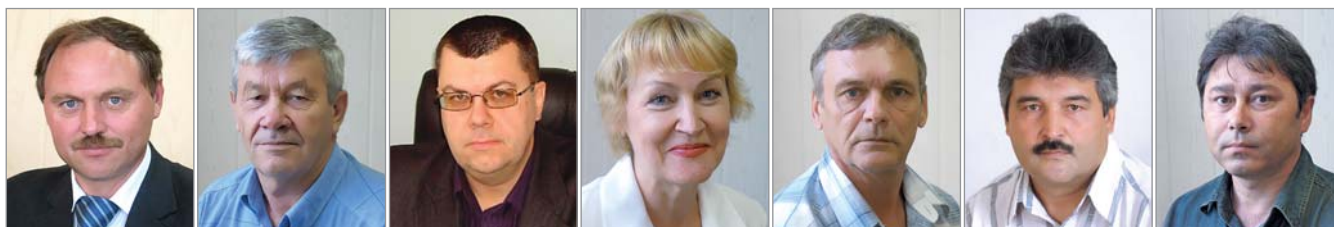


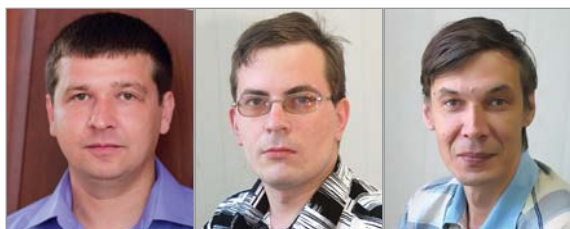
УДК 550.832.5:622.241

Комплекс ядерно-геофизических методов для оценки нефтенасыщенности пород-коллекторов в обсаженных скважинах

англ. название статьи (будет заказано у переводчика)



В.Т. Перелыгин*, А.И. Машкин** К.А. Машкин* О.Е. Рыскаль**, А.Г. Коротченко* Р.Г. Гайнетдинов* В.Л. Глухов*
К.Г.-М.Н. К.Г.-М.Н.



А.Ф. Камалтдинов*** А.Н. Огнев* И.Х. Шабиев*

Для решения задач контроля за разработкой нефтегазовых месторождений в ОАО НПП ВНИИГИС и его дочерних предприятиях ООО НПП ИНГЕО и ООО НПП «ИНГЕО-Сервис» разрабатывается и успешно применяется комплекс ядерно-геофизических методов, включающий импульсный нейтронный каротаж (2ИНГК, 2ИННК), углеродно-кислородный каротаж (ИНГКС) и спектрометрический гамма-каротаж (СГК). В целях расширения возможностей ядерно-геофизических методов в последние годы для оценки текущей нефтенасыщенности в скважинах малого диаметра, а также в боковых и горизонтальных стволах разработана аппаратура ЦСП-ЗИНГКС-76 (ЦСП-ЗИНКС-76).

Англ. аннотац

Ключевые слова: геофизические исследования скважин, исследования эксплуатационных скважин, комплекс ядерно-геофизических методов, импульсный нейтронный каротаж, углеродно-водородный каротаж, спектрометрический гамма-каротаж.

Key words: *та*

/*ОАО НПП ВНИИГИС,
Тел. (34767) 5-27-03
info@vniigis.com

**ООО НПП ИНГЕО
Тел. (34767) 5-23-76
ingeo41@mail

***ООО НПП «ИНГЕО-Сервис»
Тел. (34767) 5-23-76
ingeo41@mail.ru/

В соответствии с потребностями нефтегазовой отрасли за последний более чем десятилетний период на рынке геофизических услуг и технологий интенсивно развивается направление исследования эксплуатационных (или добывающих) скважин. С учетом особенностей обустройства нефтегазовых скважин (наличие обсадных колонн, отсутствие зон проникновения) к технологии исследования этих скважин и, соответственно, комплексу ГИС предъявляются особые требования, обеспечивающие получение достоверной информации о состоянии и изменениях в продуктивных пластах в процессе их эксплуатации. Информация о текущем состоянии продуктивных пластов используется для выбора обоснованной системы разработки залежей, регулирования темпа отбора флюидов, направленного на максимальное извлечение их из земных недр.

В настоящее время к основным методам исследований эксплуатационных скважин относятся ядерно-геофизические, позволяющие решать задачи выявления пропущенных залежей, оценки текущего состояния выработки коллекторов, положений контуров нефтегазоносности и уточнения положений невыработанных участков залежей. С геологической точки зрения объектами исследований могут являться как терригенные, так и карбонатные породы с различной пористостью, глинистостью, структурой порового пространства. С точки зрения технического строения скважины различаются диаметром, конструкцией обсадных колонн, составом промывочной жидкости (буровой раствор, полимерные растворы, растворы на нефтяной основе). В настоящее время технология освоения продуктивных пластов часто включает в себя проводку боковых стволов с малым диаметром. Эти обстоятельства имеют значение при планировании работ на различных этапах исследования скважин и учитываются при комплексировании методов ГИС с целью технических возможностей их применения в тех или иных условиях

и эффективного решения поставленных задач.

С целью осуществления контроля за разработкой нефтегазовых месторождений в ОАО НПП ВНИИГИС и его дочерних предприятиях ООО НПП ИНГЕО и ООО НПП «ИНГЕО-Сервис» с конца 90-х годов прошлого столетия разрабатывается и успешно применяется комплекс ядерно-геофизических методов, включающий импульсный нейтронный каротаж (2ИНГК, 2ИННК), углеродно-кислородный каротаж (ИНГКС) и спектрометрический гамма-каротаж (СГК). Геофизическая аппаратура комплекса ядерно-геофизических методов имеет торговую марку ЦСП (цифровой скважинный прибор), широко известна и используется для выполнения сервисных работ по обслуживанию нефтегазовых компаний России, ближнего и дальнего зарубежья. В комплексе с геофизической аппаратурой разработано программное обеспечение для первичной обработки данных и комплексной интерпретации в среде интегрированной системы «Прайм». В настоящее время с применением созданного ОАО НПП ВНИИГИС оборудования исследованы десятки тысяч скважин.

Основными направлениями деятельности компании вместе с ее дочерними предприятиями в области развития ядерно-геофизических методов являются:

- изготовление аппаратуры комплекса ядерно-геофизических методов каротажа, включающего углеродно-кислородный каротаж (скважинный прибор ЦСП-С/О-90), спектрометрический гамма-каротаж (прибор ЦСП-ГК-С-90), двухзондовый импульсный нейтрон-нейтронный (нейтронный гамма-) каротаж (приборы ЦСП-2ИННК-43, ЦСП-2ИНГК-43М) для определения коэффициента нефтегазонасыщенности эксплуатационных и разведочных нефтегазовых скважин, в том числе в боковых стволах малого диаметра методом трехзондового импульсного спектрометрического нейтронного гамма-каротажа (прибор ЦСП-3ИНГКС-73/76);

- проведение геофизических исследований в нефтегазовых скважинах с применением указанного комплекса ядерно-геофизических методов для определения коэффициента нефте- или газонасыщенности пород терригенного и карбонатного состава;

- комплексная интерпретация данных ядерно-геофизических методов с целью количественного определения коэффициента нефте- или газонасыщенности, определения положений ВНК (ГНК, ГВК), уточнения литологического состава горных пород, определения интервалов обводнения пресным флюидом;

- проведение геофизических исследований скважин методом 2ИННК (2ИНГК) для оперативного контроля за разработкой залежи.

В качестве примеров интерпретации комплекса ядерно-геофизических методов в различных геолого-технических условиях на **рис. 1, 2** приведены результаты оценки текущего состояния продуктивных пластов нефтегазовых месторождений.

Комплекс ядерно-геофизических методов применялся для изучения различных типов геологических разрезов и стратиграфии (карбонатно-терригенных, сульфатно-карбонатных, карбонатных, терригенных разрезов со сложным литологическим составом, включающим углистые, полимиктовые песчаники, битуминозные глины). Решались задачи оценки текущей нефтегазонасыщенности, определения характера насыщения пластов, выделения интервалов обводнения (в том числе пресными нагнетаемыми водами). С использованием параметров С/О-каротажа, отражающих элементный состав горных пород, в исследованных скважинах проводилось уточнение литологического состава путем расчета объемной модели и, соответственно, уточнения коэффициента пористости и интервалов коллекторов. Оценка характера насыщения пластов выполнялась на основе количественных расчетов КНГ по основным параметрам С/О-каротажа (С/О, СА/СИ) с учетом результатов оценки элементного

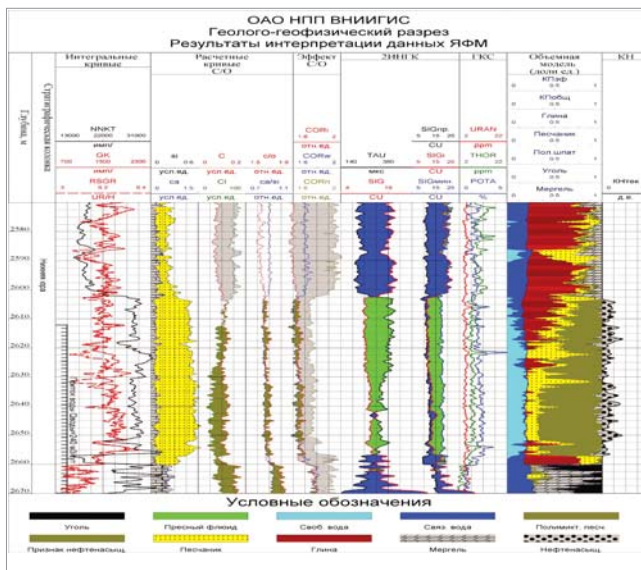


Рис. 1. Выделение коллекторов с остаточным нефтенасыщением и пластовым флюидом, представленным водой низкой минерализации, в разрезе со сложным литологическим составом

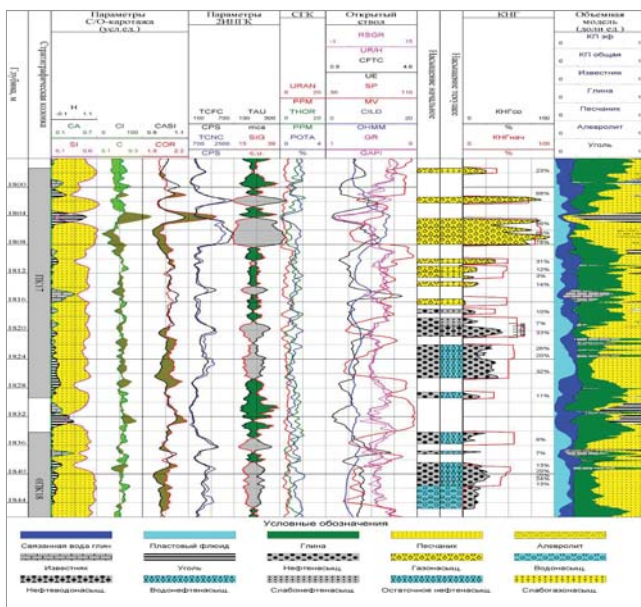


Рис. 2. Результаты интерпретации комплекса ядерно-геофизических методов для оценки текущего нефтегазонасыщения в разрезе с ГНК

состава, отражающего флюидальный состав пластового флюида (углерод C, хлор Cl), нейтронных характеристик импульсного нейтронного каротажа (SIGMA, TAU), дополнительной информации СГК (наличие или отсутствие РГХ) и термометрии, осуществляемой датчиком, установленным в приборе ЦСП-С/О-90. Результаты исследований в большинстве случаев сопровождались испытаниями пластов, по отдельным скважинам – петрофизическими исследованиями керна с хорошей статистикой подтверждения данных ЯГМ.

В целях расширения возможностей ядерно-геофизических методов в последние годы для оценки текущей нефтегазонасыщенности в скважинах малого диаметра, а также в боковых и горизонтальных стволах разработана аппаратура ЦСП-ЗИНГКС-76 (ЦСП-ЗИННКС-76), использующая импульсный низкочастотный генератор нейтронов малого диаметра. Этот прибор является альтернативой существующим приборам С/О-каротажа для скважин малого диаметра за счет того, что при отсутствии спектра ГИНР дополнительно регистрируется спектр активации, в котором выделяется пик кислорода, и на основе этой информации выполняется оценка текущей нефтенасыщенности при низкой минерализации пластовых или закачиваемых вод.

Комплексный прибор ЦСП-ЗИНГКС-76 (ЦСП-ЗИННКС-76) за один спускоподъем реализует стандартную технологию 2ИНГК (2ИННК), а также спектрометрию гамма-излучения радиационного захвата тепловых нейтронов (ГИРЗ). Это дает возможность оценивать элементный состав, включая массовые содержания H, Cl, Ca, Si, отражающие состав пластового флюида и скелета горной породы, а также спектрометрию естественного гамма-излучения (ГК-С) с регистрацией радиоактивных элементов U, Th, K и интегрального ГК. Регистрация спектра нейтронной активации кислорода (НАК) позволяет оценивать содержание кислорода в поровом пространстве и в комплексе с данными 2ИНГК и ГИРЗ дает информацию для разделения нефтенасыщенных и водонасыщенных пластов с низкой минерализацией, что важно при наличии пресных закачек на фоне минерализованных пластовых вод.

Прибор работает с импульсным генератором нейтронов ИНГ-10-20-120/150, оснащен двумя зондами ИНГК (или ИННК), зондом ИНГКС с регистрацией спектрометрии ГИРЗ и нейтронным активационным зондом с регистрацией спектра НАК. Спектрометр ГК-С-73/76 выполнен в виде отдельного модуля, устанавливаемого в верхней части прибора.

Применение технологии 2ИНГК (2ИННК) в комплексе с технологией ГИРЗ и нейтронной активации кислорода НАК в одном приборе направлено на решение задач более высокого качественного уровня:

- определение характера насыщения методом 2ИНГК (2ИННК) с учетом влияния литологии;
- выделение газоносных пластов и оценка состава углеводородов в коллекторе за счет различного влияния «дефицита минерализации» по показаниям 2ИНГК (2ИННК) и спектрального состава ГИРЗ большого зонда методом ИНГКС;
- оценка элементного состава горных пород, в том числе массовых содержаний хлора и водорода, связанных с минерализацией пластового флюида;
- определение коэффициента нефтенасыщенности коллекторов через текущую минерализацию пластового флюида при отсутствии пресных закачек;

- выделение интервалов поступления пресных вод в продуктивные пласты по зоне активации кислорода в воде по сравнению с нефтью;
- выявление радиогеохимических аномалий;
- определение направления перетока флюида при нарушении целостности цементного кольца.

Как показал анализ результатов выполненных исследований в скважинах Пермского Прикамья и Казахстана, методика оценки нефтенасыщенности по минерализации пластового флюида совместно с нейтронной активацией кислорода является работоспособной, полученные результаты хорошо согласуются с данными открытого ствола и подтверждены прямыми методами ГИС (ОПК, ГДК) и освоением скважин. Примеры результатов интерпретации данных комплексного прибора ЗИНГКС приведены на **рис. 3, 4**.

Широкое опробование аппаратно-методического комплекса, включающего С/О-каротаж, импульсный нейтрон-нейтронный или нейтронный гамма-метод и спектрометрию гамма-излучения, позволяет сделать вывод о возможности эффективного решения задачи определения текущей нефтегазонасыщенности в эксплуатационных скважинах в различных геолого-технических условиях.

Расширение комплекса путем использования методик трехзондового спектрометрического импульсного нейтронного гамма-каротажа направлено на решение следующих задач:

- повышение информативности ИННК (ИНГК) путем введения дополнительного параметра минерализации и данных об элементном составе пород;
- повышение информативности ИННК (ИНГК) по оценке газонасыщенности, в том числе при отсутствии данных о водородосодержании в открытом стволе;
- получение по результатам НАК дополнительной информации об обводнении продуктивных пластов, в том числе и пресными водами, и перетоках в скважинах;
- расширение диапазона применения комплекса в условиях открытого ствола и в скважинах малого диаметра, которые широко распространены в виде боковых и горизонтальных стволов.

В перспективе задача оценки текущей нефтегазонасыщенности пластов-коллекторов в хвостовиках и боковых стволах эксплуатационных скважин будет решаться с применением находящегося в стадии разработки комплексного скважинного прибора ЦСП-С/О-73 с модулем спектрометрического гамма-каротажа ЦСП-ГК-С-73. По проекту, прибор за одну спуско-подъемную операцию позволит фиксировать параметры С/О-каротажа, импульсного нейтронного гамма-каротажа, нейтронной активации по кислороду, а также спектрометрического гамма-каротажа (аналоги - зарубежная аппаратура RST компании Schlumberger, прибор MSI компании Baker-Atlas, и прибор RMT компании Halliburton). Таким образом, новая аппаратура фактически заменит весь комплекс скважинных приборов ядерно-геофизических методов каротажа для проведения ГИС в обсаженных скважинах малого диаметра.

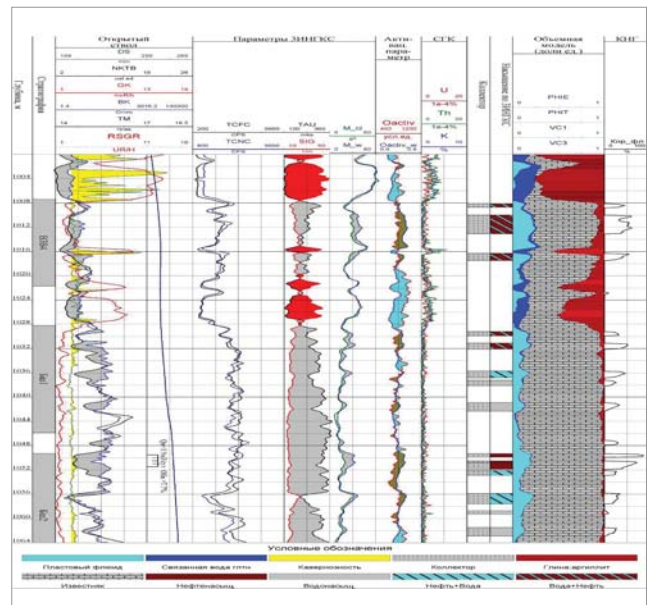


Рис. 3. Применение метода ЗИНГКС для оценки текущей нефтенасыщенности в карбонатном разрезе Пермского Прикамья

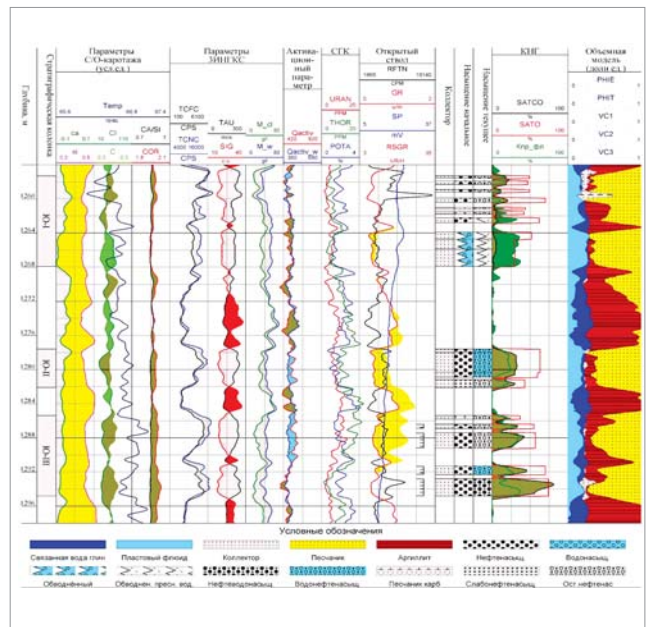


Рис. 4. Применение метода ЗИНГКС в комплексе с С/О-каротажем для оценки текущей нефтенасыщенности и выделения пресного обводнения