керн был отобран в старых разведочных скважинах и только в зоне газонасыщенных коллекторов. Это обстоятельство очевидным образом осложняет последующее распознавание типов коллекторов по данным ГИС.

Предсказание типов коллекторов в продуктивном газонасыщенном интервале

Рис. 2 иллюстрирует различие каротажных характеристик для зон с разной насыщенностью. Отчетливо видно, что интервалы со схожей пористостью (K_p) и проницаемостью ($K_{пр}$) характеризуются разной конфигурацией каротажных кривых в случае предельного га-

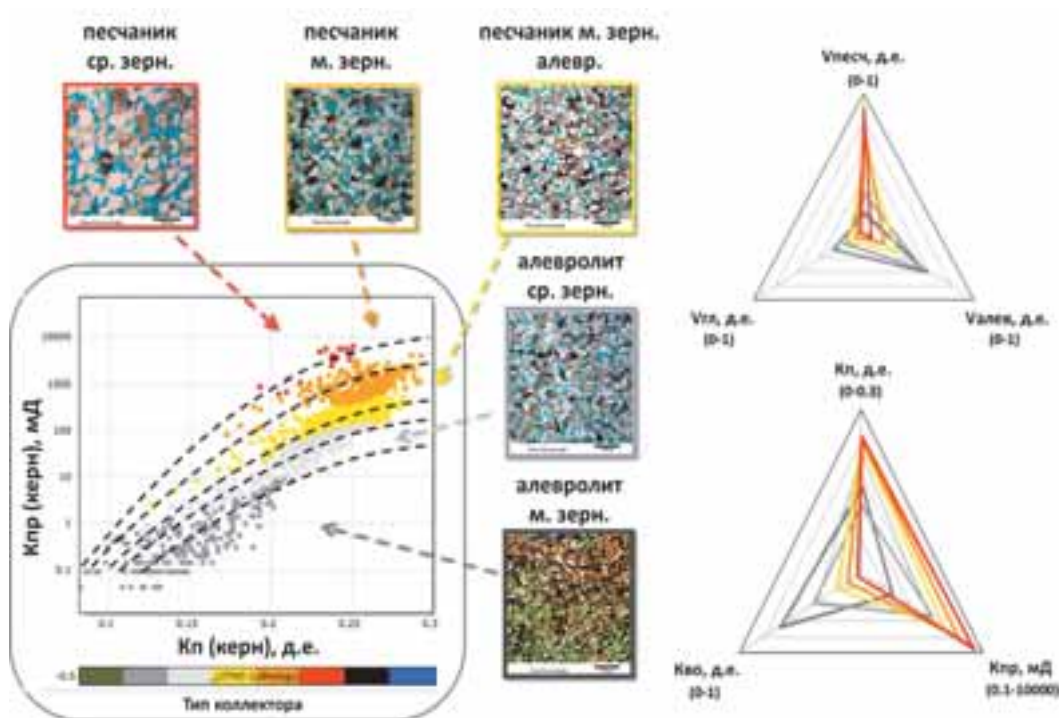
зонасыщения, остаточной газонасыщенности и полностью водонасыщенных коллекторов.

По этой причине было решено начать распознавание типов коллекторов сначала только в зоне предельного газонасыщения. Необходимо отметить, что и здесь есть свои осложняющие факторы:

- во-первых, наблюдается различие в конфигурации кривых нейтронного и плотностного методов в разведочных и эксплуатационных скважинах из-за систематически более глубокого проникновения фильтрата бурового раствора в первой группе скважин;
- во-вторых, необходимо еще раз напомнить, что ЯМК не проводился в разведочных скважинах (только в эксплуатационных).

В этой ситуации применение номограммы удельного электрического сопротивления (УЭС) и пористости пород (K_p) было признано оптимальным вариантом, т.к. эти параметры освобождены от влияния зоны проникновения ФБР и в комбинации достаточно хорошо отражают изменение «качества» коллекторов. *Аспекты определения пористости коллекторов не обсуждаются в этой статье и могут быть найдены в предыдущей публикации [1]*. Таким образом, номограмма УЭС- K_p была настроена на керновые данные и исполь-

Рис. 1.
Выделение отличительных типов коллекторов по керновым данным



зована для успешного распознавания типов коллекторов в продуктивном газонасыщенном интервале (рис. 3, блок 1).

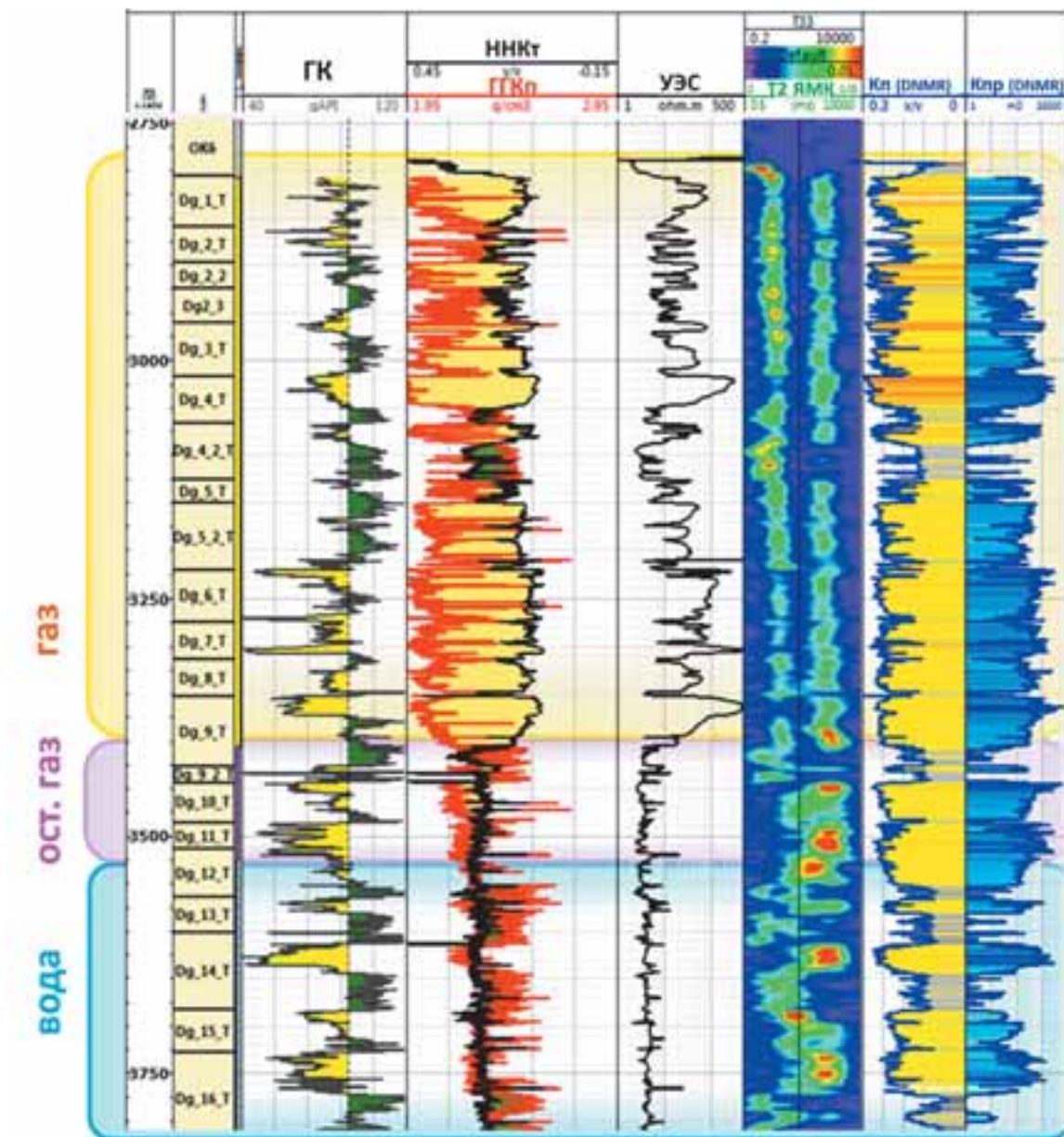
Роль ЯМК при предсказании типов коллекторов в зоне остаточного газонасыщения и аквифера

После того как распознавание типов коллекторов в зоне предельного газонасыщения завершилось, было решено применить данные ЯМК для решения этой задачи в зонах с остаточной газонасыщенностью и для полностью водонасыщенных коллекторов. Для этого сна-

чала данные ЯМК были скорректированы за эффект газонасыщения. После чего проницаемость по ЯМК была приведена к уровню керновых данных:

- сначала пористость по ЯМК была скорректирована за искажающее влияние газа по методике DNMR [2];
- после этого остаточная водонасыщенность по ЯМК была пересчитана с учетом

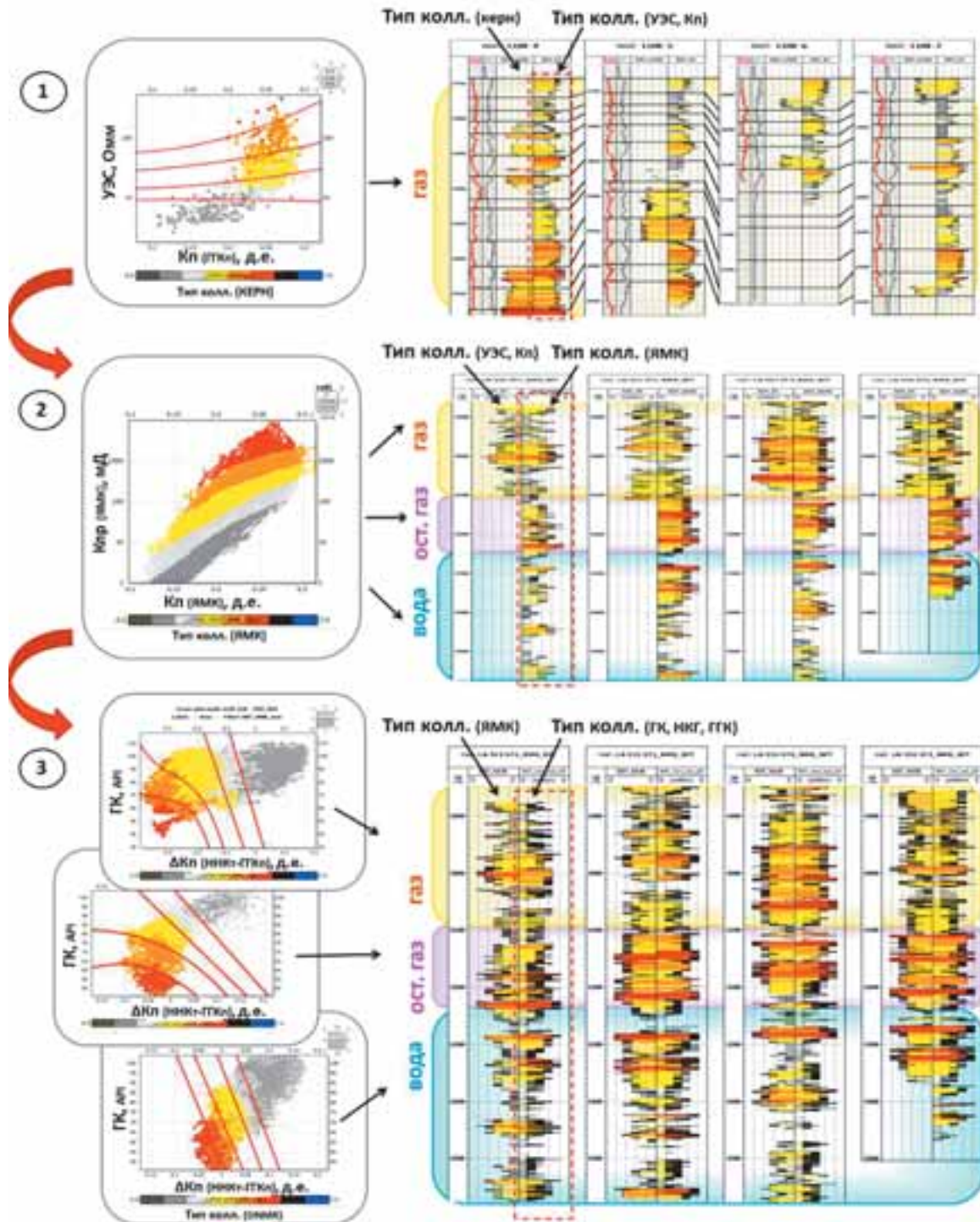
Рис. 2.
Каротажная характеристика зон с различным газонасыщением



доли связанной воды в объеме породы и исправленной пористости;

– далее полученные пористость и остаточная водонасыщенность были использованы для прогноза проницаемости по известной модели Тимура-Коатса [3], откалиброванной на проницаемость по ГИС в газовой зоне,

Рис. 3.
Схема распознавания керновых типов коллекторов по данным ГИС



определенную, в свою очередь, с учетом типизации коллекторов.

Затем, полигоны $K_{пр}-K_{п}$ (соответствующие различным типам коллекторов) были перенесены из kernового кросс-плота $K_{пр}-K_{п}$ в аналогичный кросс-plot, построенный по исправленным за эффект газонасыщения данным ЯМК. Как результат, это позволило экстраполировать исходные kernовые типы коллекторов в область остаточного газонасыщения и аквифера по данным ЯМК (рис. 3, блок 2).

Предсказание типов коллекторов по данным радиоактивного каротажа

Далее определенные по данным ЯМК типы коллекторов были использованы для «обучения» стандартных методов ГИС во всех зонах различного характера насыщения. Важно отметить, что в случае водонасыщенных коллекторов УЭС становится нечувствительным к качеству коллекторов, отражая, в основном, изменение их пористости. По этой причи-

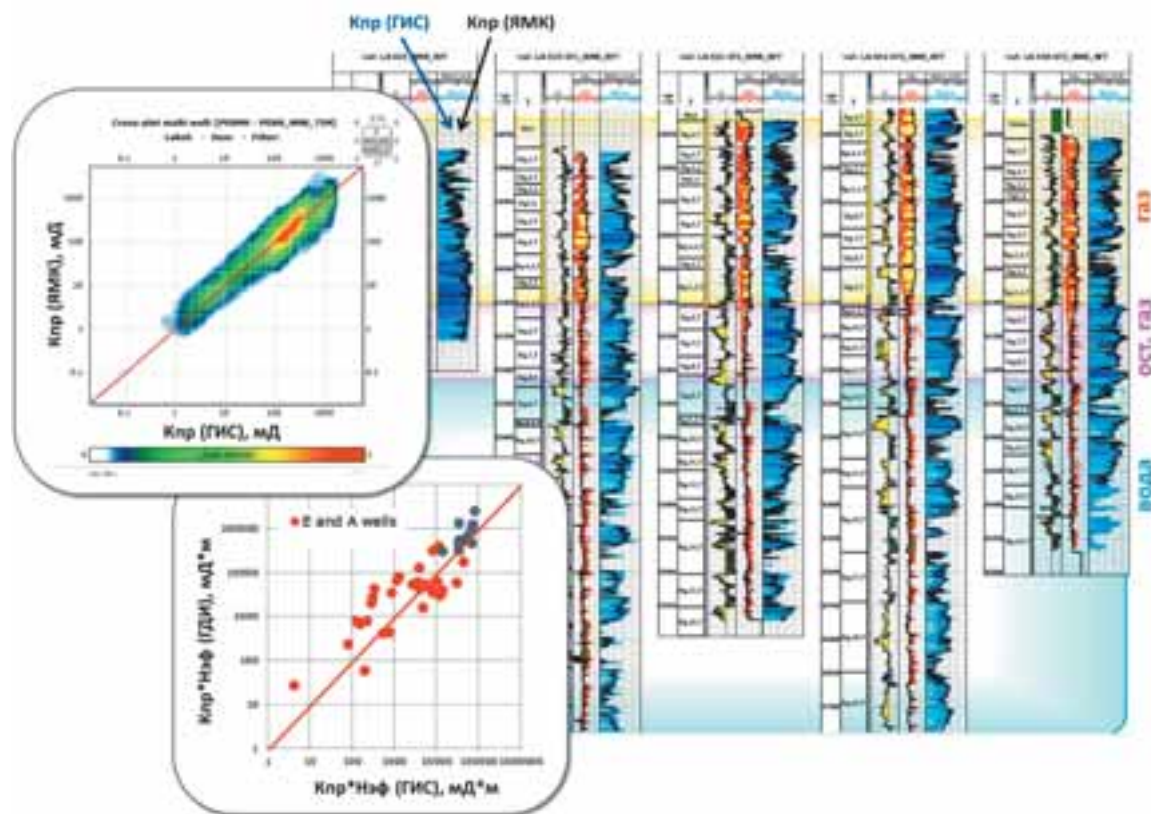
не для всех зон различного насыщения были построены индивидуальные номограммы, представляющие комбинации показаний каротажа естественной радиоактивности (ГК), нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам (ННКт) и гамма-гамма плотностного каротажа (ГГКп) для различных типов коллекторов (рис. 3, блок 3). При этом для упрощения восприятия и визуализации по данным ННКт и ГГКп был рассчитан параметр $\Delta K_{п(ННКт-ГГКп)}$, представляющий собой разницу кажущимся водородосодержанием пород по ННКт и кажущейся пористостью по ГГКп (рассчитанной с плотностью флюида – 1г/см^3).

Комплексный алгоритм типизации коллекторов и анализ достоверности прогноза проницаемости

Как результат проделанной работы был создан комплексный алгоритм типизации коллекторов, представляющий собой применение соответствующих номограмм для зон с различным характером насыщения:

- газовая зона – номограмма УЭС- $K_{п}$ (и $\text{ГК}-\Delta K_{п(ННКт-ГГКп)}$ в качестве вспомогательного варианта);

Рис. 4. Сопоставление результатов прогноза результирующей проницаемости по ГИС с альтернативными вариантами оценки $K_{пр}$



– зона остаточной газонасыщенности и аквифер – индивидуальные номограммы $GK-\Delta K_{п(ННКг-ГГКп)}$.

Таким образом, типизация коллекторов была выполнена для всего месторождения и всех зон различного насыщения. После чего был проведен прогноз проницаемости на основании индивидуальных зависимостей $K_{пр}$ - $K_{п}$ для разных типов коллекторов.

Поскольку керн не отбирался в современных эксплуатационных скважинах, результирующая проницаемость по ГИС была сопоставлена с проницаемостью по скорректированным за газ данным ЯМК (рис. 4). Важно отметить хорошее соответствие обеих независимых оценок $K_{пр}$ во всех зонах с различным характером насыщения. Кроме того, что, возможно, более важно, также была получена хорошая сходимость с оценкой $K_{пр} * H_{эф}$ по результатам испытания скважин (рис. 4).


Выводы

Основные результаты проделанной работы.

– Комплексный алгоритм прогноза типов коллекторов и их проницаемости с учетом различной конфигурации каротажных кривых в зонах с разным характером насыщения.

– Подтверждением достоверности прогноза проницаемости по ГИС явилась хорошая сходимость с оценкой $K_{пр}$ по ЯМК и результатам испытания скважин.

– Улучшенная адаптация 3D динамической модели.

В заключение необходимо подчеркнуть особую роль ЯМК, послужившего своего рода проводником между разобщенными данными керна в разведочных скважинах и каротажем *LWD* в эксплуатационном фонде, а также с зоной остаточной газонасыщенности и водоносными пластами, не охарактеризованными керновыми данными. 

Литература

1. Khabarov A., Ivantsiv I., Khalmanova D., Simon R., (Sakhalin Energy), Polushkin S. (SPD) Bonnie J. (STCB), "A high resolution Petrophysical model of a complex gas-condensate reservoir - Lunskeye case study", Shell MyNews, December 2015.
2. Freedman R., Minh Ch.C., Gubelin G., Freeman J.J., McGinnes T., Terry B. and Rawlence D., paper II "Combining NMR and density logs for petrophysical analysis in gas-bearing formations", SPWLA 39th Annual Logging Symposium, 1998.
3. Timur, A. "An Investigation of Permeability and Porosity, and Residual Water Saturation Relationship for Sandstone Reservoirs," The Log Analyst (July–August 1968) 9, no. 4, 8.

UDC 553.98:550.8.05

A.V. Khabarov, PhD, Head of the Petrophysical Direction, «Sakhalin Energy»¹, A.Khabarov@sakhalinenergy.ru.

I.M. Ivantsiv, Leading Petrophysicist, «Sakhalin Energy»¹, Igor.Ivantsiv@sakhalinenergy.ru.

R. Simon, Ex-leader of the Petrophysical Direction, «Sakhalin Energy»¹, Roya.Simon@shell.com.

S.V. Polushkin, PhD, Petrophysicist, «Salym Petroleum Dvtlopment»², Sergey.Polushkin@salympetroleum.ru.

¹35 Dzerzhinsky str. Yuzhno-Sakhalinsk 693020 Russia

²6th floor commercial and business center Novinsky, 31 Novinsky blvd., Moscow, 123242, Russia

The Special Role of Nuclear Magnetic Logging in Constructing a Model of Lithology and Permeability of Reservoirs with Variable Gas Saturation

Abstract. Lunskeye offshore gas condensate field is characterized by residual gas saturation in the subcontact zone. There are two groups of log data: wireline logging in old exploration wells and logging while drilling in a modern production well. The core is selected exclusively in exploratory wells, while nuclear magnetic logging and other special methods of well logging are conducted in production wells. The article describes the details of the determination of lithology and permeability of reservoirs in a situation where NMR plays a connecting role between disconnected core and logging while drilling (LWD)

Keywords: gas-saturated collectors; types of collectors; LWD; nuclear magnetic logging; permeability

References

1. Khabarov A., Ivantsiv I., Khalmanova D., Simon R., (Sakhalin Energy), Polushkin S. (SPD) Bonnie J. (STCB), "A high resolution Petrophysical model of a complex gas-condensate reservoir - Lunskeye case study", Shell MyNews, December 2015.
2. Freedman R., Minh Ch.C., Gubelin G., Freeman J.J., McGinnes T., Terry B. and Rawlence D., paper II "Combining NMR and density logs for petrophysical analysis in gas-bearing formations", SPWLA 39th Annual Logging Symposium, 1998.
3. Timur, A. "An Investigation of Permeability and Porosity, and Residual Water Saturation Relationship for Sandstone Reservoirs," The Log Analyst (July–August 1968) 9, no. 4, 8.