

Ядерно-геофизические методы в модификации углерод-кислородного и трехзондового импульсного нейтронного спектрометрического каротажа

К.А. Машкин
главный инженер¹
ingeo41@mail.ru

О.Е. Рыскаль
к.г.м.н., начальник
контрольно-интерпретационной партии (КИП)¹
ingeo41@gmail.com

А.Г. Коротченко
с.н.с. КИП¹

Р.Г. Гайнетдинов
с.н.с. КИП¹

В.Л. Глухов
в.н.с.¹

А.Н. Огнев
ведущий программист¹

П.А. Сафонов
заведующий лабораторией¹

А.Ф. Камалдинов
инженер-геофизик¹

¹ООО НПП «ИНГЕО-Сервис», Октябрьский, Россия

В настоящее время на российском геофизическом рынке практически отсутствует скважинная аппаратура для определения текущей нефтегазонасыщенности пластов-коллекторов в обсаженных скважинах малого диаметра. В работе в комплексе ядерно-геофизических методов исследования скважин рассмотрена новая модификация, представленная прибором ЦСП-ЗИНГКС-76, предназначенным для решения задач контроля за разработкой нефтегазовых пластов-коллекторов в обсаженных скважинах малого диаметра, широко представленных боковыми стволами и «хвостовиками» скважин.

В настоящее время в развитии ядерно-геофизических методов каротажа обсаженных скважин основные усилия ведущих российских разработчиков геофизической аппаратуры прилагаются к разработке новых технологий геофизических исследований скважин (ГИС) с применением импульсных генераторов нейтронов, пришедших на смену радиоактивным стационарным источникам. Эти технологии включают в себя разработку и изготовление аппаратуры, сервисное обслуживание скважин, обработку и интерпретацию полученных результатов с целью составления оперативного заключения по текущему состоянию нефтегазовых пластов.

На приборостроительном предприятии ООО НПП «ИНГЕО» и в сервисной компании ООО НПП «ИНГЕО-Сервис» (г. Октябрьский, Республика Башкортостан) эти методы получили развитие в конце 90-х годов прошлого столетия. С 2003 года современный ядерно-геофизический комплекс, включающий двухзондовый импульсный нейтронный каротаж (ЗИНГК/ЗИННК), углерод-кислородный каротаж (С/О-каротаж) и спектрометрический гамма-каротаж (СГК) получил широкое распространение в производственных условиях на месторождениях нефти и газа. По состоянию на первый квартал 2013 г. обеспечено проведение комплекса ядерно-геофизических методов на многих месторождениях Западной Сибири, республик Коми, Татарстан и Башкортостан, Оренбургской области, Пермского Края, а также Казахстана и Беларуси. Количество исследованных скважин аппаратурой типа ЦСП (ЦСП-С/О-90, ЦСП-ЗИНГК-43М, ЦСП-ГК-С-90) к настоящему времени составляет более 5 тыс. После успешного использования методов в различных геолого-технических условиях, комплекс во многих нефтегазовых компаниях получил статус обязательного, что вызвано актуальностью проблемы повышения нефтеотдачи пластов и организации прогрессивной технологии добычи углеводородного сырья в целом.

Комплекс методов в указанном варианте весьма широкое и эффективное применение нашел в обсаженных скважинах, отсутствие зоны проникновения в которых создает благоприятные условия для выполнения исследований в ближней зоне пласта, насыщенной пластовым флюидом. Ограничением в использовании комплекса является диаметр приборов ЦСП-С/О-90 и ЦСП-ГК-С-90 (100 мм), подходящий для проведения исследований в скважинах с внутренним ди-

аметром от 110 мм. Невозможность реализации метода С/О-каротажа в аппаратуре диаметром менее 90–100 мм объясняется отсутствием на российском геофизическом рынке высокочастотного импульсного генератора нейтронов диаметром менее 70 мм.

В настоящее время, взамен стандартных технологий ЗИНГК и ЗИННК, ядерно-геофизический комплекс с импульсными генераторами нейтронов дополнен новой разработкой — комплексным прибором трехзондового спектрометрического импульсного нейтронного гамма-каротажа ЦСП-ЗИНГКС-76 (или его модификацией в варианте ЦСП-ЗИННК-76).

Метод, получивший наименование ЗИНГКС, реализует стандартную технологию ЗИНГК/ЗИННК, а также спектрометрию гамма-излучения радиационного захвата тепловых нейтронов (ГИРЗ) и нейтронной активации по кислороду (НАК) для оценки элементного состава горных пород и пластовых флюидов, включая массовое содержание водорода, хлора, кислорода и кремния, а также спектрометрию естественного гамма-излучения (СГК) с регистрацией содержания естественных радиоактивных элементов U, Th, K.

Прибор изготавливается в диаметре по защитному кожуху 76 мм и может использоваться в обсаженных скважинах внутренним диаметром от 86 мм (в открытом стволе — от 100 мм), включая «хвостовики», боковые и горизонтальные стволы. [1, с. 20]

Прибор эксплуатируется с трехжильным каротажным кабелем и импульсным генератором нейтронов ИНГ-10-20-120/150.

Прибор оснащается двумя зондами ИНГК (или ИННК), зондом ИНГКС с регистрацией спектрометрии ГИРЗ, зондами СГК и НАК в виде дополнительного модуля в нижней части прибора.

Применение технологии ЗИНГК/ЗИННК в комплексе с параметрами ГИРЗ, СГК и НАК в одном приборе направлено на решение следующих задач с более высоким качественным уровнем:

- определение характера насыщения коллекторов по стандартным методам ЗИНГК/ЗИННК, но с учетом влияния литологии;
- выделение газоносных пластов и оценка состава углеводородов в коллекторе за счет различного влияния «дефицита минерализации» по показателям ЗИНГК/ЗИННК и спектрального состава ГИРЗ зонда ИНГКС;
- оценка элементного состава горных пород;
- количественное определение

коэффициента нефтенасыщенности коллекторов через текущую минерализацию пластового флюида при отсутствии пресных закачек;

- выделение интервалов поступления пресных вод в нефтеносные пласты при поддержании пластового давления;
- определение наличия и направления перетока флюида при нарушении целостности цементного кольца;
- выделение радиогеохимических аномалий.

На сегодняшний день прибор ЦСП-ЗИНГКС-76 является альтернативой существующим приборам С/О-каротажа именно для скважин малого диаметра.

Направление по созданию комплексных приборов является особенно перспективным в современных условиях, когда одна спускоподъемная операция аппаратуры позволяет получить максимум информации за минимальное время. Это соображение приобретает особое значение при каротаже боковых стволов и наклонных и

Материалы и методы

1. Определение текущей нефтегазонасыщенности пород-коллекторов в скважинах, обсаженных колонной диаметром более 110 мм проводится методом комплексом ядерно-геофизических методов, включающим углерод-кислородный каротаж (С/О-каротаж), двухзондовый импульсный нейтронный гамма-каротаж, спектрометрический гамма-каротаж, спектрометрический гамма-каротаж, нейтронного активационного каротажа. Аппаратура: цифровые скважинные приборы ЦСП-С/О-90, ЦСП-ЗИНГКС-43м, ЦСП-ГК-С-90, соответственно.
2. Определение текущей нефтегазонасыщенности пород-коллекторов в скважинах, обсаженных колонной диаметром менее 110 мм проводится методом трехзондового спектрометрического импульсного нейтронного гамма-каротажа, спектрометрического гамма-каротажа, нейтронного активационного каротажа. Аппаратура: комплексный цифровой скважинный прибор ЦСП-ЗИНГКС-76.

Ключевые слова

ядерно-геофизические методы, импульсный нейтронный каротаж, интерпретация данных ГИС, оценка текущей нефтегазонасыщенности, контроль за разработкой, диаметр скважины

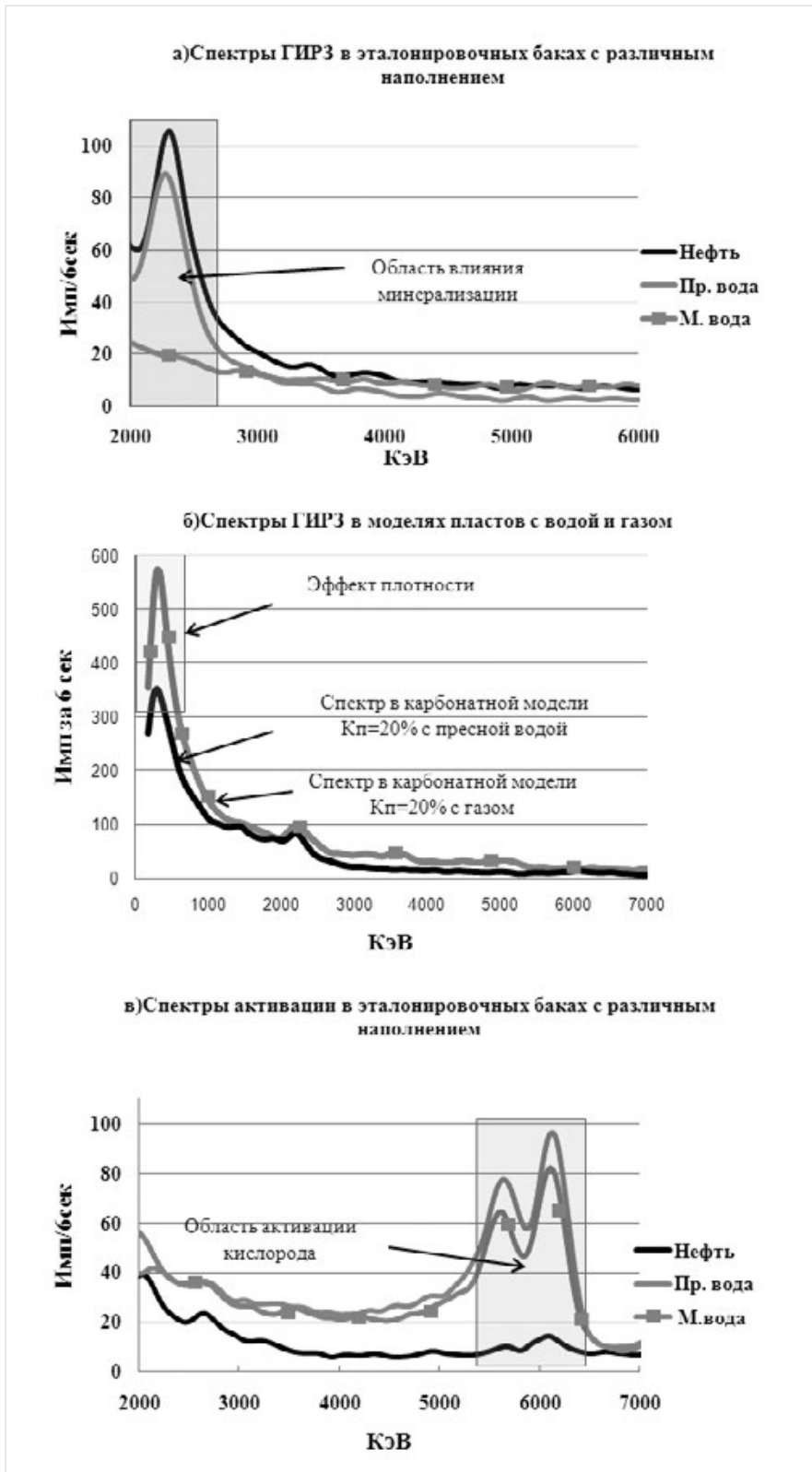


Рис. 1 — Спектры в моделях пластов с различным наполнением

горизонтальных скважин, который всегда проводится в осложненных условиях и требует для своего исполнения минимального количества спускоподъемных операций для предотвращения аварийных ситуаций при максимально возможном информативности проводимых исследований.

Как известно, в С/О-каротаже проводится изучение энергетических и временных распределений плотности потока гамма-излучения, возникающего в результате различных нейтронных реакций на ядрах породообразующих элементов в процессе гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) на высоких энергиях и гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) на низких энергиях. Регистрация линий углерода и кислорода обеспечивается спектром ГИНР, основных породообразующих элементов — спектром ГИРЗ. В методе ЗИНГКС с низкочастотным генератором регистрация спектра ГИНР отсутствует, регистрируются гамма-излучение ИНГК, спектры ГИРЗ, НАК и СКГ.

Вид регистрируемых спектров ГИРЗ и НАК зависит от частоты работы генератора и параметров временных окон регистрации. Для идентификации типа флюида, заполняющего поровое пространство коллектора, использованы области гамма-излучения от элементов водорода (H),

кислорода (O), хлора (Cl), присутствие и доля которых в поровом пространстве определяет наличие нефти, пресной или минерализованной воды. Примеры основных спектров в моделях, представленных пресной, минерализованной водой, нефтью и газом, показаны на рис. 1а-1в.

По результатам анализа экспериментальных работ для оценки минерализации выбрана энергетическая область спектра ГИРЗ, отражающая содержание водорода и хлора (рис. 1а). Зависимость определяемого параметра от минерализации пластового флюида близка к линейной, слабо зависит от литологии за счет использования области спектра, практически свободного от основных линий породообразующих элементов, и требует лишь введения поправки за пористость. Использование зависимости «параметра минерализации» от минерализации флюида упрощает и повышает однозначность интерпретации в неоднородных геологических разрезах при оценке характера насыщения.

Энергетическая область в мягкой части спектра ГИРЗ отражает эффект плотности (рис. 1б), который проявляется при наличии газонасыщенности. «Дефицит плотности» наряду с «дефицитом водородосодержания» лежит в основе оценки газонасыщенности коллекторов.

При отсутствии спектра ГИНР, в котором выделяется пик углерода, аппаратурой ЦСП-ЗИНГКС-76 регистрируется спектр нейтронной активации по кислороду (НАК), в котором выделяются пики кислорода и кремния. С использованием этой информации выполняется оценка текущей нефтенасыщенности при низкой или произвольной минерализации пластовых или закачиваемых вод. В основе реализованного метода НАК лежит явление искусственной радиоактивности, которое состоит в образовании радионуклидов при облучении вещества быстрыми нейтронами. Происходящие ядерные реакции сопровождаются гамма-излучением различных энергий, спектр которого регистрируется прибором (рис. 1в).

Скорость каротажа и длина зондового расстояния спектрального модуля НАК подобраны таким образом, чтобы достаточно надежно в скважине регистрировалось излучение как от кислорода, так и от кремния, ядерные реакции от которых имеют разные периоды полураспада. Аппаратурные характеристики прибора подобраны опытным путем и обеспечивают достаточно надежный результат. При этом определяются параметры, отражающие как литологическую характеристику разреза скважины, так и

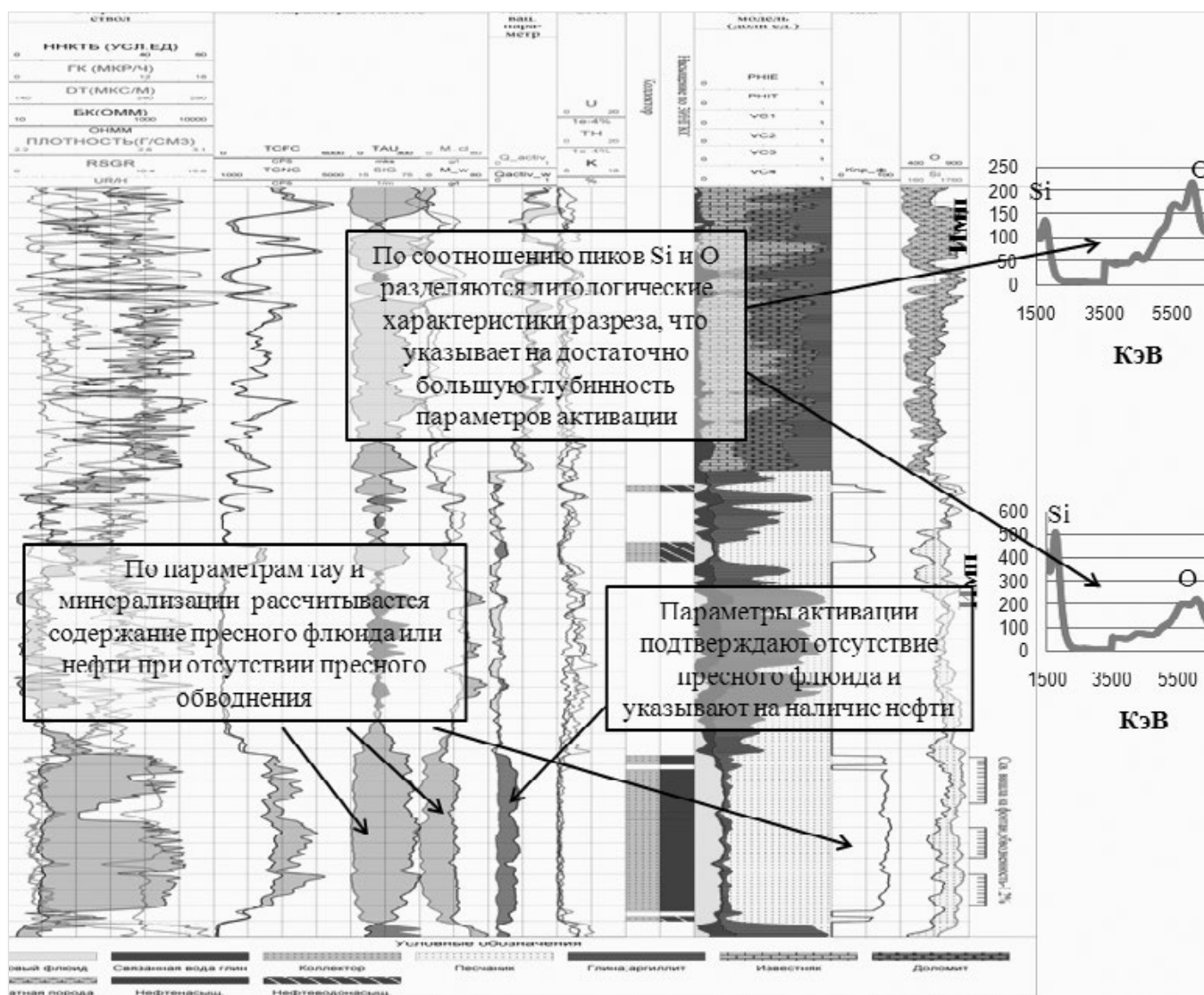


Рис. 2 — Результаты интерпретации данных метода ЗИНГКС в скважине (Пермский Край)

характер насыщения порового пространства или ближней зоны (при недостатке глубинности и наличия нерасформированной зоны проникновения).

Опробование аппаратуры ЦСП-3ИНГКС-76 проведено как в открытом стволе, так и в обсаженных скважинах малого диаметра нефтегазовых месторождений Пермского Края. Как показал анализ выполненных исследований, полученные результаты хорошо согласуются с данными освоения скважин. Пример оценки характера насыщения по результатам 3ИНГКС приведен на рис. 2. На рисунке обозначены основные интерпретационные признаки для литологической характеристики разреза скважины и характера насыщения коллекторов. Интервалы выделенных нефтенасыщенных коллекторов при освоении продуктивных пластов работают нефтью с обводнением 1%, что

подтверждает результаты интерпретации данных метода 3ИНГКС.

Итоги

В сложных геолого-технических условиях при отсутствии возможности записи C/O-каротажа, текущая нефтегазонасыщенность впервые оценивается на основании комплексного использования параметров минерализации и нейтронной активации кислорода при низкой или произвольной минерализации пластовых или закачиваемых вод. Эффективность нового метода доказана в ходе опытных работ на нефтегазовых месторождениях Пермского края.

Выводы

Разработанная методика оценки текущей нефтенасыщенности пород-коллекторов в обсаженных скважинах малого диаметра,

реализованная в комплексной скважинной аппаратуре ЦСП-3ИНГКС-76 и специализированном программном обеспечении для интерпретации параметров, полученных при проведении каротажа, может быть использована как перспективное направление дальнейшего развития ядерно-геофизических методов исследования эксплуатационных скважин.

Список используемой литературы

1. Mashkin K.A., Ryskal O.E., Korotchenko A.G., Gajnetdinov R.G., Glukhov V.L., Ognev A.N., Shabiev I.Kh. Расширение области применения ядерно-геофизических методов в сложных геолого-технических условиях // Каротажник. Тверь: АИС, 2012. № 4. С. 19–28.

ENGLISH

GEOPHYSICS

Nuclear well logging methods in the modifications of carbon-oxygen log and 3-sondes spectral pulsed neutron log

UDC 550.832.54

Authors:

Konstantin A. Mashkin — chief engineer[†]; ingeo41@mail.ru
Olga E. Ryskal — ph.D., chief petrophysicist[†];
Alexander G. Korotchenko — senior researcher[†];
Ramil G. Gajnetdinov — senior researcher[†];
Valeriy L. Glukhov — leading researcher[†];
Aleksey N. Ognev — leading programmer[†];
Peter A. Safonov — laboratory director[†];
Albert F. Kamaltdinov — geophysicist engineer[†];

[†]INGEO-Service R&D Co. Ltd., Oktyabrsky, Russian Federation

Abstract

Currently, in the Russian well-logging market there are practically no borehole tools to determine the current oil and gas saturation of the reservoirs in small diameter cased wells. In the complex of nuclear geophysical well logging techniques, new TsSP-3INGKS-76 tool is discussing. It is specially designed to meet the challenges of monitoring the development of oil and gas reservoirs in small diameter cased wells, widely represented by the sidetrack wells and liners.

Materials and methods

1. Determination of the current oil and gas saturation of the reservoir in wells, cased column with the more than 110 mm diameter, were carried out by the standard complex of nuclear geophysical methods, including the carbon-oxygen log (C/O-log), the two-

sondes pulsed neutron-gamma ray log and spectral gamma ray log. Equipment: TsSP-C/O-90, TsSP-2INGK-43m, TsSP-GK-C-90 digital borehole tools, respectively.

2. Determination of the current oil and gas saturation of the reservoir in wells, cased column with up to 86 mm diameter, were carried out by the 3-sondes spectral pulsed neutron-gamma ray, spectral gamma ray, neutron activation logging methods. Equipment: TsSP-3INGKS-76 digital complex borehole tool.

Results

In the complicated technical and geological conditions (small diameter wells, low or arbitrary mineralization of reservoir water), without the possibility of C/O-log recording, for the first time the current oil and gas saturation is estimated based on the integrated

use of the following parameters: fluids mineralization and neutron activation of oxygen. The effectiveness of the new method was provided in the course of experimental work on the oil fields in the Perm region.

Conclusions

The developed method of estimating the current oil saturation of reservoir in cased wells of small diameter, implemented in TsSP-3INGKS-76 complex borehole tool and special software, can be used as a promising direction for further development of nuclear geophysical methods for production wells logging.

Keywords

nuclear logging methods, pulsed neutron logging data interpretation, determination the current oil and gas saturation, production wells logging, the diameter of the well.

References

1. Mashkin K.A., Ryskal O.E., Korotchenko A.G., Gajnetdinov R.G., Glukhov V.L., Ognev A.N., Shabiev I.Kh.

Rasshirenie oblasti primeneniya yaderno-geofizicheskikh metodov v slozhnykh geologo-tekhnicheskikh usloviyakh [Expansion of the

application scope of nuclear logs in complex geologic and technical conditions]. Karotazhnik. Tver: AIS, 2012, issue 4, pp. 19–28.