

УДК 622.323

DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-66-73

## ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНОГО ТРЕЩИННО-КАВЕРНОЗНОГО КОЛЛЕКТОРА НА ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ И КЕРНА

© Е.М. Данилова<sup>1</sup>, М.Г. Несмелова<sup>2</sup><sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.<sup>1</sup>Иркутский филиал ООО «РН-Бурение», 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 257.<sup>2</sup>Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Юрубчено-Тохомское нефтегазоконденсатное месторождение является уникальным производственным и научным объектом в нефтегазовой отрасли. Его углеводородные ресурсы приурочены к трещинно-кавернозным карбонатам рифея. Поскольку перспективность нефтегазовых месторождений зависит от многих факторов, одну из значимых позиций среди которых занимает тип коллектора и его качественные характеристики, работа с карбонатными коллекторами в нефтегазовой промышленности играет важную роль для повышения ресурсного потенциала различных регионов нашей страны. В связи с этим объективная детализация данных по этой теме может существенно повлиять на проектирование и ведение работ с разными типами коллекторов.

В данной статье рассматриваются процессы окремнения, обуславливающие коллекторские свойства карбонатов. Влияние вторичных изменений карбонатов на свойства коллектора и формирование в нем пустотного пространства неоспоримы и подтверждаются как многочисленными производственными данными, так и новыми научными геологическими моделями, доказанными на практике.

Статья содержит выводы о корреляции между зонами, подверженными наибольшему вторичному изменению, их хрупкости и вследствие этого перспективности для формирования вторичного пустотного пространства, благоприятного для миграции углеводородов. Основным информационным ресурсом являлись геофизические данные (в комплексе) и керновый материал, позволяющие рассчитать индекс хрупкости карбонатов в ходе выявления наиболее трещиноватых зон рифея, обладающих неоднородной характеристикой хрупкости.

*Ключевые слова:* Юрубчено-Тохомское месторождение, рифей, окремнение, трещиноватость.

**Формат цитирования:** Данилова Е.М., Несмелова М.Г. Влияние вторичных преобразований на изменение фильтрационно-емкостных свойств карбонатного трещинно-кавернозного коллектора на Юрубчено-Тохомском месторождении по комплексу геофизических данных и керна // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2 (55). С. 66–73. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-66-73.

## SILIFICATION EFFECT ON THE CHANGE IN POROSITY AND PERMEABILITY OF CARBONATE CAVERNOUS FRACTURED RESERVOIR CHARACTERISTICS IN THE YURUBCHENO-TOKHOMSKOE FIELD BY INTEGRATED GEOPHYSICAL AND CORE MATERIAL DATA

**E.M. Danilova, M.G. Nesmelova**

Irkutsk national research technical university, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

“RN-Burenie” LLC Irkutsk branch, 257 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

---

<sup>1</sup>Данилова Елена Михайловна, аспирант кафедры нефтегазового дела ИРНТУ, ведущий геолог Иркутского филиала ООО «РН-Бурение», тел.: (3952) 798639, e-mail: DanilovaEM@ifrnb.ru

Danilova Elena, Postgraduate of the Department of Oil and Gas Business INRTU, Leading Geologist of the Irkutsk Branch of “RN-Burenie” LLC, tel.: (3952) 798639, e-mail: DanilovaEM@ifrnb.ru

<sup>2</sup>Несмелова Мария Григорьевна, старший лаборант лаборатории геологии нефти и газа, тел.: (3952) 427000, e-mail: mashusti21@mail.ru

Nesmelova Maria, Senior Assistant of the Geology Oil and Gas Laboratory, tel.: (3952) 427000, e-mail: mashusti21@mail.ru

The Yurubcheno-Tokhomsкое oil and gas condensate field is a unique production and research facility in the oil and gas industry. Its hydrocarbon resources are confined to Riphean fissured cavernous carbonates. Since the prospects of oil and gas fields depend on various factors, one of which is the type of the reservoir and its qualitative characteristics, the work with carbonate reservoirs plays an important role in oil and gas industry in increasing the resource potential of different regions of our country. Therefore, impartial specification of related data can substantially affect the planning of works and operation of different types of reservoirs.

The article deals with the silicification processes that determine the reservoir characteristics of carbonates. The effect of carbonate secondary changes on reservoir properties and formation of voids in it are undeniable and confirmed by numerous production data as well as by new scientific geological models proved in practice.

The article makes conclusions on the correlation between the areas subjected to the greatest secondary changes, their fragility, and in consequence of that, their prospects for the formation of secondary voids favorable for oil and gas migration. Integrated geophysical data and core material serve as the main information resource since they allow to calculate the carbonate fragility index under the identification of the most fractured Riphean zones with non-uniform fragility.

*Keywords:* Yurubcheno-Tokhomsкое field, the Riphean, silicification, fracturing

**For citation:** Danilova E.M., Nesmelova M.G. Silification effect on the change in porosity and permeability of carbonate cavernous fractured reservoir characteristics in the Yurubcheno-Tokhomsкое field by integrated geophysical and core material data // Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 2 (55). Pp. 66–73. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-66-73.

Юрубчено-Тохомское нефтегазо-конденсатное месторождение расположено в пределах Ленско-Тунгусской нефтегазоносной провинции, в районе Байкитской антеклизы (юго-запад Сибирской платформы). Оно является уникальным научным и производственным объектом.

Основные запасы углеводородов (УВ) приурочены к карбонатным отложениям среднего и верхнего рифея. Типы коллекторов – преимущественно трещинный и каверново-трещинный.

Оценка коллекторского потенциала карбонатных пород невозможна без анализа состава, строения и условий осадконакопления отложений, а также протекающих в них постседиментационных процессов.

Специфика условий осадконакопления, интенсивность проявления вторичных изменений обусловили сложное и анизотропное строение коллекторов и резервуара в целом.

При этом на формирование и сохранение фильтрационно-емкостных свойств определяющее влияние оказывают постседиментационные преобразования. Часть из них способствует увеличению объема пустотного пространства, другие приводят к его уничтожению за счет процессов аутигенного минералообразования [1].

Постседиментационные изменения карбонатных пород достаточно разнообразны, но наиболее распространены перекристаллизация, выщелачивание, окремнение.

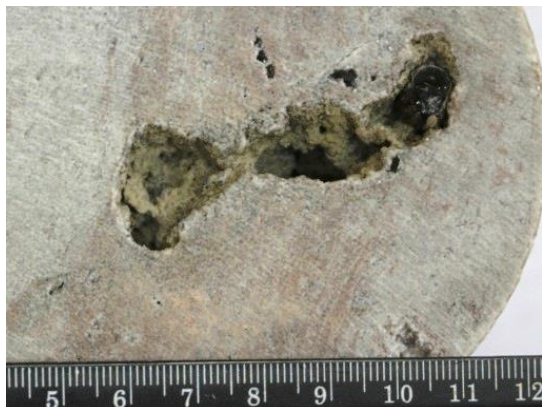
Перекристаллизация проявляется в виде единого процесса растворения и переотложения веществ, взаимосвязанных и обусловленных давлением, или в результате возникновения в существующем агрегате новых центров кристаллизации, при которых изменяется структура и текстура породы, но химический состав остается прежним [2].

Выщелачивание – перевод в раствор одного или нескольких твердых компонентов горной породы и, как следствие, кавернообразование.

Пустоты выщелачивания в карбонатных породах возникают на ранней стадии диагенеза. Поры и каверны раннедиагенетического выщелачивания относятся к первичным. Форма вторичных пустот выщелачивания определяется строением пород. В строматолитовых доломитах они как правило удлиненные, вытянутые по слоистости.

Кавернозность в отложениях рифея развита практически повсеместно с различной степенью интенсивности (рис. 1). Изучение кавернозности в кремнистых доломитах рифея является очень важным моментом для оценки

емкостных свойств изучаемых отложений. Это вторичная пустотность, образовавшаяся за счет выноса кальцитового и доломитового материала из полостей трещин и селективного выщелачивания отдельных гнезд и стяжений.



*Рис. 1. Каверна овальной формы, внутри которой видны крупные кристаллы доломита и пирита. Стенки полости изрезанные, инкрустированы доломитом более поздней генерации. Емкость каверны – более 20 см<sup>3</sup>*

В кремнистых доломитах рифея установлены каверны разнообразной формы: от округлых, овальных, причудливо-извилистых и длинных до щелевидных. Столь прихотливые формы объясняются интенсивным ростом вторичных кристаллов доломита, кварца и халцедона по стенкам полостей. Нередко полости крупных каверн полностью выполнены халцедоном и вторичным доломитом (рис. 2). Размеры каверн – от первых миллиметров до 50 см. Это максимально возможные размеры, которые можно зафиксировать в керне. В природных пластах вполне реально формирование пустот выщелачивания вплоть до расщелин и карстовых пустот. Косвенным доказательством наличия этих пустот служат случаи провала бурового инструмента, катастрофические поглощения промывочной жидкости и промышленные исследования [3].

В число постседиментационных преобразований входят доломитизация, перекристаллизация, окремнение, формирование трещин, заполненных углеводородами (УВ).



*Рис. 2. Доломит. Трещины извилистые, сложной морфологии, заполнены органическим веществом, огибают кристаллы доломита*

Окремнение – это процесс замещения карбонатов кремнеземом, происходящий в стадии диагенеза в результате заполнения кремнеземом пор, каверн и трещин или перераспределения кремнисто-карбонатного вещества, находящегося в осадке.

В работе [4] авторы описывают пять форм окремнения, выявленных при изучении рифейского керна:

1 – микрокристаллическое кремнистое вещество светло-коричневатое и/или практически бесцветное, неравномерно замещающее, «пропитывающее» основную массу породы;

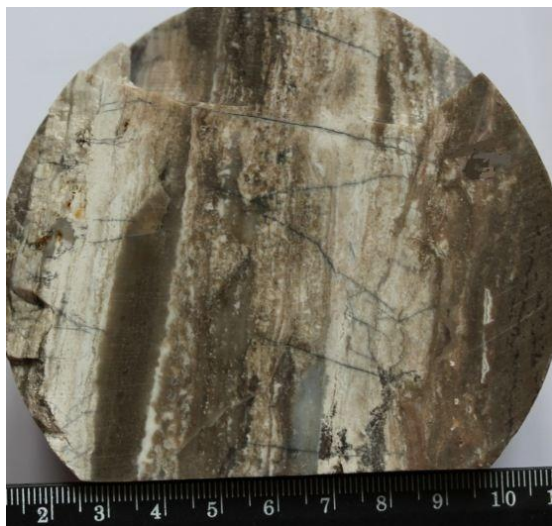
2 – микро-тонкокристаллический кремнезем, распределенный грубопараллельно напластованию в виде линз и прерывистых слоев в строматолитовых доломитах (рис. 3);

3 – микрокристаллический кремнезем, участками замещающий карбонат-

ный цемент и отдельные форменные элементы (комки, сгустки, интракласты) в граноморфных доломитах;

4 – микро-тонкокristаллический кварц и радиально-лучистый халцедон темно-коричневого цвета, выполняющий седиментационные пустоты;

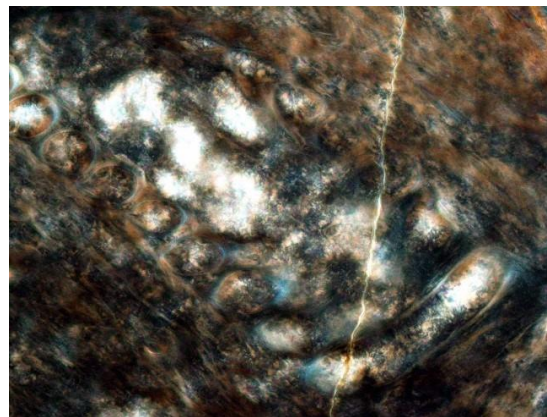
5 – практически полное замещение доломита микро-тонкокristаллическим кремнеземом с сохранением первичной структуры карбоната.



*Рис. 3. Доломит коричневого цвета переслаивается со слоями белого тонкослоистого кремнезема. Толщина слоев – 1,5–2 см, наблюдается линзовидный характер слоев кремнезема, пересеченных очень тонкими трещинами черного цвета и открытыми трещинами, секущими весь образец [3]*

Первые два типа распределения кремнистого вещества отмечаются в основном в строматолитовых породах. Кремнезем характеризуется как правило пятнистым, реже послонным, слоисто-зональным, линзовидно-слоистым распределением. Большая часть кремнистого вещества распределена в строматолитах пятнообразно, неравномерно «пропитывая» основную массу карбоната. В этом случае контакт кремнистого вещества с вмещающей карбонатной массой расплывчатый с постепенными переходами. Часто в строматолитовых доломитах отмечается грубо-линзовидно-слоистое распределение тонко-микрокristаллического кремнезема.

В отдельных слоях карбонатный материал полностью замещается тонко-микрокristаллическим кремнистым веществом с сохранением первичной строматолитовой структуры [4] (рис. 4).



*Рис. 4. Окремнелая органика докембрия (Obruchevella sp)*

Среди граноморфных пород значительно реже встречаются окремнелые разновидности. Для них характерен третий тип распределения кремнистого вещества, при котором кремнезем замещает как тонко-микрокristаллический цемент, так и пелитоморфные комки. Структура кремнистого вещества в основном микрокristаллическая. Часто вокруг замещенного комка остается пелитоморфный контур шириной до 0,02 мм, иногда в центральных частях комков наблюдается карбонатный материал. В крупных интракластах с внутренней комковатой структурой, если они присутствуют в составе форменных элементов, происходит избирательное замещение доломитового материала микрокristаллическим кремнеземом [4].

В перекристаллизованных разновидностях с реликтовой строматолитовой структурой микрокristаллический кремнезем распределен линзовидно-послойно, подчеркивая первичную седиментационную строматолитовую структуру карбоната. В перекристаллизованных доломитах с неясной седиментационной структурой кремнистое вещество характеризуется пятнистым распределением.



Последний тип распределения кремнезема – это практически полное замещение карбонатного вещества кремнистым. В шлифах такие породы представлены светло-коричневатым кремнистым веществом микро-тоннокристаллической (до 0,1 мм) структуры, в котором обособляются редкие агрегаты с внутренним радиально-лучистым строением. На макроуровне это прослои и желваки от нескольких до десятков сантиметров светло-коричневатых, светло-серых кремнистых пород с сохранением первичной строматолитовой структуры и текстурой карбоната. В целом строматолитовые разности окремнены более интенсивно, чем граноморфные.

Процесс окремнения, преобладающий в строматолитовых доломитах, непосредственно влияет на фильтрационно-емкостные свойства пород. В доломитах, содержащих кремнистое вещество, отмечается увеличение густоты как минерализованных, так и открытых трещин (рис. 5) [4].

Породы рифея содержат большое количество неравномерно распределенного кремнезема – от 5 до 80% [3].

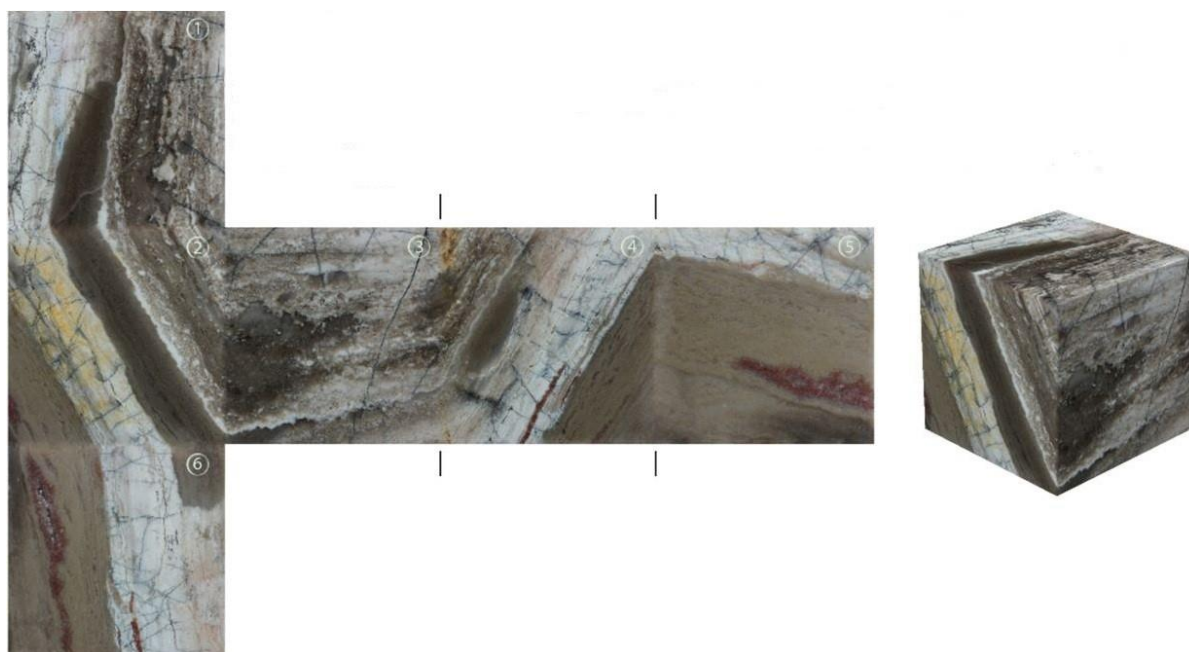
Окремнение способствует приобретению породой твердых и хрупких

свойств, которые благоприятны для образования трещиноватости и возникновения системы пустот выщелачивания, то есть повышения их коллекторских свойств (см. рис. 3).

Учитывая вышеизложенное, можно предположить, что хрупкость является одним из важных геомеханических свойств при прогнозировании трещиноватых зон рифея. Наличие окремнения по данным геофизических исследований скважин фиксируется по комплексному анализу методов каротажа (ГК, ГГКп, ГГКс, ННК). Из результатов интерпретации следует, что вскрываемые отложения рифея являются окремненными по всей толще в большей или меньшей степени (см. рис. 4).

Индекс хрупкости отражает способность породы растрескиваться под действием приложенного напряжения и удерживать образовавшиеся трещины в открытом состоянии [5].

Определение индекса хрупкости производится двумя способами: при изучении kernового материала и с использованием эмпирических уравнений или зависимостей. Первый способ дает наиболее точную оценку геомеханических свойств породы, однако



*Рис. 5. Доломит сильно окремненный. Кремнистые участки породы разбиты многочисленными разнонаправленными трещинами, секущими доломитовую часть породы [3]*

требует 100%-го выноса керна в интервале исследования. Второй способ дает информацию о распределении динамического индекса хрупкости (ДИХ) пород с использованием данных ГИС [5].

В работе [3], на которую ссылаются авторы, для расчета ДИХ использовалась формула Рикмена:

$$I_{br} = 100 \times \left( w \times \frac{PR_{max} - PR}{PR_{max} - PR_{min}} \right) + (1 - w) \times \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}},$$

где  $PR$  – коэффициент Пуассона;  $PR_{max}$ ,  $PR_{min}$  – максимальное и минимальное значение коэффициента Пуассона;  $E$  – модуль Юнга;  $E_{max}$ ,  $E_{min}$  – максимальное и минимальное значение модуля Юнга соответственно;  $w$  – весовой коэффициент, характеризующий вклад модуля Юнга и коэффициента Пуассона в определяемый ДИХ (при расчете  $w = 0,5$ ) [5].

Полученная в результате вычисления кривая ДИХ изображена на рис. 6.

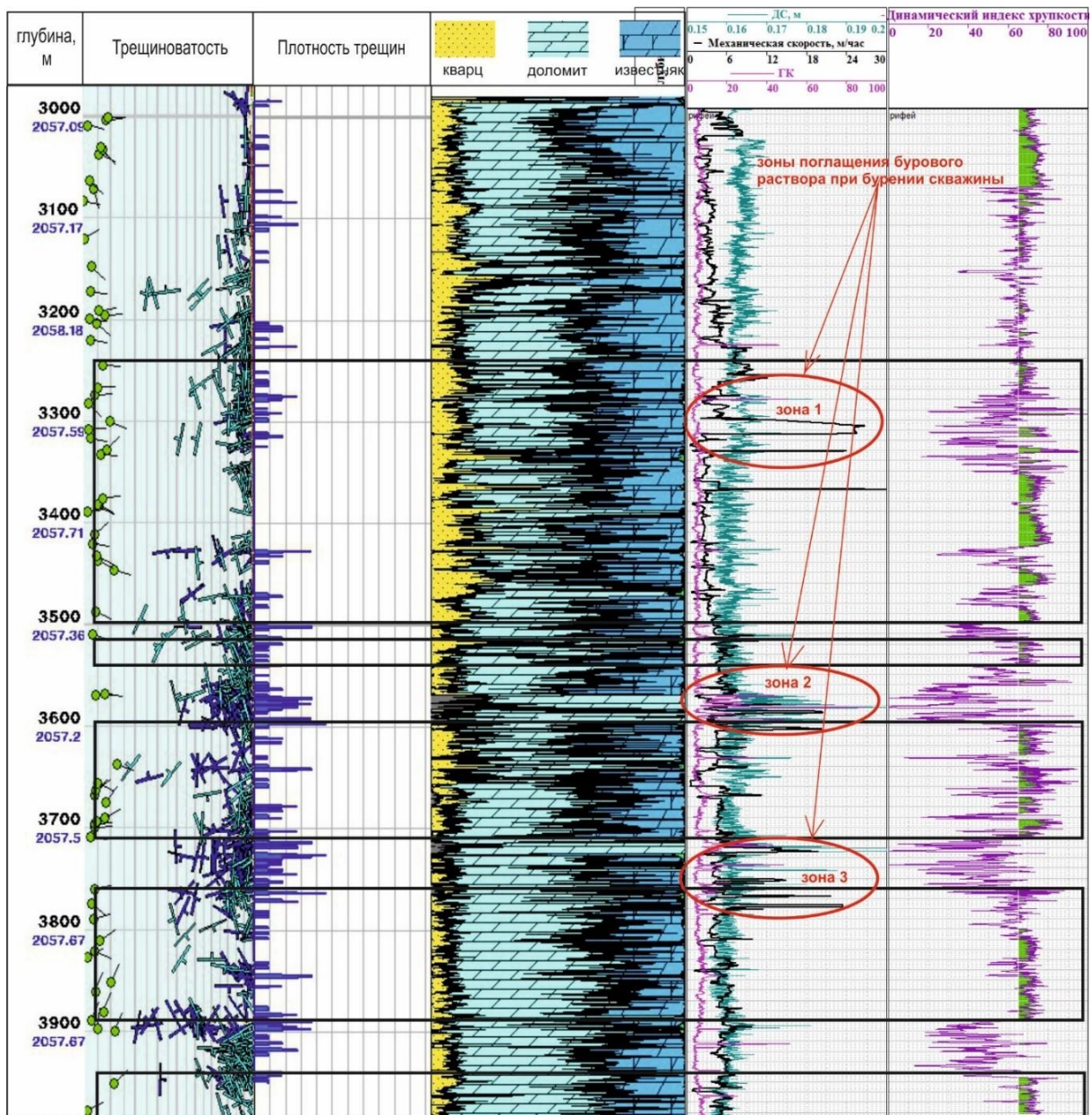


Рис. 6. Геолого-геофизическая характеристика трещиноватых карбонатных отложений рифея в интервале бурения горизонтального ствола эксплуатационной скважины Юрубчено-Тохомского месторождения

Анализ полученной информации показывает, что окремнение является одним из важнейших вторичных в доломи-тах рифея процессов, способствующих приобретению породой твердых и хрупких свойств, обуславливающих развитие сложного пустотного пространства.

Наиболее трещиноватыми являются зоны рифея, обладающие крайне неоднородной характеристикой хрупкости (чередование максимальных и мини-

мальных значений ДИХ). Трещиноватость, представленная на рис. 6, получена по данным исследований скважины ультразвуковым высокоразрешающим скважинным имиджером (УВИ). Зоны наибольшей плотности трещин по ГИС соответствуют зонам скачкообразного увеличения механической скорости и интенсивного поглощения бурового раствора в процессе бурения горизонтального ствола эксплуатационной скважины ЮТМ.

### Библиографический список

1. Александров Б.Л. Изучение карбонатных коллекторов геофизическими методами. М.: Недра, 1979. 200 с.

2. Тумашов И.В. Влияние постседиментационных процессов на формирование коллекторских свойств венд-нижнекембрийских карбонатных отложений // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 1. С. 21.

3. Багринцева К.И., Сауткин Р.С., Шершуков Г.И., Немова В.Д. [и др.]. Исследование структуры пустотного пространства образцов керна скважин Юрубчено-Тохомского месторождения.

М.: Изд-во ООО «ВНИГНИ-2/2», 2012. 264 с.

4. Кузнецов В.Г., Скобелева Н.М. Процесс окремнения рифейских карбонатных отложений (Юрубчено-Тохомская зона, Сибирская платформа) // Литология. 2005. № 6. С. 637–650.

5. Данько Д.А. Методика выявления перспективных объектов в баженовской свите на основе комплексирования геомеханических, геохимических и геофизических параметров // Геофизика. 2015. № 2. С. 38–47.

### References

1. Aleksandrov B.L. *Izuchenie karbonatnykh kollektorov geofizicheskimi metodami* [Study of carbonate reservoirs using geophysical methods]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 200 p.

2. Tumashov I.V. Vliyanie postsedimentatsionnykh protsessov na formirovanie kollektorskikh svoistv vend-nizhnekembriiskikh karbonatnykh otlozhenii [Post-sedimentary processes influence on the formation of Vendian-Lower Cambrian carbonate deposit reservoir properties]. *Neftega-zovaya geologiya. Teoriya i praktika = Oil and Gas Geology. Theory and Practice*, 2013. V. 8, no 1, p. 21.

3. Bagrintseva K.I., Sautkin R.S., Shershukov G.I., Nemova V.D. *Issledovanie struktury pustotnogo prostranstva obraztsov kerna skvazhin Yurubcheno-*

*Tokhomskogo mestorozhdeniya* [Research of void structure of the drill-hole core samples of the Yurubcheno-Tokhomskoe field]. Moscow, ООО «VNIIGNI-2/2» Publ., 2012. 264 p.

4. Kuznetsov V.G., Skobeleva N.M. Protsess okremneniya rifeiskikh karbonatnykh otlozhenii (Yurubcheno-Tokhomskaya zona, Sibirskaya platforma) [Silicification of Riphean carbonate sediments (Yurubcheno-Tokhomskaya zone, Siberian Platform)]. *Litologiya = Lithology*, 2005, no. 6, pp. 637–650.

5. Dan'ko D.A. Metodika vyavleniya perspektivnykh ob"ektov v bazhenovskoi svite na osnove kompleksirovaniya geomekhanicheskikh, geokhimicheskikh i geofizicheskikh parametrov [Identification methods of promising fields in

Bazhenov formation on the basis of integrated geomechanical, geochemical and ge-

ophysical parameters]. *Geofizika = Geophysics*, 2015, no. 2, pp. 38–47.

*Статья поступила 27.01.2016 г.*

*Article received 27.01.2016.*