GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE LOWER PERMIAN KUNGURIAN DEPOSITS OF THE ASTRAKHAN ARCH

Хайловский В.Н. [1], Тинакина Л.В. [2], Предбанникова Е.В. [3]

[1]Главный геолог АО «Октопус»; [2]Начальник геофизического отдела АО «Октопус»; [3]геофизик АО «Октопус»

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЕПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ КУНГУРСКОГО ЯРУСА АСТРАХАНСКОГО СВОДА

Аннотация

Системный подход изучения используется во всех областях научного знания. Ярким примером синтеза различных наук является геологическая физика (геофизика), как комплексное «гибридное» направление старых научных дисциплин. Активное накопление знаний о составе, строении и физических свойствах горных пород характеризует весь период интенсивного развития всей нефтегазовой промышленности и геофизических исследований скважин, в частности.

Ключевые слова: кунгурские отложения, филлиповский горизонт, соляные породообразующие минералы, геолого-геофизическая характеристика разреза.

Отложения кунгурского яруса имеют почти повсеместное распространение и представлены мощной галогенной формацией по всей территории Прикаспийской синеклизы [3].

На Астраханском своде нижнюю часть кунгурского разреза слагает карбонатно-терригенно-сульфатная субформация филипповского горизонта, представленная двумя литологически различными пачками: сульфатно-карбонатно-терригенной (нижней) и галогенно-сульфатно-карбонатной (верхней).

Нижняя пачка относительно постоянна, включает два пласта-репера (R_2 и R_1). Нижний пласт залегает на депрессионных осадках раннепермского возраста, охарактеризован керном в скважинах 11-Астраханская, 2, 3, 4, 8, 12-Ахтубинские и литологически сложен доломитами темно-серыми, тонкокристаллическими и массивными с прослоями известняков и глинисто-органического вещества, обуславливающими тонкую слоистость (рис. 1).

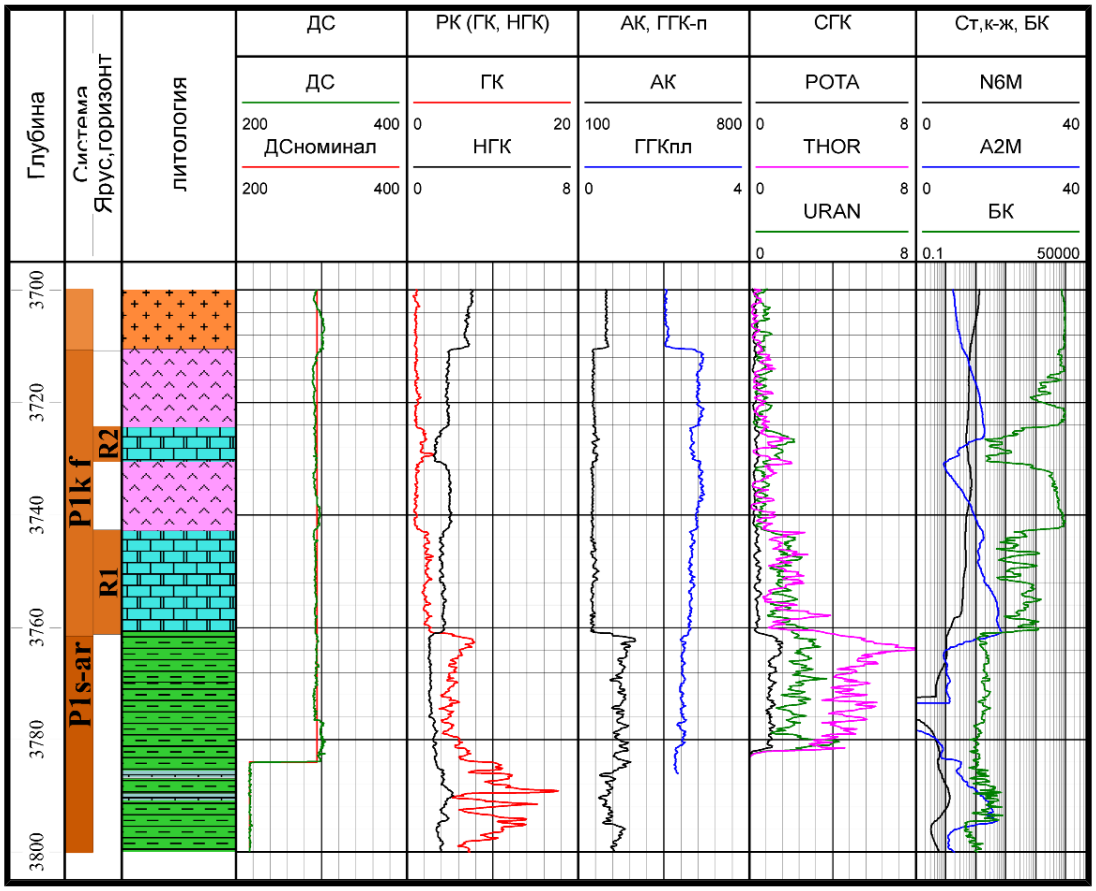

Рис. 1 Геолого-геофизическая характеристика нижнепермских отложений кунгурского яруса филипповского горизонта

Встречаются вертикальные трещины, толщиной 0,02-0,1 мм, иногда заполненные кальцитом, открытые и закрытые стилолитовые швы, а также пустоты выщелачивания, связанные с трещинами. Порода в разной степени ангидритизирована. В скважинах 3, 12-Ахтубинские R_1 сложен переслаивающимися известняками и ангидритами. В скважине 8-Ахтубинская – алевролитами темно-серыми до черного, крепкими, с прослоями ангидрита.

Во всех случаях порода бурно вскипает с соляной кислотой, имеет запах сероводорода, часто пропитана нефтью.

Толщина R_1 колеблется от 3 м до 22 м.

Выше по разрезу над R_1 залегает толща ангидритов, иногда (скважина 5-А) кремнисто-глинистой породы. Ангидриты светлой окраски, пятнистые, средне-мелкозернистые, иногда массивные, с глинисто-карбонатными включениями. Толща выполняет роль промежуточной покрышки. Имеет толщину до 15 м, практически непроницаема.

Репер R_2 охарактеризован керном в скважинах 1, 5, 8, 14, 25-Астраханские, 3-Заволжская, 2, 3, 4, 12-Ахтубинские. В основном сложен доломитизированными породами темно-серой окраски, тонкокристаллической структуры, тонкослоистыми за счет включений и тонких пропластков глинисто-битуминозного материала (5-10% объема). Наблюдаются зерна терригенного кварца, включения кристаллов сульфатов и примесь пирита. Отмечены процессы выщелачивания с образованием пустот размером до 0,5-1 мм. В породе наблюдаются трещины вертикальные и по напластованию, порода активно реагирует с соляной кислотой. Согласно рентгеноструктурному анализу керна, в некоторых скважинах увеличивается количество известняков (2, 3-Ахтубинские). Известняки микрокристаллические, трещиноватые, с прослоями ангидрита, с запахом сероводорода. Толщина пласта репера R_2 колеблется в пределах 5-9 м.

Геофизическая характеристика филипповских отложений приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Геофизическая характеристика филипповских отложений

Название породы	$pk^{БК}$, Ом·м	ГК, мкР/ч	НГК, усл.ед	АК, мкс/м	ГГК-П, г/см^3	Кп, %	POTA, %	THOR, $*10^{-4}$%	URAN, $*10^{-4}$%
Ангидрит	1400-9600	1,0-1,2	1,6-2,0	157-167	2,8-2,9	-	0,2-0,3	0,5-1,1	0,5-0,7
Известняк доломитизи-рованный (R2)	30-200	1,7-2,5	1,3-1,7	169-175	2,99-2,7	6,3-7,7	0,3-0,4	0,5-1,3	0,7-1,9

Известняк доломитизи-рованный (R1)	60-900	2,0-2,5	1,6-1,7	159-174	2,59-2,68	2,2-8,1	0,3-0,5	1,8-3,7	1,4-2,1

Верхняя часть отложений, перекрывающая R_2, – галогенно-сульфатно-карбонатная порода, представлена переслаиванием солей, ангидритов, реже доломитов. Порода характеризуется выраженной слоистостью, обусловленной тонкими прослойками и налетами черной глины, заполняющей горизонтальные трещины. Содержание ангидрита достигает 80%, поэтому эта часть отложений называется толщей «плавающих» ангидритов. Доломиты имеют в основном кристаллическо-зерновую структуру. Вверху залегают соли белые, серые за счет глинистого материала, с зеркалами скольжения.

Толщина верхней пачки весьма изменчива, что обусловлено внутриформационным размывом. Породы, слагающие эту толщу, практически непроницаемы.

Общая толщина пород филипповского горизонта составляет 21-66 м.

Выше следует галогенная толща иреньского горизонта с редкими прослоями сульфатных, терригенных и реже карбонатных пород. Заканчивается разрез преимущественно сульфатной пачкой (верхний кепрок) толщиной от нескольких метров до 113 м. Галогенные породы почти по всему разрезу представлены галитом белой, серой и светло-серой окраски.

Структура пород средне- и мелкокристаллическая.

Сульфатные образования почти повсеместно сложены ангидритами, редко встречается вторичный кальцит. Ангидриты светло-серые, темно-серые, тонко-мелкокристаллические, кальцит розоватого цвета, крупнокристаллический.

Терригенные разности состоят из аргиллитов, песчаников, алевролитов. Аргиллиты имеют серую, темно-серую окраску, слабо алевритистые.

Песчаники и алевролиты серые, с хорошо отсортированным кластическим материалом.

Карбонатные образования сложены преимущественно известняками серого и светло-серого цвета, среднекристаллическими.

Возраст кунгурских отложений фаунистически обоснован по остаткам, найденным в керне из интервала 2278-2268 м скважины №3 Высоковская (Каракульско-Смушковская зона): Agathiceros aff uralicum Karp., Productus aff aagardi Toula., P. Aff artiensis Tsch., Paleomutella aff reutodanta Amal., Porogastrioceras ef fedorovi Karp.

Толщина галогенной формации колеблется в весьма широких пределах от полного отсутствия в глубоких бессолевых мульдах до 3500 м – в сводовых частях высокозалегающих соляных тел (куполов).

К основным соляным породообразующим минералам относятся: галит, сильвин, бишофит, карналлит. По различным источникам галит в соленосном массиве составляет до 80-97%. Именно с каменной и калийно-магниевыми солями, а также межсолевыми сульфатно-терригенными отложениями связаны многочисленные осложнения при проводке и креплении скважин. На Астраханском своде такие осложнения приурочены в основном к межсолевым рапонасыщенным пропласткам с АВПД [5].

Для получения геолого-геофизической характеристики кунгурских отложений на Астраханском своде применяется комплекс геофизических исследований, включающий радиоактивный каротаж (НГК, ГК, ГГК-П, СГК (U, Tr, K), акустический каротаж (АКШ), электрический каротаж (КС, БК), профилеметрию, анализ шлама, детально-механический и фильтрационный каротаж, газовый каротаж по данным станции геолого-технологических исследований. Применение современного комплекса ГИС позволяет дифференцировать соленосный разрез (рис. 2).

Наряду с методом ГК, применение спектрального гамма-каротажа (СГК) позволяет выделять калийсодержащие соли по высоким значениям естественной радиоактивности (до 60 мкР/ч) за счет содержания изотопа K^{40}

(сильвинсодержащие соли – до 60 %, карналлит- и полигалитсодержащие – до 15 %), глинистые прослои – по повышенным значениям тория (Th).

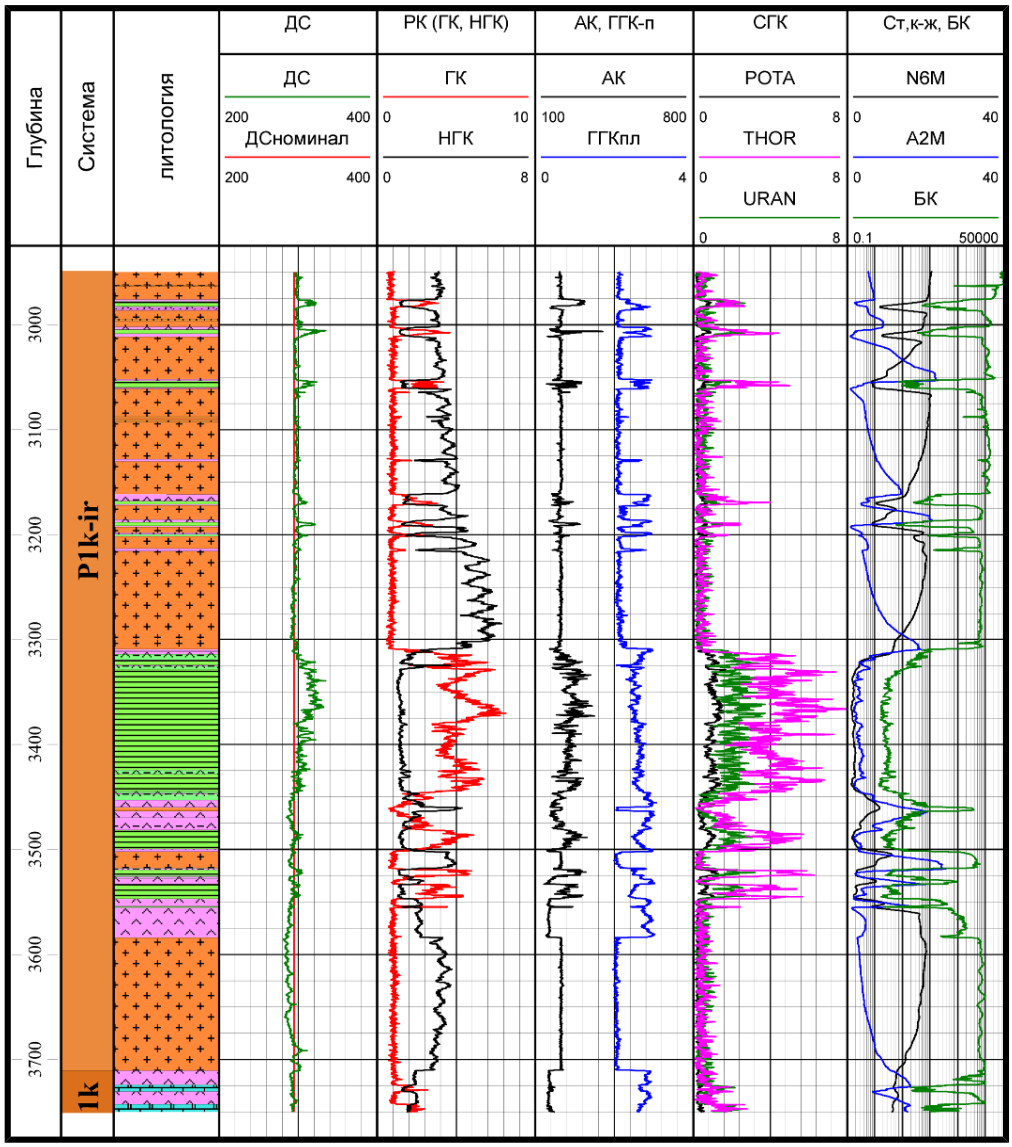

Рис. 2 Геолого-геофизическая характеристика нижнепермких отложений кунгурского яруса

Диаграммы радиоактивного каротажа характеризуют соляную породу по химическому содержанию и соотношению в ней радиоактивных изотопов калия, урана, тория, атомов водорода и хлора.

Естественная гамма-активность пород зависит, главным образом, от калиеносности и степени загрязнения терригенным материалом, обладающим радиоактивностью, эквивалентной нескольким процентам калия.

Породы, содержащие кристаллизационную или связанную воду (карналлит, бишофит, полигалит, гипс, глины), за счет большого водородосодержания характеризуются малыми показаниями НГК. Напротив, малопористые, монолитные породы (ангидрит, галит, сильвинит) на диаграммах НГК выделяются высокими значениями радиационного гамма-излучения. Помимо водорода, на показания НГК значительное влияние оказывает содержание атомов хлора. Вследствие образования изотопов Cl^{36}, галит и сильвинит обладают высокой радиационной активностью [2].

Различие соляных и вмещающих пород по плотности дает возможность расчленения соленосного разреза по данным гамма-гамма-каротажа (ГГК-П) [4].

Акустический каротаж по скорости распространения и затуханию упругих волн позволяет выделять в разрезе плотные и трещиноватые породы. Монолитные ангидриты и каменная соль имеют более высокие значения скорости продольных волн (V_p) и минимальные значения коэффициента затухания.

Разновидности соленосных пород характеризуются по акустическому методу высокими значениями интервального времени пробега продольных волн dt (220-256 мкс/м) по сравнению с сопутствующими и вмещающими карбонатными и сульфатными породами (143-174 мкс/м). Метод АКШ является информативным в плане определения физико-механических свойств пород, в том числе галогенных, в естественных условиях всестороннего сжатия. На основе данных о скорости продольных и поперечных волн производится расчет модулей продольного и поперечного сдвига. Диапазон изменения коэффициента Пуассона у основных галогенных и сопутствующих пород в уравновешенном состоянии незначительный и составляет 0,25-0,29 (за исключением гипса, где этот коэффициент изменяется в пределах 0,32-0,36). В интервалах повышенной пластичности солевых пород значение коэффициента Пуассона возрастает. Соли

отличаются пониженными прочностными свойствами по сравнению с другими породами [1].

Геофизическая характеристика нижнепермских отложений кунгурского яруса показана в таблице 2.

Таблица 2 – Геофизическая характеристика нижнепермских отложений кунгурского яруса

Название породы	$pk^{БК}$, Ом·м	ГК, мкР/ч	НГК, усл.ед	АК, мкс/м	ГГК-П, г/см^3	POTA, %	THOR, $*10^{-4}$%	URAN, $*10^{-4}$%
Ангидрит	120-1020	1,1-2,5	2,0-3,8	170-181	2,83-2,96	0,3-1,5	0,7-2,5	0,2-2,3
Терригенно-сульфатная	13-135	2,1-3,7	1,7-2,1	167-235	2,05-2,90	0,3-0,5	0,5-3,0	0,6-1,9
Соль каменная	2900-10000	0,8-0,9	2,9-6,0	214-220	2,12-2,18	0,2-0,3	0,4-0,6	0,3-0,4
Сульфатно-галогенная	1700-4300	0,8-0,9	2,7-5,7	207-221	2,16-2,40	0,2	0,7	0,3
Сульфатно-терригенная	5,0-44,0	1,7-5,6	1,7-2,1	187-226	2,69-2,81	0,5-0,8	1,7-4,3	0,9-2,2
Галогенно-сульфатная	3600-4550	0,8-1,1	2,5-2,7	179-188	2,35-2,72	0,2	0,7	0,3
Глина	1,7-26,0	4,0-7,2	1,0-1,7	240-295	2,48-2,64	0,8-1,3	3,4-6,1	1,7-2,9

Максимальным удельным электрическим сопротивлением характеризуются монолитные плотные породы (каменная соль, сульфатно-галогенная, ангидрит). В трещиноватых, кавернозных породах электрическое сопротивление зависит от объема пустотного пространства и характера флюидонасыщения. Показания значений удельного электрического сопротивления бокового электрического каротажа (БК) наиболее высокие (более 2000 Ом·м) в безводных галогенах (NaCl и KCl), ангидрите и плотных карбонатных породах и имеют несколько пониженные значения в глинистых, трещиноватых породах, гипсе и в содержащих рапонасыщенный флюид терригенных пропластках – менее 10 Ом·м (рис. 3) [2].

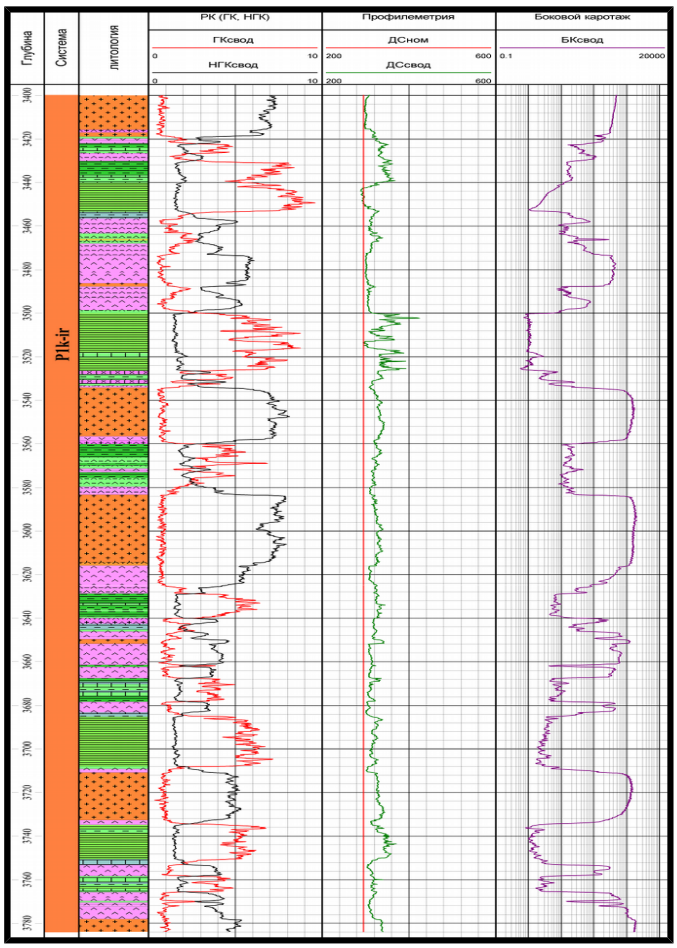

Рис. 3 Литологическое расчленение разреза по данным геофизических методов

Сульфатно-галогенные породы обладают достаточно дифференцированной характеристикой по динамическому механическому каротажу (ДМК). Скорость проходки возрастает в ряду ангидрит – межсолевые пропластки (сульфатно-терригенные, сульфатно-карбонатные) – каменная соль от 250 мин/м до 15 мин/м. В процессе бурения скважины оперативная информация о литолого-стратиграфическом составе разреза поступает со станции геолого-технологических исследований по результатам макроописания и анализа шлама (рис. 4).

Соленосные разрезы иреньского горизонта с относительно спокойным залеганием соленосных отложений уверенно коррелируются с охарактеризованным керном и геофизическими данными (ГК, НГК, АК, ГГК-П, СГК, КС), что позволяет даже при ограниченном комплексе ГИС производить их детальное литологическое расчленение [2, 3].

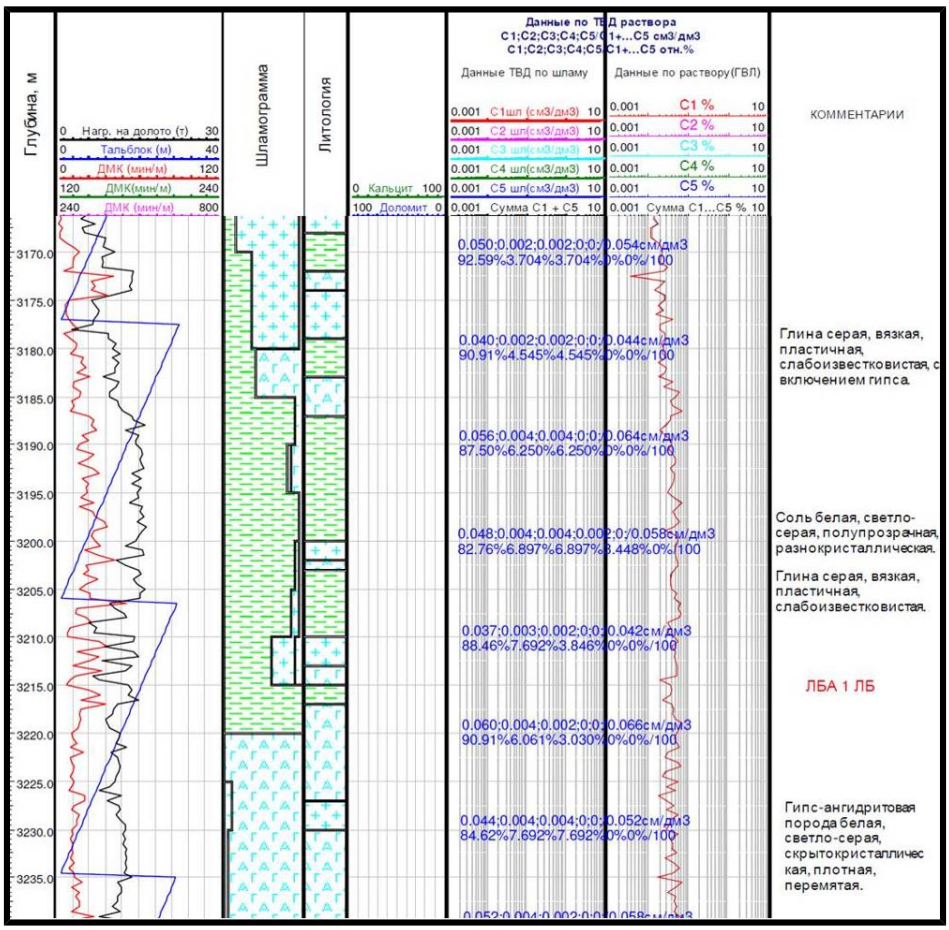

Рис. 4 Литологическое расчленение разреза по данным геолого-технологических исследований

Выводы и рекомендации

Изучение геолого-геофизической характеристики кунгурских отложений в указанном комплексе исследований дает полное представление о залегающих породах: их литолого-петрофизических свойствах, мощности, химическом составе, что позволяет дифференцировать соленосный разрез и производить его градацию из расчета чисто соляных и вмещающих пород, химическому составу солей, анализировать прочностные свойства галогенных и сопутствующих пород.

Данная информация послужит разработке рекомендаций по прогнозированию зон и интервалов залегания пластичных пород в соляном массиве с целью предупреждения осложнений в процессе бурения скважин и прогнозирования устойчивости стволов скважин в соленосных отложениях.

Список литературы

1. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.С. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 592 с.
2. Латышова, М.Г Практическое руководство по интерпретации данных ГИС [Текст]: учеб. пособие для вузов / М.Г. Латышова, В.Г. Мартынов, Т.Ф. Соколова. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 327 с.
3. Масленников, В.И. Литологическое расчленение галогенных отложений комплексом геофизических методов [Текст] / В.И. Масленников // Каротажник. – Тверь: Изд-во АИС, 2004. – Вып. 5-6 (118-119). – С. 128–136.
4. Муравьев, В.В. Изучение состава галогенных пород в скважинах ядерно-физическими методами [Текст] / В.В. Муравьев, К.И. Якубсон // Обз. инф. – М., 1980. – 69 с.
5. Свинцицкий, С.Б. Прогнозирование устойчивости стволов скважин в соленосных отложениях [Текст] / С.Б. Свинцицкий // Обз. инф. Серия: Бурение газовых и газоконденсатных скважин. – М.: ИРЦ Газпром, 2004. – 144 с.