

УДК 553.98 (571.1)

Е.И. Бронскова¹, e-mail: Elena.Bronskova@lukoil.com¹ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (Москва, Россия).

Геологическая модель строения Апрельского месторождения с учетом палеорельефа продуктивных пластов в тюменской свите

На примере Апрельского месторождения показана возможность комплексного геологического картирования и моделирования юрских низкопроницаемых коллекторов для объектов руслового и дельтового генезиса. В интервалах залегания продуктивных пластов ЮК₂–ЮК₅ с разной степенью достоверности выделяются палеоруслы рек и речных притоков и протоков в виде узких линейных зон (врезов), окаймляющие малые формы палеорельефа с флуктуациями на меандрирование, а также предполагаемый аллювиальный конус выноса в пласте ЮК₆. Повышенные значения емкостно-фильтрационных свойств и повышенные толщины коллекторов тюменской свиты являются важнейшими показателями и индикаторами русловых фаций. Показано соответствие палеорельефа поверхности каждого пласта пространственному положению палеорусел рек, а также палеодельты в их устьевых частях.

Ключевые слова: литофации, палеоруслы, палеодельта, палеорельеф, конус выноса, уступ.

E.I. Bronskova¹, e-mail: Elena.Bronskova@lukoil.com¹ LUKOIL-Engineering LLC (Moscow, Russia).

The geological model of the Aprelskoye oil field structure in view of paleorelief of productive formations in the Tyumen suite

The Aprelskoye oil field example shows the possibility of comprehensive geological mapping and modeling of low-permeability Jurassic reservoirs for the objects of the channel and deltaic origin. The intervals of occurrence of ЮК₂–ЮК₅ productive formations with varying degree of credibility have paleochannels of rivers and river inflows in the form of narrow linear zones (cuttings), bordering the small forms of paleorelief with fluctuations in the meandering as well as the assumed alluvial cone in ЮК₆ formation. Increased values of porosity and permeability and increased thicknesses of the Tyumen suite reservoirs are the most important indicators of channel facies. The correspondence of paleorelief of each formation surface to spatial position of rivers paleochannels as well as their paleodeltas in estuaries areas are represented.

Keywords: lithofacies, paleochannels, paleodelta, paleorelief, alluvial cone, ledge.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Среднее по запасам Апрельское нефтяное месторождение открыто в 1982 г. и расположено в Ханты-Мансийском автономном округе. На месторождении пробурено 11 разведочных скважин на продуктивные пласты ЮК₂ и проведены сейсморазведочные работы МОГТ-3D объемом 130 км² (2010 г.). Основное отличие полученных результатов от прежних построений заключалось в переходе от пластовой однородной модели (рис. 1а) резервуара ЮК₂ к палеоруслевой и палеодельтовой моделям (рис. 1б).

Геологическое строение Апрельского месторождения существенно изменилось после обработки и интерпретации сейсмических материалов МОГТ-3D с использованием передовых методологических подходов, таких как сейсмофациальный анализ и методики спектральной декомпозиции и RGB-суммирования. В совокупности с результатами бурения полученные материалы позволили создать многофакторные инновационные модели залежей сложного строения. Притоки нефти получены в скв. 1 (совместно опробованные пласты ЮК₁+ЮК₂₋₉+ЮК₁₀+Pz), 24 (ЮК₁+ЮК₂₋₉+ЮК₁₀+Pz),

5 (ЮК₂, ЮК₃) 6 (ЮК₂) 7 (ЮК₂) 10 (ЮК₂) Дебиты нефти – 0,12–30 м³/сут. Отсутствие воды при опробовании скважин в открытом стволе и результаты интерпретации ГИС характеризуют указанные интервалы как нефтенасыщенные до фундамента и перспективные для опробования в эксплуатационной колонне.

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

В пределах рассматриваемого месторождения тюменская свита делится на три подсвиты: нижняя, средняя и верхняя. Породы нижней подсвиты тюменской свиты залегают несогласно на

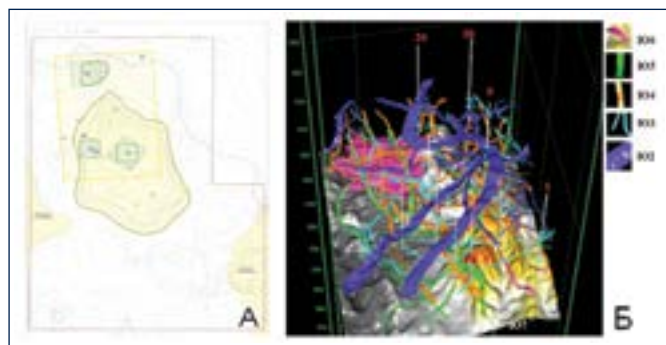


Рис. 1. Первоначальная пластовая модель а) простого строения (2009 г.) и б) сложно построенная модель (2016 г. – все выделенные объекты в глубинном масштабе) Апрельского месторождения
 Fig. 1. The initial formation model a) simple structure (2009) and b) difficult structure model (2016 – all marked objects in subsurface scale) of the Aprelskoye oil field

породах доюрского основания или отложениях горелой свиты. Свита представлена неравномерным чередованием песчаников, алевролитов, глин, углей. Породы часто слабоотсортированные, характерен растительный детрит. В составе подсвиты выделяются пласты ЮК₇₋₉. Они характеризуются значительной фациальной изменчивостью и литологической неоднородностью. Толщина осадков составляет 70–90 м, возраст по палинокомплексам – ааленский. Средняя подсвита в верхней части представлена слабоотсортированными песчаниками с прослоями буровато-серых алевроитовых глин и углей. В нижней части глины горизонтальнослоистые, с обугленным растительным детритом. В составе подсвиты выделяются пласты ЮК₅ и ЮК₆. Толщина отложений подсвиты – 65–75 м, возраст по палинокомплексам – байосский. Верхняя подсвита представлена переслаиванием глинисто-алевритовых пород с пластами песчано-алевритовых пород. Характерен обугленный растительный детрит, прослой углей, изредка встречается пирит. В составе подсвиты выделяются пласты ЮК₂, ЮК₃ и ЮК₄. Толщина отложений подсвиты – 70–95 м. Возраст по палинокомплексам – бат-раннекекелловейский. Общая толщина отложений тюменской свиты составляет 265–290 м. Переинтерпретация материалов сейсморазведки Апрельского месторождения, выполненная специалистами ООО «ГПБ Ресурс» (Ingenix Group) и ОАО «Сейсмостек» («Яндекс-Терра»), выявила в разрезе тюменской свиты системы разновозрастных и разного размера речных каналов (палеорусл с увеличенной толщиной аркозовых и полимиктовых песчаников со следами битуминизации). Все выделенные перспективные объекты (кровли и подошвы) представлены в виде сейсмofациальных карт и в цифровом виде участвуют в трехмерных геологических моделях.

Кровля и подошва каждого перспективного объекта были пересчитаны в глубинный масштаб с использованием средних

скоростей для рассматриваемых пластов ЮК₂–ЮК₆. Статистика сопоставления пересчитанных структурных поверхностей и глубин палеоканалов, подтвержденных скважинными данными, соответствует значениям ошибок определения глубин, полученных на этапе построения структурных карт по стратиграфическим кровлям соответствующих пластов. Общая толщина выделенных объектов рассчитывалась через временную толщину и при наличии информации калибровалась на скважинные данные. Общая схема выделенных уровней палеоканалов в пласте ЮК₂ (рис. 2а) и их цветокодированные по достоверности выделения трассы (рис. 2б) на примере пласта ЮК₂ представлены на рисунке 2.

В процессе выявления геологических объектов руслового генезиса в интервале пластов ЮК₂–ЮК₆ анализировались седиментационные срезы, посчитанные вдоль кровли изучаемого пласта, или пропорциональные срезы (между кровлей-подошвой пласта и/или в более широком интервале, например между ближайшими устойчивыми отражениями), а также современные аналоги подобных объектов. Частотно-зависимые атрибуты оказались наиболее информативными для геометризации границ палеоканалов, которые определялись в ручном режиме на основании анализа ряда срезов и соотносились с выделенными коллекторами по скважинам с использованием информации по вещественному составу пород (по данным керна, шлама) и результатам испытаний отложений. В дальнейшем палеорусл, подтвержденные скважинной информацией, выбирались в качестве эталона

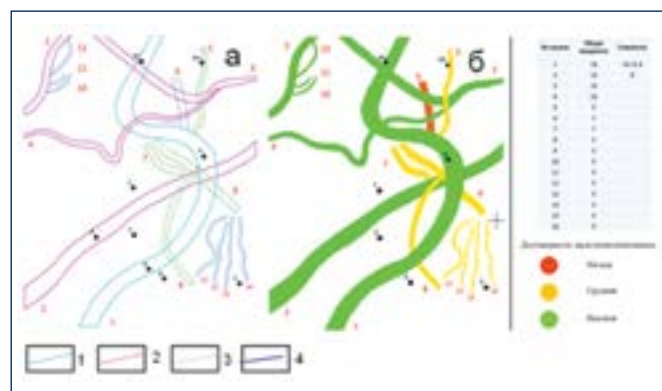


Рис. 2. Общая схема выделенных палеоканалов (а) и цветокодированные по достоверности выделения трассы палеоканалов в пласте ЮК₂ (б). Уровни палеоканалов (сверху вниз: 1 – верхний и средний уровень палеорусл; 2 – нижний и средний уровень палеорусл; 3 – средний уровень палеорусл; 4 – нижний уровень палеорусл

Fig. 2. General diagram of the selected palaeochannels (a) and color-coded palaeochannels routes according to the reliability of the marking in the formation ЮК₂(b). Palaeochannels levels (from top to bottom: 1 – top and middle level of paleochannels; 2 – bottom and middle level of paleochannels; 3 – mean level of paleochannels; 4 – bottom level of paleochannels

Ссылка для цитирования (for citation):

Бронскова Е.И. Геологическая модель строения Апрельского месторождения с учетом палеорельефа продуктивных пластов в тюменской свите // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 7–8. С. 28–31.

Bronskova E.I. The geological model of the Aprelskoye oil field structure in view of paleorelief of productive formations in the Tyumen suite (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 7–8, pp. 28–31.

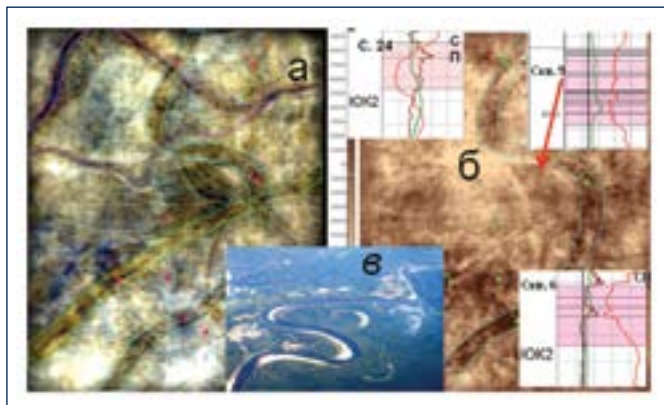


Рис. 3. RGB-сумма результата спектрального разложения (амплитуды по кубу с $f=38$ Гц) в интервале пласта ЮК₂ с нанесенными предполагаемыми границами палеоканалов (а). Отображения в волновом поле объектов руслового типа (интервал разреза ЮК₂, верхний уровень палеорусел) (б) и современный аналог русла реки (в)
Fig. 3. RGB-sum of the spectral decomposition result (amplitude of the cube with $f=38$ Hz) within the range of ЮК₂ formation with marked assumed boundaries of palaeochannels (a). Display of channel type objects in a wave field (interval of ЮК₂ section, top level of paleochannels) (b) and the modern analogue of the riverbed (c)

в волновой картине. Первый такой эталон, вскрытый скважинами 6Р, 9Р, 24Р, приурочен к кровельной части пласта; второй, вскрытый скважиной 8Р, приурочен к центральной и подошвенной части пласта (рис. 2, 3). Кроме того, выделяется еще целый ряд узких палеоканалов, не вскрытых скважинами. В итоге комплексирования результатов анализа карт интервальных времен, цветовых сумм, распределения акустического импеданса, седиментационных срезов по кубу амплитуд с доминирующей частотой 38 Гц, данных ГИС и керна в тюменской свите ЮК₂ были оконтурены разноуровневые ветвящиеся и меандрирующие палеорусла в интервалах пластов ЮК₂–ЮК₅ и предполагаемый аллювиальный конус выноса в пласте ЮК₆ (рис. 1б, 2, 3, 4).

В интервалах залегания ЮК₃–ЮК₅ с разной степенью достоверности выделяются палеорусла рек, речных протоков и старицы в виде узких линейных зон (врезов), окаймляющие малые формы палеорельефа с некоторыми флуктуациями на меандрирование. Спряmlенные и извилистые участки русел рек и речных долин, коленообразные изгибы водотоков речной сети, уступы, суженные и расширенные участки речных долин и другие разнообразные типы рельефа поверхности рассматриваемых пластов отразились на очертании каждого выделенного объекта, его форме, размере, протяженности, ширине и плотности фототона (рис. 1б, 2, 3). При этом в интервале ЮК₄ фиксируется широкая речная палеодолина север-северо-восточного простирания. Палеорусла, выделенные по картам спектральной декомпозиции и седиментационным срезам, находятся на разных гипсометрических уровнях. Их прогнозная ширина изменяется от 25 до 300 м, а толщина заполняющих русла песчаников достигает 20 м. Выделенные разноуровневые русла подтверждаются результатами бурения скважин (8Р, 6Р, 9Р, 24Р).

В среднетюменское время при формировании отложений ЮК₆ по целому ряду сейсмических атрибутов и по карте сейсмофаций была выявлена контрастная аномалия, отождествленная по своей конфигурации с аллювиальным конусом выноса с двумя с явно выраженными питающими его подводящими каналами (рис. 4). Размеры выявленного конуса выноса составляют 3–4 км, ширина узких подводящих каналов – около 130 м. Подводящие каналы чаще всего служат зоной транспортировки, а не аккумуляции осадков. Можно предположить, что это континентальный конус выноса водного потока с заполнением гранулярными отложениями внутренних межгорных впадин, что является признаком возможных коллекторов с хорошими коллекторскими свойствами. Коллекторские свойства подобных объектов близки к речным системам с переплетенными руслами. На Апрельском месторождении данный объект скважинами не вскрыт.

Толщина коллекторов в скважинах, расположенных в границах выделенных палеорусел, меняется от 7,5 до 14,2 м (рис. 5). Коллекторы, заполняющие палеорусла, отличаются повышенной продуктивностью – дебиты нефти по результатам испытаний в скважинах, вскрывших русловые отложения, составляют от 10 до 30 м³/сут., после ГРП до 37 м³/сут. Повышенные значения емкостно-фильтрационных свойств и толщины коллекторов тюменской свиты являются важнейшими показателями и индикаторами русловых фаций (рис. 5). Проницаемость пород по керну характеризуется в целом невысокими значениями, но для русловых коллекторов она выше (0,88 мД), чем для пойменных (0,38 мД). Принципиальная разница в моделировании петрофизических свойств и толщины пластов внерусловых и русловых отложений показана на рисунке 5.

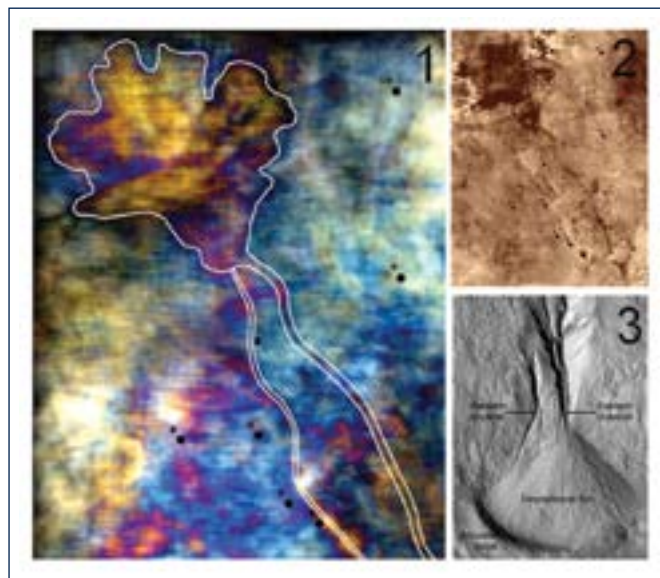


Рис. 4. Карта сейсмофаций (спектральной декомпозиции) (1), седиментационный срез по кубу акустического импеданса (пласт ЮК₆) (2) и современный аналог конуса-выноса отложений (3)
Fig. 4. Seismic facies map (spectral decomposition) (1), sediment section by the cube of acoustic impedance (ЮК₆ formation) (2) and a modern analogue of deposits cone offset (3)

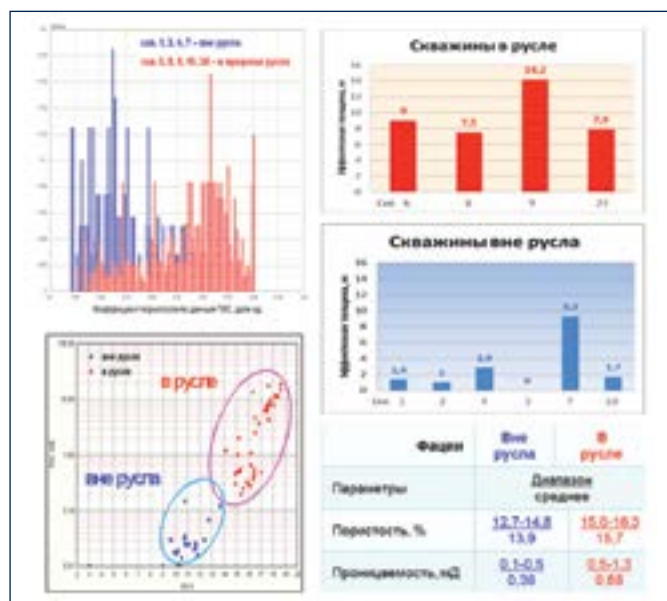


Рис. 5. Повышенные значения емкостно-фильтрационных свойств и толщины коллекторов тюменской свиты – важнейшие показатели русловых фаций

Fig. 5. Increased values of porosity and permeability and thicknesses of the Tyumen suite reservoirs are the most important indicators of channel facies

Тюменская свита месторождения остается недостаточно изученной: при значительной латеральной и вертикальной неоднородности отложений в пределах изучаемой территории отсутствует керн из продуктивных отложений, нет отдельных опробований рассматриваемых пластов ЮК₃–ЮК₆. Изучение русловых фаций на месторождении только начинается, и по мере поступления новых фактов карты площадного распространения речных и дельтовой систем будут уточняться. Так, новая разведочная скв. 10, вскрывшая вместо русловых фаций тонкие пойменные прослои алевролитов, показала, что ширина русловых каналов в разрезе ЮК₂ существенно меньше, чем предполагалось ранее.

На участке работ достаточно отчетливо выделяются структурные уступы, которые по субширотными рельефообразующим сбросам формируют укрупненные блоки с различным палеоландшафтом структурной поверхности каждого пласта. Уступы совпадают с основными граничными формами палеорельефа изучаемой поверхности, служат границами новейших поднятий и прогибаний, типов рельефа и различаются гипсометрией, дробностью эрозионного расчленения. Палеогеоморфологическими признаками предпочтительной приуроченности долин рек и ручьев к разрывам нарушений могут служить крутые склоны русел рек, их резкие коленообразные изгибы и прямолинейные притоки; висячие, ложные грабенообразные прямолинейные вытянутые долины; линейно расположенные уступы и т.д.

Система участков с различными типами рельефа и характером расчлененности поверхности пласта представлена на рисунке 6. Объемное отображение изохронных поверхностей ряда отражающих горизонтов свидетельствует об унаследованном

тектоническом режиме на протяжении всего тюменского периода осадконакопления. С глубиной растет лишь контрастность повышенных и пониженных частей палеорельефа. Часть поверхности с «равнинным» рельефом на изохорной поверхности по отражающим горизонтам окрашена зеленым цветом, «горному» рельефу соответствуют коричневые тона. Переходный («предгорный») тип рельефа поверхности пласта от «горного» к «равнинному» имеет переходные оттенки. В крайне северо-западной части рассматриваемого участка поверхность горизонта испытала максимальное погружение и на изохорной поверхности окрашена синим цветом («морской ландшафт») (рис. 6). Пространственное положение выделенных палеорусел рек различной протяженности соответствует палеорельефу каждой изучаемой поверхности. Иными словами, водные потоки в руслах рек были направлены с горной местности в сторону моря, где формировались палеодельты с характерным рисунком аккумулятивного конуса выноса – рыхлого обломочного материала (пролювия) в устьевой части водных потоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере Апрельского месторождения показана возможность комплексного геологического картирования и моделирования юрских низкопроницаемых коллекторов для объектов руслового и дельтового генезиса. Для продуктивных пластов тюменской свиты выделяются палеорусла рек и речных притоков и протоков в виде узких линейных зон (врезов), окаймляющие малые формы палеорельефа, а также предполагаемый аллювиальный конус выноса в пласте ЮК₆. Повышенные значения емкостно-фильтрационных свойств и повышенные толщины коллекторов тюменской свиты являются важнейшими показателями и индикаторами русловых фаций. Показано соответствие палеорельефа поверхности каждого отражающего горизонта в продуктивном разрезе отложений пространственному положению палеорусел рек, а также палеодельт в их устьевых частях.

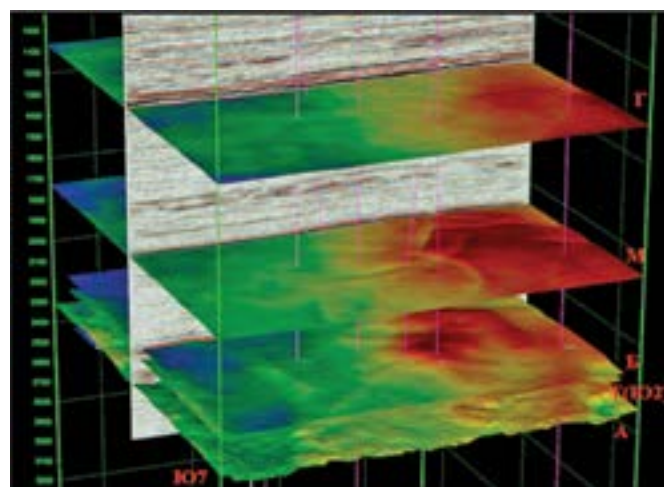


Рис. 6. Объемное отображение изохронных поверхностей ряда отражающих горизонтов

Fig. 6. 3D display of isochronous surfaces of a number of reflecting horizons