

УДК 550.34

Исследование корреляции каротажных параметров, полученных при бурении скважин на соседних территориях с одинаковой геологической структурой, на примере скважин в округах Расселл и Эллис штата Канзас, США

П.Р. Ширяев, Г.А. Цветков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Пермь, Комсомольский пр., 29

E-mail: prshir@yandex.ru, zvetkov71043@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 29 марта 2016 г.)

На основании данных, предоставленных Канзасским геологическим обществом, проведен анализ каротажных параметров со скважин, расположенных в соседних округах Расселл и Эллис (штат Канзас, США), имеющих схожую геологическую структуру. Каротажные данные были обработаны: исключены выбросы и пропуски. После этого построены корреляционные матрицы между данными по ближнему, среднему и дальнему каротажу по каждой скважине, которые показали заметную корреляцию между данными по среднему и дальнему, а также по среднему и ближнему каротажу. Было отмечено, что, несмотря на схожую геологическую структуру округов, из-за общего наклона штата Канзас с запада на восток округ Эллис расположен выше округа Расселл, из-за этого скважина в округе Эллис начинается выше, чем в округе Расселл. Было определено смещение, на которое следует опустить формацию округа Эллис, чтобы каротажные параметры, полученные в нем, максимально коррелировали с каротажными параметрами из округа Расселл. При этом были получены коэффициенты корреляции по одинаковым каротажным параметрам в двух скважинах. Наиболее сильная корреляция оказалась по данным среднего каротажа и составила 0,425. Полученные результаты показывают, что при сходстве геологических структур округов каротажные параметры, полученные при бурении в них, также являются схожими.

Ключевые слова: *каротажные параметры, корреляционная матрица, бурение, формация.*

DOI: 10.17072/psu.geol.33.41

Геология Канзаса

Для сравнения каротажных данных, полученных при бурении, был выбран штат Канзас, США, ввиду наличия в открытом доступе большого набора данных, полученных при бурении скважин в штате, который предоставлен Геологической службой Канзаса [1].

Геологическая карта штата Канзас представлена на рис. 1. Разрез показывает, что территория штата наклонена с запада на восток. Основными ярусами являются меловой (есть только в западной половине штата), пермский, пенсильванский и докембрийский. В западной половине штата ярусы залегают практически горизонтально, а в восточной половине все находящи-

еся в ней ярусы, а именно докембрийский, кембрийско-ордовикский, силуро-девонский, миссисипский, пенсильванский и пермский, залегают под углом около 20° к горизонту.

Для сравнения выбраны данные скважин, расположенных в округах Расселл и Эллис. Расположение округов показано на рис. 2 (округа выделены жирным, округ Эллис слева, округ Расселл справа).

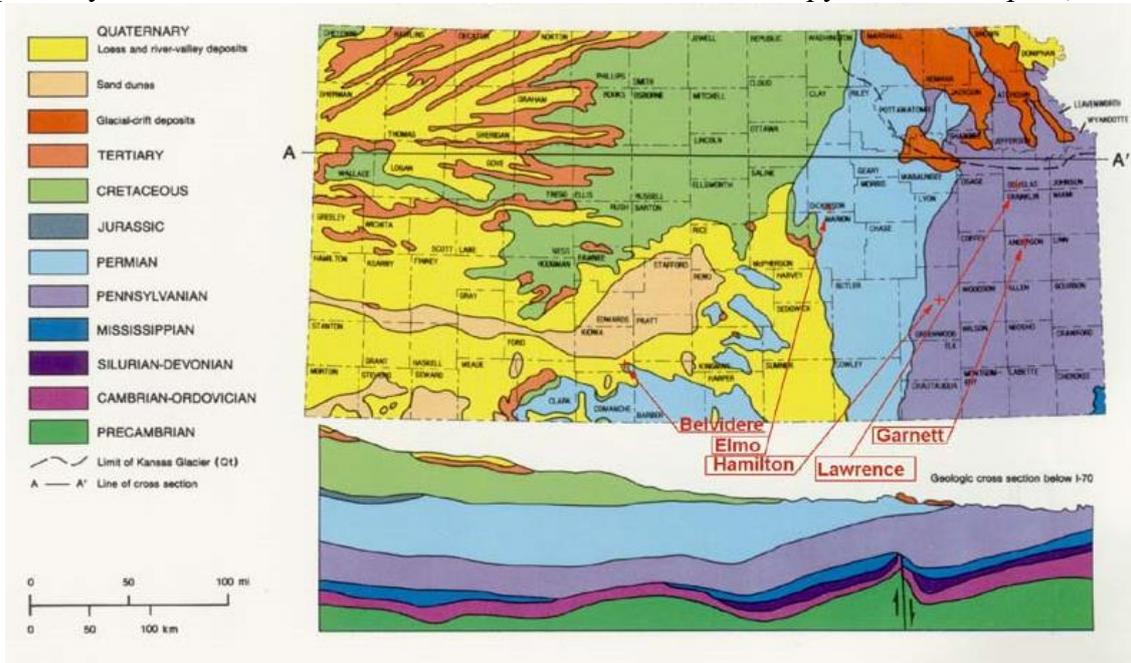


Рис. 1. Геологическая карта штата Канзас

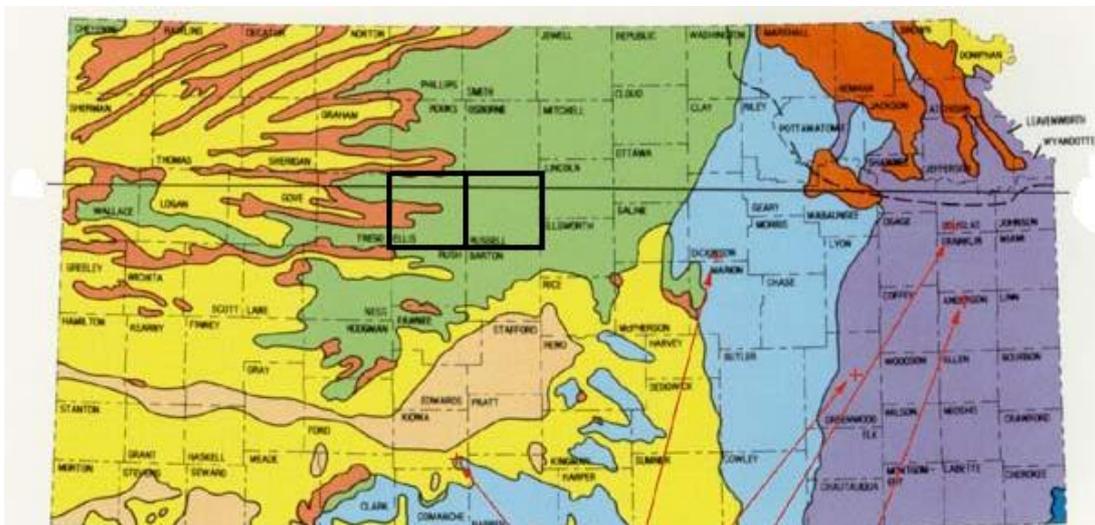


Рис. 2. Расположение округов Эллис и Расселл в штате Канзас

Округ Эллис в отличие от округа Расселл имеет третичный ярус небольшой мощности, обнажающийся на поверхности. Из-за общего наклона поверхности штата Канзас с запада на восток округ Эллис расположен выше округа Расселл. В остальном геология округов практически не отличается. Схожесть геологической структуры говорит о том, что каротажные

данные, полученные при бурении в том и другом округе, должны быть близкими [3, 4, 7, 9, 10].

Описание каротажных данных

Каротажные данные, полученные в разное время при бурении 259 скважин в штате Канзас, имеются в открытом досту-

пе на сайте Геологической службы Канзаса. Из всего набора выбраны данные двух скважин в двух соседних округах. Основ-

ная информация о скважинах представлена в табл. 1.

Таблица 1. Информация о рассматриваемых скважинах

Информативные данные	Скважина в округе Эллис	Скважина в округе Расселл
Стартовая глубина, футов	195	2106,5
Конечная глубина скважины, футов	3465	3341.75
Шаг записи данных в файл, футов	0,5	0,25
Компания, проводившая бурение	Carmen Schmitt Inc.	John O. Farmer Inc.
Дата записи в файл	2 сентября 2013 г.	21 июня 2013 г.
Каротажные параметры. Жирным шрифтом выделены параметры, записанные на обеих скважинах	Проводимость, сопротивление породы, спонтанный потенциал, кавернистость, объемная плотность, плотностная пористость, известняковая плотность, теоретическая плотность гранул, гамма-каротаж, показания микрокаверномера, акустическая плотность	Кавернистость, объемная плотность, нейтронная плотность, гамма-каротаж, сопротивление породы, спонтанный потенциал, показания микрокаверномера

Поскольку бурением занимались разные компании, то использовалось различное оборудование, которое записывало данные в файлы с разной частотой.

Из-за наклона поверхности штата Канзас с запада на восток скважина в округе Эллис расположена выше скважины в Расселле, но поскольку геологическая структура округов схожа, то конечная глубина скважин почти одинакова.

Геологическая служба Канзаса дает доступ к данным в том виде, в котором те были получены, поэтому для анализа данных нужно предварительно провести их обработку, чтобы устранить выбросы. В рассмотренных файлах встречаются выбросы двух типов: во-первых, когда каротажная система в бурильной колонне не может определить значение какого-либо параметра, она записывает в файл специальное значение -999,25, свидетельствующее об отсутствии данных в данной точке, а во-вторых, в файл может быть записано значение, явно превышающее максимально возможное и сильно отличающееся от значений в близлежащих точках. Во втором случае имеет место выброс.

Оба случая в данной работе были обработаны одинаково: невалидные значения были заменены на 0.

Анализ данных электромагнитного каротажа

Данные о проводимости породы – это данные ближнего, среднего и дальнего электромагнитного каротажа.

По обработанным данным были построены графики в пакете MATLAB (рис. 3 и 4). Анализ рисунков показывает, что, во-первых, данные по трем видам каротажной существенно отличаются друг от друга, а во-вторых, ближний электромагнитный каротаж наиболее эффективно определяет нефтеносные пласты.

Для количественной оценки связи трех видов каротажа был проведен корреляционный анализ и получены корреляционные матрицы (табл. 2 и 3).

Данные обеих таблиц говорят о том, что корреляция между данными по среднему и дальнему каротажу, а также по ближнему и среднему каротажу заметна, а корреляция между данными по ближнему

и среднему каротажу выражена слабее. Качественный анализ рис. 3 и 4 показывает, что для поиска нефтеносных пластов больше всего подходит ближний каротаж,

поскольку его показания при входе в нефтеносный слой начинают значительно изменяться, тогда как показания среднего и дальнего каротажа изменяются слабее.

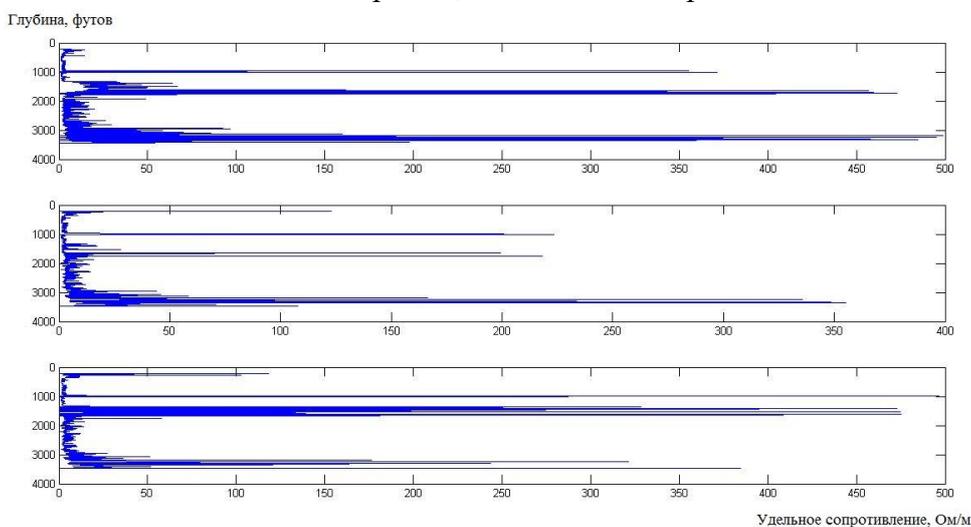


Рис. 3. Каротажные данные из округа Эллис

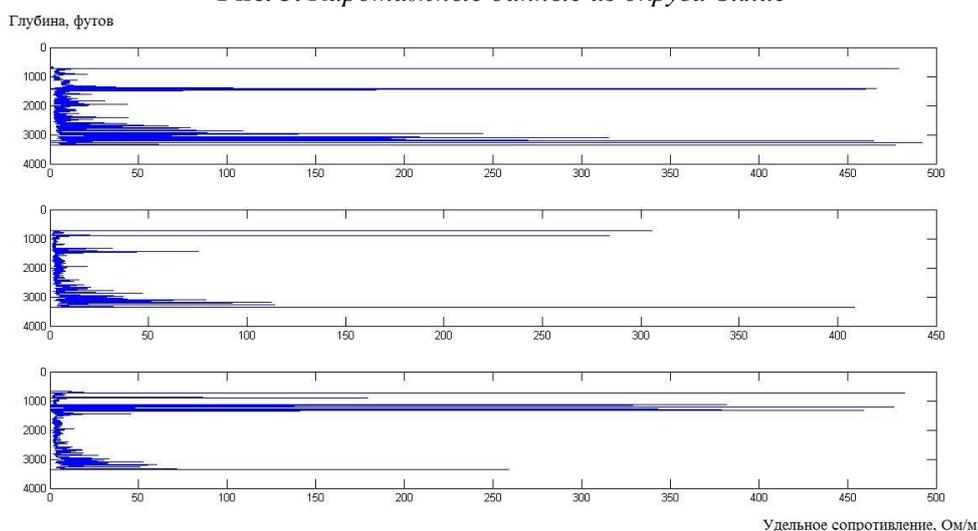


Рис. 4. Каротажные данные из округа Расселл

Таблица 2. Корреляционная матрица каротажных параметров скважины округа Эллис

	Ближний каротаж	Средний каротаж	Дальний каротаж
Ближний каротаж	1	0,4275	0,2845
Средний каротаж	0,4275	1	0,5911
Дальний каротаж	0,2845	0,5911	1

Таблица 3. Корреляционная матрица каротажных параметров скважины округа Расселл

	Ближний каротаж	Средний каротаж	Дальний каротаж
Ближний каротаж	1	0,4630	0,3006
Средний каротаж	0,4630	1	0,4574
Дальний каротаж	0,3006	0,4574	1

Однако при этом дальний каротаж более точно указывает на глубину залегания пласта, поэтому при бурении используют все три вида электромагнитного каротажа в комплексе.

Сравнительный анализ двух скважин по каротажным данным

Для проведения сравнительного анализа каротажные данные были обработаны еще раз. Во-первых, была исключена часть скважины в округе Эллис, которая находится выше начала скважины в округе Расселл. Во-вторых, были удалены выбросы: если на одной глубине хотя бы в одном из трех параметров каротажа в любой из двух скважин присутствовал 0 (при первой обработке данных нулем были помечены выбросы и невалидные значения), то из набора исключались все данные для этой глубины. В-третьих, поскольку частота записи на скважине в округе Расселл была в два раза выше, чем в округе Эллис, из данных для округа Расселл были исключены измерения, сделанные на глубинах, кратных $\frac{1}{4}$ фута. После этого данные стали максимально пригодными для анализа.

Данные содержали разное количество точек, потому что глубина скважин различна: данные со скважины округа Расселл на 158 точек больше. Эта разница в числе точек позволяет провести следующий корреляционный анализ: если последовательно сдвигать данные для округа Эллис (более короткий набор) вниз на одну точку и для каждого положения считать коэффициент корреляции (всего 158 коэффициентов), то смещение при максимальном коэффициенте корреляции покажет, насколько смещена формация в районе одной скважины по отношению к формации в районе другой скважины.

Для того чтобы провести корреляционный анализ, описанный выше, нужно убедиться, что формации в двух скважинах родственны, иначе вычисление корреляции будет показывать только случайную связь.

Графики каротажных параметров на наборах данных после окончательной об-

работки имеют вид, представленный на рис. 5. Первые три графика – данные по ближнему, среднему и дальнему каротажу в округе Эллис, вторые три графика – аналогичные показатели в округе Расселл. Видно, что характер каждой пары графиков одного вида каротажа в двух округах одинаков. Можно подтвердить это статистически, рассчитав коэффициенты корреляции между одинаковыми параметрами из разных скважин. Но поскольку сейчас в файлах разное количество точек, то для вычисления коэффициентов корреляции необходимо убрать часть точек из большего файла, чтобы оставшееся количество точек в обоих файлах было одинаковым. Поэтому было вычислено смещение (сколько точек из начала и из конца файла с большим количеством данных нужно убрать, чтобы получился максимальный коэффициент корреляции), а при его расчете были получены коэффициенты корреляции. Графики зависимостей корреляции от смещения изображены на рис. 6. На верхнем графике представлена зависимость для ближнего каротажа, на среднем – для среднего, на нижнем – для дальнего. Видно, что коэффициент корреляции максимален при смещении в 54 фута для всех видов каротажей. Это значит, что формация округа Эллис при смещении на 54 фута вниз максимально похожа на формацию округа Расселл по каротажным данным.

Кроме того, можно отметить, что корреляция при смещении в 54 фута для среднего каротажа достаточно велика (0,425), для ближнего тоже выражена, но слабее (около 0,3), а для дальнего достаточно мала (0,15), хотя и является максимальной при всех возможных смещениях. Каротажные приборы могут иметь существенную погрешность, что рассматривается в источниках [2, 6, 8], которые основываются на [5].

Полученные коэффициенты корреляции между каротажными параметрами позволяют говорить, что формации в округах Расселл и Эллис являются схожими.

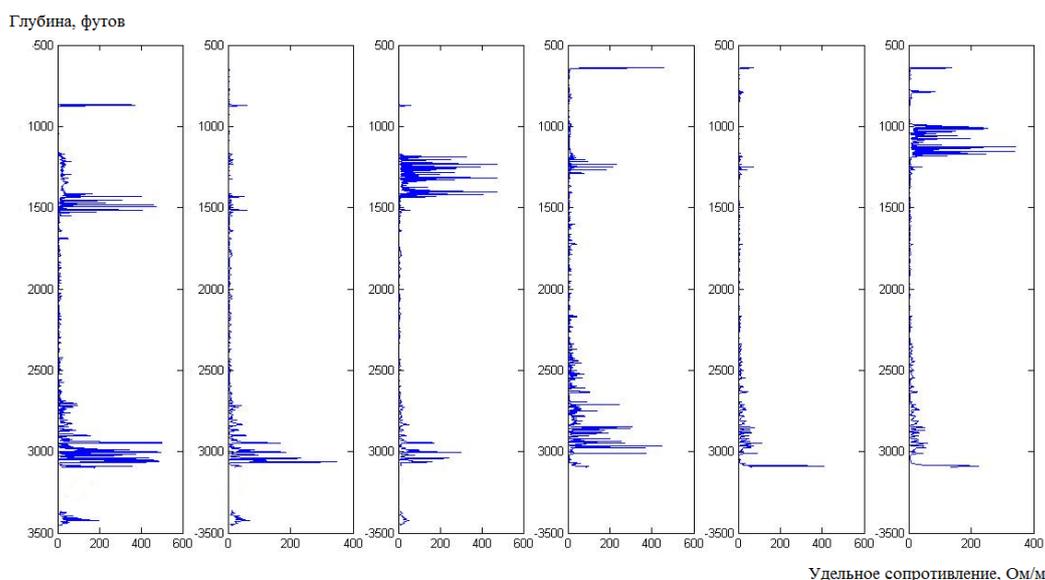


Рис. 5. Каротажные параметры после окончательной обработки наборов данных

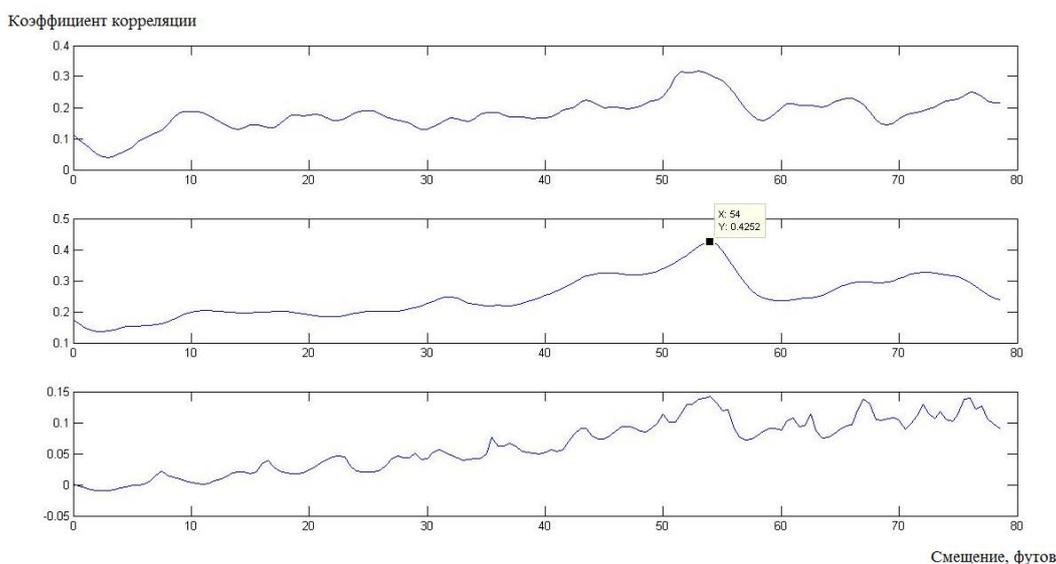


Рис.6. Зависимость коэффициентов корреляции от смещения

Выводы

Были рассмотрены каротажные данные, полученные при бурении скважин в округах Эллис и Расселл в штате Канзас, США, предоставленные Канзасским геологическим обществом. Поскольку округа граничат друг с другом и согласно геологической карте имеют практически одинаковую геологическую структуру, предполагалось, что каротажные данные, полученные при бурении в этих округах, будут похожими. В пакете MATLAB авторами были обработаны каротажные данные: исключены пропуски и выбросы из

всех рассматриваемых наблюдений. Из-за общего наклона территории штата Канзас с запада на восток скважина в округе Эллис начинается выше, чем в округе Расселл. Поэтому для компенсации разности высот был проведен поиск смещения в формации, при котором каротажные параметры, полученные в двух скважинах, коррелируют наиболее сильно. Было получено, что наибольшие коэффициенты корреляции достигаются при смещении формации округа Эллис на 54 фута вниз. При этом коэффициент корреляции данных среднего каротажа составляет 0,425, что указывает на существующую зависи-

мость одних показаний от других и на то, что свойства формаций в округах Расселл и Эллис сильно схожи.

Библиографический список

1. URL:<http://www.kgs.ku.edu/Magellan/Logs/>.
2. Кожевников Д. А. Проблемы интерпретации данных ГИС // Каротажник. Тверь: 1997. Вып. 34. С. 13–24.
3. Кожевников Д. А., Коваленко К. В., Лазуткина Н. Е. и др. Адаптивная интерпретация данных геофизических исследований скважин в моделировании месторождений нефти и газа // Нефтяное хозяйство. 2011. № 4. С. 80–84.
4. Латышова М. Г., Мартынов В. Г., Соколова Т. Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: учеб. пособие для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. 327 с.
5. Патент US 7,948,238 В2. Прибор с наклонной антенной, определяющий свойства формаций (толщи пород) при сопро- тивлении электромагнитной волны. 2011.
6. Цветков Г.А., Егоров М.А., Ширяев П.Р. Разработка технологии, основанной на применении волоконно-оптических датчиков, для повышения качества бурения скважин // Каротажник. 2014. Вып. 10 (244). С. 94 – 100.
7. Шао Цайжуй, Цао Сяньцзюнь, Чжан Фумин, Шумилов А.В. Каротаж в процессе бурения и технология управляемой проводки наклонно направленных и горизонтальных скважин // Геофизика. 2015. Вып. 5. С. 68 – 76.
8. Ширяев П.Р., Савич А.Д., Цветков Г.А. Повышение точности определения значений удельного электрического сопротивления и углов относительного наклона при геонавигации // Каротажник. 2015. Вып. 14 (256). С. 123 – 131.
9. Эланский М. М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин. М.: ГЕРС, 2001.
10. Эпов М. И., Глинских В. Н. Электромагнитный каротаж: моделирование и инверсия. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2005. 98 с.

Study of Correlation of Logging Parameters Obtained from the Wells Drilled on Two Nearby Areas with the Same Geological Structure. An Example of Counties Russell and Ellis, Kansas State, USA

P.R. Shiryaev, G.A. Tsvetkov

Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolskiy Ave., Perm 614000, Russia. E-mail: prshir@yandex.ru, zvetkov71043@mail.ru

Based on the data shared by Kansas geological survey, the analysis of logging parameters from the wells located in nearby Counties Russell and Ellis located in the Kansas State, USA was performed. These counties have the similar geological structure. Data obtained in Kansas geological survey were processed to delete the gaps and other inconsistent readings. Then the correlation matrixes were calculated showing correlation between shallow, medium and deep logging in each well. Correlation matrixes demonstrated significant correlation between medium and deep logging, and medium and shallow logging because of similar geological structure. Ellis County is located at higher elevation than Russell County hence well top in Ellis County is at the higher elevation than well top in Russell County. We determined the depth shift, for which the maximum correlation between logging parameters in both wells (in Russell and Ellis Counties) was observed. In addition, the correlation coefficients for the same logging parameters in two wells were received. The strongest correlation coefficient of up to 0.425 was obtained between medium logging in two wells. The results of study show that if the geological structures are similar the logging parameters obtained from the wells in these areas are also similar.

Key words: *logging parameters; correlation matrix; drilling; formation.*

References

1. URL:<http://www.kgs.ku.edu/Magellan/Logs/> (Accessed 03.20.2016).
2. Kozhevnikov D.A. 1997. Problemy interpretatsii dannykh GIS [Problems of borehole logging data interpretation]. Karoyazhnik, 34:13-24. (in Russian)
3. Kozhevnikov D.A., Kovalenko K.V., Lazutkina N.E. et al. 2011. Adaptivnaya interpretatsiya dannykh geofizicheskikh issledovaniy skvazhin v modelirovanii mestorozhdeniy nefi i gaza [Adaptive interpretation of geophysical survey data in oil and gas fields modeling]. Neftyanoe khozyaystvo. 4:80-84. (in Russian)
4. Latyshova M.G., Martynov V.G., Sokolova T.F. 2007. Prakticheskoe rukovodstvo po interpretatsii dannykh GIS [Practical guide for borehole logging data interpretation]. p. 327. (in Russian)
5. Patent US7948238 B2 Electromagnetic wave resistivity tool having a tilted antenna for determining properties of earth formations, 2011
6. Tsvetkov G.A., Egorov M.A., Shiryaev P.R. 2014. Razrabotka tekhnologii, osnovannoy na primenenii volokonno-opticheskikh datchikov, dlya povysheniya kachestva bureniya skvazhin [Development of technology based on fiber-optics sensors application for increasing of well drilling accuracy]. Karotazhnik. 10(244):94 – 100. (in Russian)
7. Shao CaiRui, Cao XianJun, Zhang FuMing, Shumilov A.V. 2015. Karotazh v protsesse bureniya i tekhnologiya upravlyаемoy provodki naklonno napravlennykh i gorizontalnykh skvazhin [Logging while drilling and geosteering technology for inclined or horizontal boreholes]. Geofizika. 5:68-76. (in Russian)
8. Shiryaev P.R., Savich A.D., Tsvetkov G.A. 2015. Povyshenie tochnosti opredeleniya znacheniy udelnogo elektricheskogo soprotivleniya i uglov odnositel'nogo naklona pri geonavigatsii [Improvement of accuracy of determining the resistivity and angles of relative inclination for geosteering]. Karotazhnik. 14(256):123 – 131. (in Russian)
9. Ellanskiy M.M. 2001. Petrofyzicheskie osnovy kompleksnoy interpretatsii dannykh geofizicheskikh issledovaniy skvazhin [Petrophysical basics of integrated interpretation of well logging data]. Tutorial.
10. Epov M.I., Glinskikh V.N. 2005. Elektromagnitnyy karotazh: modelirovanie i inversiya [Electromagnetic logging: modeling and inversion] Geo, Novosibirsk, p. 98. (in Russian)