

где α – вектор параметров регуляризации, I – единичная матрица, $\Delta\sigma$ – искомый вектор приращений проводимости в ячейках, ϵ – вектор значений, зарегистрированных в приемниках сигналов.

Принципиальным отличием от метода, описанного в работах [1, 2], является применение данного подхода для случая, когда прямая задача решается методом конечных элементов с использованием технологии выделения поля [3, 4, 5]. Применение технологии выделения поля позволяет избежать подробной дискретизации в окрестностях контролируемых источников и использовать гораздо более грубые сетки для достижения высокой точности. Таким образом, разделение искомого электромагнитного поля на поле влияния вмещающей среды и поле от локальных неоднородностей позволяет существенно сократить вычислительные затраты и увеличить точность вычисления электромагнитных полей, вызываемых контролируруемыми источниками.

Для решения системы линейных алгебраических уравнений обратной задачи используется итерационный метод, где на каждой итерации приходится решать две прямые задачи. Обычно на каждой итерации минимизации функционала делается 20...25 итераций для решения СЛАУ обратной задачи, и в результате происходит решение порядка 40...50 прямых задач. Применение регуляризации в этом случае существенно увеличивает вычислительные и временные затраты, так как при каждом изменении параметра регуляризации запускается новый итерационный процесс, поскольку матрица СЛАУ обратной задачи в явном виде не собирается и необходим новый расчет с учетом текущих параметров регуляризации, а значит дополнительное решение последовательности прямых задач. Технология нацелена на восстановление искомого геофизических характеристик среды в виде распределения их значений в большом наборе ячеек мелкой сетки, на которые разбивается исследуемая область [1, 2]. Стандартным подходом при реализации алгоритмов 3D-инверсии данных электромагнитных зондирований является использование ячеистых структур. Однако главной проблемой развития и внедрения этих алгоритмов в практику электроразведочных исследований является их вычислительная трудоёмкость, так как восстановление проводимости в большом наборе ячеек связано с увеличением подобластей эквивалентности.

Кроме того, поскольку обратная задача очень неустойчива, важную роль при ее решении играет регуляризация. В этом подходе практически невозможно осуществлять адаптивный выбор параметров регуляризации – их значения должны быть зафиксированы хотя бы в пределах одной итерации. Это является существенным сужением возможностей регуляризации. Было проведено исследование, которое показало, что применение регуляризации с зафиксированными параметрами не позволяет восстановить искомые параметры проводимости, и для проведения полноценной инверсии необходимо использование методов адаптивной регуляризации. Причем для восстановления проводимости в большом наборе ячеек необходимо введение дополнительных параметров для получения сглаженной картины распределения сопротивления.

Однако применение данного подхода окажется выгодным для восстановления параметров в задачах, где требуется восстанавливать проводимость в большом наборе ячеек (порядка нескольких тысяч и более) с применением адаптивной регуляризации с «грубым» подбором параметров, хотя остается риск получить или слишком «мозаичную» картину распределения параметров в ячейках, или слишком сглаженную, что тоже негативно повлияет на восстановление реальных геоэлектромагнитных характеристик трехмерных неоднородностей.

Литература

1. Cox L., Wilson G., Zhdanov M. 3D inversion of airborne electromagnetic data // *Geophysics*, 2012. – V. 77. – №4. – P. WB59 – WB69.
2. Oldenburg D., Haber E., Shekman R. Three dimensional inversion of multisource time domain electromagnetic data // *Geophysics*. – 2013. – V. 78. – №1. – P. E47 – E57.
3. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М. Компьютерное моделирование геоэлектромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов // *Физика Земли*, 2011. – №2. – С. 3 – 14.
4. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М., Токарева М.Г. Методы и алгоритмы восстановления трехмерной структуры проводимости и поляризуемости среды по данным электромагнитных зондирований на основе конечноэлементного 3D-моделирования // *Физика Земли*, 2013. – №3. – С. 30 – 45.
5. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. «Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач» // Сер. «Учебники НГТУ» – Новосибирск: НГТУ, 2007, 896 с.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО РАЗРЕЗА НА ВЕРХНЕКОМБАРСКОМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.А. Ерошенко

Научный руководитель доцент Г.А. Лобова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Верхнекомбарское газоконденсатное месторождение приурочено к отложениям доюрского фундамента. В непосредственной близости от месторождения, на соседних площадях, также открыты залежи углеводородов на этом стратиграфическом уровне. Газоконденсатная залежь пласта M_1 (НГТЗК) приурочена к толще отложений коры выветривания и верхней части палеозоя.

Целью исследований является изучение геолого-геофизических особенностей отложений доюрского фундамента на Верхнекомбарской площади. Исследования основаны на изучении полевого описания и лабораторных исследований кернового материала, каротажных диаграмм по восьми глубоким скважинам.

Для исследований были выбраны две скважины, одна из которых находится на склоне (№ 295), а другая в купольной части (№ 297) локальной структуры.

Литологическое описание керн и данные по испытанию представлены в таблице 1.

В скважине 295 показания КС напротив доюрского разреза (27-51 Ом·м), заметно выше нижележащих пород (15-33 Ом·м). По данным нейтронного гамма-каротажа (НГК) значения уменьшаются от 1,4-2,4 усл. ед. до 1,6-1,7 усл. ед. В интервалах 2893,5-2898,5 м; 2911-2921 м; 2950,5- 2955 м по петрофизическому описанию керн вскрыты дайки диабазов.

Таблица 1

Сводная характеристика нефтегазоносности

Скважина	Стратиграфия	Литология	Интервал залегания, м	Интервалы испытания, м	Флюид	Дебит м ³ /сут
295	Кора выветривания	Глинисто-сидеритовая порода	2842-2880	-	-	-
	Палеозой	Хомогенные известняки, интродуцированные дайками диабазов и диоритовых порфиритов. Встречаются прослои алевролитов.	2880-3330	2883-2911 2912-2952	-	«сухо»
297	Кора выветривания + палеозой	Брекчия серая, переслаивающаяся с аргиллитами и алевроитистыми песчаниками	2763-2830	2763-2797,8	Газ/ Нефть	7,5 тыс. / 25
		Известняк доломитизированный				

Границы даек хорошо выделяются на каротажных диаграммах АК и НГК. На кривой ПС в этих интервалах значения потенциала собственной поляризации увеличиваются до 170 мВ. Показания каротажа сопротивлений увеличиваются до 750 Ом·м. На показаниях естественной радиоактивности значения увеличились с 2,7 мкР/ч. до 5 мкР/ч. Значения НГК в интервалах залегания диабазов уменьшаются с 4,3 усл. ед. до 2,1 усл. ед. На показаниях акустического метода прослеживается увеличение значений с 125 до 190 мкс/м. (рис. А.) Значения естественной радиоактивности в юрских отложениях достигают 6-14,4 мкР/ч, в то время как напротив коры выветривания значения увеличиваются (14,7-22 мкР/ч). По Н. Б. Дортман [1] прослеживается тенденция понижения радиоактивности диабазов по отношению к известняку (табл. 3), что хорошо видно в разрезе скважины 295, диабазам отвечает наименьшая радиоактивность по сравнению с карбонатными породами (рис. А).

При анализе каротажных кривых различных геофизических методов (ПС, КС, НГК, ГК, АК) было выявлено, что кора выветривания по своим показаниям довольно четко выделяется от вышележащих пород. Дайка диабазов отчетливо прослеживается такими методами как НГК, АК, КС.

В скважине 295 был проведен комплекс геофизических работ ПС, КС, ГК, НГК, АК (рис. А). В скважине 297 - ПС, КС, ГК, НГК (рис. Б). Параметры значений методов ГИС сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Геофизическая характеристика

Скважина №	Стратиграфия	Интервал снятия значения, м	ПС (мВ)	КС Ом·м	ГК мкР/ч	НГК усл. ед	АК мкс/м
295	Мезозойские отложения	2820-2842	123-167	27-51	6-14,4	1,4-2,4	145-260
	Кора выветривания	2842-2880	146-176	15-33	14,7-22	1,6-1,7	138-248
	Палеозойские отложения	2880-2955	107-163	393-760	4,7-11	2,7-4,3	125-190
297	Мезозойские отложения	2750-2763	4-41	95-112	12-23	1,5-2,3	-
	Кора выветривания	2763-2779	55-74	4-12	7,9-12,8	2,4-3,1	-
	Палеозойские отложения	2779-2800	55-70	200-417	5,5-9	4,2-5	-

Скорость упругой волны в диабазе равна 6,4 км/с, скорость упругой волны в известняке изменяется от 1-5 км/с [1].

Скорость распространения продольных волн возрастает с увеличением содержания кремнезема в породе [1]. Диабаз относится к эффузивным породам основного состава с содержанием кремнезема $SiO_2 = 45-53\%$. На каротажной кривой заметно увеличение значений акустического каротажа при переходе от известняка к диабазу.

В скважине 297 наблюдается следующая ситуация:

Значения потенциалов собственной поляризации от нижнеюрских отложений к коре выветривания увеличиваются с 4 - 41 до 55 - 74 мВ. По методу КС прослеживается уменьшение удельного электрического сопротивления с 95 - 112 до 4 - 12 Ом·м, а на графике нейтронного гамма-каротажа значения увеличиваются с 1,5-2,3 до 2,4-3,1 усл. ед. Нельзя не отметить тот факт, что показания НГК в интервалах перфорации 2761,2 - 2762,8; 2769,5 - 2772,5; 2779,5 - 2780,9; 2792-2793,1 м варьируют в пределах 4,7- 5 усл. ед.

При переходе от коры выветривания к палеозойским отложениям прослеживается увеличение показаний таких методов как НГК, АК, КС, а показания гамма каротажа наоборот уменьшаются.

Все это говорит о том, что палеозойский разрез слагают карбонатные породы.

Таблица 3

Содержание радиоактивных элементов в породах и их УЭС

Порода	$C_U \cdot 10^4, \%$	$C_{Th} \cdot 10^4, \%$	$C_K \cdot 10^4, \%$	УЭС Ом·м
Песчаник	2,8	8,9	1,5	10^5-10^6
Диабаз	0,8	0,22	0,6	$5 \cdot 10^5-5 \cdot 10^6$
Известняк	1,7	1,8	-	10^4-10^6

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие заключения:

- Необходимыми методами ГИС для прослеживания границы между мезозойскими терригенными и палеозойскими карбонатными отложениями являются КС, ГК, НГК, АК.
- Эффузивные породы (диабазы) по данным ГИС имеют четкое отличие от карбонатных разностей (известняков).

Литература

1. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман – 2-е изд., перераб. И доп. - М.:Недра, 1984 – 455 с.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТА Ю₁¹ ПУГЛАЛЫМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

С.Е. Жуков

Научный руководитель доцент Г.А. Лобова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Пуглалымское месторождение нефти расположено в пределах основного нефтедобывающего района Томской области - Васюганского нефтегазоносного района Васюганской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Пуглалымское локальное поднятие было выделено, околонушено и сдано под глубокое бурение в 1960-62 гг. по результатам сейсморазведочных работ методом отраженных волн. Бурением скважины 86 была открыта залежь нефти, приуроченная к пласту Ю₁¹ васюганской свиты.

В формуле подсчета запасов [1] применяются расчетные параметры: коэффициент открытой пористости ($k_{по}$) и коэффициент нефтегазонасыщенности (k_n), определяемые по лабораторному изучению образцов керн. Но, как известно, не всегда удается отобрать керн при бурении скважины. Поэтому, для определения этих параметров возможно использование данных различных методов геофизических исследований.

Цель настоящей работы – проведение интерпретации, определение ФЕС по акустическому методу и сопоставление полученных результатов с данными по керну, то есть построение зависимостей керн-ГИС.

Основной задачей является анализ данных ГИС и петрофизических характеристик керн интервала пласта Ю₁¹ васюганской свиты (J_{3c-o}). Проанализированы материалы ГИС и керновый материал по семи скважинам. Для проведения исследования выбраны скважины № 89 и № 90, отличающиеся высоким процентом выхода керн и достаточно хорошим качеством записи каротажных диаграмм.

В скважине № 89 пласт вскрыт в интервале от 2445,8 до 2448 м и представлен песчаником мелко-среднезернистым с глинистым цементом. При изучении на микроуровне в лаборатории было определено, что текстура песчаника беспорядочна, преобладает мелкозернистая фракция в количестве от 32 до 70 %. Привнесенные минералы представлены кальцитом, пиритом, биотитом и каолинитом.

По результатам отбора керн в скважине № 90 исследуемый пласт вскрыт в интервале от 2451,9 до 2456,2 м. По макроскопическому описанию интервал обогащен остатками раковин белемнитов, что говорит о морских условиях осадкообразования. В лабораторных условиях было выяснено, что песчаник обладает псаммитовой структурой и беспорядочной текстурой. Набор аутигенных минералов достаточно разнообразен: преобладают пирит, каолин, биотит, кальцит и углефицированные растительные остатки. Кальцит присутствует в