

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ НА СИГНАЛЫ БОКОВОГО КАРОТАЖНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВЫСОКООМНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Анита Александровна Лапковская

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, инженер; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, магистрант, e-mail: LapkovskayaAA1@ipgg.sbras.ru

Карина Владимировна Сухорукова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ведущий научный сотрудник; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, д.т.н., доцент, старший преподаватель, e-mail: SuhorukovaKV@ipgg.sbras.ru

Алексей Михайлович Петров

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, младший научный сотрудник, e-mail: PetrovAM@ipgg.sbras.ru

Ирина Владимировна Суродина

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: SurodinaIV@ipgg.sbras.ru

В работе представлен анализ сигналов бокового каротажного зондирования, рассчитанных в трехмерных моделях сред с вертикальной трещиной. Показано, что в условиях, характерных для верхнепалеозойских отложений Томской области, влияние единичной тонкой трещины, проходящей через ось скважины, на сигналы эквивалентно влиянию зоны проникновения с низким удельным электрическим сопротивлением. На примере практических данных, измеренных в скважине Арчинскоого нефтегазоконденсатного месторождения (Томская область) рассмотрены возможности численной инверсии данных для выделения нефтепродуктивных интервалов.

Ключевые слова: боковое каротажное зондирование, трещинноватость, численная инверсия

LONGITUDINAL FRACTURE INFLUENCE ON THE UNFOCUSED LATERAL LOGGING SOUNDING RESPONSES IN HIGH-RESISTIVITY DEPOSITS

Anita A. Lapkovskaya

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Engineer; Novosibirsk State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia, Graduate. Student, e-mail: LapkovskayaAA1@ipgg.sbras.ru

Karina V. Sukhorukova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Leading Scientist; Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Dr. Sc., Associate Professor, Senior Lecturer, e-mail: SuhorukovaKV@ipgg.sbras.ru

Aleksei M. Petrov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, e-mail: PetrovAM@ipgg.sbras.ru

Irina V. Surodina

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD., Senior Researcher: SurodinaIV@ipgg.sbras.ru

The article considers the analysis of unfocused lateral logs (BKZ) simulated in three-dimensional media models with a vertical fracture. It was found that for the Tomsk region Upper Paleozoic deposits conditions the influence of a single thin fracture passing through the well axis on the signals is equivalent to the influence of the invaded low resistivity zone. On the practical data measured in the well of Archinskoe oil-gas-condensate field (Tomsk region) we discuss the possibilities of numerical data inversion for identifying oil-productive intervals.

Keywords: lateral logging, fracturing, fractures, numerical inversion

Двумерная инверсия сигналов зондирующих методов скважинной электрометрии, например, бокового каротажного зондирования (БКЗ) может оказаться информативным инструментом при исследовании трещиноватых отложений. По сравнению с традиционной попластовой интерпретацией она позволяет значительно точнее оценивать электрофизические свойства контрастных отложений, естественным образом учитывая влияние вмещающих пород и нефокусированной формы зонда на каждое измерение [1, 2].

В то же время такой подход основан на предположении осевой симметрии прискважинного пространства, поэтому важно определить характер изменений измеряемых сигналов при нарушении азимутальной однородности среды вследствие трещиноватости, а также влияние этих изменений на результаты двумерной инверсии. Для оценки применимости двумерной численной инверсии данных БКЗ к трещиноватым породам, проведен анализ сигналов, рассчитанных в трехмерных моделях однородной среды с вертикальной трещиной (рис. 1).

Расчет сигналов в моделях среды, в которых прискважинная область осложнена вертикальной трещиной, проведен с помощью алгоритма моделирования сигналов БКЗ методом конечных разностей (программное обеспечение разработано в ИНГГ СО РАН [3, 4]). Изменение расчетных сигналов вдоль скважины по форме оказалось аналогично изменению при пересечении пласта, границы которого расположены в крайних точках трещины, а его удельное электрическое сопротивление (УЭС) меньше, чем УЭС вне трещины.

Чтобы определить тип двумерной модели, наиболее подходящий для количественной интерпретации сигналов БКЗ в осложненной трещиной среде, в результате инверсии рассчитанных в трехмерных моделях с трещиной сигналов рассмотрены четыре типа моделей и получены их параметры:

1) модель изотропного пласта в изотропных вмещающих отложениях без радиального изменения УЭС в пластах;

2) модель анизотропного пласта в изотропных вмещающих отложениях без радиального изменения УЭС в пластах;

3) модель анизотропного пласта в анизотропных вмещающих отложениях без радиального изменения УЭС;

4) модель изотропного пласта в изотропных вмещающих отложениях с зоной проникновения в пласт на интервале трещины.

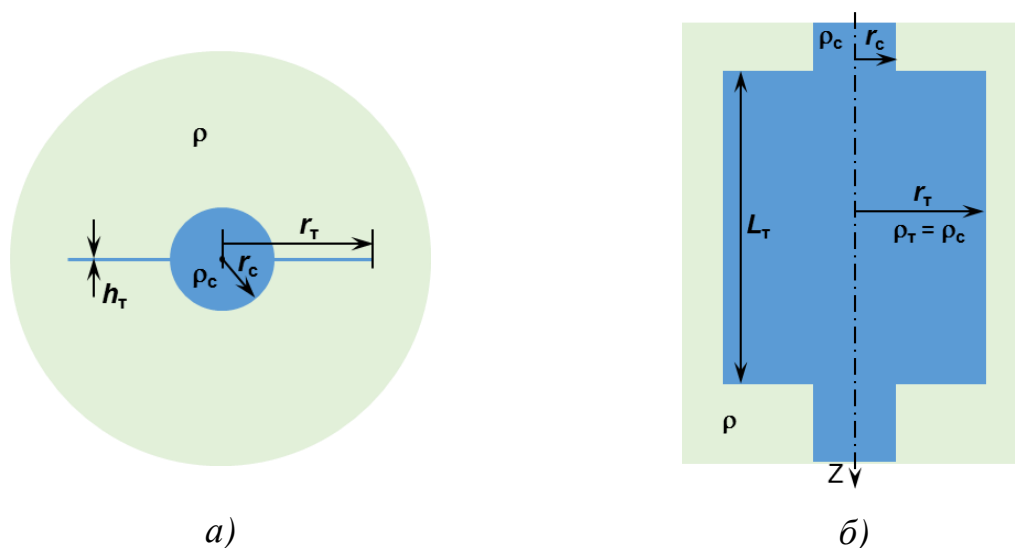


Рис. 1. Модель пересеченной скважиной высокоомных отложений, осложненной вертикальной трещиной, а – сечение горизонтальной плоскостью, б – сечение вертикальной плоскостью. УЭС пласта $\rho = 100, 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;

УЭС бурового раствора $\rho_c = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, радиус скважины $r_c = 0.108 \text{ м}$;
 параметры трещины: толщина $h_T = 1 \text{ мм}$, длина $L = 1, 5 \text{ м}$, радиус $r_T = 0.5, 0.8 \text{ м}$,
 УЭС $\rho_T = \rho_c = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

На начальном этапе инверсии в созданной модели границы указывались в соответствии с границами трещины. Положение границ пластов среды и значения удельного электрического сопротивления не фиксировались, при инверсии производился подбор всех параметров.

Рассмотрим примеры результатов инверсии данных БКЗ, рассчитанных в модели: УЭС отложений $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, длина трещины 5 м (от -2.5 до 2.5 м по вертикали), радиус внешнего края трещины – 0.8 м .

При инверсии данных БКЗ в классе изотропной модели 1 на основании полученных результатов можно сделать следующий вывод. При отсутствии независимых данных о реальном строении среды на интервале распространения трещины определяется пониженное значение УЭС (около $82 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), но результат подбора характеризуется довольно большой невязкой измеренных и рассчитанных сигналов зонда А4.0.М0.5N (более 5% для длинного зонда) на значительном интервале скважины ($1-4 \text{ м}$), систематический характер которой свидетельствует о неадекватности выбора модели.

Добавление в пласт, выделенный в интервале трещины, вертикального УЭС (ρ_v) не приводит к уменьшению невязок исходных и подобранных сигналов,

которые остаются почти на прежнем высоком уровне для длинного зонда, также систематического характера, а для коротких зондов составляют около 3% (рис. 2, 3). Отметим, что в этой модели на интервале трещины определяется вертикальное УЭС, меньшее горизонтального (63 и 83 Ом·м). Добавление анизотропии во вмещающие породы также не приводит к удовлетворительному подбору.

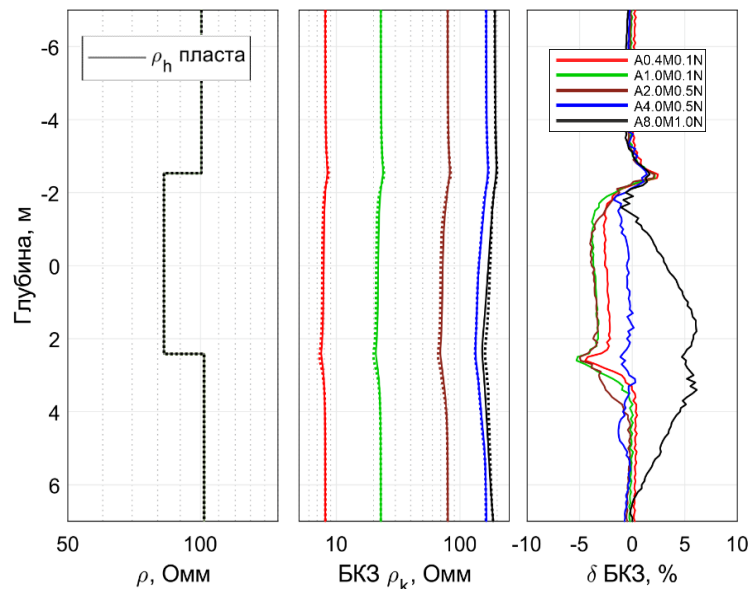


Рис. 1. Результат инверсии данных БКЗ на базе двумерной осесимметричной изотропной модели без радиального изменения УЭС в пластах

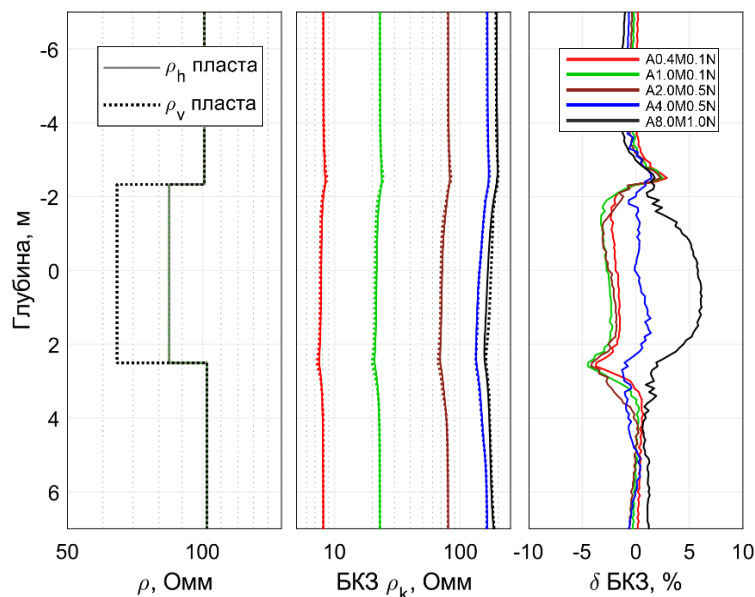


Рис. 3. Результат инверсии данных БКЗ на базе двумерной осесимметричной модели анизотропного слоя в изотропных вмещающих отложениях без радиального изменения УЭС в пластах

Результат инверсии на базе двумерной осесимметричной изотропной модели с понижающей зоной проникновения характеризуется наименьшими невязками, не превышающими 1 % (рис. 4).

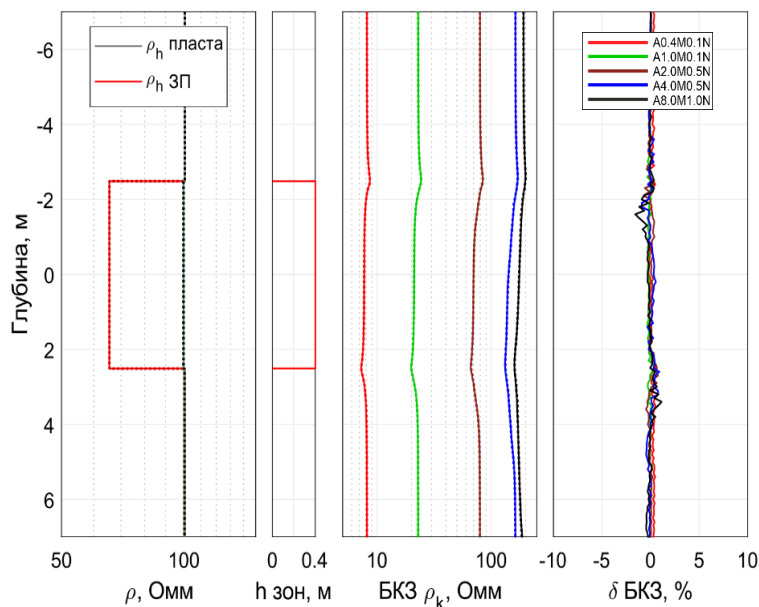


Рис. 4. Результат инверсии данных БКЗ на базе двумерной осесимметричной изотропной модели с зоной проникновения.

Восстанавливается близкое к истинному значение УЭС пласта (100.3 Ом·м). Интервал распространения трещины отчетливо выделяется в модели в виде понижающей зоны проникновения. Значения невязок на уровне погрешности расчета данных свидетельствуют о том, что эта модель является для сигналов БКЗ в практическом смысле эквивалентной модели с трещиной. Также при обработке практических данных можно ввести зону проникновения в каждый слой модели, где непроницаемые пласты будут характеризоваться близкими определяемыми значениями $\rho_{ЗП}$ и $\rho_{пласта}$, а трещиноватые отложения – $\rho_{ЗП} < \rho_{пласта}$. Подобный подход используется, например, в работе [5], однако авторы не касались вопроса выбора типа интерпретационной модели. Использование в инверсии ограничителя $\rho_{ЗП} \leq \rho_{пласта}$ позволит дополнительно уменьшить область эквивалентности и избежать физически не обоснованных моделей (с $\rho_{ЗП} > \rho_{пласта}$ при бурении высокоомных отложений на низкоомных растворах).

Численное моделирование подтверждает эти выводы и для более контрастных моделей, например, для УЭС среды 1000 Ом·м.

Применение алгоритма на реальных данных

На юго-востоке нефтегазоносного бассейна открыты залежи нефти, газа и газоконденсата в отложениях палеозоя (Арчинское месторождение [5]). Рассмотрим пример применения алгоритмов двумерной численной инверсии

данных БКЗ в интервале трещиноватых, сложно построенных высокоомных карбонатных коллекторов доюрского комплекса, вскрытых скважинами на глинистом буровом растворе.

Выбор интервала палеозойских отложений для численного анализа определялся наличием в двух его местах интервалов перфорации и данных о притоке, полученных во время проведения испытаний. Для создания стартового приближения геоэлектрической модели в работе использовался программный комплекс EMF Pro [6].

В полученной по результатам двумерной инверсии модели отчетливо выделяется интервал с контрастной понижающей зоной проникновения на глубине 3108–3122 м (рис. 5). По данным испытаний приток нефти на этом интервале составил $Q_n = 5.8$ т/сут, приток газа $Q_r = 4.2$ м³/сут. В другом нефтенасыщенном пласте, расположенном выше (интервал 3088–3092 м), по данным БКЗ не удалось выявить признаков проникновения бурового раствора. При этом при испытании в этом интервале наблюдался приток $Q_n = 19$ т/сут, $Q_r = 1.9$ м³/сут, что существенно превышает приток на интервале, выделенном при инверсии. Это скорее всего связано с повышенным пластовым давлением в верхнем интервале (пластовое давление верхнего интервала – 333 атм, нижнего – 311.6 атм), которое препятствовало фильтрации бурового раствора и его затеканию в трещины.

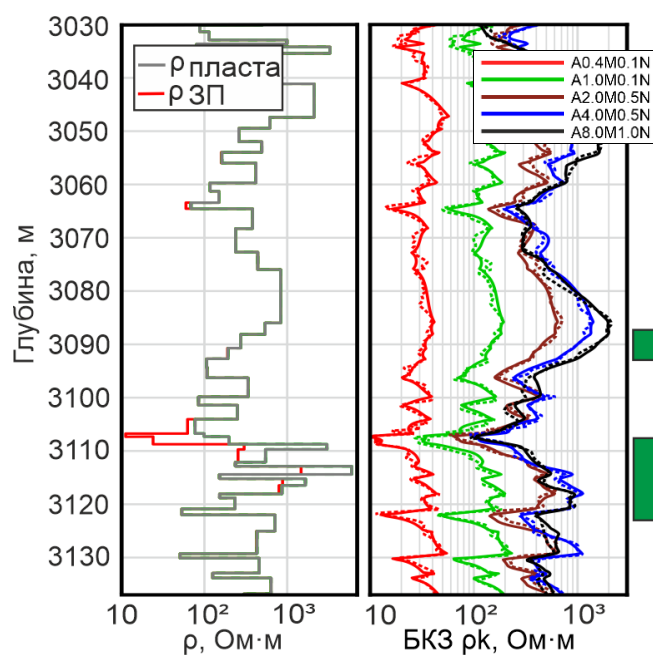


Рис. 5. Результат двумерной инверсии данных БКЗ в скважине Арчинского месторождения. Зеленые прямоугольники – интервалы перфорации.

Выводы

Информативность данных БКЗ в высокоомных отложениях во многом зависит от условий бурения и измерения, так как диагностическим признаком наличия потенциально продуктивного интервала является выявление в присква-

жинной области зон с пониженным относительно пласта УЭС, что вызвано раскрытием трещин и проникновением в них бурового раствора. В случае достаточной разницы давлений в скважине и пласте, при отсутствии аварийных ситуаций с фонтанированием пластовых флюидов или задавливанием больших объемов бурового раствора, интерпретация данных БКЗ может быть применена для поиска залежей углеводородов в аналогичных по свойствам отложениях, где сигналы БКЗ вертикальной трещины, проходящей через ось скважины, эквивалентно влиянию зоны проникновения с пониженным относительно неизменной части пласта УЭС.

Исследования выполнены в рамках проекта 0331-2019-0014 ФНИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каюров Н.К., Глинских В. Н., Сухорукова К.В. Характеристика сложнопостроенных палеозойских коллекторов Арчинского месторождения (томская область) по данным ГИС. 2016, С. 204-206.
2. Петров А. М. Быстрая совместная двумерная инверсия данных электромагнитных и гальванических каротажных зондирований с определением вертикального сопротивления. / Петров А. М., Нечаев О. В., Сухорукова К. В. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс: Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": т.4 – 2018. – С. 90-98.
3. Суродина И.В., Нестерова Г. В. Трехмерное численное моделирование показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ на графических процессорах // 16-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2014», 8–11 сентября 2014 г., Геленджик. – С. 4.
4. Суродина И.В., Параллельные алгоритмы для решения прямых задач электрического каротажа на графических процессорах // Математические заметки СВФУ, том 22, 2015, – С. 51-61.
5. Глинских В. Н., Каюров Н.К., Михайлов И. В., Нечаев О. В. Интерпретация данных электрических зондирований в карбонатных коллекторах доюрского фундамента юго-востока Западно-Сибирской плиты на основе двумерной численной инверсии (Арчинское месторождение) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – № 5. – С. 24–31.
6. Ельцов И. Н., Власов А. А., Соболев А. Ю., Фаге А.Н., Байкова М.А., Обработка, визуализация и интерпретация геофизических исследований в скважинах в системе EMF Pro Учебное пособие, 2016.

REFERENCES

1. Kayurov N.K., Glinskih V.N, Suhorukova K.V. Harakteristika slozhnopostroennyh paleozojskih kollektorov Archinskogo mestorozhdeniya (tomskaya oblast') po dannym GIS. 2016, S. 204-206.
2. Petrov A. M. Bystraya sovmestnaya dvumernaya inversiya dannyh elektromagnitnyh i gal'vanicheskikh karotazhnyh zondirovanij s opredeleniem vertikal'nogo soprotivleniya. / Petrov A. M., Nechaev O. V., Suhorukova K. V. // Interekspo GEO-Sibir': XIV Mezhdunarodnyj nauch-nyj kongress: Mezhdunar. nauch. konf. "Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Ekonomika. Geoekologiya": t.4 – 2018. – S. 90-98.

3. Surodina I.V., Nesterova G.V. Trekhmernoe chislennoe modelirovanie pokazanij zondov VIKIZ i BKZ na graficheskikh processorah // 16-ya nauchno-prakticheskaya konferenciya po voprosam geologorazvedki i razrabotki mestorozhdenij nefi i gaza «Geomodel' 2014», 8–11 sentyabrya 2014 g., Gelendzhik. – S. 4

4. Surodina I.V., Parallel'nye algoritmy dlya resheniya pryamyh zadach elektricheskogo karotazha na graficheskikh processorah//Matematicheskie zametki SVFU, tom 22, 2015, – S. 51-61.

5. Glinskih V.N., Kayurov N.K., Mihajlov I.V., Nechaev O.V. Interpretaciya dannyh elektricheskikh zondirovanij v karbonatnyh kollektorah doyurskogo fundamenta yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoj plity na osnove dvumernoj chislennoj inversii (Archinskoe mestorozhdenie) // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij. – 2017. – № 5. – S. 24–31.

6. El'cov I.N., Vlasov A.A., Sobolev A.YU., Fage A.N., Bajkova M.A., Obrabotka, vizualizaciya i interpretaciya geofizicheskikh issledovanij v skvazhinah v sisteme EMF Pro Uchebnoe posobie, 2016.

© *A. A. Лапковская, К. В. Сухорукова, А. М. Петров, И. В. Суродина, 2021*