

# Спектрометрический нейтронный каротаж. Выделение продуктивных интервалов и оценка газонасыщенности низкопроницаемых коллекторов сенонских отложений севера Западной Сибири

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10033

**С.Н. Меньшиков**к.э.н., начальник департамента<sup>1</sup>**С.К. Ахмедсафин**заместитель начальника департамента<sup>1</sup>**С.А. Кирсанов**к.т.н., начальник управления<sup>1</sup>**С.А. Егурцов**генеральный директор<sup>2</sup>**А.Ф. Зайцева**к.г.-м.н., главный специалист отдела комплексной интерпретации ГИС<sup>2</sup>**Ю.В. Иванов**к.т.н., заместитель генерального директора по производству — технический директор<sup>2</sup>**А.Г. Новиков**начальник отдела комплексной интерпретации ГИС<sup>2</sup>**С.В. Нерсесов**к.т.н., заместитель генерального директора — главный геолог<sup>3</sup><sup>1</sup>ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>ООО «ИНГТ», Москва, Россия<sup>3</sup>ООО «Газпром добыча Надым», Надым, Россия

**Приведены результаты применения нового методического подхода к комплексному изучению литолого-петрофизических свойств и характера насыщения сенонских пород-коллекторов с применением технологии мультиметодного многозондового нейтронного каротажа (ММНК). Продемонстрированы возможности ММНК при исследовании ранее слабоизученных нижнеберезовских опоковидных низкопроницаемых пластов-коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами УВ-сырья (ТРИЗ). Подтверждены возможности детальной литологической типизации пород, что существенно повышает достоверность обработки и интерпретации**

Актуальность наращивания ресурсной базы ПАО «Газпром», в том числе ее восполнение на обустроенных площадях месторождений с развитой инфраструктурой, обусловлена необходимостью повышения эффективности и продления рентабельного периода разработки базовых НГКМ, что имеет для Общества стратегическое значение. В связи с этим ведется освоение более сложных надсенонских отложений (турон, сенон) и подсенонских нижележащих горизонтов: неокома, ачимовской толщи и т.д. [1]. Реализация сенонского, юрского, ачимовского проектов с целью вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов в местах традиционной добычи с имеющейся инфраструктурой является одним из основных направлений геологоразведочных работ в настоящее время и на предстоящие годы.

Известно, что Западная Сибирь является самой перспективной нефтегазовой провинцией для освоения ресурсов газа низкопроницаемых коллекторов (НПК). Разведанные запасы газа НПК на лицензионных площадях Группы Газпром в ЯНАО составляют более 4,5 трлн м<sup>3</sup>. С учетом ресурсов сенонского комплекса Медвежьего и Падинского месторождений, доля запасов газа НПК в сырьевой базе Группы Газпром на текущий момент оценивается ~20%.

В настоящий момент, в рамках сенонского проекта, реализуется задача детального изучения нижнеберезовских отложений с целью выделения пластов-коллекторов (выделения продуктивных интервалов), прогноза фильтрационно-емкостных свойств и оценки перспектив газоносности. Отложения подсвисты представлены толщей переслаивания опоковидных уплотненных глин, глинисто-алевритовых и песчано-алевритовых отложений. Опоковидные коллекторы характеризуются тонкозернистой структурой обломочной части, сложным строением пустотного пространства и низкими ФЕС, поэтому их относят к сложно-построенным коллекторам, при изучении которых требуется особый методический подход, основанный на инновационных технологиях, новейших аппаратно-методических комплексах и программно-интерпретационном обеспечении отечественной разработки, позволяющих выполнить исследования на современном уровне и получать достоверную качественную информацию и дать ответ на «сенонские вызовы».

Одним из примеров осуществления такого подхода является созданная на базе ядерно-геофизических методов инновационная технология мультиметодного многозондового каротажа (далее — технология ММНК), реализующая комплексные геофизические

исследования действующих многоколонных скважин с целью литолого-петрофизической характеристики пород, выделения и оценки характера насыщения пластов-коллекторов [2, 3].

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), высокоточувствительной термометрии (ТМ), локатора муфт (ЛМ) и барометрии (БМ).

Технология является многозондовой, поскольку в нейтронных модулях аппаратуры ММНК реализовано 5 и более зондов в широком диапазоне их длин. Это дает возможность разноглубинного зондирования прискважинной 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 Кг 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 спускоподъемную операцию, т.е. сопряжены во времени и совмещены в пространстве, что значительно повышает достоверность интерпретации.

Особенность разработанного методического подхода, примененного к комплексному изучению литолого-петрофизических свойств и характера насыщения сенонских отложений в обсаженных скважинах нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири, заключается в следующем.

Комплексные исследования скважин методами ММНК начинаются с изучения литологического строения разрезов, выделения пластов-коллекторов и оценки их фильтрационно-емкостных свойств на базе объемного литологического моделирования.

Решение этих задач в методике ММНК состоит из ряда этапов, выполняемых в следующей последовательности:

- измерение энергетических спектров основных породообразующих радиационно-активных элементов Ca, Si, H, Al, Na, Cl (СНГК) и естественных радиоактивных элементов U, Th, K (СГК);

## результатов ГИС с применением ММНК. Показаны преимущества технологии при прогнозировании и доразведке запасов УВС.

### Ключевые слова

трудноизвлекаемые запасы, низкопроницаемые коллекторы, мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж, технология ММНК, литолого-петрофизические свойства, характер насыщения, сенонские отложения

- послонная обработка измеренных на 1 этапе спектрометрических данных СНГК и СГК с целью получения информации о минералогическом и литологическом составе пород (кремнистости, карбонатности, глинистости и т.д.) на основе их элементного состава;
- построение «объемной литологической модели» разреза методом петрофизических уравнений, в которых используется полученная на 2 этапе информация об элементном составе пород и, по возможности, данные интерпретации ГИС открытого ствола с использованием специализированного программного обеспечения. Результатом этапа является полный набор объемных долей литологических компонент состава породы, т.е. коэффициентов пористости (Кп), связанной воды (Ксв), глинистости (Кгл),

карбонатности (Ккарб), песчаности (Кпесч), полевого шпата (Кпш) и т.д., нормированный на 100%, которые визуализируются в виде непрерывных кривых на литологической модели, представленной на выходном планшете интерпретации, пример которого приведен на рис. 1;

- преобразование построенной на 3 этапе непрерывной объемной литологической модели исследуемого интервала разреза в систему подинтервалов, выделенных по найденным для них предельным значениям коэффициентов Кп, Ксв, Кгл, Ккарб, Кпесч, Кпш и характеризующихся соответствующим литотипом пород и толщиной (h) (таб. 1);
- предельные значения коэффициентов компонентного состава определяются для конкретного месторождения и пласта на основании результатов проведения модельных, опытно-экспериментальных и опытно-промышленных работ с применением технологии ММНК, сравнительного анализа статистических связей типа керн-ГИС и ГИС-ГИС и многолетнего опыта исследований, полученного при изучении керна в лаборатории физики пласта;

количественное определение пористости и на качественном уровне прогноз ФЕС для каждого выделенного интервала на основании информации о литотипе с учетом предельных значений коэффициентов объемной литологической модели (этап 4) в соответствии с принятыми классификациями коллекторских свойств пород-коллекторов. Данный подход повышает точность и надежность оценки ФЕС.

После изучения литолого-петрофизических свойств и выделения пластов-коллекторов в разрезе скважин методами ММНК определяется характер насыщения коллекторов, в том числе с количественным расчетом коэффициентов газонасыщенности (Кг) и объемной газонасыщенности ( $W_g = K_p \cdot K_g$ ).

Основными диагностическими признаками, используемыми в технологии ММНК и позволяющими разделять газонасыщенные и водонасыщенные коллекторы, являются дефицит плотности и водородосодержание коллекторов, насыщенных УВС, относительно водонасыщенных.

Следующим диагностическим признаком является различие в содержании хлора в водонасыщенных и газонасыщенных коллекторах. Хлор является радиационно-активным элементом и содержится только в пластовых водах, поэтому содержание хлора в коллекторе прямо пропорционально водонасыщенной пористости.

Разработанные алгоритмы расчета позволяют максимально учесть геолого-технические условия измерений, ввести поправки за влияние заполнения ствола скважины, литологию и толщину металла. При обработке и интерпретации материалов комплекса методов ММНК использовались специализированные программно-интерпретационные комплексы (ПИО) автоматизированной обработки результатов ММНК скважин: «Альфа-GeoГаз» (« $\alpha$ -GeoGaz») и «Бета-GeoГаз» (« $\beta$ -GeoGaz»).

С целью обеспечения единого методического подхода при интерпретации данных ММНК разработана методика оценки параметров насыщения (МНК-Кг) на основе математического моделирования интерпретационных зависимостей, представленная в

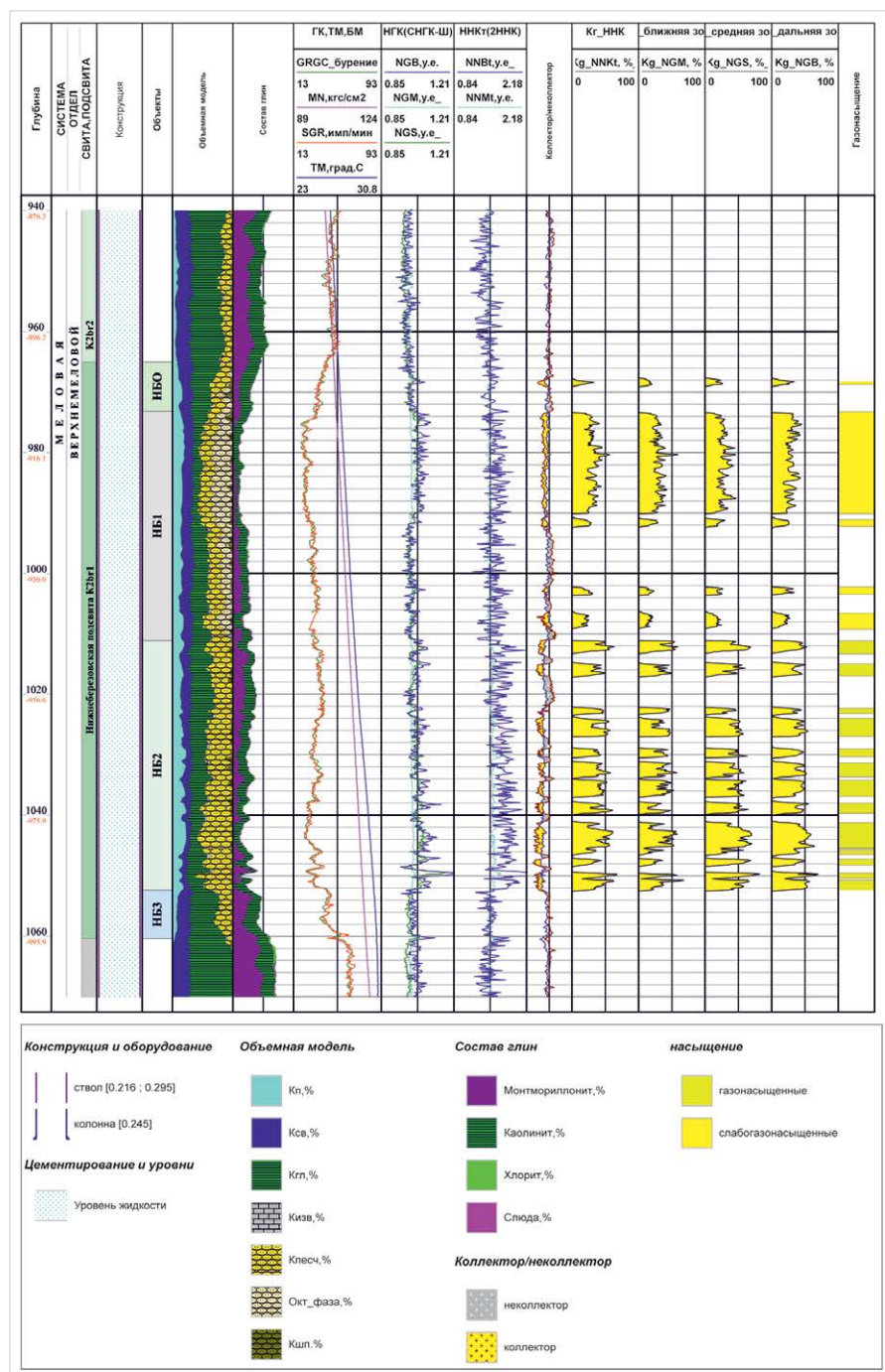


Рис. 1 — Сводный планшет с результатами комплексных исследований методами ММНК скважины месторождения севера Западной Сибири  
Fig. 1 — Summary plotter with integrated study MGRM methods results of wells in northern part of Western Siberia

| Выделенные подынтервалы, м |        |         | Средневзвешенные коэффициенты компонентного состава коллекторов, % |    |     |     |      |       | Литология                           | Кг_ННКт, % | Кг_ср.взв_СНГК, % по зонам |       |       | Насыщение |
|----------------------------|--------|---------|--|----|-----|-----|------|-------|-------------------------------------|------------|----------------------------|-------|-------|-----------|
| Пласты                     | Кровля | Подошва | H  | Кп | Ксв | Кгл | Кокт | Кпесч |                                     |            | Ближн                      | Средн | Дальн |           |
| НБ0+НБ1                    | 968.2  | 1011.3  | 26.0   | 16 | 16  | 16  | 26   | 26    | опоковидные алевролиты              | 31         | 29                         | 27    | 28    | газ       |
|                            |        |         | 17.1   | 12 | 18  | 30  | 14   | 23    | алевролиты глинистые<br>опоковидные | -          | -                          | -     | -     | -         |
| НБ2                        | 1011.3 | 1038.0  | 14.8   | 19 | 10  | 27  | 0    | 43    | алевролиты                          | 44         | 40                         | 45    | 44    | газ       |
|                            |        |         | 11.9   | 12 | 14  | 34  | 0    | 36    | алевролиты глинистые                | -          | -                          | -     | -     | -         |
|                            | 1038.0 | 1052.4  | 12.0   | 20 | 8   | 20  | 0    | 51    | алевролиты<br>песчанистые           | 46         | 33                         | 54    | 51    | газ       |
|                            |        |         | 2.4  | 9  | 14  | 36  | 0    | 34    | алевролиты глинистые                | -          | -                          | -     | -     | -         |

Таб. 1 — Средневзвешенные коэффициенты компонентного состава и газонасыщенности нижнеберезовских коллекторов  
 Tab. 1 — Weighted average factors of compositional analysis and gas saturation of lower Beryozovsk reservoirs

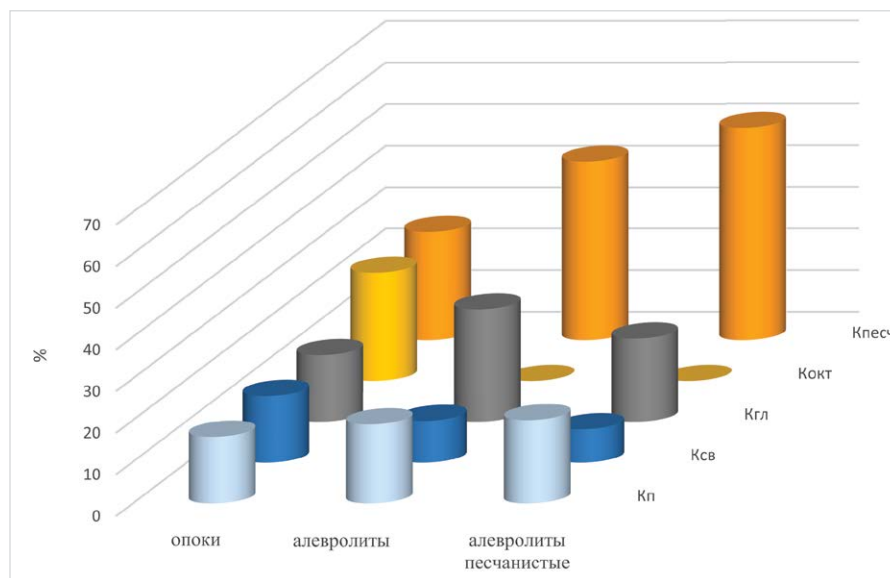


Рис. 2 — Средневзвешенные коэффициенты компонентного состава нижнеберезовских алевроитовых коллекторов по данным ММНК  
 Fig. 2 — Weighted average factors of compositional analysis of lower Beryozovsk aleuritic reservoirs as per MGRL data

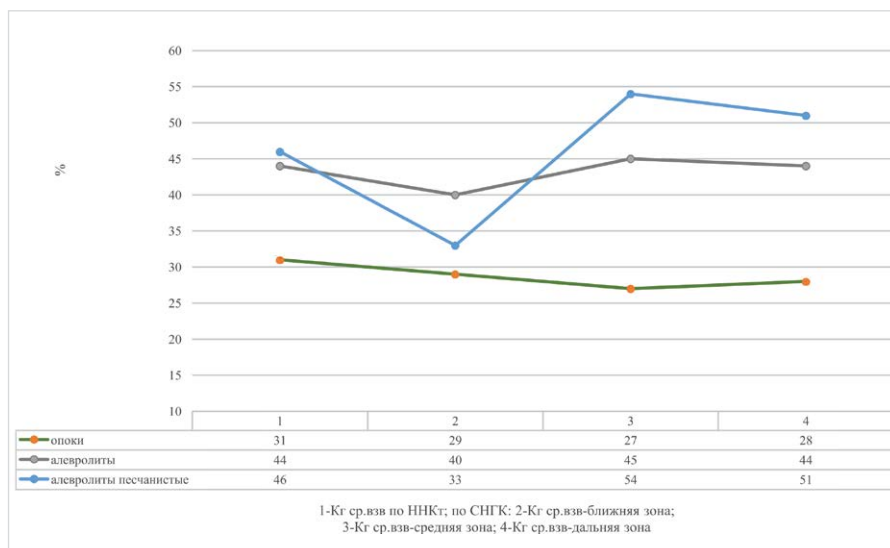


Рис. 3 — Кг ср.взв. по данным ННКт и СНГК (в ближней, средней и дальней зонах) алевроитовых нижнеберезовских коллекторах  
 Fig. 3 — Weighted average share volume as per TNPН, CNL and SNGL (in close, mid, and far fields) of aleuritic lower Beryozovsk reservoirs

«Методических рекомендациях...» [2], которые рекомендованы Экспертно-техническим советом ФБУ «ГКЗ» для использования в производственных и научных организациях при оценке текущих запасов УВС.

Ниже приведен пример геофизических исследований низкопроницаемых пластов-коллекторов нижнеберезовских отложений с применением технологии ММНК.

На рис. 1 и в таб. 1 представлены результаты изучения литолого-петрофизических свойств и характера насыщения нижнеберезовских отложений севера Западной Сибири.

На основании анализа количественных параметров компонентного состава и газонасыщенности нижнеберезовских отложений, представленных на рис. 1, выделены три подынтервала с различными типами коллекторов, характеризующихся различными литолого-петрофизическими свойствами (таб. 1).

В исследованных нижнеберезовских отложениях потенциальными коллекторами являются алевролиты, среди которых по их литологическому составу, коллекторским свойствам и характеру насыщения выделяются три типа коллекторов: опоковидные алевролиты (опоки), алевролиты и алевролиты песчанистые (рис. 2).

По данным ННКт и СНГК алевроитовые различия нижнеберезовских отложений, характеризующиеся улучшенными ФЕС, газонасыщены. В глинисто-алевроитовых разностях коллекторов, характеризующихся ухудшенными ФЕС, газонасыщенность не отмечается (таб. 1).

Средневзвешенные коэффициенты газонасыщенности для выделенных трех типов алевроитовых коллекторов представлены на рис. 3.

### Итоги

Технология ММНК, позволяющая получить послонную детальную информацию о пластах-коллекторах (в том числе об их литологическом составе, коллекторских свойствах, характере и степени насыщения, эффективной нефтегазонасыщенной толщине продуктивного пласта, положении флюидоразделяющих контактов и др.) в скважинах любой конструкции может быть успешно применена для изучения сенонских отложений и других низкопроницаемых коллекторов.

Получен положительный опыт применения нового методического подхода по комплексному изучению литолого-петрофизических свойств и характера насыщения низкопроницаемых



коллекторов с применением технологии ММНК на скважинах ПАО «Газпром».

#### Выводы

Предлагаемый методический подход к интерпретации литологических моделей пород позволяет определить критерии выделения коллекторов и предоставляет возможность проведения детальной литологической типизации пород, что существенно повышает достоверность обработки и интерпретации результатов ММНК.

Применение предложенного подхода существенно повышает точность и детальность выделения пластов-коллекторов с ТРИЗ даже

при недостаточном количестве кернового материала.

Применение технологии ММНК к определению всех необходимых подсчетных параметров (Кнг, Кп, Нэф. и др.) открывает новые дополнительные возможности для проведения доразведки запасов УВС в условиях построенного фонда скважин в разрабатываемых нефтегазоносных провинциях, что без проведения глушения скважин и бурения дополнительного фонда обеспечивает значительный экономический эффект.

#### Литература

1. Разнообразии проектов. Интервью

заместителя Председателя Правления ПАО «Газпром» В.А. Маркелова // Корпоративный журнал ПАО «Газпром». 2018. №4. С. 16–23.

2. Развитие технологии многозондового нейтронного каротажа для исследования газонасыщенности в обсаженных скважинах. Методология и практика применения. М.–Тверь: «ПолиПРЕСС», 2018. 238 с.

3. Ахмедсафин С.К., Егуртсов С.А., Кирсанов С.А., Иванов Ю.В. и др. Технология ММНК. Мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж: справочное пособие. М.–Тверь: ПолиПРЕСС, 2018. 24 с.

ENGLISH

GEOPHYSICS

UDC 550.832.53

## Spectrometric gamma-ray logging. Definition of productive intervals and appraisal of gas saturation in low-permeable reservoirs of Cenonian deposits in the northern part of Western Siberia

#### Authors

**Sergey N. Men'shikov** — Ph.D., head of department<sup>1</sup>

**Sergey K. Akhmedsafin** — deputy head of department<sup>1</sup>

**Sergey A. Kirsanov** — Ph.D., head of department<sup>1</sup>

**Sergey A. Ehurtsov** — general director<sup>2</sup>

**Alla F. Zaytseva** — Ph.D., chief specialist of section of log data complex interpretation<sup>2</sup>

**Yuriy V. Ivanov** — Ph.D., deputy general director on production — technical director<sup>2</sup>

**Aleksandr G. Novikov** — head of section of log data complex interpretation<sup>2</sup>

**Sergey V. Nersesov** — Ph.D., deputy general director — chief geologist<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PJSC “Gazprom”, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>IOGT LLC, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>“Gazprom dobycha Nadym” LLC, Nadym, Russian Federation

#### Abstract

The results of applying new methodological approach to the integrated study of lithologic and petrophysical properties and the saturation nature of Cenonian reservoir formations by using the multi-method multiple sonde gamma-ray logging (MGRL) are presented.

MGRL capabilities are demonstrated during the study of poorly studied lower Bereyozovsk opokamorphic low-permeable reservoir beds with raw hydrocarbons that are hard to recover (RHR).

The possibilities of detailed lithological formation typing are confirmed, which significantly increases the reliability of processing and interpretation of GIS results using MGRL. The advantages of the technology for forecasting and additional exploration of raw hydrocarbon reserves are presented.

#### Keywords

hard to recover reserves, low-permeable

reservoirs, multi-method multiple sonde gamma-ray logging, MGRL technology, lithological and petrophysical properties, saturation nature, Cenonian formation deposits

#### Results

MGRL technology, which allows obtaining layer-by-layer detailed information about reservoirs (including their lithological composition, reservoir properties, nature and degree of saturation, effective oil and gas saturated thickness of the reservoir, the position of fluid contacts, etc.) can be applied successfully in wells of various structures for study of Cenonian sediments and other low-permeability reservoirs.

A positive case record of applying the new methodological approach for integrated study of lithological and petrophysical properties and saturation nature of low permeable reservoirs is obtained by using MGRL technologies on wells of Gazprom PJSC.

#### Conclusions

The suggested methodological approach of lithological formation models interpretation allows to determine the criteria of reservoir quality discrimination and provides opportunity to conduct detailed lithological formation typing, and this significantly increases the processing reliability and interpretation of MGRL results.

Application of the suggested approach increases the accuracy and level of detail for reservoir beds definition with reserves that hard to recover, even with lack of core material.

Applying MGRL technologies for determination of all necessary volumetric data (gas saturation factor, dyke cumulative thickness etc.) reveals new additional opportunities for conducting detailed field appraisal for hydrocarbon reserves in conditions of producing wells inventory in exploited oil and gas provinces, that without killing wells and drilling additional wells fund provides a significant economic effect.

#### References

1. *Raznoobrazie proektov. Interv'yuz zamestitelya Predsedatelya Pravleniya PAO «Gazprom»* V.A. Markelova [Diversity of projects. Interview by the Chief Executive Officer of Gazprom PJSC V.A. Markelov]. Corporate magazine “Gazprom” PJSC, 2018, issue 4, pp. 16–23.

2. *Razvitie tekhnologii mnogozondovogo neytronnogo karotazha dlya issledovaniya gazonasyschennosti v obszhennykh skvazhinakh. Metodologiya i praktika primeneniya* [Development of multiple sonde gamma-ray logging for gas saturation study in cased wells. Application methodology and practice]. Moscow – Tver':

«PoliPRESS», 2018, 238 p.

3. Akhmedsafin S.K., Ehurtsov S.A., Kirsanov S.A., Ivanov Yu.V. and others. *Tekhnologiya MMNK. Mul'timetodnyy mnogozondovyy neytronnyy karotazh: spravochnoe posobie* [MGRL Technology. Multimethod multiple sonde gamma-ray log: guidance manual]. Moscow – Tver': PoliPRESS, 2018, 24 p.