

УДК 550.832.54

## Современные и перспективные разработки аппаратуры и методики спектрометрического импульсного нейтронного каротажа

**К.А. Машкин**  
 ingeo41@mail.ru  
**А.Г. Коротченко**  
**Р.Г. Гайнетдинов**  
**В.М. Романов**  
**В.Л. Глухов**  
**А.Ф. Камалудинов**  
**П.А. Сафонов**  
**А.Н. Огнев**  
**И.Х. Шабиев**

/ОАО НПП «ВНИИГИС», ООО НПП «ИНГЕО»,  
 г. Октябрьский/

*Рассматривается существующая аппаратура и методика для оценки текущей нефтегазонасыщенности и решения других промысловых задач спектрометрическими импульсными нейтронными методами каротажа в сравнении с проводимыми перспективными разработками, призванными улучшить технические характеристики и расширить методические возможности скважинных приборов.*

**Ключевые слова:** ядерно-геофизические методы, углерод-кислородный каротаж, спектрометрический импульсный нейтронный каротаж, интерпретация данных ГИС, оценка текущей нефтегазонасыщенности, контроль за разработкой.

Отдел аппаратуры и методики радиоактивного каротажа ОАО НПП «ВНИИГИС» и малое предприятие ООО НПП «ИНГЕО» являются в России одними из ведущих организаций по выпуску скважинных приборов и проведению геофизических исследований нефтегазовых скважин спектрометрическими импульсными нейтронными методами каротажа. Основные направления деятельности включают разработку геофизической аппаратуры и технологий ядерно-геофизических методов (ЯГМ) каротажа, а также сервисное обслуживание нефтегазовых скважин с применением комплекса методов на основе углерод-кислородного каротажа (С/О-каротажа) и выдачей заключений по характеру существующей нефтегазонасыщенности пластов-коллекторов.

Регионы работ включают нефтегазовые месторождения Восточной и Западной Сибири, Ямала, республик Коми, Татарстан, Башкортостан, а также Беларуси, Казахстана, Сербии и др.

Основные модификации аппаратуры, реализующей комплекс ЯГМ, имеют обозначение ЦСП (т.е.

«цифровой скважинный прибор») и включают скважинные приборы С/О-каротажа (ЦСП-С/О-90, ЦСП-ИМКС-100), двухзондового импульсного нейтронного каротажа (ЦСП-2ИНГК-43М, ЦСП-2ИННК-43), спектрометрического гамма-каротажа (ЦСП-ГК-С-90). Комплекс предназначен для использования в открытом и обсаженном стволах скважин диаметром не менее 110 мм. В число измеряемых параметров входят спектральные отношения С/О, Са/Si, содержания основных химических элементов скелета горных пород и порового флюида, радиоактивных элементов (С, О, Н, Cl, Si, Ca, S, Mg, Fe, K, Th, U и др.), определяемых из регистрируемых спектров гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ), гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР), спектрометрического гамма-каротажа (СГК).

На **рис. 1** показан пример использования комплекса ЯГМ (С/О-каротаж, ИННК, СГК) в карбонатном разрезе на одном из месторождений Республики Коми. При исследовании карбонатных разрезов большое значение имеет привлечение данных об элементном составе пород с целью компенсации влияния литоло-

гии на углеродно-кислородное и кремний-кальциевое отношения.

На рис. 2 представлен пример использования комплекса в терригенном разрезе на одном из месторождений Западной Сибири. При исследовании терригенных разрезов необходимо компенсировать влияние углистости, битуминозности, карбонатных включений и глинистости на регистрируемые спектральные отношения.

Для проведения исследований в нефтегазовых скважинах с меньшим диаметром (в основном боковых стволов и «хвостовиков», обсаживаемых колонной диаметром 102 мм), разработан скважинный прибор ЦСП-ЗИНГКС-76 с функцией одновременной регистрации параметров ЗИНГК, спектров ГИРЗ, SGK, активационного спектра (НАК), позволяющих оценивать нейтронные характеристики (тау, сигма), содержание основных породообразующих химических элементов, содержание кислорода в горной породе. В отсутствие спектра ГИНР аппаратура по содержанию кислорода позволяет выделять пресные закачки на фоне нефтенасыщенных коллекторов. Большой объем исследований в различных геолого-технических условиях нефтегазовых месторождений показал высокую достоверность их результатов. Пример применения комплексной аппаратуры ЦСП-ЗИНГКС-76 для определения текущей нефтенасыщенности в обсаженном боковом стволе скважины малого диаметра, пересекающей терригенно-карбонатный разрез (Пермский край), показан на рис. 3. Коэффициент текущей нефтенасыщенности рассчитан с использованием параметров импульсного нейтронного

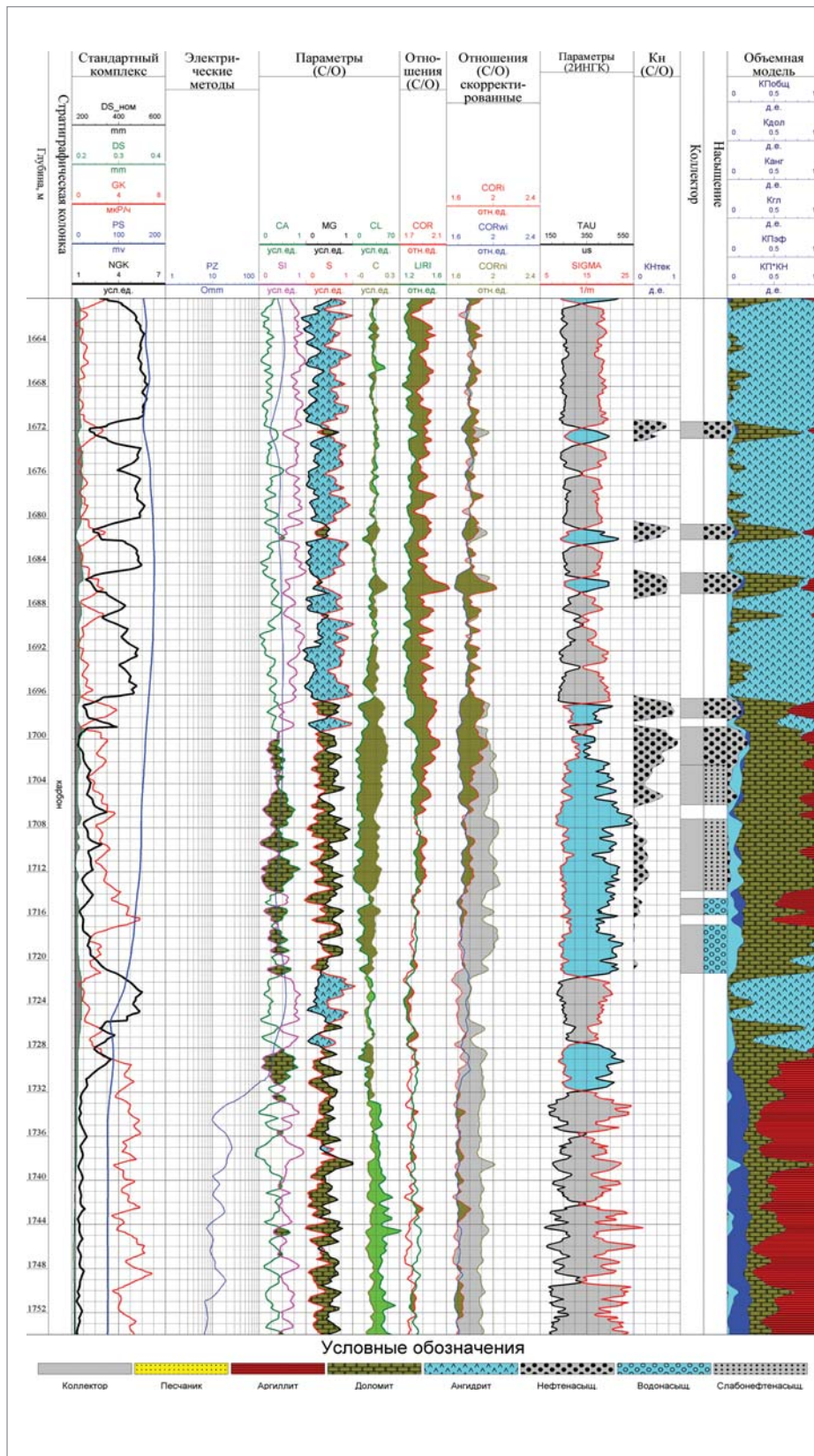


Рис. 1. Пример определения текущей нефтенасыщенности пластов-коллекторов комплексом ЯГМ в карбонатном разрезе (Республика Коми)



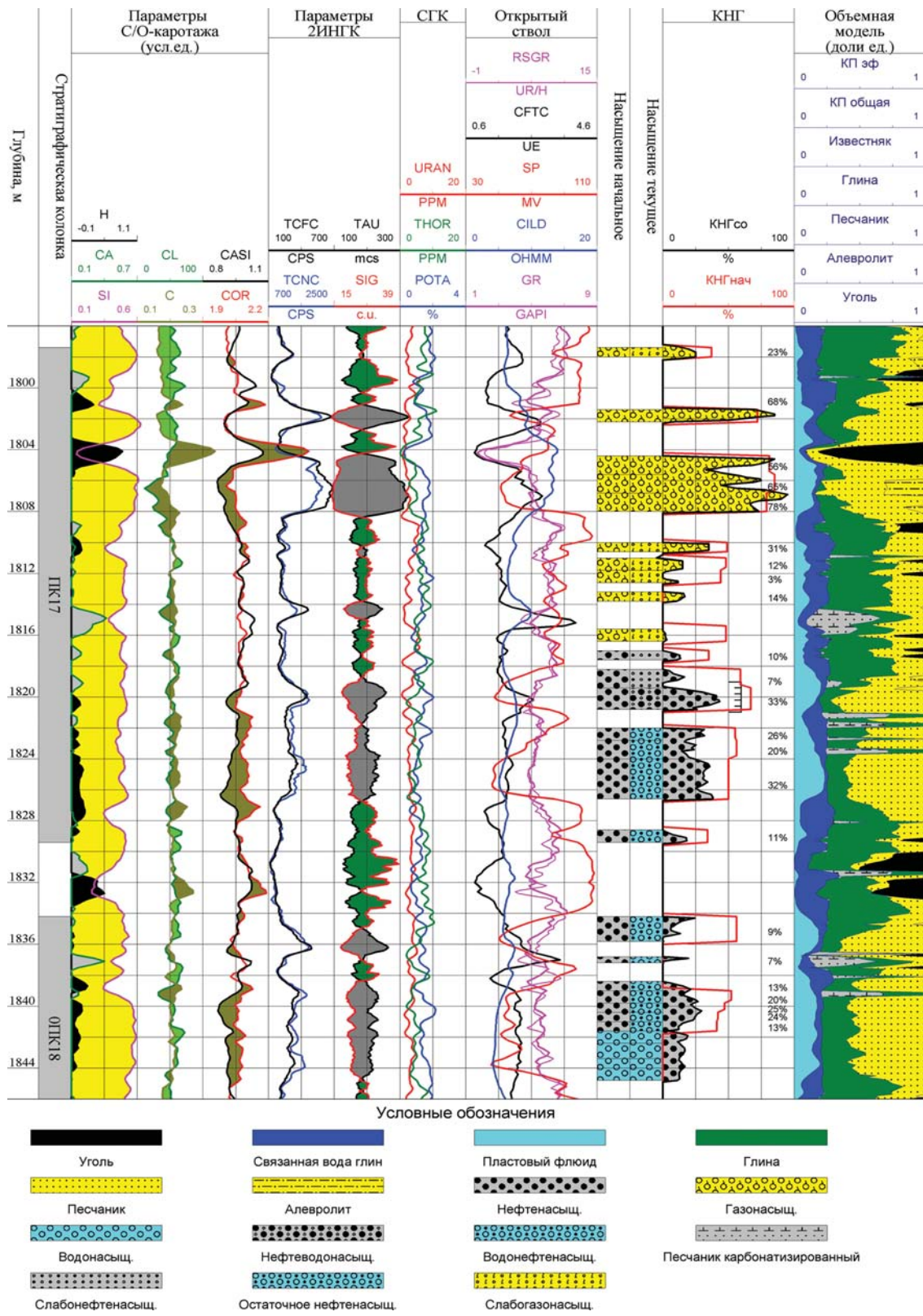


Рис. 2. Пример определения текущей нефтегазонасыщенности пластов-коллекторов комплексом ЯГМ в терригенном разрезе (Западная Сибирь)

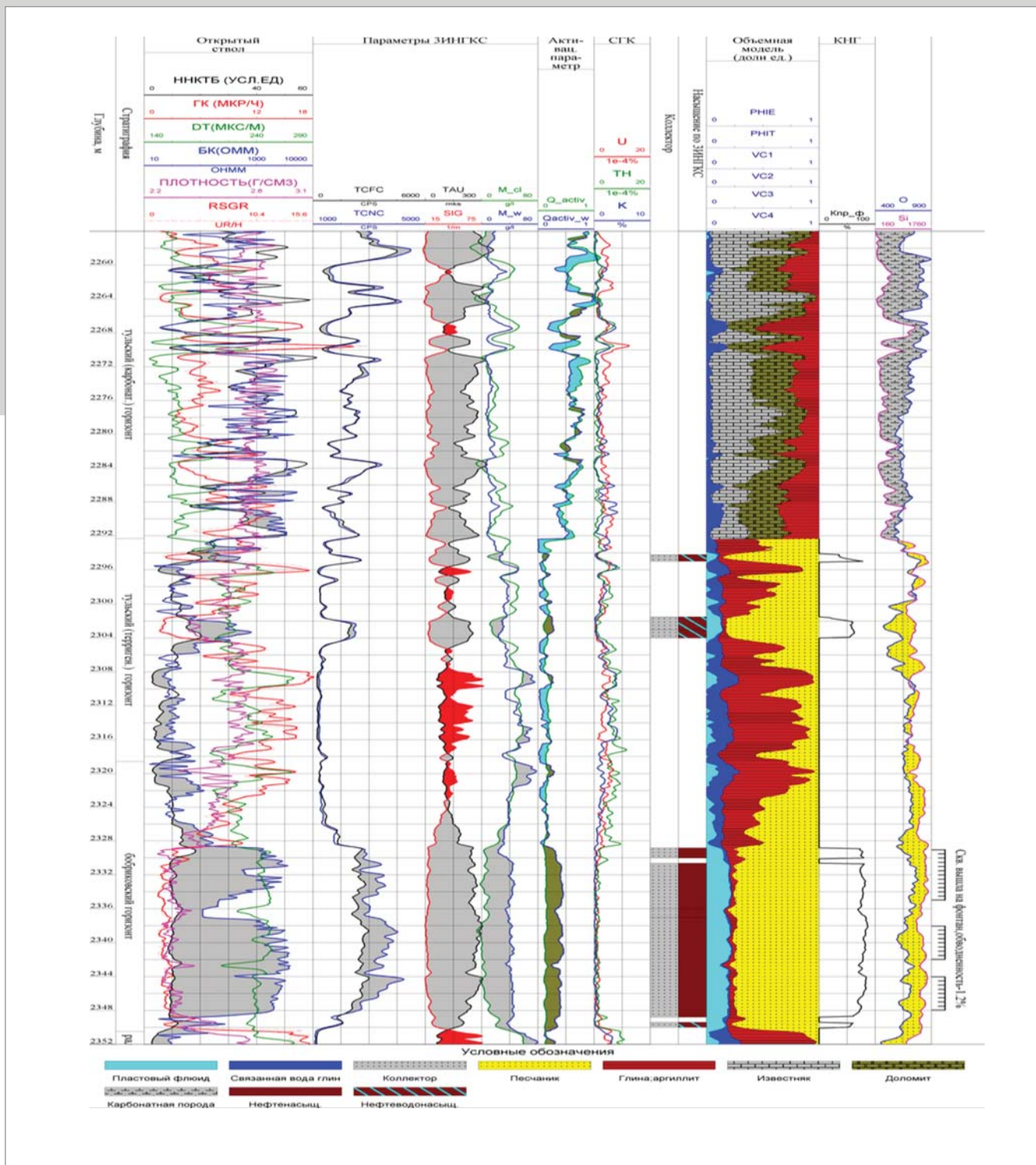


Рис. 3. Пример определения текущей нефтенасыщенности пластов-коллекторов аппаратурой ЦСП-ЗИНГКС-76 в карбонатно-терригенном разрезе (Пермский край)

каротажа и спектров ГИРЗ (метод ЗИНГКС), СГК, активационного спектра.

Накопленный опыт работ позволяет рекомендовать рассматриваемые комплексы ЯГМ для решения широкого круга геолого-геофизических задач, в частности

по оптимизации процесса эксплуатации залежи, которые включают:

- повышение точности оценки геофизических параметров, в том числе в боковых стволах и «хвостовиках» малого диаметра;



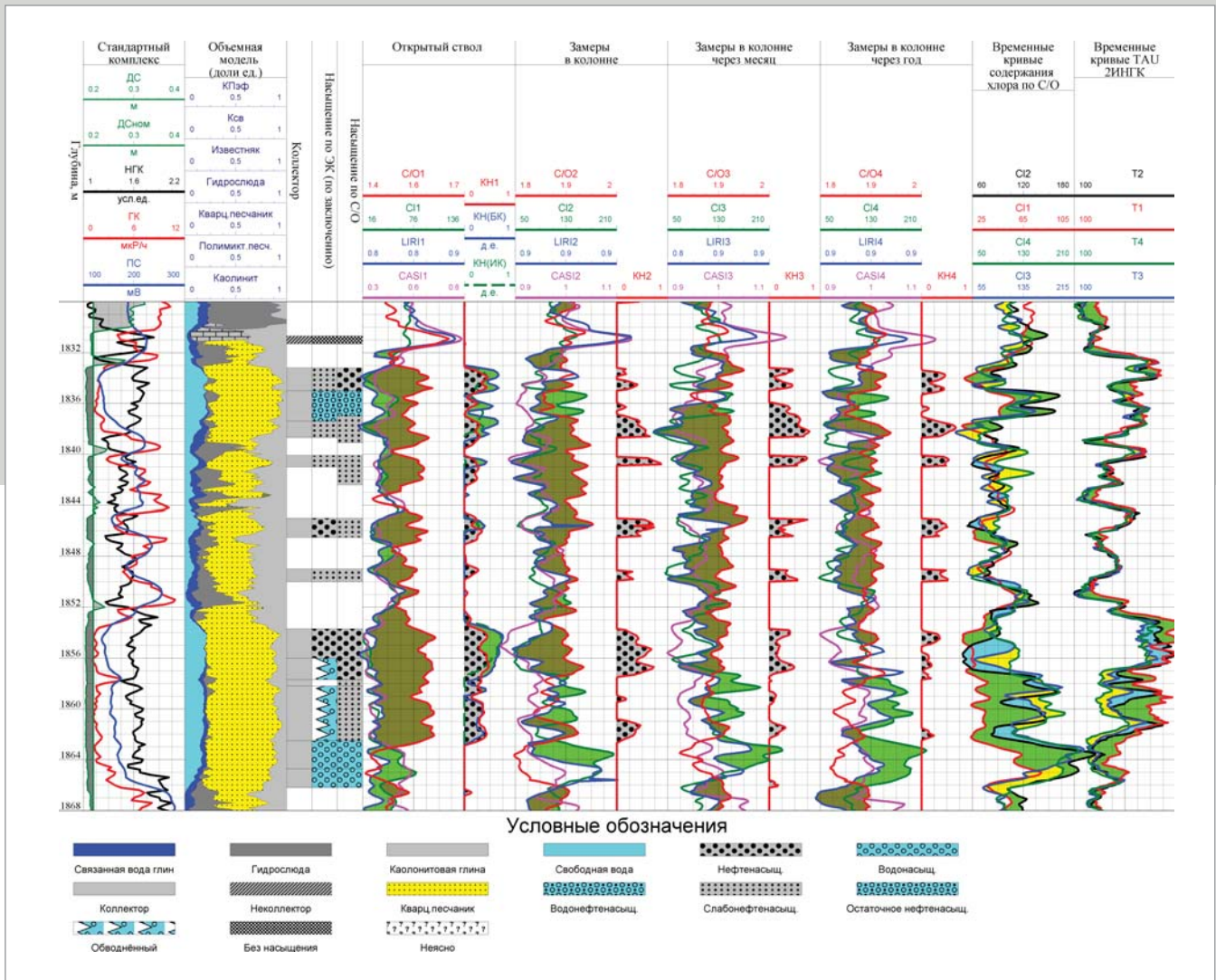


Рис. 4. Мониторинг процесса разработки продуктивных пластов

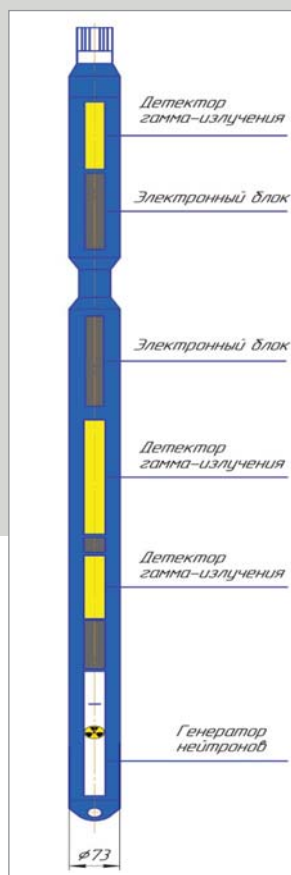
- мониторинг и оптимизацию процесса разработки объектов;
- сопровождение методов интенсификации нефтеотдачи пластов, в т.ч. контроль ГРП;
- площадной анализ и дифференциацию участков залежи по степени выработанности;
- уточнение постоянно действующей геолого-технологической модели месторождений.

Пример результатов мониторинга процесса разработки продуктивных пластов одного из нефтяных месторождений Татарстана представлен на рис. 4. Он демонстрирует снижение нефтенасыщенности коллекторов в процессе эксплуатации залежи.

Инновационной разработкой по модернизации комплекса ЯГМ является двухзондовый скважинный прибор спектрометрического импульсного многоканального нейтронного гамма-каротажа ЦСП-2ИМКС-73, объединяющий все методы применяемого комплекса. Схема и технические характеристики прибора представлены на рис. 5 и в таблице.

За одну спускоподъемную операцию аппаратура в перспективе будет способна реализовать весь известный комплекс ЯГМ: спектрометрический импульсный нейтронный гамма-каротаж (ИНГК-С), в т.ч. углерод-кислородный каротаж, импульсный нейтронный гамма-ка-

ротаж (2ИНГК), нейтронный активационный каротаж (НАК), спектрометрический и интегральный гамма-каротаж (СГК, ГК). НИОКР по ее созданию ведутся с конца 2015 г. при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям). В рамках кампании импортозамещения новая аппаратура по проекту будет соответствовать или превосходить передовые западные технологии, представленные на российском и международном геофизических рынках аппаратурой RST (Schlumberger), приборами серии MSI, RPM, PDK (Baker-Atlas) и RMT (Halliburton).



**Технические характеристики ЦСП-2ИМКС-73**

Диапазон определения коэффициента нефтенасыщенности (Кн), %	10-100
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения Кн, %	±5
Размеры детекторов сцинтилляционных (БЗ/ДЗ) на основе кристаллов LaBr <sub>3</sub> , мм	50x50/50x100
Частота генерации нейтронов в режиме ИНГК-С, кГц	10
Диапазон измерения времени жизни тепловых нейтронов, мкс	20-2000
Относительная погрешность определения времени жизни тепловых нейтронов, %	± 2
Диапазон измерения водонасыщенной пористости, %	1-40
Тип применяемого импульсного генератора нейтронов	ИНГ-063
Диапазон измерения содержаний ЕРЭ, %:	
– урана	(1-100)·10 <sup>-4</sup>
– тория	(1-100)·10 <sup>-4</sup>
– калия	0,1-20
Диапазон измерения энергии гамма-квантов, МэВ	0,06-7,0
Количество каналов в спектре	1024
Количество регистрируемых спектров	7
Скорость каротажа, м/час	50-70
Максимальная рабочая температура, °С	120
Максимальное рабочее давление, МПа	80
Диаметр, мм	73
Длина, мм	3200
Вес, кг	40

**Рис. 5.** Двухзондовый скважинный прибор спектрометрического импульсного многоканального нейтронного гамма-каротажа ЦСП-2ИМКС-73