

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геофизики

**«Комплексная интерпретация данных ГИС и керна при выделении
карбонатных коллекторов Осинского горизонта Верхнечонского
месторождения (на примере скважины б)»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 531 группы
направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
профиль «Геолого-геофизический сервис»
геологического факультета
Агапова Андрея Дмитриевича

Научный руководитель
д.т.н., профессор

Шигаев В. Ю.

Зав. кафедрой
к.г.-м.н., доцент

Волкова Е. Н.

Саратов 2026

Введение. Осинский горизонт Верхнечонского месторождения относится к числу сложных объектов для интерпретации геофизических данных. Это связано, прежде всего, с неоднородным строением пустотного пространства карбонатных пород: в разрезе сочетаются трещины, каверны, участки вторичных преобразований и зоны частичного заполнения пустот каменной солью. Особенно отчётливо такие особенности проявлены в интервале 1444–1451 м по скважине № 6. В подобных условиях стандартные методы ГИС нередко дают различающиеся результаты, а интерпретация коллекторских свойств по одному признаку оказывается недостаточно надёжной. В связи с этим возрастает значение комплексного подхода, при котором каротажные данные сопоставляются между собой и обязательно контролируются по керну. Актуальность работы определяется необходимостью более уверенного выделения коллекторов и более обоснованной оценки их фильтрационно-ёмкостных свойств для последующего использования в геологическом моделировании и при подсчёте запасов.

Объект исследования – карбонатные отложения Осинского горизонта в разрезе скважины №6 Верхнечонского месторождения.

Предмет исследования – фильтрационно-ёмкостные свойства пород-коллекторов, определяемые по данным комплексной интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) и лабораторных исследований керна.

Цель исследования – повысить достоверность выделения карбонатных коллекторов и оценки их фильтрационно-ёмкостных свойств в интервале Осинского горизонта скважины №6 на основе комплексной интерпретации данных ГИС и керна.

Задачи исследования:

1. Изучить геологическую характеристику Осинского горизонта, включая литолого-стратиграфическую привязку интервала, анализ

тектонических факторов и описание структуры пустотного пространства по данным керна.

2. Обосновать методику комплексной интерпретации материалов ГИС для карбонатного разреза, включая обработку спектрального гамма-каротажа, расчет пористости по акустическому и плотностному методам, анализ параметров волны Стоунли.
3. Провести сопоставление результатов интерпретации ГИС с данными керна, выделить коллекторские пропластки, выполнить анализ расхождений пористостных оценок и дать геологическое объяснение выявленным неоднозначностям.

Практическая значимость. Выявленные критерии выделения коллекторов и выполненный анализ зон неопределенности могут быть использованы при интерпретации материалов ГИС по другим скважинам Верхнечонского месторождения, а также при уточнении геологической модели и подсчете запасов Осинского горизонта.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, трех разделов: Геолого-геофизическая характеристика района работ, Методика исследования, результаты, заключения, списка литературы из 22 наименований и четырех приложений.

Благодарности. Автор выражает благодарность сотрудникам АО «Верхнечонскнефтегаз» за предоставленные каротажные материалы.

Основное содержание работы. Первый раздел «Геолого-геофизическая характеристика района работ». Верхнечонское нефтегазоконденсатное месторождение находится в Катангском районе Иркутской области, в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской провинции. Объект исследования – Осинский горизонт, залегающий по разрезу скважины 6 в нижней части усольской свиты нижнего кембрия, между пачками А и Б в интервале 1418–1454 м. Горизонт сложен доломитами, доломитизированными известняками, реже

глинистыми разностями. Тип коллектора – каверно-поровый. Трещиноватость, кавернозность и частичное заполнение пустот каменной солью формируют неоднородное пустотное пространство, в котором разные методы ГИС дают различный отклик. Пространственное положение данного интервала согласуется с флексурным тектоническим осложнением, создавшим условия для развития трещиноватости в карбонатных породах.

Второй раздел «Методика исследования».

Исходные материалы: промыслово-геофизический разрез скважины № 6, схема сопоставления методов ГИС, справочные петрофизические параметры и макроописание керна, оцифрованные и интерпретационные данные ГИС. Интервал кернового контроля – 1418–1454 м. Интервал сопоставления по выделенным коллекторским пропласткам – 1419,7–1451,1 м. Контрольный интервал повышенной сложности – 1444–1451 м.

Спектральный гамма-каротаж даёт содержание U (ppm), Th (ppm) и K (%). На основе этих данных получены:

$GR = 4Th + 8U + 16K (API)$ – суммарная радиоактивность,

$CGR = 4Th + 16K (API)$ – уран – свободная компонента.

Объёмная глинистость Vsh (д. ед.) определена по нелинейной зависимости Ларионова для древних консолидированных пород:

$$Vsh = 0,33(2^{2 \cdot IGR} - 1),$$

где $IGR = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$ – индекс гамма-активности; GR_{log} – текущее значение GR или CGR; GR_{min} и GR_{max} – значения GR или CGR в опорных чистых и глинистых интервалах соответственно. Для карбонатного разреза со вторичными изменениями предпочтение отдано CGR.

Акустическая пористость $K_{пАК}$ (%) рассчитана по уравнению среднего времени Вилли: $K_{пАК} = \frac{DTp - DTma}{DTf - DTma} \times 100$, где DTp – измеренная медленность продольной волны (мкс/м), $DTma$ – медленность матрицы

(мкс/м), DT_f – медленность флюида (мкс/м). DT_{ma} выбраны дифференцированно по литологии.

Плотностная пористость КпГГК (%) определена по формуле:

$$K_{пГГК} = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \times 100, \text{ где } \rho_b - \text{измеренная объёмная плотность}$$

породы (г/см^3), ρ_{ma} – плотность матрицы (г/см^3), ρ_f – плотность флюида (г/см^3). Для интервалов с повышенной глинистостью применялась поправка на Vsh.

ЯМК: интерпретационные значения эффективной пористости $K_{пэфф}$ (д. ед.) приняты в качестве контроля эффективной пустотности. Для каждого пропластка вычислена разность: $\Delta K_{п} = K_{пприн} - K_{пАК}$ (п.п.), где $K_{пприн}$ – пористость, принятая по комплексной интерпретационной схеме. Зонами повышенной неопределённости считаются участки с устойчивым ростом $|\Delta K_{п}|$ на фоне литологической неоднородности, трещиноватости, кавернозности и частичного заполнения пустот твёрдой фазой.

Волна Стоунли: по планшету ГИС оцифровано время пробега DT_{st} (мкс/м). Индекс: $ISt = \frac{DT_{st} - DT_{st,ref}}{DT_{st,ref}}$, где $DT_{st,ref}$ – опорное значение для сопоставимого по литологии и состоянию ствола интервала. Рост DT_{st} и $ISt > 0$ – качественные признаки фильтрационной неоднородности, трещиноватости или кавернозности. Количественный расчёт проницаемости не выполнялся.

Акустический импеданс: $AI = \rho_b \cdot V_p$ (МРэйл), где $V_p = \frac{1000}{DT_p}$ – скорость продольной волны (км/с). Для интервала 1420–1452 м построена зависимость $K_{пэфф}$ от AI . Связь обратная, тесная ($R^2 = 0,852$).

Уравнение Арчи: $S_w = \left(\frac{aR_w}{\phi^m R_t} \right)^{\frac{1}{n}}$, где S_w – водонасыщенность (д. ед.), R_w – сопротивление пластовой воды (Ом·м), R_t – истинное сопротивление пласта (Ом·м), ϕ – пористость (д. ед.), a – коэффициент извилистости, m –

показатель цементации, n – показатель насыщения. В работе не применяется (отсутствуют R_w , a , m , n).

Методика комплексной интерпретации построена как последовательное сопоставление литологических, керновых и геофизических данных, что позволило выделить коллекторские пропластки и установить причины расхождений между различными оценками пористости.

Третий раздел «Результаты комплексной интерпретации и их сопоставление с данными керна». В интервале 1419,7–1451,1 м выделено 26 коллекторских пропластков суммарной эффективной мощностью 18,8 м. Средневзвешенная пористость: $K_{пприн} = 8,26 \%$, $K_{пАК} = 6,62 \%$, $\Delta K_{п} = 1,64$ п.п.

При сопоставлении с керном: 1418–1436 м – $K_{пприн} \approx 9,37 \%$, $K_{пАК} \approx 7,45 \%$, $\Delta K_{п} \approx 1,92$ п.п.; 1436–1444 м – $K_{пприн} \approx 6,11 \%$, $K_{пАК} \approx 4,83 \%$, $\Delta K_{п} \approx 1,28$ п.п.; контрольная зона 1444–1451 м – $K_{пприн} \approx 6,19 \%$, $K_{пАК} \approx 5,12 \%$, $\Delta K_{п} \approx 1,07$ п.п. Расхождения между $K_{пприн}$ и $K_{пАК}$ сохраняются по всему интервалу, их величина зависит от литологии и строения пустотного пространства.

Акустический импеданс $AI = \rho b \cdot V_p$ рассчитан по данным ГГК-П и DTr в интервале 1420–1452 м. Сопоставление AI с $K_{пэфф}$ по ЯМК показало устойчивую обратную связь: при снижении импеданса эффективная пористость возрастает (рисунок 1). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,852$.

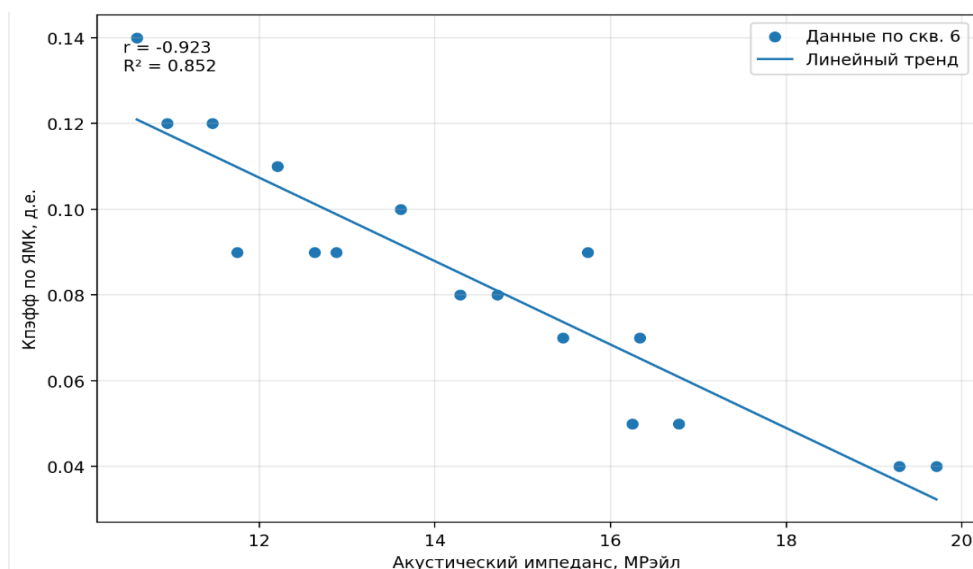


Рисунок 1 – Зависимость Кпэфф по данным ЯМК от акустического импеданса, рассчитанного по данным ГГК-П и DTp в интервале 1420–1452 м.

В контрольном интервале 1444–1451 м по керну зафиксированы трещины, каверны и частичное заполнение пустот каменной солью. Средние параметры: Кпприн = 6,13 %, КпАК = 5,20 %, ΔКп = +1,13 п.п., КпГГК = 7,2 %, Кпэфф по ЯМК = 8,8 %. Отклонения от Кпэфф по ЯМК: КпАК – 3,6 п.п., Кпприн – 2,67 п.п., КпГГК – 1,6 п.п. Комплексное сопоставление методов уменьшает интерпретационное смещение.

Спектральный гамма-каротаж (346 точек, шаг 0,1 м): U, Th, K распределены неравномерно. На глубине 1444 м GR = 68,0 API, CGR = 50,4 API, разница 17,6 API обусловлена ураном. Для контрольного интервала CGR надёжнее GR.

По волне Стоунли: до 1429 м DTst = 522–524 мкс/м, ISt ≈ –0,076; с 1429 м DTst возрастает до 592–617 мкс/м, ISt = 0,048–0,091; в зоне 1444–1451 м DTst = 599–600 мкс/м, ISt ≈ +0,060, что согласуется с керном.

Детальный анализ контрольной зоны показал, что в пропластках 22 и 24 КпАК = 4,8 и 4,2 %, Кпприн = 7,9 и 7,5 %, КпГГК ≈ 8 %, Кпэфф по ЯМК = 9–11 %. Акустический каротаж занижает пористость в кавернозных зонах с соевым заполнением. На рисунке 2 приведено комплексное сопоставление

литологии, пористостных оценок, параметров волны Стоунли и каротажных признаков в контрольном интервале.

Расхождения между методами оценки пористости носят устойчивый характер и обусловлены типом пустотности, степенью её связанности и характером минерального заполнения. Совместный анализ керна, спектрального ГК, акустического и плотностного каротажа, ЯМК и параметров волны Стоунли позволил установить геологическую причину интерпретационной неоднозначности и повысить достоверность выделения карбонатных коллекторов и оценки их фильтрационно-ёмкостных свойств.

Заключение. В настоящей работе выполнена комплексная интерпретация данных ГИС и керна по скважине № 6 Верхнечонского месторождения в пределах Осинского горизонта. Основное внимание сосредоточено на интервале 1418–1454 м, где по керну и каротажным материалам прослеживается выраженная неоднородность строения пород и пустотного пространства.

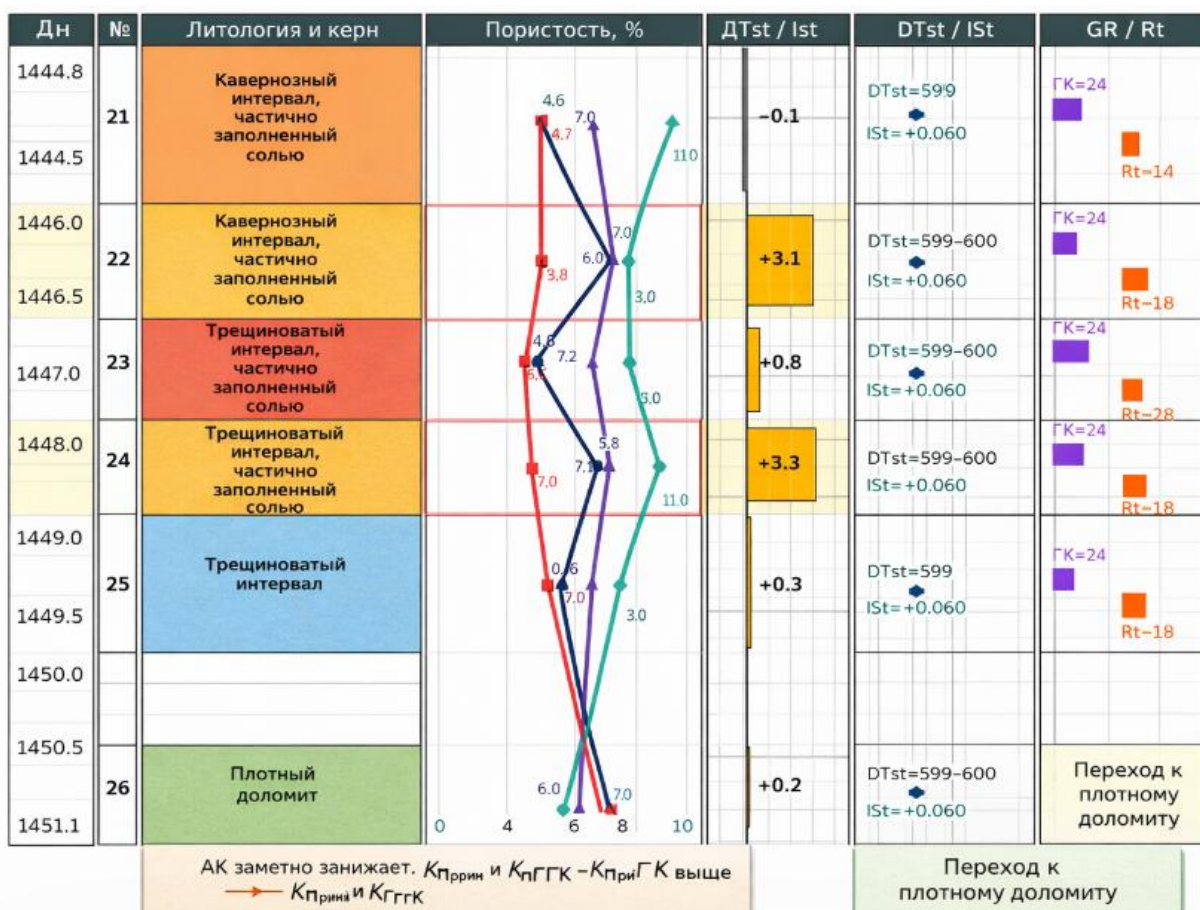


Рисунок 2 – Комплексное сопоставление литологического строения, пористостных оценок, параметров волны Стоунли и каротажных признаков в контрольном интервале 1444,8–1451,1 м.

Проведённое сопоставление данных ГИС и керна показало, что Осинский горизонт в пределах исследуемой скважины сложен преимущественно карбонатными породами, однако по своим свойствам этот разрез нельзя считать однородным. По данным керна в нём установлены трещины, каверны, ангидритовые включения, стилолитовые швы, а в интервале 1444–1451 м дополнительно зафиксировано частичное заполнение пустот каменной солью. Именно это сочетание признаков делает интерпретацию данного участка наиболее сложной, поскольку разные методы ГИС в таких условиях по-разному реагируют на один и тот же объём породы.

В пределах интервала 1419,7–1451,1 м по результатам интерпретации выделено 26 коллекторских пропластков суммарной эффективной мощностью 18,8 м. Средневзвешенные значения пористости составили: по принятой интерпретационной схеме – 8,26 %, по акустическому каротажу – 6,62 %. Расхождение между ними равно 1,64 п.п., что уже само по себе указывает на необходимость не изолированного, а комплексного анализа. Дополнительное сопоставление акустических и плотностных параметров показало устойчивую обратную связь между акустическим импедансом и эффективной пористостью по данным ЯМК: при уменьшении импеданса пористость возрастает, что подтверждает реальную зависимость фильтрационно-ёмкостных свойств от строения пустотного пространства.

Обработка спектрального гамма-каротажа позволила уточнить особенности радиоактивного отклика разреза. Было установлено, что в ряде интервалов вклад урана заметно влияет на общий гамма-фон, из-за чего использование только общего GR может приводить к завышенной оценке глинистости. В этих условиях более информативным оказался параметр

CGR, позволяющий лучше отделить влияние собственно глинистого компонента от урановой составляющей. Это особенно важно для карбонатного разреза со вторичными преобразованиями и неоднородной структурой порового пространства.

Отдельно был проанализирован контрольный интервал 1444–1451 м. Для него характерны положительные значения индекса I_{st} , повышенные значения DT_{st} , пониженные значения сопротивления в ряде пропластков и выраженное расхождение между различными оценками пористости. Средние параметры этого интервала составили: $K_{п\text{прин}} = 6,13 \%$, $K_{п\text{ак}} = 5,20 \%$, $K_{п\text{ГГК}} = 7,2 \%$, $K_{п\text{эфф}}$ по ЯМК = 8,8 %. Это показывает, что использование только акустической пористости приводит здесь к занижению оценки пустотного пространства. В наиболее неоднородных пропластках 22 и 24 расхождение между $K_{п\text{ак}}$ и $K_{п\text{прин}}$ достигает 3,1–3,3 п.п., а по сравнению с $K_{п\text{эфф}}$ по ЯМК – 4,2–6,0 п.п. Следовательно, именно в зоне трещинно-кавернозного строения с частичным солевым заполнением наиболее отчётливо проявляется ограниченность упрощённой интерпретации по одному методу.

Полученные результаты показывают, что наиболее надёжная оценка коллекторских свойств Осинского горизонта достигается только при совместном использовании нескольких источников информации: керна, спектрального гамма-каротажа, акустического и плотностного каротажа, параметров волны Стоунли и данных ЯМК. Такой подход позволяет не просто выделить коллекторские интервалы, но и понять, какие из них действительно обладают эффективной пустотностью, а где стандартные пористостные оценки оказываются искажёнными из-за сложного строения породы.

В итоге проведённая работа показала, что комплексная интерпретация действительно повышает достоверность выделения коллекторов по сравнению с использованием отдельных методов по отдельности. Это проявляется, прежде всего, в возможности выявлять интервалы, где

акустическая пористость систематически занижена, а также в более реалистичном разделении общей и эффективной пустотности. Для исследуемого Осинского горизонта такой подход оказался особенно важен в интервале 1444–1451 м, где геологические особенности строения напрямую определяют характер отклика геофизических методов и требуют осторожной, геологически обоснованной интерпретации.