

ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 550.832.76

Использование метода электрического микросканирования для привязки полноразмерного керна

Е.С. Зрячих^{a,b}, М.С. Сергеев^b, А.А. Чугаева^b, А.М. Лапоногов^b

^aПермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: ant_elena@bk.ru

^bФилиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», 614066, Пермь, ул. Советской Армии, 29. E-mail: permnipineft@pnn.lukoil.com

(Статья поступила в редакцию 18 декабря 2017 г.)

Показана возможность привязки полноразмерного керна по данным высокоразрешающего метода электрического микросканирования, запись которого произведена отечественным прибором КарСар МС-110. За счет комплексирования прямого и косвенного методов исследования скважин можно получить точную ориентацию трещин, параметры по их раскрытости, длине и заполненности. Проанализированы результаты исследований скважин Пермского Прикамья.

Ключевые слова: *электрический микросканер, ориентированный керн, комплексирование, трещиноватость, элементы залегания.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.1.33

Введение

По сравнению с отбором керна электрические имиджи экономят время бурения, могут быть получены в сколь угодно длинных интервалах, обеспечивают точную увязку по глубине, позволяют определять углы и азимуты элементов залегания отложений. Отбор полноразмерных образцов азимутально ориентированного керна обладает большей достоверностью в условиях неоднородностей минералогического состава и строения пустотного пространства и проводится, помимо определения ориентации элементов залегания, для определения анизотропии проницаемости и упруго-механических свойств пород. По данным В.Н. Николаевского (Милановский, Николаевский, 2009), проницаемость реальной трещинной среды на

три порядка превышает проницаемость образцов. Для оптимальной разработки трещинных резервуаров нефти необходимо знание структуры и свойств трещинного пространства, для этого необходимо использовать максимум информации – комплексирование прямых и косвенных методов исследования ГИС.

Метод электрического микросканирования

Скважинный электрический микросканер КарСар МС-110 предназначен для получения изображения стенки скважины методом электрических сопротивлений с целью определения наклона пластов, расположения трещин, структуры осадочных пород (тектоника), исследования тонкослоистых структур. Скважинный микро-

сканер КарСар МС-110 является первым российским прибором ЭМС. В состав прибора входят модуль памяти, модуль

непрерывного инклинометра, модуль сканера. Схема прибора представлена на рис.1.

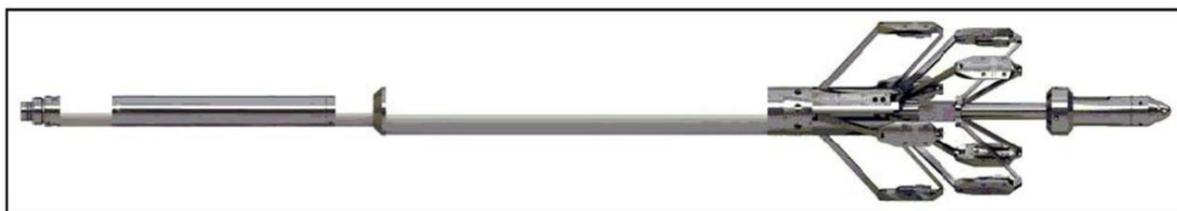


Рис.1. Прибор электрического микросканирования КарСар МС-110

На планшетах, после обработки данных МС-110, получаем имидж-развертку скважины, отображающую удельное электрическое сопротивление породы – более светлый цвет изображения соответствует более высокому сопротивлению, темный – более низкому.

Для получения прямых признаков присутствия и распределения углеводородов, оценки продуктивности скважин, изучения изменчивости характеристик пласта-коллектора используются данные керн. Однако использование этих данных не позволяет определить параметры пласта без искажений, т. к., во-первых, это точечные измерения и следует учесть существующие проблемы с привязкой образца к глубине выноса, а также искажения, возникающие при неполном восстановлении пластовых условий. Во-вторых, одним из наиболее значимых недостатков использования данных керна является то, что процесс полного многоэтапного анализа занимает достаточно много времени. В-третьих, отбор керна проводится не по всему разрезу скважины, а чаще всего в интервалах детальных исследований, что дает поверхностное представление о последовательности залегания пластов, типе, наклоне, масштабе текстур слоистости. В-четвертых, отбор керна является экономически затратным мероприятием по сравнению с исследованиями ГИС (Андерсен, Дункан, 2013).

Наиболее надежным источником информации для понимания структуры залежи являются прямые измерения на азимутально ориентированном керновом ма-

териале. Наиболее информативными методами изучения трещиноватости на керне являются:

- оптико-микроскопическое изучение микротрещин по шлифам с определением количественных характеристик параметров трещиноватости: трещинной пористости, трещинной проницаемости, объемной плотности трещин;

- определение пространственной ориентации трещин (азимут простирания, угол падения) путем оцифровки трещин и элементов залегания с использованием специального оборудования – полуавтоматического гониометра;

- получение изображения поверхности колонки полноразмерного керна в дневном и ультрафиолетовом свете с разверткой на 360 градусов с дальнейшей оцифровкой элементов залегания отложений.

Параметры макротрещиноватости оцениваются на полноразмерном керне. Однако необходимым условием проведения измерений количественных параметров трещиноватости является наличие ориентации керна (Полушина и др., 2013).

Поскольку стоимость отбора ориентированного керна в разы дороже стандартного отбора керна можно рекомендовать ориентировать обычный полноразмерный керн по электрическому имиджу. ЭМС является керноподобным изображением ствола скважины и дает важную информацию о структурно-текстурных признаках пород, характере напластования, структурном залегании разреза, естественной и техногенной трещиноватости непосредственно в скважине, где можно

максимально точно определить пространственное положение элементов. Сопоставляя эти данные с керном, можно выявить различные особенности разреза, сопоставить текстурные элементы, трещины, включения и, привязавшись к керну, в дальнейшем более точно истолковывать имеющиеся электрические неоднородности.

В отличие от керна, по методу ЭМС есть возможность отделить элементы залегания типа «пласт» от элементов залегания типа «трещина», поскольку при исследовании мы наблюдаем УЭС породы в ее естественном залегании. Осадки, сформированные при низкой энергетической обстановке, имеют синхронное залегание – общий региональный наклон (повторяющийся угол и азимут), трещины же могут иметь различные углы наклона и падения. По керну отделить природу раскола – «пласт»/«трещина» либо механическое влияние бурения/подъема образца – затруднительно.

Техногенные трещины часто группируются в системы и имеют одинаковое направление. Они могут изменять направление в зависимости от присутствия локального напряжения, отличного от регионального напряжения. Естественные трещины заметно отличаются и представляют собой более рассеянное распределение как по величине угла падения, так и по азимуту. Задачу классификации естественных и техногенных трещин также можно решить с помощью метода ЭМС.

Преимуществом имиджинга в сравнении с керном является и то, что метод экономит время бурения, имеет большую представительность, высокое вертикальное и горизонтальное разрешение, а также обеспечивает точную увязку по глубине, но по сравнению с керном по ЭМС невозможно определить проницаемость, размеры зерен, минералогию.

На рис. 2 представлен пример сопоставления имиджа с образцами керна. В интервале турне-фаменских низкопористых карбонатных отложений по данным ЭМС наблюдаются проводящие и частич-

но проводящие субвертикальные (74-89°) трещины и хаотично направленные трещины, Nt (коэффициент охвата трещиноватости) в $D3fm$ – 0.249 д.ед. По данным экспресс-описания керна – известняки трещиноватые с выпотами нефти по трещинам. Трещинный интервал 1755.2-1776.8 м, не прошедший по критическим значениям как коллектор, был рекомендован для опробования.

Сопоставляя данные ЭМС с керном, можно выявить различные особенности разреза, выделить текстурные элементы, трещины, включения и в дальнейшем истолковывать электрические неоднородности.

Сравнение имиджа с керном показывает применимость данных электрического микросканирования для выделения границ продуктивных пластов. Трещины, формирующие эффективную пустотную емкость на керне реального размера (диаметром не более 100 мм) не могут быть изучены из-за раскалывания по ним образцов. Эту задачу можно решить методом ЭМС. Он даёт возможность дополнения и уточнения неполных данных керна, а при отсутствии проб керна имиджи могут стать его эффективной альтернативой для решения некоторых задач.

В рамках научно-исследовательской работы (Лапоногов, Кубарев, 2016) была сделана проверка возможности азимутальной привязки керна по электрическому имиджу.

На первом этапе с имиджем электрического сканера был сопоставлен ориентированный керн. Подобное сопоставление в 2012 г. было проведено в институте «ТатНИПИнефть» по ориентированному керну и зарубежному сканеру MCI (рис. 3).

По итогам экспериментальной работы (Лапоногов, Кубарев, 2016) специалистами «ПермНИПИнефть» на основе возможности сопоставления этих двух методов был предложен способ азимутальной ориентировки обычного керна по имиджу ЭМС. Его суть заключается в круговом

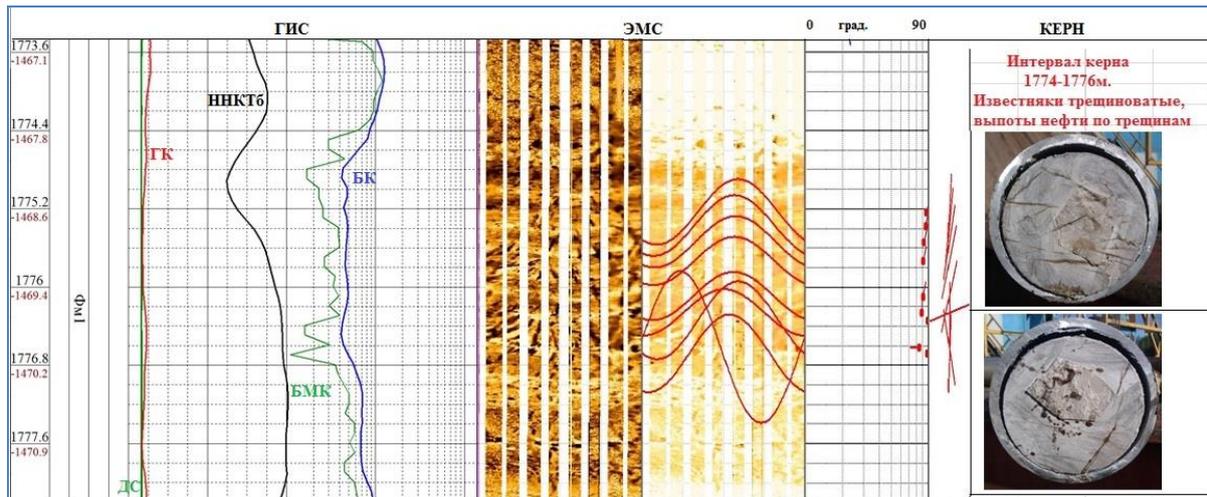


Рис. 2. Лесное месторождение, скв. 514. Интервал D3ft. Сопоставление имиджа ЭМС с фотографиями и описанием керна

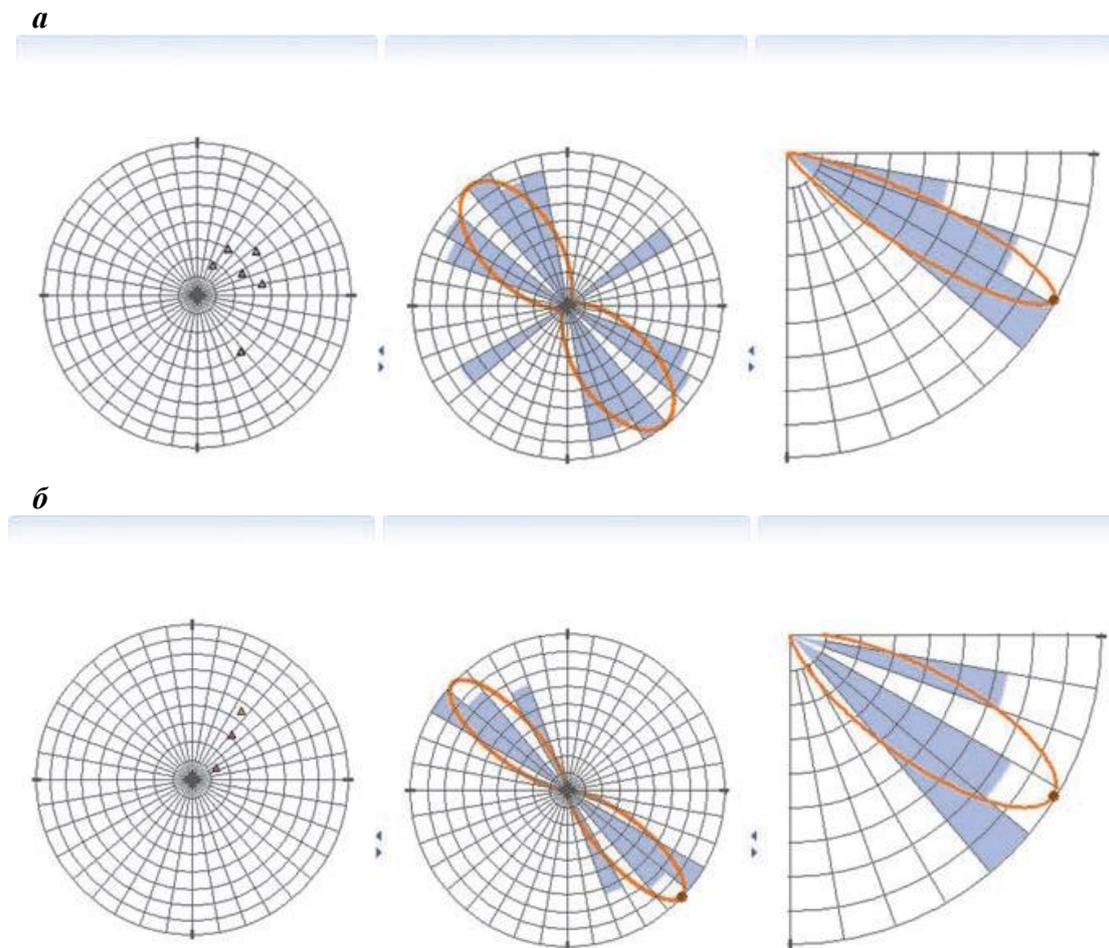


Рис. 3. Сопоставление элементов залегания трещин по керну и методу МСИ: а – диаграммы трещиноватости, построенные по данным ориентированного керна, б – диаграммы трещиноватости, построенные по данным МСИ (Мусин и др., 2013)

фотографировании полноразмерного керна с дальнейшей увязкой по реперным элементам залегания с ориентированным имиджем электрического микросканера, имеющего высокое разрешение (около 2.5 см).

Ниже на рис. 4 приведен пример такого сопоставления. Керн по скв. 401 Левинского месторождения отобран в отложениях турнейского яруса (интервал 1513.0–1520.0 м), электрическое микросканирование проведено в интервале 1395.0–1714.0 м. Изображения керна и имиджа совмещались с учетом поправки по результатам гамма-сканирования керна. По керну и по данным микросканера в интервале 1515.1–1515.7 м определена вертикальная частично проводящая трещина, имеющая преимущественно юго-западное направление падения. По данным макроописания керна стенки трещины имеют примазки битуминозной нефти и следы трения, раскрытие трещины произошло в результате техногенного воздействия. Структурный наклон пластов, определенный по данным ЭМС, не противоречит данным керна, по обоим методам

преобладает северное направление падения напластования.

Сравнительные параметры элементов залегания по исследуемой скважине представлены в табл. 1 и 2.

При интерпретации имиджей стоит учитывать тот факт, что размеры элементов залегания по вертикали (видимая раскрытость на имидже) не характеризуют их истинных значений, это связано с эффектом контрастности электрических свойств. Объект более выражен, если его сопротивление в разы меньше сопротивления вмещающих пород. Такой эффект часто наблюдается при проникновении фильтрата низкоомной промывочной жидкости в породу по плоскостям напластования, а также при наличии зон трещиноватости.

Потери информации на имидже могут быть из-за вывалов, желобов и прочих скважинных условий, когда прижимной зонд неплотно прилегает к стенке скважины. Но при этом они позволяют получать другую информацию – направление бокового напряжения горной породы, вскрываемой скважиной.

Таблица 1. Параметры элементов залегания, полученные по данным керна

Глубина по керну, м	Элемент залегания	Угол наклона по керну, °	Азимут падения по керну, °	Стратиграфия
1513.17	Пласт	3	10	C _{1t}
1514.25	Пласт	2	346	
1514.88	Пласт	6	48	
1515.1-1515.7	Трещина	89	260	
1518.68	Пласт	4.7	20.04	

Таблица 2. Параметры элементов залегания, полученные по данным ЭМС

Глубина по ЭМС, м	Элемент залегания	Угол наклона по ЭМС, °	Азимут падения по ЭМС, °	Стратиграфия
1512.3	Пласт	7	346	C _{1t}
1514.18	Пласт	4	343	
1515.48	Трещина	89	210	
1516.2	Пласт	1.5	339	
1517.13	Пласт	1	8	

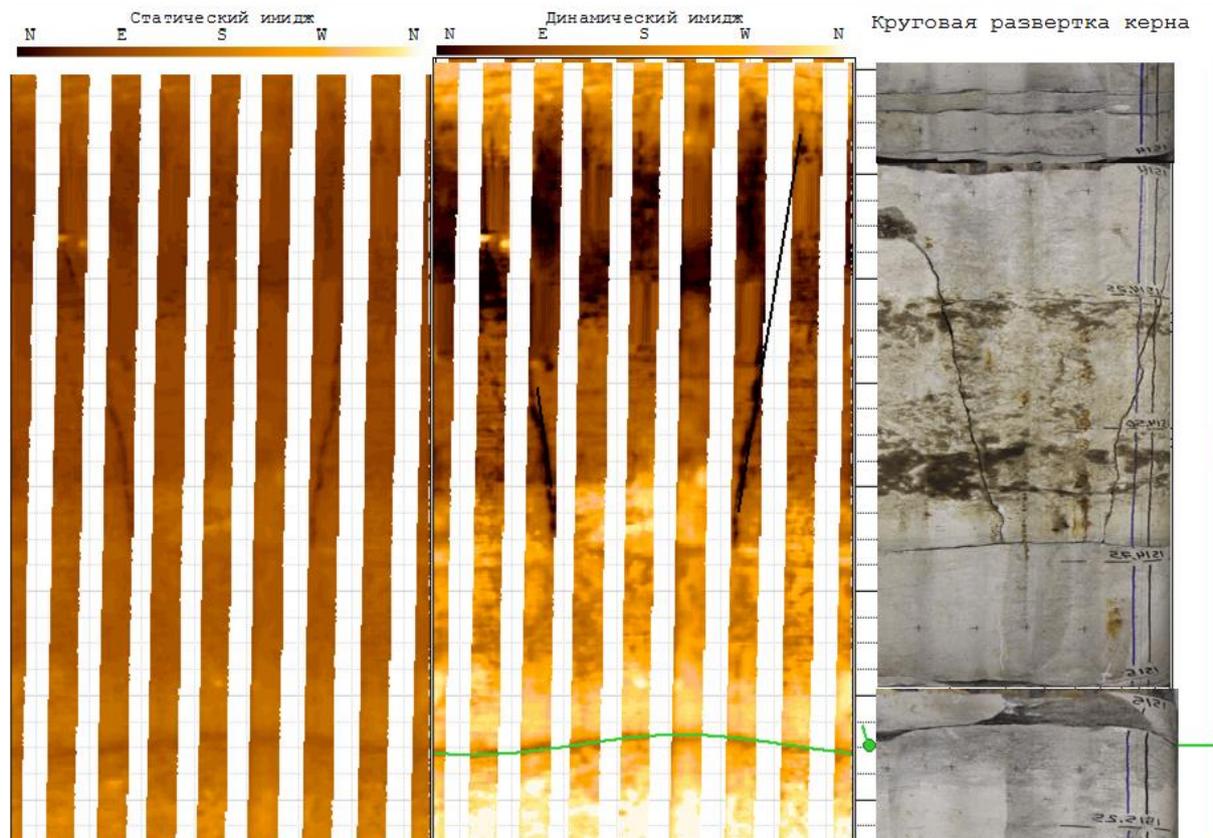


Рис. 4. Сопоставление данных электрического микросканирования (МС-110) и круговой фотографии ядра по скважине 401 Левинского месторождения

Еще одной из неопределенностей при интерпретации имиджей является проблема разделения трещин на проводящие и непроводящие, т. к. пониженными сопротивлениями в карбонатных отложениях могут выделяться трещины, залеченные низкоомным, в основном глинистым, материалом. Сопоставление данных имиджа и ядра позволяет решить эту проблему: по раскрытым трещинам ядро, как правило, разрушено.

Не секрет, что на интерпретацию имиджей большое влияние оказывает качество обработки – выделение синусоид элементов залегания в используемом программном продукте. В специализированных программах обработки имиджей существует возможность увеличения масштаба до 1:5 без потери информации. Сопоставление имиджа в крупном масштабе с круговыми фотографиями ядра позволит избежать ошибок, возникающих при оперативной обработке, которая порой

зависит не только от качества самого имиджа, но и квалификации интерпретатора. При сопоставлении фотографий ядра с картинкой имиджа можно не только провести азимутальную ориентацию ядра, но и уточнить фаціальную обстановку отложений, тип слоистости, тип трещиноватости (тектоническая, стилолитовая или техногенная), сверить количественные характеристики – углы и азимуты напластований и трещин.

Если во всех скважинах проводить совместно с отбором ядра запись ЭМС, а также фотографировать поверхности колонки ядра с разверткой в 360° (для получения качественного изображения необходима специальная установка кругового сканирования ядра), то становится возможной процедура азимутальной привязки ядра по имиджам ЭМС, что позволит, например, измерять анизотропию свойств на полноразмерных образцах ядра (Лапоногов, Кубарев, 2016).

Важно заметить, что в результате накопления достаточного количества данных по керну и имиджам в разных геологических и технологических условиях, возможна детальная настройка данных ГИС для наиболее эффективной интерпретации, а именно решения таких задач, как количественное определение раскрытости трещин, трещинной пористости, каверновой пористости, разделение вторичной пористости на изолированную и открытую, определение анизотропии пород-коллекторов.

Заключение

Совместный анализ имиджей с другими геофизическими методами и результатами анализа керновых данных является особенно полезным на начальных этапах разработки месторождения в целях построения его точной модели. Он даёт возможность настраивать рабочий процесс под решение узконаправленных задач и делает данный вид комплексирования перспективным направлением ГИС.

В перспективе методика сопоставления данных керна и современных методов ГИС, таких как ЭМС, ЛПК, позволит получить уникальную для практики геофизических исследований скважин информацию, т. к. для детального изучения коллекторов недостаточно методики, работа-

ющей в одном направлении, необходим разносторонний подход.

Библиографический список

- Андерсен М., Дункан Б.* Анализ керна: истина в последней инстанции при оценке характеристик пласта. *Oilfield Review* 25. №2 (Summer 2013).
- Лапоногов А.М., Кубарев В.Г.* Азимутальная привязка полноразмерного керна по данным электрического микросканирования // Направление А: Геология и геофизика. Маркшейдерия, геодезия, топография: сб. тезисов XIII Конкурса молодых работников ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» на лучшую научно-техническую разработку 2017 г. / ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ. 2017. С. 13.
- Милановский С.Ю., Николаевский В.Н.* Роль трещиноватости в эволюции земной коры // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: матер. докл. Всерос. конф. в 2 т. / ИФЗ РАН. М., 2009. Т. 2. С. 71-103.
- Мусин К. М., Сингатуллина Р. Р., Хусаинов В. М.* Комплексный подход к изучению трещиноватости карбонатных коллекторов // *Neftegaz.ru*. 2013. URL: <http://neftgaz.ru/science/view/898-Kompleksnyj-podhod-k-izucheniyu-treschinovatosti-karbonatnyh-kollektorov>.
- Полушина А.Д., Абдуллин Р.Н., Рахматуллина А.Р.* Исследование трещиноватости горных пород методом электрического микросканирования // *Каротажник*. Тверь, 2013. № 10 (232). С. 43-57.

Using the Method of Electrical Microscanning for Referencing a Full-Length Core

E.S. Zryachikh^{a,b}, M.S. Sergeev^b, A.A. Chugaeva^b, A.M. Laponogov^b

^aPerm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614000, Russia. E-mail: ant_elen@bk.ru

^bBranch of ООО LUKOIL-Engineering PermNIPIneft, Perm 614000, Russia

In this article, we show the possibility of referencing a full-length core using the data of a high-resolution electrical microscanning method, which were obtained by the Russian-made instrument KarSar MC-110. Due to the combination of direct and indirect methods of well investigation, it is possible to determine an accurate orientation of the fractures, to tie the parameters related to the openness, length and filling of the fractures.

The analysis of the results of the conducted studies is shown on the examples of the wells of the Perm region.

Key words: *electric microscanner, oriented core, integration, fracturing, elements of bedding.*

References

- Andersen M., Duncan B., McLin R.* 2013. Core Truth in Formation Evaluation. *Overfield Review*. 25(2):16-25.
- Laponogov A.M., Kubarev V.G.* 2017. Azimutalnaya privyazka polnorazmernogo kerna po dannym elektricheskogo mikroskanirovaniya [Azimuthal referencing of full-length core using electrical microscanning data]. In *Geologiya i geofizika. Marksheideriya_ geodeziya_ topografiya. Sbornik tezisov XIII Konkursa molodykh rabotnikov na luchshuyu nauchno tehnikeskuyu razrabotku 2017 goda.* (in Russian)
- Milanovskiy S.Yu., Nikolaevskiy V.N.* 2009. Rol treshchinovatosti v evolyutsii zemnoy kory [The role of fracturing in the Earth crust evolution]. In *Tektonofizika i aktualnye voprosy nauk o Zemle. Materialy dokladov Vserossiyskoy konferentsii.* Moskva, IFZ RAN, 2:71_103. (in Russian)
- Musin K.M., Singatullina R.R., Husainov V.M.* 2013. Kompleksnyy podkhod k izucheniyu treshchinovatosti karbonatnykh kollektorov [Complex approach to the study of carbonate reservoirs fracturing]. *Jurnal Neftegaz.ru*. UPL: <http://neftegaz.ru/science/view/898-Kompleksnyj-podhod-k-izucheniyu-treshchinovatosti-karbonatnyh-kollektorov>. (in Russian) (accessed 01.03.2018)
- Polushina A.D., Abdullin R.N., Rakhmatullina A.R.* 2013. Issledovanie treshchinovatosti gornyykh porod metodom elektricheskogo mikroskanirovaniya [Investigation of rocks fracturing by electrical microscanning method]. *Karotazhnik*. 23:43-57. (in Russian)