

## Секция 5

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

### БАЖЕНОВСКАЯ СВИТА: ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Г.Г. Номоконова, доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Битуминовые карбонатно-глинисто-кремнистые породы баженовской свиты – это самое упоминаемое и изучаемое геологическое образование Западной Сибири. В последнее время внимание к баженовской свите возросло в связи с так называемой «сланцевой революцией». «Черные сланцы – это будущее нефтяной промышленности планеты» - этот прогноз был сделан еще в прошлом веке российским ученым-геологом И.И. Нестеровым (1987) на основании исследования именно баженовской свиты.

Баженовская свита – это геофизическая аномалия, поэтому она всегда была в центре внимания геофизиков. Результаты процедуры распознавания образов, выполненной по данным геофизических исследований скважин (ГИС), показали, что по совокупности геофизических признаков в разрезах Западной Сибири нет геологического образования, сколь-нибудь подобного баженовской свите. От остального геологического разреза баженовская свита отличается аномальными значениями отдельных геофизических параметров, аномальными взаимоотношениями между ними, а также резкой пространственной неоднородностью и параметров, и их взаимоотношений (рис. 1-3, табл.).

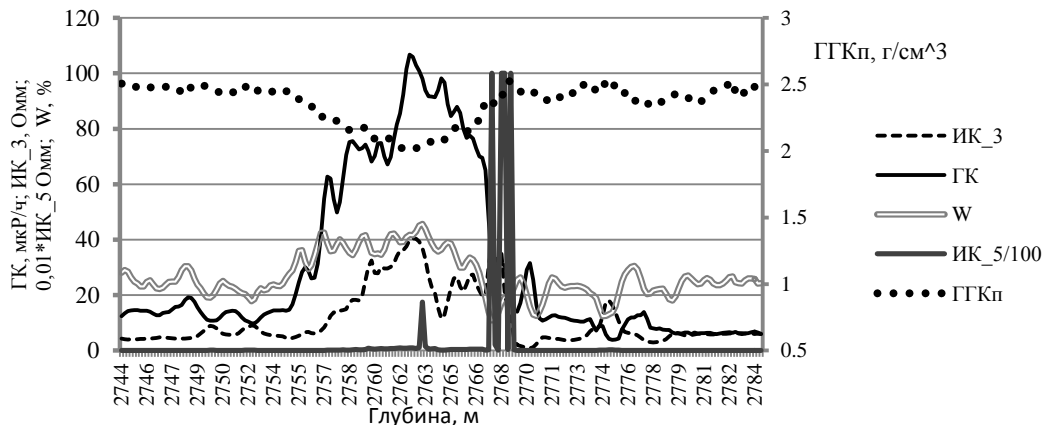


Рис. 1. Баженовская свита – геофизическая аномалия.

Приведены результаты данных ГИС разреза Ватинского нефтяного месторождения. Баженовская свита на интервале 2756-2770 м

Базовыми признаками пород баженовской свиты, благодаря которым она однозначно выделяется в данных ГИС, являются: аномально высокая естественная радиоактивность ( $GK > 30$  мкР/ч, до 100 и более); низкая плотность ( $ГГКп < 2.2$  г/см<sup>3</sup>, до 1,95 и менее); высокое удельное электрическое сопротивление ( $КС > 30$  Омм, до 100 и более). В разрезах баженовской свиты именно между этими геофизическими параметрами обнаруживаются наиболее тесные корреляционные связи, с коэффициентами достоверности аппроксимации более 0,7. К базовым признакам нужно отнести также расхождение показаний зондов ВИКИЗ с положительным градиентом сопротивлений и аномально высокие поровые давления АВПД.

Таблица

Средние значения и интервалы изменения радиогеохимических и петрофизических параметров пород Сургутского нефтяного месторождения

Стратиграфическая единица (свита)	Содержания радиоактивных элементов			Петрофизические параметры	
	U, г/т	Th, г/т	K, %	ГК, мкР/час	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>
Мегйонская	5,8 (3,5-12,0)	12,5 (8,2-15,3)	2,6 (2,2-3,0)	11,7 (9,3-16,4)	2,51 (2,33-2,63)
Баженовская	<b>46,1</b> (7,8-86,6)	<b>5,4</b> (1,2-13,4)	<b>1,25</b> (0,4-2,7)	<b>36,7</b> (9,6-78,8)	<b>2,18</b> (1,84-2,59)
Васюганская	4,2 (1,3-10,9)	9,5 (2,9-13,7)	2,2 (1,0-3,1)	9,3 (4,4-15,4)	2,45 (1,62-2,69)

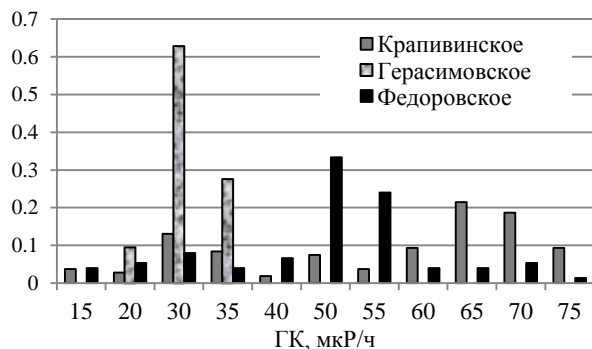
С учетом данных о составе пород баженовской свиты (Гурари и др., 1988, Захаров, 2006 и др.), базовые аномальные параметры баженовской свиты прямо (плотность) или опосредованно обусловлены ее битуминозностью (нефтеносностью).

По результатам гамма-спектрометрического каротажа аномальная естественная радиоактивность баженовской свиты имеет исключительно урановую природу (рис.3, табл.). Содержание урана на порядок (и больше) превышает его кларковое содержание в глинистых породах, а калия и тория, напротив, ниже кларковых содержаний. Плотность пород баженовской свиты и содержание в них урана тесно взаимосвязаны (рис. 3). С учетом переменной валентности урана ( $U^{+6}$  и  $U^{+4}$ ), низкой его подвижности в форме  $U^{+4}$ , а также восстановительных условий углеводородной среды, аномально высокая радиоактивность пород баженовской свиты, скорее всего, обусловлена осаждением урана на битуминозных породах свиты как восстановительном барьере.

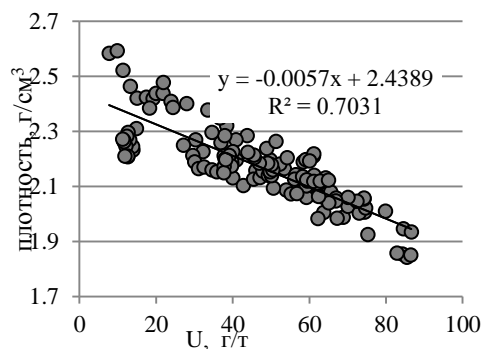
Аномально высокая радиоактивность пород баженовской свиты является ее исключительным свойством. Такие высокие значения не встречаются за пределами свиты в терригенных разрезах Западной Сибири. Остальные базовые параметры уникальны в определенных условиях. Плотность ниже  $2,2 \text{ г/см}^3$  исключительна лишь на глубине залегания баженовской свиты, порядка 2-3 км, но может встречаться в верхних частях разрезов. Высокое удельное электрическое сопротивление, положительный градиент расхождений показаний зондов ВИКИЗ, обусловленные гидрофобностью битуминозных пород, уникальны в границах пород с высокой радиоактивностью ( $>20 \text{ мкР/ч}$ ) или низкой плотностью, или высоким водородосодержанием (W). Само же расхождение показаний разноглубинных зондов ВИКИЗ, как признак пород-коллекторов, против низко проницаемых пород баженовской свиты пока необъяснимо, тем более в условиях нахождения ее под АВПД.

По данным ГИС баженовская свита неоднородна, что можно видеть, например, по разрезу рис.1. Из соотношений отдельных методов ГИС кровельная часть свиты в разрезе преимущественно битумно-глинистая, подошвенная часть – битумно-карбонатная. Центральная часть свиты имеет классический и состав (глинисто-кремнисто-битумный), и физические свойства. Очень высокое сопротивление в подошвенной части баженовской свиты (более 10000 Ом) соответствует интервалу карбонатизации пород с сохранением их гидрофобности.

АВПД в материнской породе – признак реализации ее нефтегенерационного потенциала (Дж. Хант, 1982). Прямое выделение зон АВПД по данным ГИС в породах баженовской свиты затруднено по причине ее петрофизической аномальности и неоднородности. Можно использовать тесные положительные связи АВПД с содержанием битумов ( $R^2=0,42$ ) и нефти ( $R^2=0,76$ ) в породах свиты и отражение последних в данных ГИС. В случае нефтенасыщенной баженовской свиты признаком нахождения ее под АВПД является повышение сопротивления бурового раствора по данным резистивиметрии, а также проявления по газовому каротажу. Нахождение баженовской свиты под АВПД указывают выявленные по данным ГИС зоны АВПД в окружающих породах. В частности, следствием передачи АВПД из баженовской свиты в отложения верхнеюрского разреза являются аномально низкие сопротивления аргиллитов георгиевской свиты (ее отличительный признак), а при отсутствии георгиевской свиты – появление так называемых «низкоомных коллекторов» в пластах горизонта Ю1.



**Рис. 2. Гистограммы распределения показаний ГК против баженовской свиты в разрезах месторождений углеводородов Западной Сибири.**



**Рис. 3. Корреляционная зависимость между плотностью пород баженовской свиты и содержанием в них урана (Сургутское нефтяное месторождение).**

Геофизическая характеристика баженовской свиты отражает особенности геологического разреза в целом. Она зависит от того, размещен разрез в пределах или за пределами месторождения, от фильтрационно-емкостных свойств окружающих свиту пород, от наличия или отсутствия залежей углеводородов в разрезе, их стратиграфического положения (рис. 2), фазового состава, продуктивности и др. Такая универсальная информативность геофизической характеристики баженовской свиты обусловлена, во-первых, самим статусом баженовской свиты в Западной Сибири и, во-вторых, тем, что аномальные физические свойства, по сути, отражают преимущественно флюидную составляющую геологической истории этого уникального геологического образования. Наиболее информативным в этом отношении является метод естественной радиоактивности (ГК), практически изучающий геохимию урана.

Геофизик привык иметь дело с аномалиями и полагает: чем больше по площади геофизическая аномалия, тем глубже располагается ее источник. Площадь распространения баженовской свиты превышает 1 млн. км<sup>2</sup>. Она содержит сверхгигантские запасы урана, золота, а также элементов-спутников золота месторождений, локализованных, заметим, в углеродистых сланцах (Номоконова, Колмаков, 2013). Разного рода аномалии - породная (битум), флюидная (нефть), геохимическая (уран), комплексная геофизическая – избирательно приурочены к маломощному (20-50 м) образованию геологического разреза Западной Сибири, распространенному практически по всей ее территории, такая аномальная приуроченность не может иметь стандартного объяснения.

Почему в обогащенных органическим веществом донных осадках глубоководных озер, например Байкала (Федорин и др., 2001), и морей, например Черного моря (Шнюков и др., 1976), содержание урана хотя и повышено (15-20 г/т), но далеко не достигают тех ураганных содержаний, которые по данным ГИС фиксируются в баженовской свите? Как объяснить выявленное (Номоконова и др., 2013) зональное смещение аномалий радиоактивности и аномалий сопротивления баженовской свиты относительно наиболее проницаемых структур доюрского фундамента и рифтовых зон на юго-востоке Западной Сибири? И это не все вопросы.

Мы длительное время выявляли и изучали, так называемую, «аномальную баженовскую свиту», которая с геофизической точки зрения никакая не аномальная, а в США начали добывать нефть из формации Баккен, являющейся геофизическим аналогом (пусть не полным) баженовской свиты. Теперь мы сосредоточились на технологиях извлечения нефти из баженовской свиты, не решив главных вопросов - генезиса и критериев нефтеносности этого уникального во всех отношениях геологического (и геофизического) образования.

### ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМАЦИИ БАККЕН (В СРАВНЕНИИ С БАЖЕНОВСКОЙ СВИТОЙ)

А.С. Адильбеков

Научный руководитель доцент Г.Г. Номоконова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Происходящая в мировой нефтегазовой сфере «сланцевая революция» в настоящее время из направления «газ из сланцев» трансформировалась в «нефть из сланцев». Причиной тому стала формация Баккен, технологические успехи при разработке которой существенно повысили нефтяной потенциал США. Наш интерес к формации Баккен усиливается тем обстоятельством, что в Западной Сибири регионально распространена баженовская свита, подпадающая под определение «черные сланцы». Выявление разного рода аналогий между формацией Баккен и баженовской свитой является актуальной задачей.

Источником для написания настоящей статьи послужили опубликованные материалы по геологии и геофизике формации Баккен и баженовской свиты [1-4 и др.], а также собственные исследования результатов геофизических исследований скважин (ГИС) на месторождениях Западной Сибири.

Формация Баккен входит в состав нефтегазового бассейна Williston и занимает более 500 тысяч км<sup>2</sup> территории США и Канады. Это богатая углеводородами нефтематеринская порода, которая является источником нефти в окружающих коллекторах (Дж. Нордквист, 1953). Возраст формации Баккен – верхний девон – нижний карбон. В состав формации Баккен включают три литолого-стратиграфические единицы [1, 2]:

Верхний Баккен (сланцевая часть) – нетрадиционный коллектор и нефтематеринская порода. Это сланец с высоким содержанием органического вещества (ОВ) - в среднем 11%, а также кремния. Средняя мощность – 8 м (до 26 м);

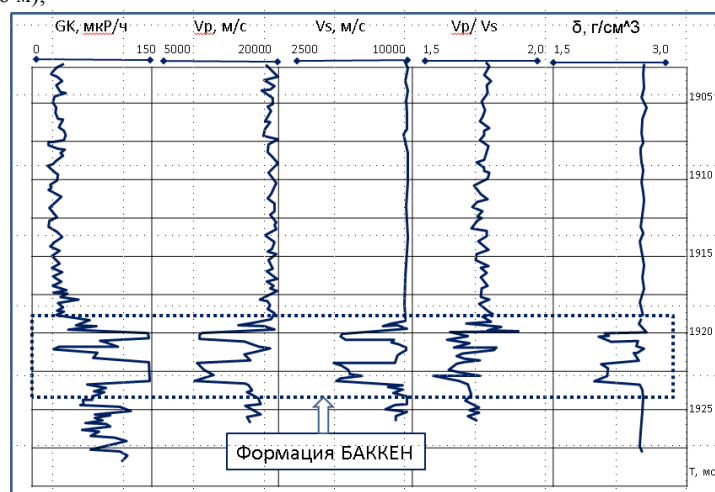


Рис. 1. Результаты ГИС по одному из разрезов формации Баккен.

Приведены графики естественной радиоактивности (по результатам гамма-каротажа GK), скоростей продольных и поперечных упругих волн ( $V_p$ ,  $V_s$ ), плотности (по результатам плотностного ГГКн)