

Исследования скважин Байтуганского месторождения ядерно-физическим спектрометрическим методом

Well logging at the Baytuganskoye field by means of nuclear physics spectrometry

A.M. Tupitsyn¹, N.V. Lavrenkova¹, T.V. Khismetov², O.S. Chernov², K.V. Chernoletsky², D.I. Yurkov³, V.I. Zverev³

¹BaiTex LLC, RF, Moscow

²Research & Engineering Center GeotechnoKIN LLC, RF, Moscow

³Dukhov Automatics Research Institute, RF, Moscow

E-mail: gtk-info@sovintel.ru

Keywords: Baytuganskoye field, field development monitoring, nuclear-physics methods, spectrometric geophysical methods, hardware and software complex, interpretation model

The article discusses the results of the application of a modern hardware and software complex for formation evaluation using nuclear-physical spectrometric methods at the Baytuganskoye field. Commercial oil-bearing capacity of multilayer Baytuganskoye field is allocated in deposits of Bashkirian stage of the Middle Carboniferous, the Serpukhovian stage, the Bobrikovian horizon and the Tournaian stage of the Lower Carboniferous. BaiTex LLC is carrying out a significant amount of research work to further investigate the structure and the current reservoirs saturation of Baytuganskoye field. In particular, much attention is paid to geophysical well logging, and along with the standard ones, new modern methods are also used. In case of mature productive formations, high resolution neutron-gamma spectroscopy is the most informative when choosing advanced well-logging operations. Since 2015 at the Baytuganskoye field modern nuclear-physical spectrometry research work has been carried out by Research & Engineering Center GeotechnoKIN LLC. Studies of newly drilled and cased wells (through the casing and even in the intervals of perforation) make it possible to quantitatively determine the elemental, mineral and fluid compositions and capacitive characteristics of the deposits. By 01.04.21, studies were carried out in 68 wells.

The article considers technologies for determining fluid saturation, material composition and capacity characteristics of rocks according to the nuclear-physical spectrometry data. The description of the hardware and software complex and methodological support for the processing and interpretation of well logging data is given. In the process of investigating the wells of the Baytuganskoye field, a library of interpretation modules for the fields of Russia and Serbia was used. The library is based on geological and geophysical data accumulated over several years, generalizations of development results, measurements on core, physical and chemical properties of fluids, including produced hydrocarbons and associated water, etc. The library covers many objects: from sedimentary deposits of the Miocene to the Cambrian and foundation rocks. This allowed the creation of an interpretation model and detailed study of the sediments. The interpretation model was created for Carboniferous deposits and includes the following rock components: limestone, dolomite, marl, anhydrite, gypsum, sandstone, siltstone and hydromica clay. Comparison of nuclear-physical spectrometry results with core analysis data showed the reliability of regarded method.

Байтуганское месторождение является многопластовым. Промышленная нефтеносность установлена в пластах A_4 башкирского яруса среднего карбона, C_{1s} серпуховского яруса, B_2 бобриковского горизонта и B_1 турнейского яруса нижнего карбона. Геолого-геофизическая и промысловая информация, полученная при разбуривании месторождения за прошедшие 6 лет, позволила изменить представление о продуктивности башкирских отложений и существенно уточнить строение пласта A_4 . Залежь в пласте A_4 была открыта и введена в разработку в 1951 г. Геологическое строение карбонатных пластов среднего карбона является сложным, что обусловлено седиментационной обстановкой, существовавшей в период формирования башкирских продуктивных отложений, и влиянием тектонической составляющей, приведшей к деформациям Байтуганской структуры на более поздних этапах развития.

Промышленная нефтеносность серпуховского яруса была установлена в 1966 г. Отсутствие надежной кровли для пласта C_{1s} свидетельствует о наличии гидродинамической связи серпуховских и башкирских отложений, что позволяет предполагать существование единого водо-

А.М. Тупишин¹, К.Т.Н.,
Н.В. Лавренкова¹,
Т.В. Хисметов², Д.Т.Н.,
О.С. Чернов²,
К.В. Чернолещкий²,
Д.И. Юрков³, К.Т.Н.,
В.И. Зверев³, К.Ф.-М.Н.

¹ООО «БАЙТЕКС»

²ООО «НТЦ ГЕОТЕХНОКИН»

³ФГУП «ВНИИА»

Адрес для связи: gtk-info@sovintel.ru

Ключевые слова: Байтуганское месторождение, ядерно-физические методы, спектрометрические геофизические методы, пропущенная залежь, аппаратно-программный комплекс, интерпретационная модель

DOI: 10.24887/0028-2448-2021-5-72-78

нефтяного контакта для пластов A_4 и C_{1s} . Промышленно нефтенасыщенной является верхняя часть разреза, однако признаки нефтенасыщения в виде пятен, примыкающих к зонам трещиноватости и кавернозности, отмечаются ниже установленной границы залежи.

Терригенные отложения бобриковского горизонта представлены песчаниками бурыми, местами от темно- до светло-серых, разномерными, кварцевыми, среднепористыми, с прослоями бурых углей, включениями пирита, гипса. В составе бобриковского горизонта выделен единый пласт B_2 , который отделяется глинистым разделом от нефтенасыщенных карбонатов турнейского яруса. Покрышкой пласта B_2 служат карбонатные отложения нижней части тульского горизонта, представленные плотными разностями, и глины верхней части бобриковского горизонта. Залежь нефти, открытая в 1947 г., приурочена к пористым, проницаемым песчаным нефтенасыщенным прослоям.

Турнейский ярус сложен карбонатными породами, в основном органогенными и органогенно-детритовыми известняками, иногда переходящими в доломиты. Коллекторами являются пористые, иногда кавернозные разности известняков. Стратиграфический пласт B_1 приурочен к кизеловскому, черепетскому горизонтам турнейского яруса. Залежь нефти в нем была открыта в 1949 г.

ООО «БАЙТЕКС» на Байтуганском месторождении проводит значительный объем научно-исследовательских работ для доизучения строения и текущего насыщения

разрабатываемых объектов. В частности, большое внимание уделяется геофизическим исследованиям скважин (ГИС), при которых наряду со стандартными также применяются новые современные методы, например, цифровое акустическое сканирование, каротаж посегментной цементометрии, сегментная акустическая цементометрия, последнее поколение спектрометрических методов каротажа. Для длительно разрабатываемых объектов наиболее информативным для принятия решений по выбору геолого-технических мероприятий является ядерно-физический спектрометрический метод (ЯФМС) высокого разрешения, позволяющий решать задачи аналогично петрофизическим исследованиям кернов.

С 2015 г. на Байтуганском месторождении исследования современными ЯФМС проводит ООО «НТЦ ГЕОТЕХНОКИН». В результате исследований во вновь пробуренных и обсаженных скважинах действующего фонда (через обсадную колонну и даже в интервалах перфорации) количественно определяются элементный, минеральный и флюидальный составы и емкостные характеристики пород. На 01.04.2021 г. исследования выполнены в 68 скважинах (табл. 1).

Таблица 1

Категория скважины	Число исследований пластов	Применяемая аппаратура	Число исследований
Пьезометрическая	3	АИНК-73С-2; АИНК43/50	2
В бурении: открытый ствол	1	АИНК-ПЛ АИНК 43/50	1
обсаженный ствол	4	АИНК-89С-2 АИНК 43/50; АИНК-ПЛ АИНК 43/50	4
Из бурения	8	АИНК 89С-2; АИНК -73С-2 АИНК 43/50	10
Освоение из бурения	2	АИНК-73С-2 АИНК43/50	1
Добывающая	33	АИНК -73С-2 АИНК 43/50; АИНК -89С-2 АИНК 43/50	42
Добывающая: из системы ППД	1	АИНК-73С-2	1
в простое	1	АИНК-73С-2	1
Нагнетательная	7	АИНК-73С-2	5

Современная технология определения флюидонасыщенности, вещественного состава и емкостных характеристик пород по данным ЯФМС включает следующие составляющие.

1. Аппаратурные комплексы с оптимальными режимами исследований, скоростные способы накопления, трансформации и передачи регистрируемой многопараметровой информации. В основе аппаратурных средств – многозондовые приборы ЯФМС, приборы методов ИНГКС, 2ИННК и СГК, разработанные во ВНИИА в рамках научно-технической программы по импортозамещению в области перспективной аппаратуры для крупных ресурсодобывающих компаний России. Оснащенные новыми генераторами нейтронов с потоком нейтронов до $2,5 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ и детекторами LaBr_3 с высоким разрешением эти приборы позволяют получать информацию о концентрации основных химических элементов горных пород (U, Th, K, C, O, Si, Ca, H, Cl, Mg, S, Al, Fe, Na, Gd и др.) с точностью, достаточной для определения вещественного состава и других геологических характеристик пород-коллекторов нефти и газа. Современные скважинные аппаратурно-методиче-

ские комплексы ЯФМС нового поколения, реализующие спектрометрию высокого разрешения, разработаны при тесном сотрудничестве специалистов ВНИИА и ООО «НТЦ ГЕОТЕХНОКИН». Эти петрофизические лаборатории («литосканеры») различных диаметров и комплектаций на кабеле, жестком кабеле и автономные на бурильных трубах предназначены для измерений в обсаженных и открытых стволах как в вертикальных, так и в горизонтальных скважинах [1]. На рис. 1 представлен аппаратурно-программный комплекс АИНК-ПЛ.

2. Программно-методическое обеспечение обработки и интерпретации данных ГИС с целью количественного определения геологических характеристик пород на основе наукоемкого математического моделирования методов в многомерном пространстве геолого-технических условий измерений и применения результатов имитационного моделирования для получения геофизических параметров. Средства предназначены для комплексной интерпретации в рамках полного набора данных ГИС и априорной информации, полученной по результатам исследования керна и шлама.

В состав интерпретационного обеспечения, получаемого на основе экспериментального и теоретического моделирования методов, входят:

– многомерные зависимости для учета условий измерений в скважине;

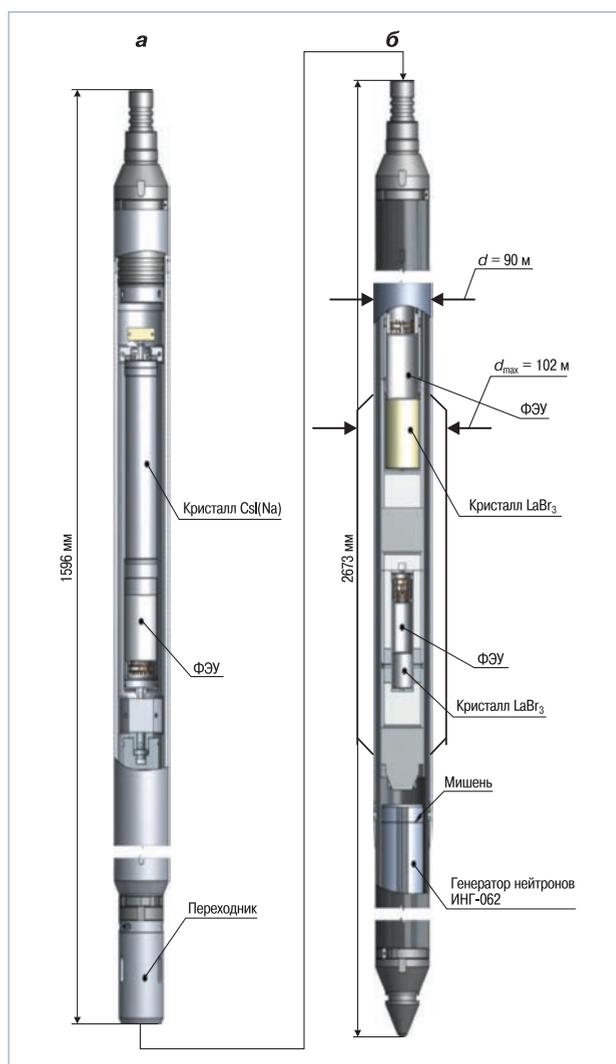


Рис. 1. Аппаратурно-программный комплекс АИНК-ПЛ (ФЭУ – фотоэлектронный умножитель)

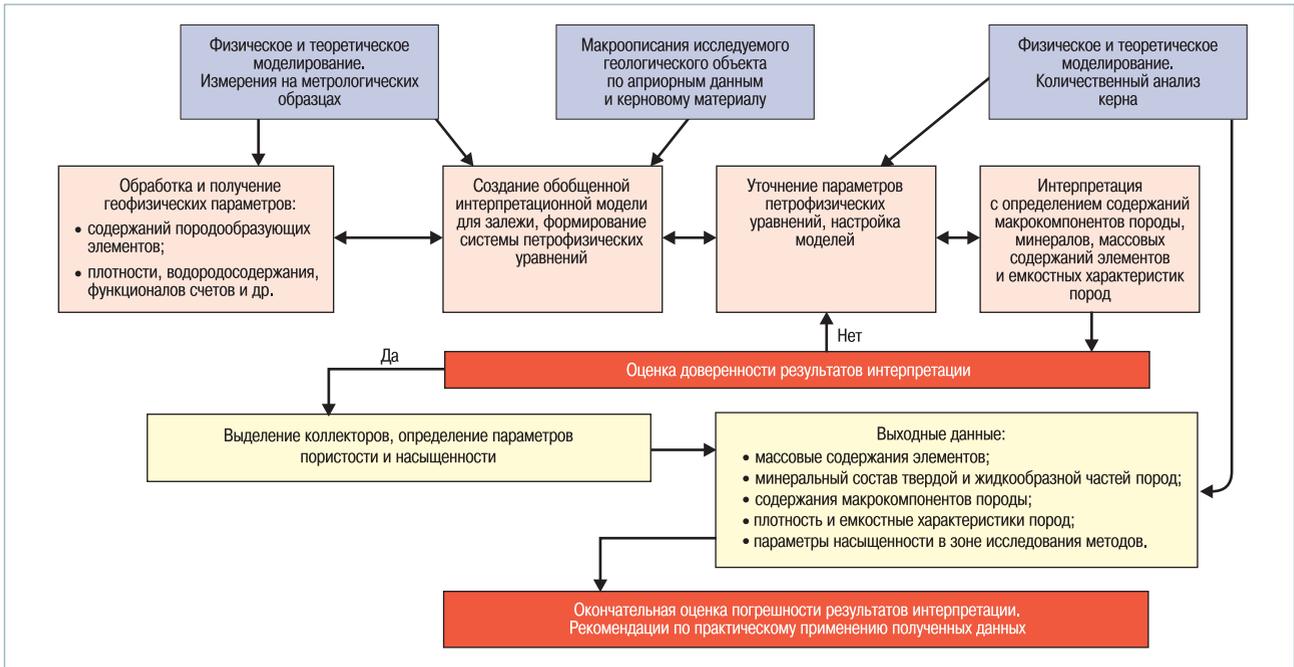


Рис. 2. Схема работы с данными ЯФМ для определения вещественного состава и емкостных характеристик пород

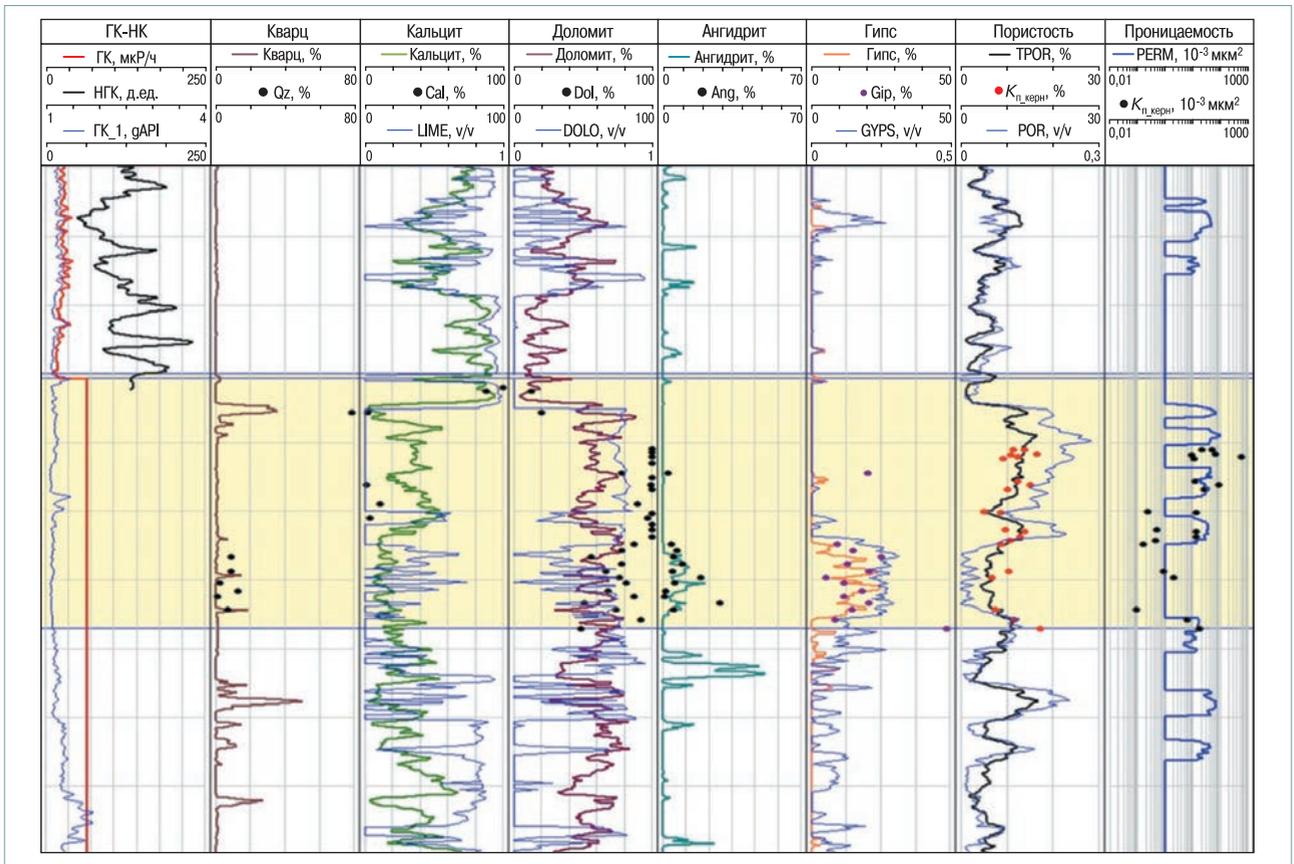


Рис. 3. Сопоставление минерального состава отложений серпуховского яруса нижнего карбона, определенного по данным ЯФМС (кривые разного цвета), с результатами анализа керна (обозначены точками)

- петрофизические уравнения, устанавливающие связь результатов измерений с определяемыми характеристиками пород;
- математический аппарат компьютерного преобразования потоков скважинной информации;
- система построения интерпретационных моделей для конкретной задачи, основанная на принципах интерактивного взаимодействия результатов решения прямых и обратных задач и алгоритмов экспертной поддержки.

Организация этих составляющих, т.е. комплексная геологическая интерпретация и оформление получаемых результатов (таблиц, иллюстраций, планшетов и заключений) для передачи заказчику, осуществляется в программном комплексе LogTools (3 и 4) (рис. 2).

Роль ЯФМС при планировании ГТМ на месторождениях очень высока, спектр решаемых промысловых и геологических (особенно, литосканерных) задач широк:

- переход, в том числе приобщение и возврат, на другие объекты эксплуатации;

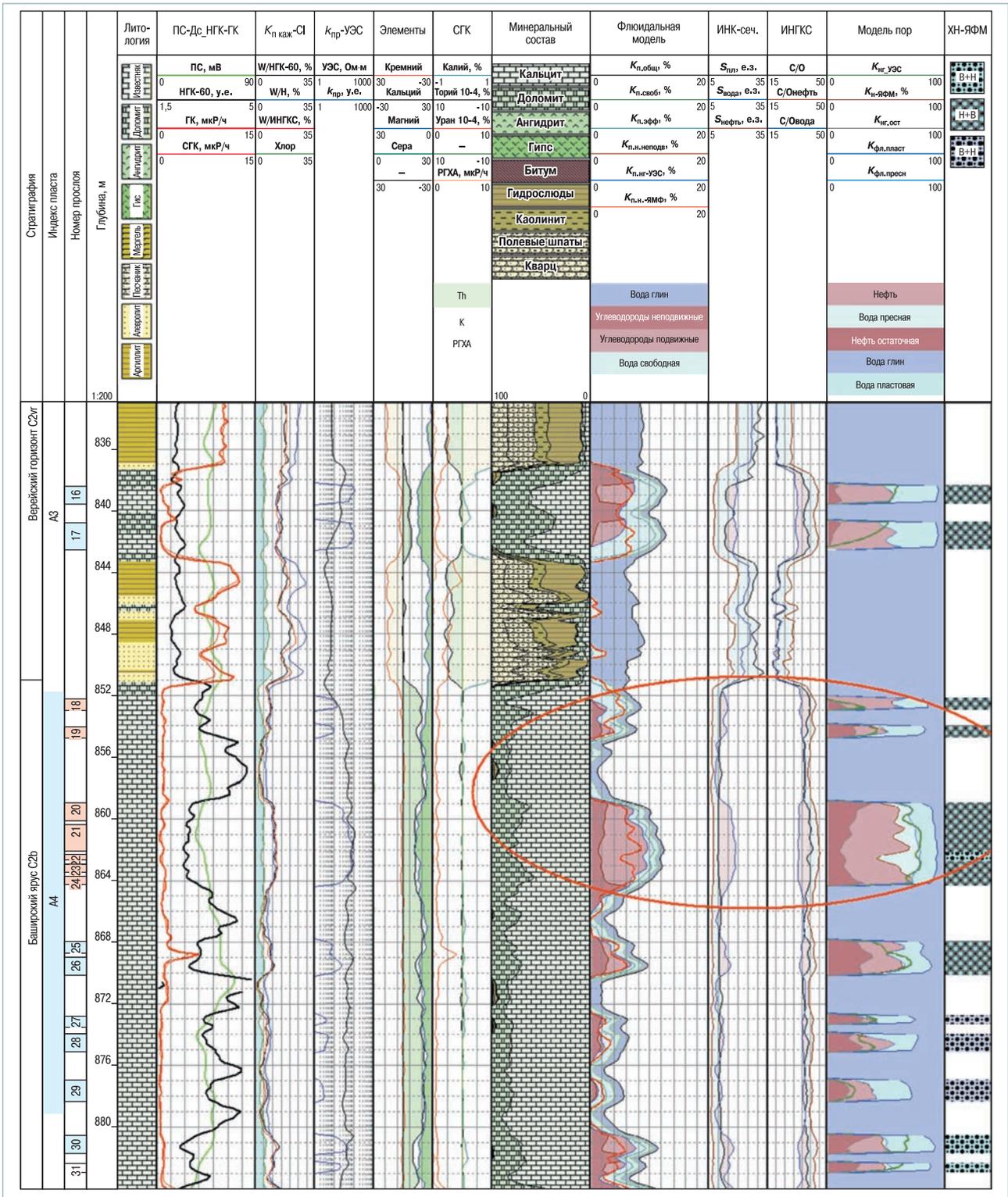


Рис. 4. Геолого-геофизическая характеристика скв. 476 Байтуганская

- одновременные исследования интервалов перфораций с локализацией и определением динамики, характера и причин обводнения пластов при использовании различных способов эксплуатации, в том числе термических;
- исследование скважин, обсаженных несколькими колоннами, колоннами малого диаметра, скважин малого диаметра, боковых стволов;
- количественное определение содержания во флюиде газа и газоконденсата;
- документирование разрезов скважин «старого» фонда, выделение коллекторов, определение их геологических характеристик;

- поиск пропущенных залежей;
- получение необходимой информации для подсчета запасов и введения пласта в разработку;
- построение геологических и гидродинамических моделей залежи;
- исследование скважин после обсаживания с выделением границ коллекторов, определением пористости и ее компонентов, глинистости и насыщенности (в зоне исследования методов), близкой к остаточной.

В процессе исследования скважин Байтуганского месторождения была использована библиотека интерпретационных модулей для месторождений России и Сер-

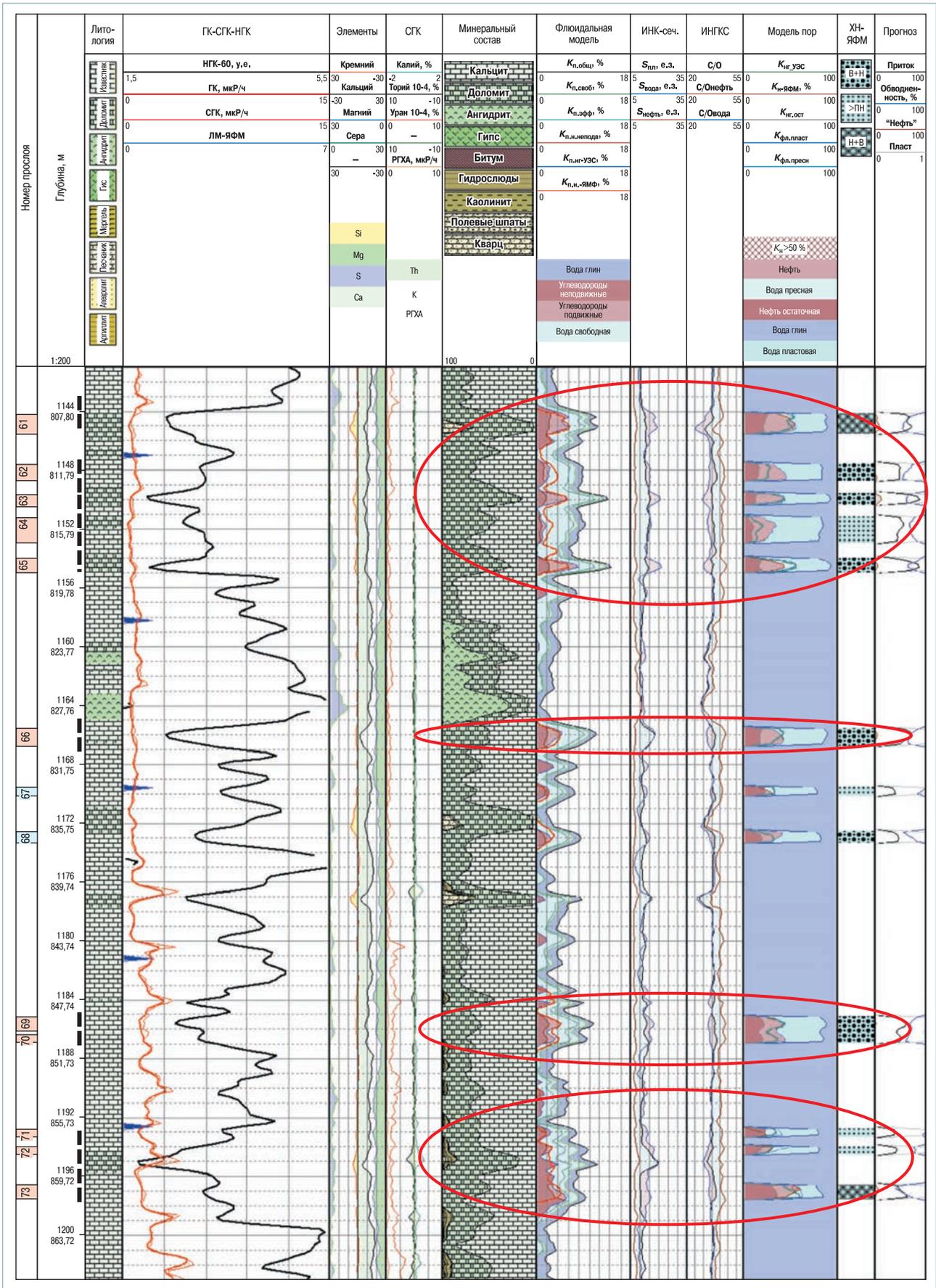


Рис. 6. Геолого-геофизическая характеристика коллекторов скв. 1596н Байтуганская

изводственные процессы. С появлением новой достоверной геологической информации библиотека постоянно обновляется. В процессе исследования скважин Байтуганского месторождения был использован накопленный потенциал, что позволило создать необходимую для изучаемых объектов интерпретационную модель и детально изучить отложения. Интерпретационная модель создана для отложений карбона и включает следующие породы: известняк, доломит, мергель, ангидрит, гипс, песчаник, алевролит и глину гидрослюдистую.

Одно из первых исследований выполнялось в открытом стволе скважины с целью изучения отложений среднего и нижнего карбона, представленных преимущественно карбонатами с включениями сульфатов и глинистых минералов. В результате были количественно измерены ядерные концентрации химических элементов (С, Са, Si, Mg, S, Gd и др.) и определены минеральный (кальцит, доломит, ангидрит, гипс, кварц, полевые шпаты, гидрослюды и каолинит) и флюидальный (нефть, фильтрат бурового раствора, пластовая вода, вода глин) составы, а также емкостные характеристики породы. Одновременно с исследованиями ЯФМС выполнялся отбор образцов керн. Сопоставление результатов ЯФМС и керновых материалов доказало достоверность интерпретационной модели и эффективность ядерной спектрометрии (рис. 3).

Одной из самых распространенных промысловых задач является переход на другие объекты. В скв. 475 (средний карбон, верейский горизонт и башкирский ярус) перфорированные до исследований интервалы пласта А₄ обеспечивали добычу жидкости обводненностью 85 %. После проведения каротажа старые интервалы были изолированы, а по данным ЯФМС были введены в эксплуатацию дополнительные объекты (рис. 4, прослой № 18–24) башкирского яруса. В результате существенно увеличился дебит нефти при обводненности продукции 9 % (см. рис. 4).

Переход на вышележащий объект с сохранением старого работающего был выполнен в скв. 530 (рис. 5). По данным ЯФМС в ней был перфорирован интервал 868–870,8 м пласта А₄ башкирского яруса. Перфорированные до исследований интервалы 882–885, 886,5–887,5 и 889–893 м из работы не выводились. В результате исследований ЯФМС был значительно увеличен дебит нефти за счет введения в эксплуатацию дополнительного объекта (см. рис. 5, прослой № 15) при обводненности 19 %. Полученные результаты также подтверждают эффективность применения ЯФМС в интервалах перфорации.

Одна из важных задач, решаемая ЯФМС, – выявление пропущенных пластов. С начала проведения исследований на Байтуганском месторождении ведется планомерная работа по их поиску. В 2021 г. был выявлен пропущенный пласт окских отложений (рис. 6). При исследовании скв. 1596 количественно определены элементный, минеральный и флюидальный (нефть, фильтрат бурового раствора, пластовая вода, вода глин) составы, а также емкостные характеристики породы. По результатам ЯФМС были перфорированы коллекторы в интервале 1140–1200 м, из которых получен приток нефти (см. рис. 6, прослой № 61–66 и № 69–73).

Выводы

1. Байтуганское месторождение является многопластовым, со сложным составом (карбонатно-терригенные отложения с примесью сульфатных минералов). Для доразведки объектов – коллекторов нефти и для контроля разработки пластов с целью увеличения добычи нефти на месторождении успешно применяются современные методы, в том числе геофизические исследования ядерно-физической спектрометрией высокого разрешения, включающие импульсную нейтронную гамма-спектрометрию (ИНГКС), спектрометрический гамма-каротаж (СГК) и двухзондовый импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (2ИННК).

2. Для объектов Байтуганского месторождения была разработана интерпретационная модель. Сопоставление результатов ЯФМС с данными анализа керн показало достоверность спектрометрии.

3. За 2020–2021 гг. проведены исследования в 23 скважинах, по 6 скважинам принято решение о переходе на другой объект или о приобщении дополнительного объекта. Работы на Байтуганском месторождении продолжаются и ядерно-физическая спектрометрия в «литосканерном» варианте зарекомендовала себя как эффективный и перспективный метод изучения вещественного состава, емкостных характеристик коллекторов и количественного определения содержания в них углеводородов, что способствует увеличению добычи углеводородного сырья.

Список литературы

1. *Аппаратурно-программные комплексы нового поколения для многопараметрического радиоактивного каротажа (МПРК) / Е.П. Боголюбов, В.В. Миллер, С.И. Копылов [и др.] // В сб. статей по материалам круглого стола «Эффективное управление процессами разработки и доразведки залежей углеводородов на основе данных комплекса скважинных спектрометрических ядерно-физических методов исследования. – М.: ГКЗ РФ, ЗАО «НТЦ ГЕОТЕХНОКИН», изд.-во «Открытые системы», 2012. – С. 16–18.*
2. *Методические рекомендации по применению ядерно-физических методов ГИС, включающих углерод-кислородный каротаж, для оценки нефте- и газонасыщенности пород-коллекторов в обсаженных скважинах / Под ред. В.И. Петерсилье, Г.Г. Яценко. – М.-Тверь, 2006. – 41 с.*

References

1. Bogolyubov E.P., Miller V.V., Kopylov S.I., Kadisov E.M., Yurkov D.I., *Apparaturno-programmnye komplekсы novogo pokoleniya dlya mnogoparametricheskogo radioaktivnogo karotazha (MPRK)* (New generation hardware and software systems for multiparameter radioactive logging). Collected papers "Effektivnoe upravlenie protsessami razrabotki i dorazvedki zalezhey uglevodorodov na osnove dannykh kompleksa skvazhinnykh spektrometricheskikh yadernofizicheskikh metodov issledovaniya" (Effective management of the development and additional exploration of hydrocarbon deposits based on data from a complex of borehole spectrometric nuclear physics research methods), Proceedings of round table 19 April 2012, Moscow: Publ. of Otkrytye sistemy, 2012, pp. 16–18.
2. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu yadernofizicheskikh metodov GIS, vlyuchayushchikh uglerod-kislorodnyy karotazh, dlya otsenki nefte- i gazonasyshchennosti porod kollektorov v obsazhennykh skvazhinakh* (Guidelines for the use of nuclear-physical methods of well survey, including the carbon-oxygen logging to evaluate oil and gas saturation of reservoir rocks in cased wells): edited by Petersil'e V.I., Yatsenko G.G., Moscow – Tver: Publ. of VNIGNI, NPTS "Tver'geofizika", 2006, 41 p.