

ГОРНЫЕ ВЕДОМОСТИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СХЕМА ТЕКТОНИКИ УРАЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ
СТОЧНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА)

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НДС
ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ УЧАСТКОВ
ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАСТЯЖЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ЕТЫ-ПУРОВСКОГО ПОЛИГОНА)

«Богатство нефт
есть залог величия державы»
М.В. Ломоносов

МИНЕРАЛЬНЫЙ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВЫ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И ПРИСУТСТВУЮЩИХ В НИХ ТРЕЩИН ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М. Ю. Зубков

ООО «ЗапСибГЦ», г. Тюмень, ZubkovMYu@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены существующие представления о механизме образования трещиноватых карбонатных пород в составе Верхнеюрских отложений Западной Сибири. Приведены результаты определения их вещественного и изотопного составов, на основе которых доказано, что карбонатные породы, содержащие трещины, заполненные несколькими генерациями эпигенетических карбонатов, имеют не диагенетическое (трещины синерезиса), а эпигенетическое (тектоногидротермальное) происхождение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Верхнеюрские отложения, баженовская свита, септариевые конкреции, трещины синерезиса, карбонаты, стабильные изотопы углерода, тектоногидротермальные процессы.

MINERAL AND ISOTOPIC COMPOSITION OF CARBONACEOUS ROCKS AND EXISTING FRACTURES IN THE UPPER JURASSIC DEPOSITS IN THE WESTERN SIBERIA

M.Yu. Zubkov

ZapSibGC, LLC, Tyumen, ZubkovMYu@mail.ru

ABSTRACT

Current vision of generation mechanism of fissured carbonaceous rocks composing Upper Jurassic deposits in the Western Siberia is represented. On the basis of represented determination of material and isotopic composition it was proved that carbonaceous rocks with fractures filled by different generations of epigenetic carbonate rocks have epigenetic (tectonic-hydrothermal) origin rather than diageneric (syneresis cracks) one.

KEY WORDS

Upper Jurassic deposits, Bazhenov formation, septarian nodules, syneresis cracks, carbonaceous rocks, stable carbon isotopes, tectonic and hydrothermal processes.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время внимание геологов и нефтяников вновь обратилось к верхнеурским отложениям, в состав которых входят баженовская и абалакская свиты, а также их литостратиграфические аналоги. Среди различных литологических типов пород, слагающих абалакскую и баженовскую свиты, широко развитых в пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, прямые признаки присутствия углеводородов встречены главным образом в двух литологических разновидностях — карбонатных и кремнистых породах (силициатах), названных нами потенциально продуктивными породами (ППП) [5, 6]. Емкостное пространство в карбонатных разновидностях гораздо больше, чем в кремнистых. Это объясняется присутствием в первых наряду с трещинами, имеющими значительную раскрытисть (до нескольких миллиметров), также и каверн (диаметром до первых сантиметров), в то время как во вторых отмечаются лишь трещины, причем имеющие очень слабую раскрытисть, не превышающую обычно сотых долей миллиметра. Наличие высокодебитных притоков именно из карбонатных типов пород подтверждается также и данными геофизических исследований скважин (высокоточная термометрия, дебитометрия и потокометрия). В результате возникает вопрос о генезисе карбонатных пород, входящих в состав верхнеурских отложений, о характере их площадного распространения, так как запасы углеводородов (УВ) в этих породах при прочих равных условиях будут зависеть от их мощности и площади распространения.

Существуют различные представления об их образовании. Преобладающей в настоящее время является гипотеза об их конкреционной природе, что связывается авторами, отстаивающими эту точку зрения на их генезис, с наличием в них трещин, напоминающих по форме трещины синерезиса, характерные для септариевых конкреций или септарий [2, 8]. Карбонатные тела по результатам изучения полноразмерного керна, отобранного из верхнеурских отложений, и геофизических исследований скважин, как правило, имеют небольшую толщину (в среднем 30–50 см, редко до 1.5–2.0 м). В результате трудно себе представить, что из септариевых конкреций такого размера можно получить притоки нефти с дебитом 10–20 т/сут, а тем более с дебитом 150–250 т/сут, как, например, на Салымском месторождении. Карбонатные тела, выделяемые в верхнеурских разрезах скважин, как минимум должны представлять собой не отдельные конкреции, а сплошные конкреционные поля, состоящие из непосредственно соединяющихся друг

с другом конкреций. Помимо конкреций в состав рассматриваемых отложений могут входить карбонатные пласти, имеющие не только или вовсе не конкреционный генезис. Более того, трещины и каверны, присутствующие в них, могли образоваться не только и не столько за счет процессов синерезиса, а в результате, например, тектонического дробления, сопровождавшегося наложенной гидротермальной проработкой верхнеурских отложений [5, 6].

Для того чтобы разобраться в механизме формирования карбонатных пород, которые входят в состав верхнеурских отложений и трещинно-кавернозной емкости, присутствующей в них, воспользуемся результатами изучения их минерального состава и закономерностей распределения в них стабильных изотопов углерода. Месторождения и площади, в пределах которых были отобраны образцы для литолого-геохимических исследований, показаны на рисунке 1.

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА

Вещественный состав образцов исследовался в прозрачных петрографических шлифах с использованием поляризационного микроскопа (Nikon Eclipse LV100POL) и рентгеноструктурного анализа (ДРОН-3М). Изотопный состав углерода в карбонатных образцах изучался с помощью масс-спектрометра MAT-253 в сочетании с линией пробоподготовки on-line — ConFloIII + Flash EA (фирма Thermo). Каждый образец определялся не менее пяти раз с целью оптимизации условий анализа для данного образца и для набора статистических данных. В качестве стандартного образца использовался стандарт нефти NBS-22. Все данные представлены в промилле (‰) относительно международного стандарта PDB. Точность определения изотопного состава углерода составляет 0.1 ‰.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходным материалом для решения поставленной задачи послужили следующие образцы:

- карбонаты, поднятые из верхнеурских отложений, которые представлены обломками раковин двустворок, ростром белемнита, карбонатного копролита и карбонатного радиолярита, отобранными в пределах Пальяновской площади (рис. 2, табл. 1);

- шесть спиртобензольных экстрактов битумоидов, полученных из образцов баженовской свиты, которые вскрыты в пределах Верхне-Салымского месторождения (табл. 2), а также трещиноватые карбонаты, поднятые из скважин Сыморьяхского, Западно-Салымского, Тортасинского, Кечимовского

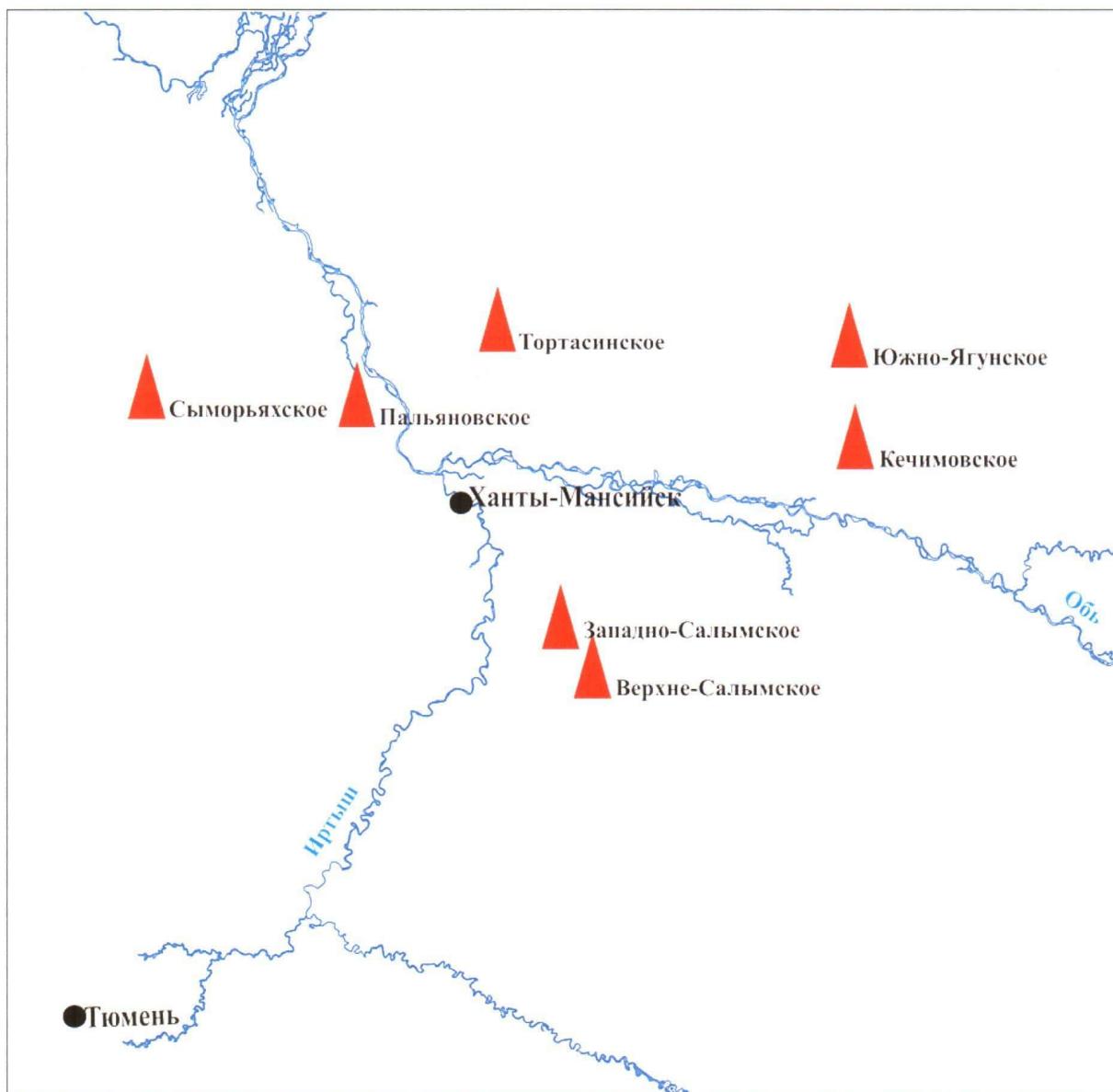


Рис. 1. Схема расположения месторождений, из верхнеурских отложений которых отбирались образцы карбонатов для литологического и изотопного анализа

и Южно-Ягунского месторождений, относящихся к классу ППП (табл. 3).

Раковинки двустворок и ростр белемнита изучались с целью получения данных о содержании изотопов углерода в морских известняках верхнеурского возраста, не имеющих в своем составе углерода биогенного происхождения. Напротив, экстракты битумоидов считаются производными от рассеянного в верхнеурских отложениях органического вещества (ОВ), за счет катагенетического преобразования которого они и образовались. Таким образом, мы получили два эталона с крайними значениями концентраций $\delta^{13}\text{C}$ в верхнеурских отложениях. В морских карбонатах (максимально обогащенных тяжелым изотопом

углерода) содержание $\delta^{13}\text{C}$ изменяется от 1.2 до 2.3 ‰ (при среднем значении 1.65 ‰), в битумоидах (с минимальной концентрацией тяжелого изотопа) — от -30.6 до -30.2 ‰ (при средней величине -30.4 ‰) (см. табл. 1, 2).

Перейдем теперь к рассмотрению изотопного состава углерода карбонатных образцов и присутствующих в них трещин различных генераций, заполненных эпигенетическими карбонатами, которые отобраны из верхнеурских отложений в пределах других месторождений, а также их минерального состава.

В карбонатном образце, отобранном из верхнеурских отложений, которые вскрыты скважиной 10548 Сыморьяхского месторождения,

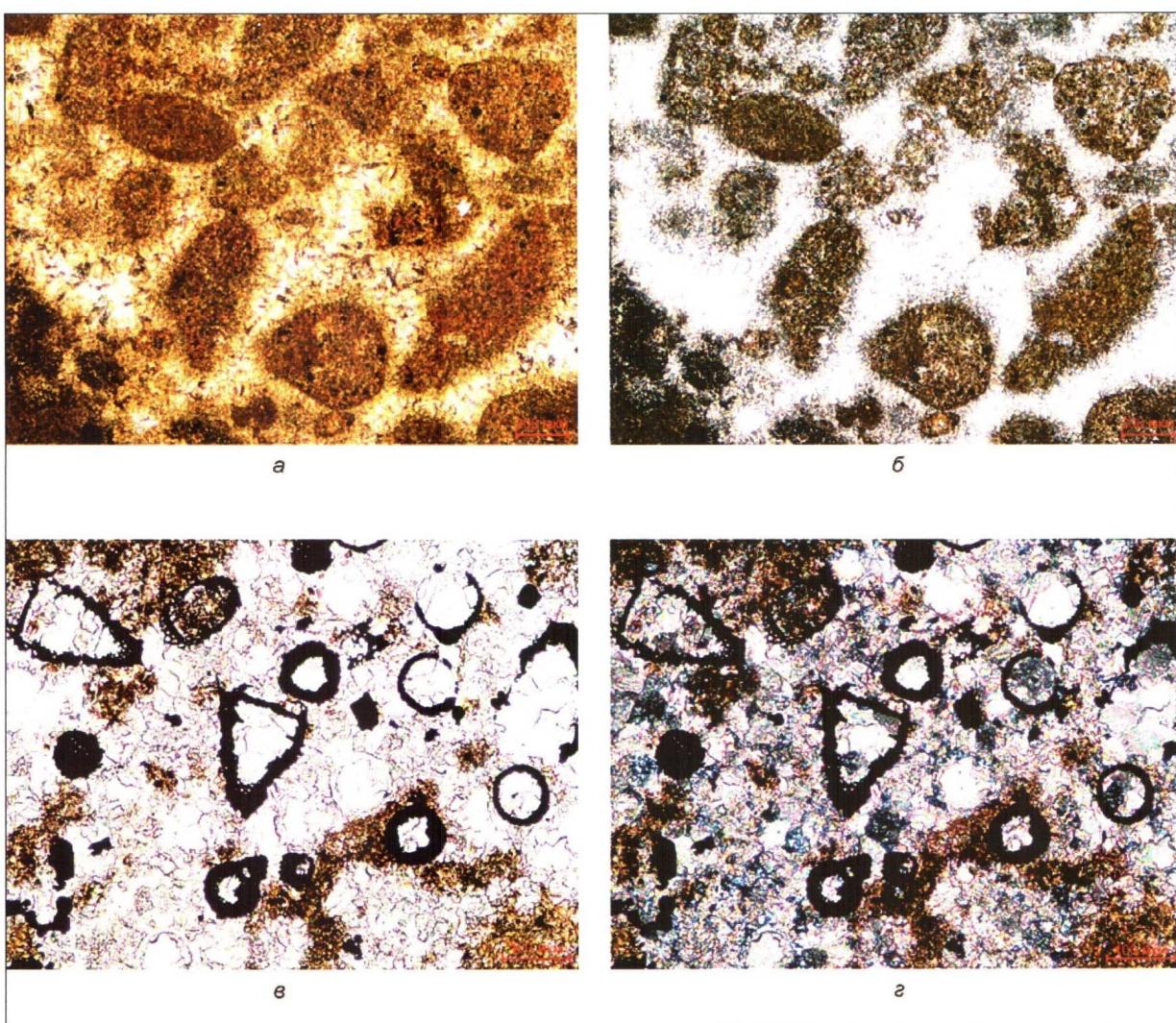


Рис. 2. Фотографии прозрачных петрографических шлифов, снятых без анализатора (а, в) и с (б, г) ним: а, б – карбонатный копролит; в, г – карбонатный радиолярит, часть раковинок радиолярий по периферии замещена пиритом, базеновская (тутлеймская) свита, Пальяновская площадь

Таблица 1

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА В КАРБОНАТНЫХ ОБРАЗЦАХ ИЗ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЬЯНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ

№ образца	Глубина отбора, м	Образец	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
1	2 663.2	карбонатный копролит	-19.3
2	2 666.5	карбонатный радиолярит	-24.0
3	2 667.8	раковина двустворки	1.2
4	2 669.1	раковина двустворки	1.3
5	2 669.2	раковина двустворки	2.3
6	2 672.7	раковина двустворки	1.6
7	2 673.1	раковина двустворки	1.6
8	2 685.0	ростр белемнита	1.9

Таблица 2

**ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА В СОСТАВЕ БИТУМОИДОВ,
ИЗВЛЕЧЕННЫХ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ
ВЕРХНЕ-САЛЫМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

№ образца	Глубина отбора, м	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
1	2 961.0	-30.2
2	2 963.0	-30.2
3	2 966.0	-30.5
4	2 970.0	-30.6
5	2 975.0	-30.3
6	2 987.0	-30.5

отмечаются многочисленные трещины, разбивающие его на большое количество обломков, часто имеющих остроугольную форму (рис. 3а). Для изучения изотопного состава этого образца были отобраны две пробы: одна из самого исходного карбонатного образца, который для краткости в этом случае и далее будем называть карбонатной матрицей или просто матрицей, и вторая из трещины, заполненной вторичным карбонатом светло-коричневого цвета (см. рис. 3а).

Собственно сама матрица сложена двумя типами карбонатных зерен, отличающихся своими размерами. Первые относятся к микрозернистому, а вторые — к мелкозернистому типам (рис. 3в, 3г). Поскольку известен лишь валовой состав карбонатной матрицы, то можно только с известной долей вероятности предположить, что основная (микрозернистая) карбонатная масса имеет кальцитовый состав, а среднезернистая — доломитовый, причем первой больше, чем второй, почти в 2 раза (см. табл. 3). Кроме кальцита и доломита в составе рассматриваемой матрицы присутствуют обломки кварца мелкоалевритовой размерности, единичные зерна фрамбоидального пирита, редкий углефицированный растительный детрит и мелкие зерна глауконита, который по данным рентгеноструктурного анализа (PCA) на дифрактограммах диагностируется как гидрослюдя и смешаннослоистые образования (см. табл. 3, рис. 3в, 3г).

Исследование в прозрачных петрографических шлифах эпигенетических трещин, разбивающих карбонатную матрицу, показало, что они заполнены несколькими разновидностями карбонатов, которые по направлению от границы с матрицей к центральной части трещин подразделяются следующим образом (см. рис. 3в, 3г):

- непосредственно на поверхности матрицы отмечается тонкая закалочная карбонатная фаза,

образовавшаяся, вероятно, вследствие быстрого охлаждения гидротермального раствора, проникшего в образовавшуюся трещину;

- следом за ней следует шестоватый, иногда переходящий в перьевидный карбонат, который в центральной части трещины сменяется среднезернистым карбонатом;

- в заключительной фазе заполнения трещин в пространство, оставшееся между кристаллами третьей (зернистой) карбонатной разновидности, отлагался мелкокристаллический кварц.

Следует обратить внимание на то, что в отличие от матрицы в составе карбонатов, заполняющих трещины, преобладает не кальцит, а доломит (см. табл. 3). Сам факт того, что составы карбонатных минералов, слагающих матрицу и трещины, присутствующие в ней, значительно отличаются, может служить доказательством, что они (матрица и трещины в ней) образовались в разное время и за счет различных источников. Действительно, сопоставление изотопного состава углерода, присутствующего в составе матрицы и трещин, выявило заметные отличия между ними (см. табл. 3).

Из образца, поднятого из верхнеюрских отложений, который вскрыт скважиной 4503 Кечимовского месторождения, для изотопного анализа отобраны три пробы. Первая проба взята из самой карбонатной матрицы, а две — из трещин, присутствующих в ней. Вторая проба взята из внешней части трещины (темно-коричневой), а третья проба — из центральной части трещины (светло-коричневой) (рис. 4а).

Матрица рассматриваемого образца состоит из микрозернистого кальцита с небольшим содержанием мелких зерен глауконита, рассеянным мелким углефицированным детритом, в том числе с обрывками морских водорослей, а также мелкоалевритовой терригенной примесью, представленной

Таблица 3

МИНЕРАЛЬНЫЙ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВЫ КАРБОНАТОВ, СЛАГАЮЩИХ МАТРИЦУ И ПРИСУТСТВУЮЩИЕ В НЕЙ ТРЕЩИНЫ

№ п/п	Месторождение	№ скважины	№ образца	Глубина отбора, м	Описание объекта $\Gamma_{\text{с}}$	$X_{\text{Л}}\text{-}$ CCO	Глауконит		Кв	Аб	Ки	$D_{\text{Л}}$	$C_{\text{Д}}$ ($A_{\text{Н}}$)	Пи, %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
							$\Gamma_{\text{с}}$	CCO							
1	Южно-Ягунское	296П	—	2 868.3	белый (поздний)	0	0	0	0	100.0	0	0	<1	—12.7	
2	Южно-Ягунское	296П	—	2 868.3	бурый (ранний)	0	0	0	0	95.0	5,0	0	<1	—14.5	
3	Южно-Ягунское	296П	—	2 868.3	матрица	0	1.6	0	15.6	2.2	79.0	0	0	1.6	—17.1
4	Западно-Салымское	592	3	2 905.4	светло-коричневый (ранний)	0	0	0	1.4	0	88.0	9,0	1.6	<1	—13.8
5	Западно-Салымское	592	3	2 905.4	бурый (поздний)	0	0	0	0	100.0	0	0	<1	—14.3	
6	Западно-Салымское	592	3	2 905.4	матрица	0	2.0	1.5	27.0	0	22.0	44.0	1.3	2.2	—13.9
7	Западно-Салымское	592	6	2 906.1	бурый (поздний)	0	0	0	0	92.0	8,0	0	<1	—17.8	
8	Западно-Салымское	592	8	2 907.1	бурый (поздний)	0	0	0	0	96.0	4,0	0	<1	—17.1	
9	Западно-Салымское	592	8	2 907.1	матрица	0	2.0	1.0	8,0	2.0	72.0	15,0	0	<1	—16.9
10	Сыморьякское	10548	—	2 087.9	светло-коричневый	0	0	0	0	30,0	70,0	0	<1	—6,5	
11	Сыморьякское	10548	—	2 087.9	матрица	0	2	1	10,0	0	57,0	30,0	0	<1	—5,4
12	Тортасинское	4Р	—	2 772.2	белый (поздний)	0	0	0	0	98,0	0	0	<1	—15,5	
13	Тортасинское	4Р	—	2 772.2	бурый (ранний)	0	0	0	0	96,0	4,0	0	<1	—22,1	
14	Тортасинское	4Р	—	2 772.2	матрица	1,4	1,4	0,7	12,5	0	75,0	6,0	0	3,0	—21,6
15	Кечимовское	4503	—	3 111.1	бурый (ранний)	0	0	0	0	97,0	3,0	0	<1	—13,8	
16	Кечимовское	4503	—	3 111.1	коричневый (поздний)	0	0	0	1	0	93,0	6,0	0	<1	—8,6
17	Кечимовское	4503	—	3 111.1	матрица	0	2,0	1,0	4,0	1,0	92,0	0	0	<1	—19,3

Примечания: 1 — $X_{\text{Л}}$ — хлорит; 2 — $\Gamma_{\text{с}}$ — гидрослюды; 3 — CCO — смешаннослойные образования; 4 — Кв — кварц; 5 — Аб — альбит;
 6 — Ки — кальцит; 7 — Дл — доломит; 8 — Сд — сидерит; 9 — Ан — анкерит; 10 — Пи — пирит.

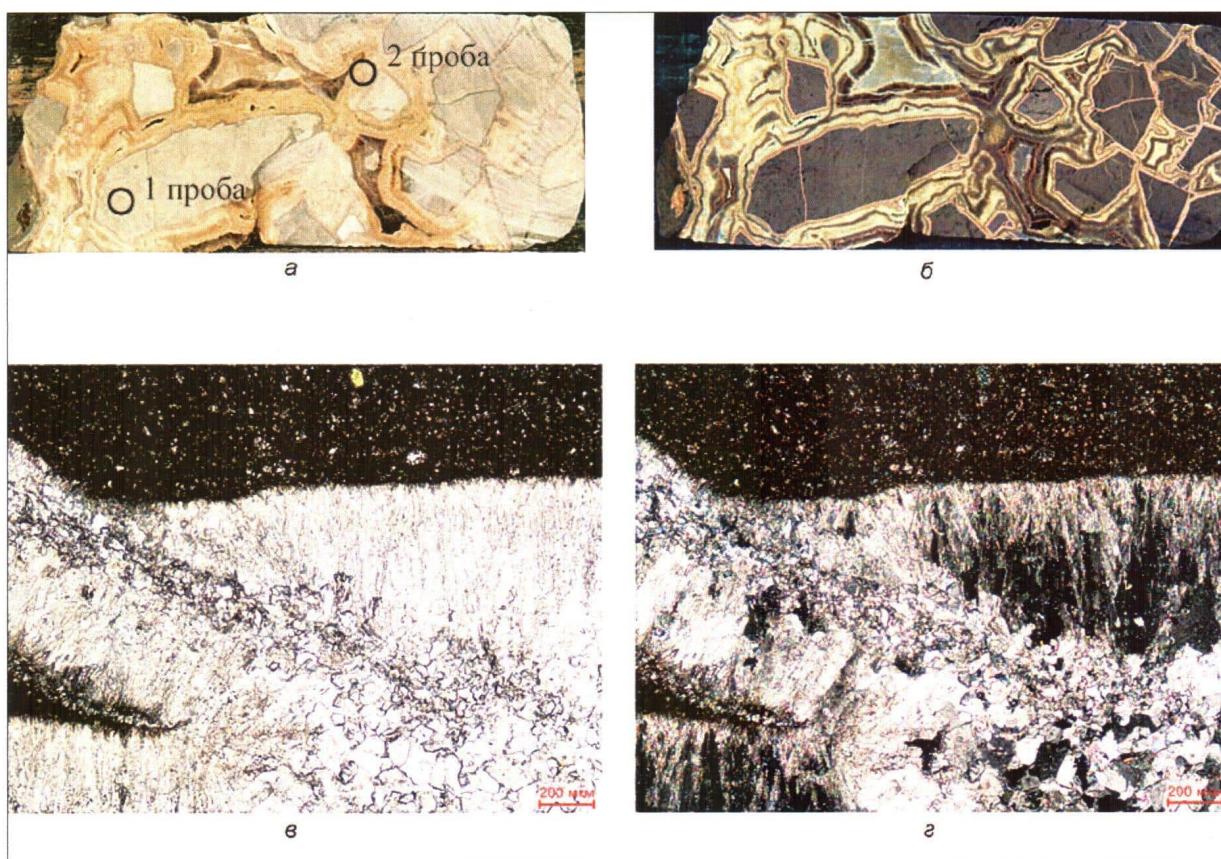


Рис. 3. Фотографии карбонатного образца, разбитого эпигенетическими трещинами, в белом (а) и ультрафиолетовом (б) свете и прозрачных петрографических шлифах, изготовленных из него, без анализатора (в) и с (г) ним, Сыморьяхское месторождение, даниловская свита. Здесь (а) и на последующих рисунках кругами обозначены места отбора проб для изотопного анализа

преимущественно обломками кварца и кислого плаутиклина (рис. 4б–г, см. табл. 3).

Карбонаты, присутствующие в трещинах, отличаются не только цветом, но и микроструктурой и размерами зерен. Кальцит, имеющий более темный (бурый) цвет (2 проба), заполняет внешнюю часть трещин и непосредственно контактирует с матрицей. На самой границе с матрицей отмечается тонкая «корочка» закалочной фазы, представленной мелкозернистым кальцитом, который сменяется шестоватым перьевидным бурым кальцитом, имеющим в шлифах светло-коричневый цвет (рис. 4в). Более поздняя карбонатная фаза светло-коричневого цвета (3 проба) заполнена крупно-кристаллическим кальцитом, в котором отмечаются великолепно ограненные кристаллы кварца и агрегаты пирита кубического габитуса, что свидетельствует об их эпигенетическом (гидротермальном) происхождении (см. рис. 4б, 4г). Микроагрегаты пирита, встречающиеся в составе матрицы, в отличие от того, что присутствует в трещине, представлены аутигенным фрамбоидальным пиритом.

На границе между бурой (периферийной) и светло-коричневой (занимающей центральную

часть трещины) разновидностями кальцита закалочная фаза отсутствует. Этот факт может указывать на то, что вторая генерация (светло-коричневого) кальцита отлагалась в трещине, уже прогретой первым поступлением гидротерм, и/или вторая (более поздняя) порция гидротерм имела не такую высокую температуру, как первая.

Обе разновидности кальцита, присутствующие в трещинах, отличаются друг от друга и от матрицы своим минеральным составом. Так, если в матрице доломит полностью отсутствует, то в карбонате бурого цвета, слагающем внешние части трещины, его содержание составляет 3 %, а в карбонате светло-коричневого цвета, отобранном из центральной части трещины, концентрация доломита увеличивается до 6 % (см. табл. 3).

Матрица рассматриваемого образца выделяется более легким изотопным составом углерода, входящего в ее состав, по сравнению с изотопным составом кальцита, заполняющего расположенные в ней трещины (см. табл. 3). Очевидно, что в ней присутствует большая доля биогенного углерода, образовавшегося в про-

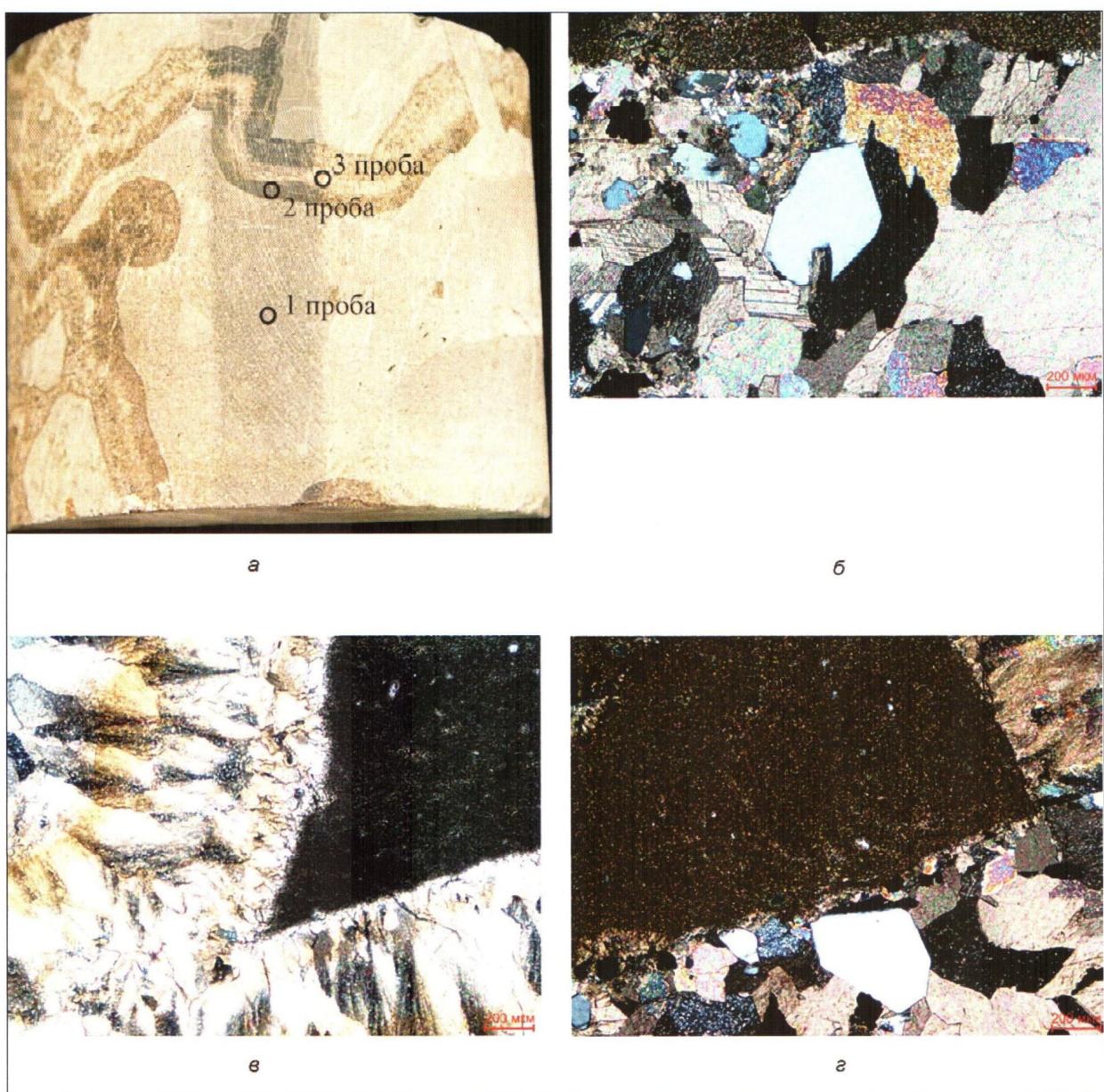


Рис. 4. Фотографии трещиноватого карбонатного образца (а) и изготовленных из него прозрачных петрографических шлифов, снятых с анализатором (б–г), Верхнеюрские отложения, Кечимовское месторождение

цессе разложения исходного ОВ, входившего в состав илового осадка. Действительно, концентрация $\delta^{13}\text{C}$ в составе матрицы немногим меньше таковой, определенной в морском иловом осадке (от -22.7 до -20.1‰ по данным [3]).

Концентрация легкого изотопа C^{12} в составе кальцита, присутствующего в трещинах, заметно ниже (см. табл. 3). В кальците темно-бурого цвета, заполняющем внешнюю часть трещин, $\delta^{13}\text{C}$ равна -13.8‰ , а в кальците светло-коричневого цвета с максимальной примесью доломита, которая присутствует обычно в центральной части трещин, характеризуется величиной $\delta^{13}\text{C}$, составляющей всего -8.6‰ (см. табл. 3).

В карбонатном образце, отобранном из верхнеюрских отложений, которые вскрыты скважиной 296П Южно-Ягунского месторождения, явно выделяются две генерации карбонатов, заполняющих трещины, расположенные в нем. Первая (более ранняя), имеющая светло-коричневый цвет, слагает внешнюю часть трещин и непосредственно соприкасается с карбонатной матрицей (рис. 5а). Вторая (более поздняя), обладающая белым цветом, занимает центральные части трещин, присутствующих в образце, либо пересекает их и саму матрицу (см. рис. 5а).

По данным исследований рассматриваемого образца в петрографических шлифах матрица

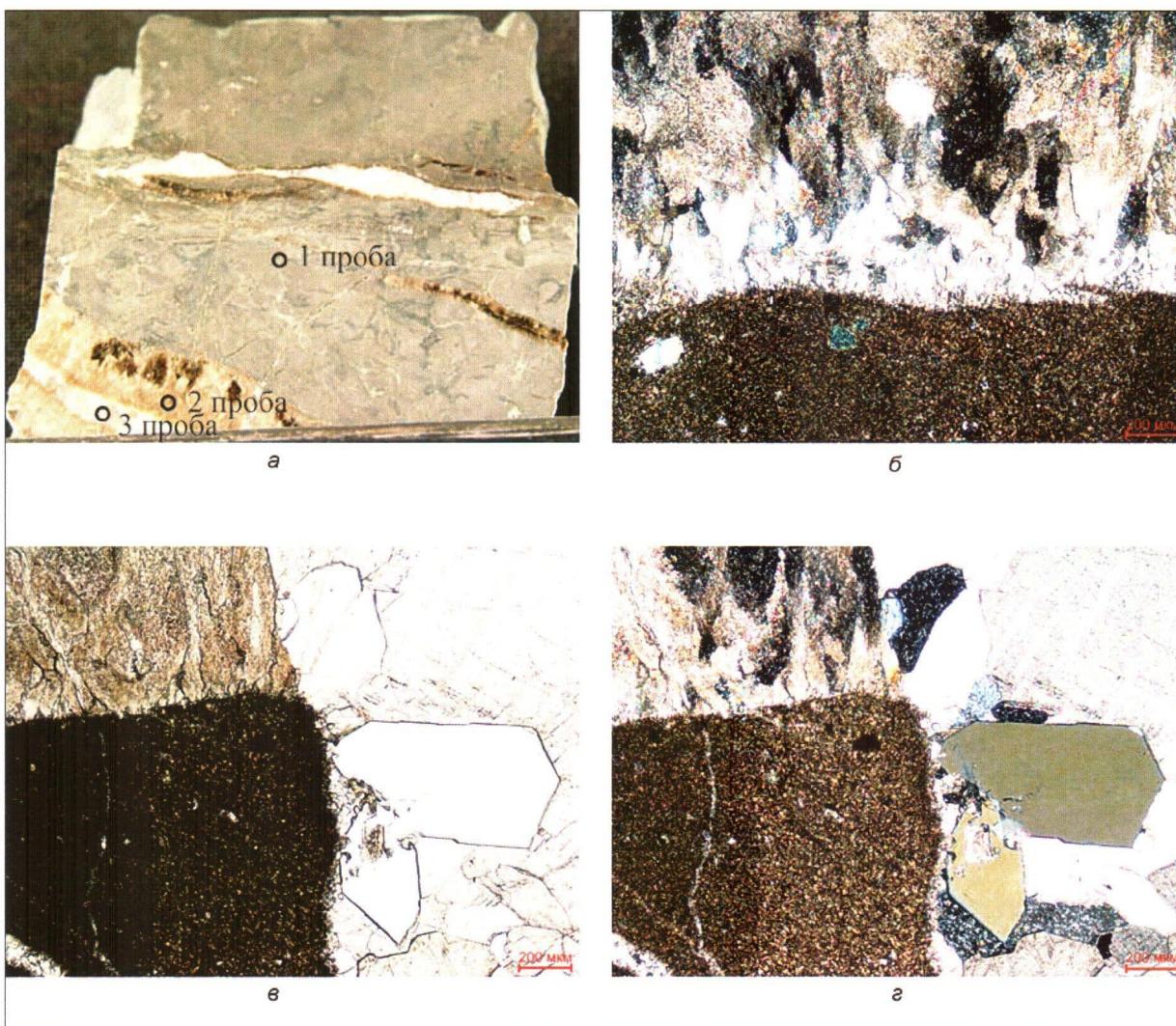


Рис. 5. Фотографии трещиноватого карбонатного образца (а) и изготовленных из него прозрачных петрографических шлифов (б–г), снятых без анализатора (в) и с (б, г) ним, Верхнеуральские отложения, Южно-Ягунское месторождение

сложена микрозернистым кальцитом с редкими мелкими зернами глауконита, обломками терригенной примеси кварц-полевошпатового состава (кварц преобладает) мелкоалевритовой гранулометрической размерности, редкими зернами фрамбоидального пирита и единичными обломками углефицированного дегрита (рис. 5б–г).

Карбонат из трещин первой генерации светло-коричневого цвета представлен преимущественно кальцитом с небольшой примесью доломита (см. табл. 3). В шлифах его зерна обладают первьевидной микротекстурой (см. рис. 5б–г). На границе с матрицей выделяется микрокристаллическая закалочная фаза, образовавшаяся, скорее всего, при резком охлаждении пересыщенного карбонатами гидротермального раствора на контакте с «холодной» поверхностью матрицы (см. рис. 5б–г).

Карбонат из центральной части трещин второй генерации белого цвета имеет чисто кальцитовый состав, а сам кальцит характеризуется крупно-кристаллическим строением (см. рис. 5в, 5г). На границе с матрицей также выделяется слабо выраженная закалочная фаза, представленная мелкими кристаллами кальцита. Кроме кальцита на границе с матрицей часто отмечается присутствие прекрасно ограненных мелких кристаллов гидротермального кварца (см. рис. 5в, 5г).

В рассматриваемом карбонатном образце отмечается закономерное уменьшение содержания легкого изотопа углерода по направлению от матрицы ($\delta^{13}\text{C} = -17.1\text{‰}$) через эпигенетический карбонат первой генерации бурого цвета ($\delta^{13}\text{C} = -13.8\text{‰}$) к самому позднему карбонату белого цвета ($\delta^{13}\text{C} = -12.7\text{‰}$). Налицо постепенное «разбавление» исходного, преиму-

щественно биогенного углерода матрицы ювенильным (гидротермальным) углеродом, характеризующимся более высокой концентрацией, чем биогенный углерод, тяжелого изотопа С¹³ [3, 7].

В карбонатном образце, отобранном из верхнеюрских отложений, которые вскрыты скважиной 4Р Тортасинского месторождения, также выделяются две генерации трещин, заполненных эпигенетическим кальцитом — ранним светло-коричневого цвета и более поздним белого цвета (рис. 6а).

Сама карбонатная матрица характеризуется преимущественно кальцитовым составом и сложена мелкими продолговатыми зернами, имеющими диаметр около 84–110 мкм и длину 120–280 мкм (см. рис. 6б–г). Необычная форма карбонатных зерен позволяет предположить, что они представляют собой карбонатные псевдоморфозы по органическим остаткам неясной природы. Кроме карбонатных зерен в матрице присутствуют мелкие зерна глауконита, мелкозернистые агрегаты фрамбоидального пирита, содержание которого заметно выше, чем в рассмотренных ранее карбонатных образцах, а также мелкоалевритовая терригенная примесь, представленная преимущественно обломками кварца (см. рис. 6б–г, табл. 3).

Карбонатные трещины первой генерации, имеющие светло-коричневый цвет, заполнены зернами шестоватого кальцита с небольшой примесью доломита (см. рис. 6б, 6в, табл. 3). На границе с матрицей отмечаются многочисленные мелкие зерна закалочной фазы кальцита (см. рис. 6б, 6в).

Трещины второй (более поздней) генерации, заполненные карбонатом белого цвета, представлены крупнокристаллическими зернами кальцита с небольшой примесью сидерита. Белый кальцит на границе с матрицей сформировал закалочную фазу, отличающуюся от основной крупнокристаллической массы гораздо более мелкими размерами (см. рис. 6б, 6г), так же как и карбонат, заполняющий трещины первой генерации,

Таким образом, состав карбонатных минералов, слагающих матрицу и трещины обеих генераций, заметно отличается. В матрице отмечается самое высокое содержание примеси доломита (6 %), в трещинах первой генерации доломита в два раза меньше (3 %), в трещинах последней генерации кроме кальцита присутствует незначительная примесь сидерита, а доломит полностью отсутствует (см. табл. 3).

Изотопный состав углерода карбонатной матрицы рассматриваемого образца характеризуется самой высокой концентрацией легкого изотопа по сравнению с другими карбонатными образцами (см. табл. 3). В составе карбонатов, слагающих трещины первой генерации, отмеча-

ется немногим более высокая концентрация легкого изотопа углерода, чем в составе матрицы (см. табл. 3). Больше всего тяжелого изотопа углерода ($\delta^{13}\text{C} = -15.5\text{‰}$) в составе последней генерации кальцита белого цвета (см. табл. 3).

Из верхнеюрских отложений, вскрытых скважиной 592 Западно-Салымского месторождения в интервале 1.8 м, отобраны три карбонатных образца с хорошо выраженнымми трещинами, заполненными бурьими различных оттенков и белым (самым поздним) карбонатами (рис. 7–9, см. табл. 3).

Из самого верхнего 3 образца отобраны три пробы: первая — собственно из самой карбонатной матрицы, вторая — из плотной «корочки» светло-коричневого цвета на границе с бурым крупнокристаллическим кальцитом и третья представлена самим крупнокристаллическим полупрозрачным кальцитом бурого цвета (рис. 7а).

Исследование прозрачных петрографических шлифов, изготовленных из отобранных проб, показало, что матрица (1 проба) сложена псевдоморфно замещенными карбонатным материалом органическими остатками, вероятно представлявшими первоначально раковинки радиолярий (рис. 7б). Небольшая часть исходного кремнистого материала сохранилась, но интенсивно корродирована вторичным карбонатом (см. рис. 7б). Изредка в составе матрицы встречаются мелкие кремнистые желвачки, в которых, в свою очередь, присутствуют зерна пирита. Основная масса вторичного карбоната представлена доломитом (44 %), кальцита присутствует (22 %) в два раза меньше (см. табл. 3). Матрица неравномерно (в виде пятен) пропитана ОВ, вероятно представленным битумами, и/или сохранившимся аморфным гелефицированным керогеном (см. рис. 7б). На границе с вторичным (скорее всего, гидротермального происхождения) карбонатом на поверхности матрицы отмечается слабо различимая закалочная зона, состоящая из более мелких кристаллов кальцита (см. рис. 7б).

Карбонатная плотная «корочка» светло-коричневого цвета (2 проба) в шлифах представляет собой бурый кальцит, часто имеющий перьевидный облик (рис. 7в).

Более поздний по времени образования полуопрозрачный кальцит бурого цвета (3 проба) через мелкокристаллическую (вероятно, закалочную) фазу более темного цвета переходит в крупнокристаллический полупрозрачный кальцит, имеющий в исходном образце темно-коричневый цвет (рис. 7а, 7в).

Самый поздний по времени образования кальцит белого цвета, находящийся в центральной части трещин, обладает четкими ровными

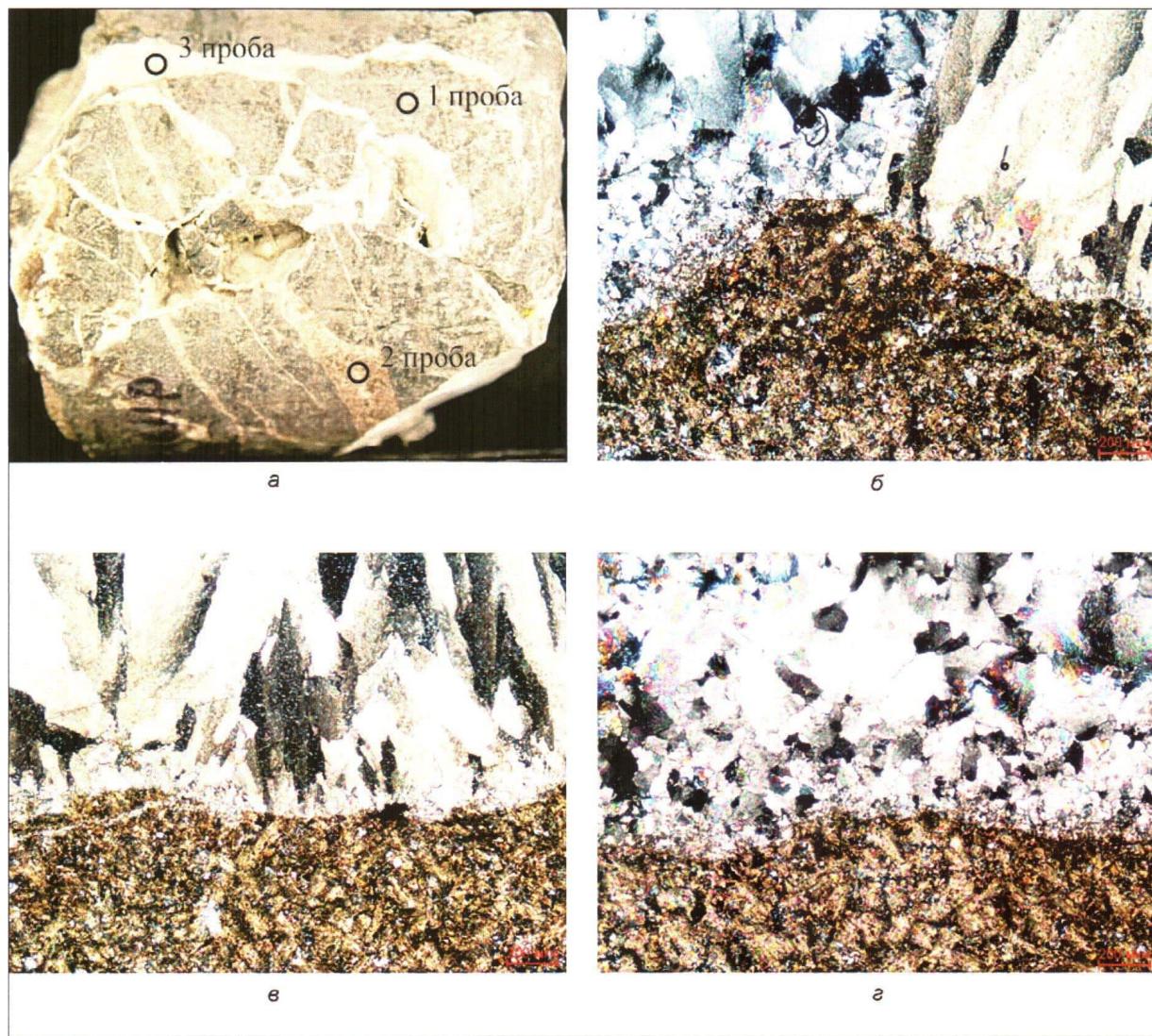


Рис. 6. Фотографии карбонатного образца, разбитого трещинами различных генераций (а), и прозрачных петрографических шлифов, изготовленных из него, снятых с анализатором (б–г), верхнеюрские отложения, Тортасинское месторождение

границами с описанным выше более ранним по времени образования темно-коричневым кальцитом (рис. 7г).

Изотопный состав углерода (см. табл. 3), входящего в состав матрицы и плотной светло-коричневой корочки, практически одинаков (-13.9 и -13.8‰ соответственно), а полупрозрачного бурого кальцита заметно легче (-14.3‰).

Из следующего, 6 образца отобрана одна проба, представленная полупрозрачным бурым кальцитом последней генерации (рис. 8а). В шлифах хорошо видно, что отобранная проба сложена крупными, практически прозрачными кристаллами кальцита, имеющими слабый светло-коричневый оттенок (рис. 8б). Самая поздняя по времени образования кальцитовая фаза в качестве небольшой примеси содержит в себе

доломит (см. табл. 3). Она контактирует (без закалочной фазы) с более ранней первьевидной карбонатной фазой (см. рис. 8б–г).

В рассматриваемой пробе эпигенетического кальцита отмечается более низкое по сравнению с предыдущим образцом содержание C^{13} , равное -17.8‰ (см. табл. 3). Поскольку кальциты, имеющие гидротермальное происхождение, имеют в своем составе более тяжелый углерод, то можно предположить, что в рассматриваемом буром полупрозрачном кальците присутствуют УВ в рассеянном состоянии [3].

Из самого нижнего, 8 образца для литолого-геохимических исследований отобраны две пробы. Первая взята из карбонатной матрицы, а вторая — из трещины, заполненной бурым кальцитом (рис. 9а).

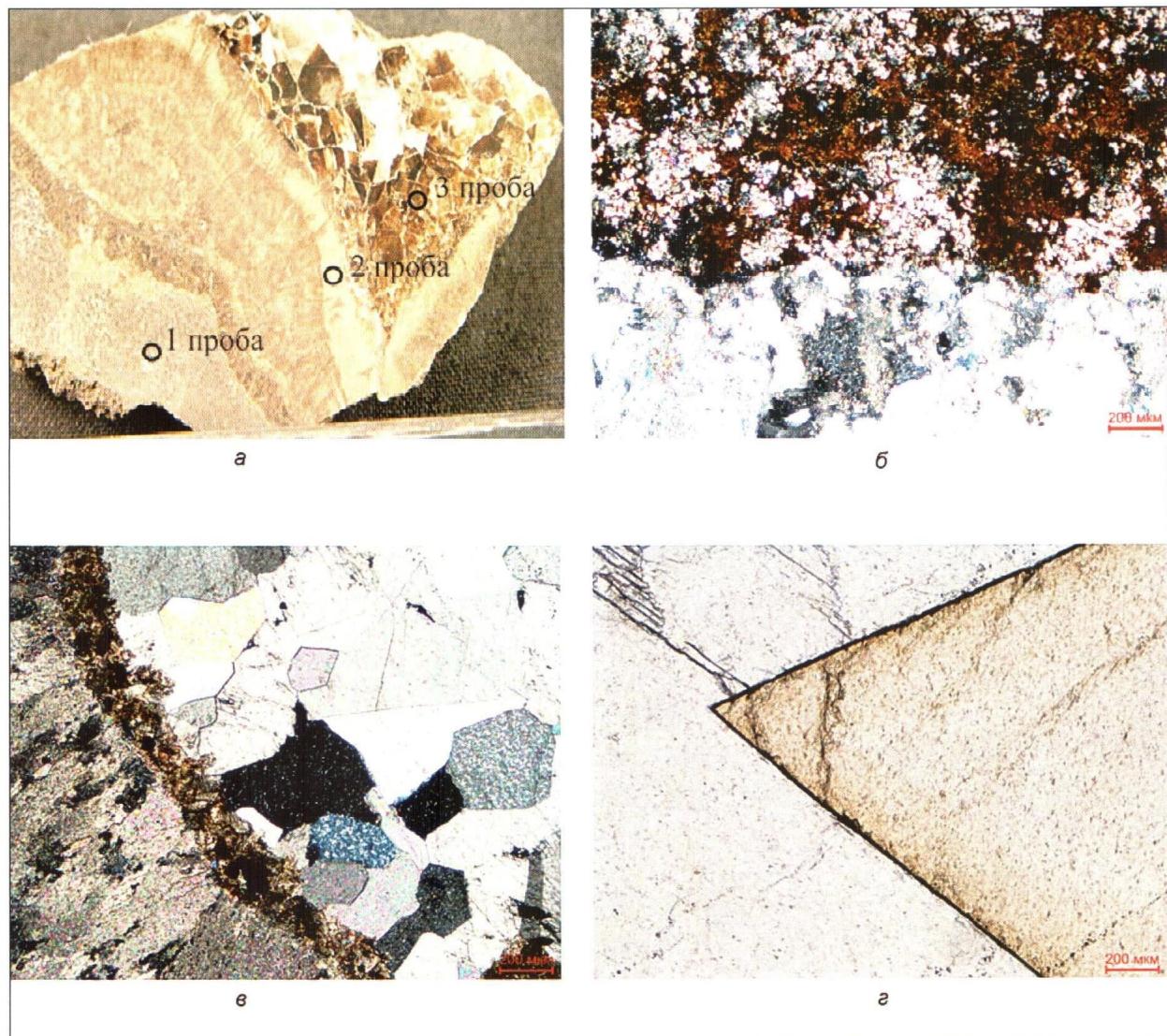


Рис. 7. Фотографии трещиноватого карбонатного образца (а) и изготовленных из него прозрачных петрографических шлифов, снятых без анализатора (г) и с (б, в) ним, баженовская свита, Западно-Салымское месторождение, образец 3

По результатам изучения прозрачных петрографических шлифов и данным РСА карбонатная матрица сложена агрегатами кальцита и доломита. Вероятно, они представляют собой псевдоморфозы по органическим остаткам с небольшой примесью обломочных зерен кварца и полевых шпата, а также очень мелких агрегатов пирита, являющихся также псевдоморфозами по органическим остаткам (рис. 9б). В небольшом количестве присутствует ОВ, распределенное неравномерно (в виде микропятен) в минеральной массе матрицы (см. рис. 9б). Сама карбонатная матрица в околотрещинной зоне разбита многочисленными субпараллельно ориентированными микротрещинками, которые своим расположением указывают направление главного напряжения, существовавшего в рассматриваемом кар-

бонатном образце в момент образования трещин (см. рис. 9б).

Трещины заполнены главным образом кальцитом, имеющим различные оттенки светло-коричневого цвета, с небольшой примесью доломита (см. табл. 3). Наиболее светлые участки трещины представлены крупнокристаллическим прозрачным кальцитом, а более темные — лучистым, перьевидным кальцитом, в составе которого присутствуют многочисленные микропримеси (см. рис. 9в, 9г). На границе между более ранним перьевидным и более поздним крупнокристаллическим кальцитом четко выделяется мелкокристаллическая закалочная фаза, возникшая, скорее всего, вследствие быстрого охлаждения высокотемпературного гидротермального флюида, пересыщенного карбонатной фазой (см. рис. 9в, 9г).

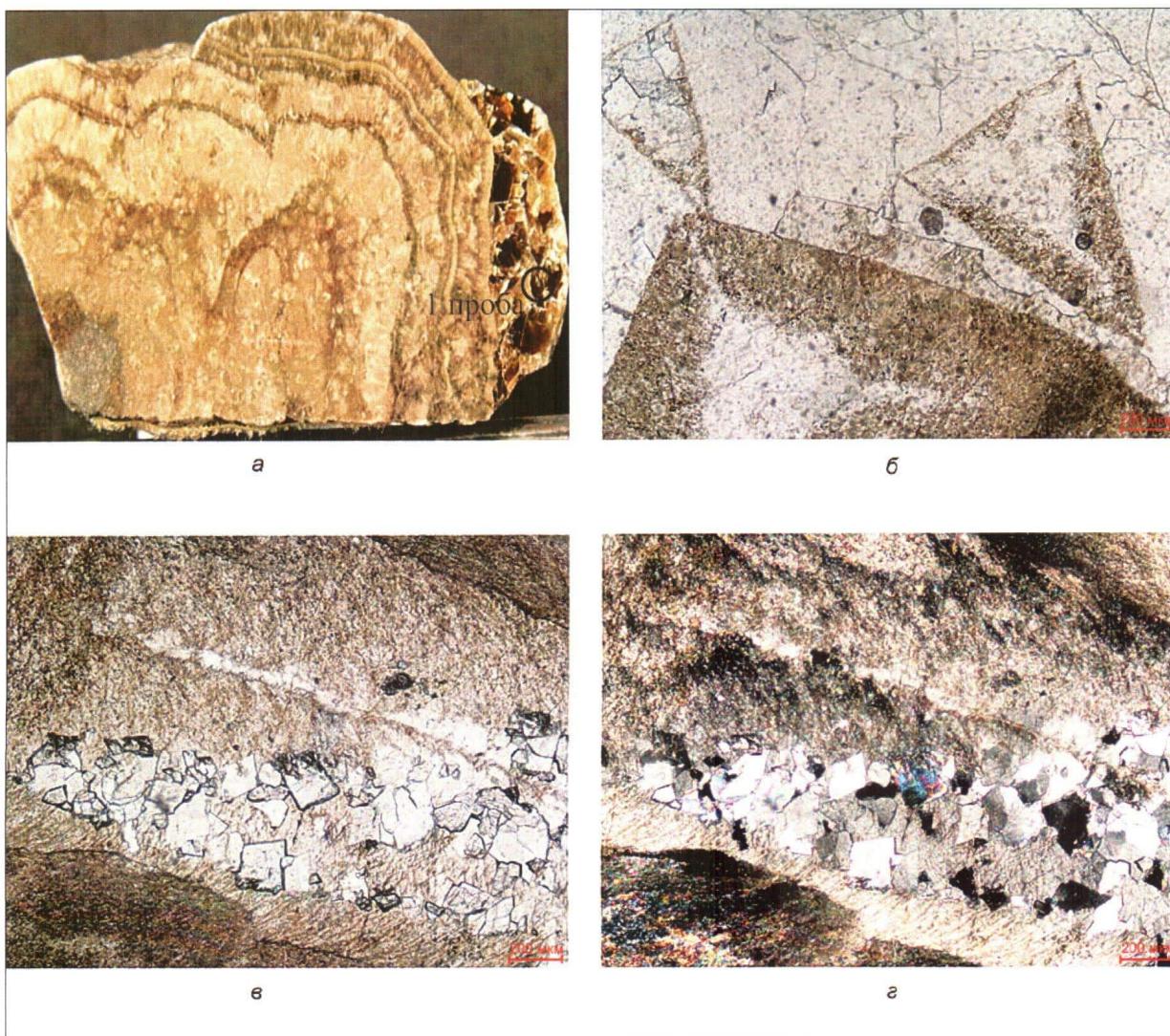


Рис. 8. Фотографии трещиноватого карбонатного образца (а) и изготовленных из него прозрачных петрографических шлифов, снятых с анализатором (г) и без (б, в) него, баженовская свита, Западно-Салымское месторождение, образец 6

Изотопный состав углерода, входящего в состав матрицы, немного тяжелее (-16.9‰), чем присутствующего в карбонатах, отобранных из трещины (-17.1‰) (см. табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Высокая концентрация $\delta^{13}\text{C}$ в раковинках двустворок и особенно в ростре белемнита свидетельствует о том, что они формировались в условиях изотопного равновесия между кальцитом, слагающим их раковины, и морской водой. Действительно, и те и другие морские организмы строили свои раковины в открытой гидродинамически активной морской обстановке, удаленной от посторонних (например, наземных) источников CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} .

Двустворки, представленные в отобранных образцах главным образом пелециподами, являются фильтраторами, то есть им необходим постоянный обмен с морской водой. Это могло быть обусловлено присутствием в месте их обитания подводных течений, а кроме того, они и сами способны фильтровать морскую воду через свои жабры, что также способствовало дополнительному активному водообмену и приносу свежей морской воды, из которой они поглощали необходимые для роста раковин компоненты (кальций и карбонат-ионы).

Белемнит еще в большей степени, чем двустворки, имел возможность формировать свою карбонатную раковину в абсолютно открытой с термодинамической точки зрения системе, обладая способностью самостоятельного переме-

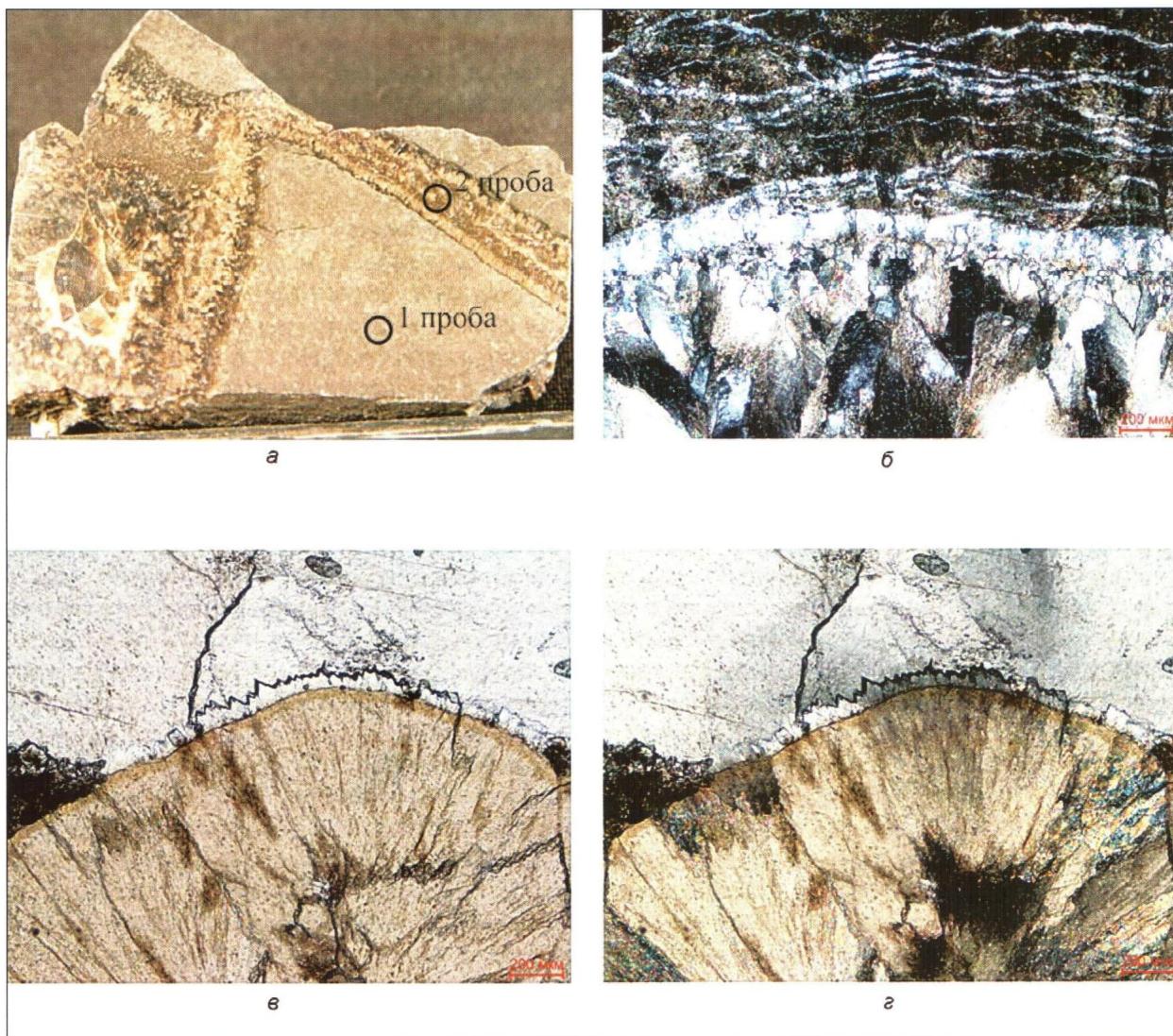


Рис. 9. Фотографии трещиноватого карбонатного образца (а) и изготовленных из него прозрачных петрографических шлифов, снятых без анализатора (в) и с (б, г) ним, баженовская свита, Западно-Салымское месторождение, образец 8

щения в толще морских вод. Углерод, входивший в состав его ростра, гарантированно находился в состоянии изотопного равновесия с углеродом карбонат-иона морской воды.

Карбонатный копролит и особенно карбонатный радиолярит богаты легким изотопом C^{12} , что указывает на активное участие в их образовании биогенного CO_2 (см. табл. 1). Первый и второй образцы являются псевдоморфозами кальцита по исходным органическим субстанциям в виде продуктов жизнедеятельности (копролиты) или раковинок радиолярий. Последние, как известно, первоначально имели кремнистый состав и в диагенезе были полностью замещены карбонатным материалом. Различия в содержании $\delta^{13}C$ в карбонатных копролитах и радиоляритах могут объясняться двумя основными причинами.

Во-первых, степенью закрытости обстановок, в которых происходило замещение исходных копролитов и радиоляритов кальцитом. Можно предположить, что копролиты замещались кальцитом в более активных гидродинамических условиях (более открытая обстановка) и наряду с биогенной CO_2 в их состав попадали карбонат-анионы, растворенные в морской воде, проникавшей в иловый осадок.

Во-вторых, более высокой концентрацией в карбонатных радиоляритах, чем в карбонатных копролитах, битумов, которые богаты легким изотопом C^{12} (см. рис. 2, табл. 2).

Битумы, встреченные в обоих образцах, имеют эпигенетическое происхождение, которое связано с ускоренной генерацией нафтидов из рассеянного в верхнеурских отложениях ОВ

под действием высокотемпературных гидротермальных растворов, проникавших из фундамента [5, 6]. Из растворов кроме битумов, выделявшихся при их охлаждении, образовывались кристаллы кварца, обладающие совершенной огранкой, а также многочисленные агрегаты каолинита и/или диккита [5]. Последний образовался при более высокой температуре и низких значениях pH, чем первый.

Прежде чем перейти к рассмотрению результатов литолого-geoхимических исследований карбонатных образцов, содержащих трещины, которые заполнены эпигенетическим карбонатным материалом, сделаем несколько замечаний, касающихся изотопного состава карбонатов, имеющих различное происхождение. Выше мы уже видели, что наряду с классическими морскими карбонатами, имеющими высокое содержание тяжелого изотопа углерода, входящего в состав раковин морских организмов, в разрезе верхнеюрских отложений встречаются вторичные карбонатные породы, в которых присутствует биогенный углерод, характеризующийся низкой концентрацией $\delta^{13}\text{C}$ (см. табл. 1). При условии если предположить, что трещины в отобранных нами карбонатных образцах имеют раннедиагенетическое происхождение (трещины синерезиса), то они должны заполняться тем же карбонатным материалом, что входит в состав самих образцов [4, 8]. Тогда карбонатный материал, слагающий трещины синерезиса в септариевых конкрециях, должен иметь точно такой же изотопный состав, что и сами конкреции [3]. При условии если изотопный состав конкреций и присутствующих в них карбонатов, заполняющих трещины, различается, то появляется основание считать, что карбонаты, содержащиеся в трещинах, не связаны генетически с конкрециями и не являются трещинами синерезиса, а имеют иное происхождение.

Выше, при анализе минерального и изотопного составов матрицы и содержащихся в ней трещин карбонатного образца, отобранного из скважины 10548 Сыморьяхского месторождения, обращалось внимание на различие их минерального и изотопного составов. Действительно, углерод в составе трещин легче, чем в карбонатной матрице, на 1.1‰. Это говорит о различных источниках карбонатного материала, слагающего матрицу и трещины, присутствующие в ней, поэтому можно утверждать, что обсуждаемые трещины не являются трещинами синерезиса, а имеют иное происхождение. Об этом же свидетельствуют значительные отличия минерального состава матрицы и карбонатов в составе присутствующих в ней трещин (см. табл. 3).

Сравнительно невысокое содержание легкого изотопа в составе карбонатной матрицы свидетельствует об открытости системы, в которой происходило отложение карбонатного осадка, и, соответственно, о невысокой доле CO_2 биогенного происхождения, вошедшей в виде карбонат-иона в ее состав. Судя по микроскопическим размерам основной части карбонатных зерен, слагающих матрицу, можно заключить, что они выделялись из пересыщенного метастабильного, вероятно, коллоидного илового раствора вследствие его обезвоживания на раннедиагенетической стадии. Низкое содержание легкой (биогенной) углекислоты, участвовавшей в формировании карбонатного осадка, может объясняться также и невысокой концентрацией в нем ОВ (его современное содержание составляет всего около 0.1%). Довольно высокая концентрация в его составе доломита может косвенно указывать на то, что рассматриваемые карбонатные осадки накапливались не в открытом морском бассейне, а в сравнительно мелководной лагуне с повышенной концентрацией в ее воде солей, и в частности магния.

Несмотря на то, что в составе карбонатов, заполняющих трещины, преобладает доломит, который при прочих равных условиях характеризуется более высокой концентрацией тяжелого изотопа углерода в его составе, чем кальцит [3], тем не менее карбонаты, присутствующие в трещинах, характеризуются более высокой, по сравнению с матрицей, концентрацией в них легкого изотопа (см. табл. 3). Этот феномен может быть объяснен несколькими причинами.

Во-первых, присутствием в составе карбонатов, заполняющих трещины, углерода, имеющего глубинное происхождение, который поступил в форме CO_2 , растворенной в гидротермальном флюиде. Действительно, по данным Э. М. Галимова, углекислота, выносимая гидротермами и вулканическими газами, характеризуется значениями $\delta^{13}\text{C}$ (от -8 до $-1.0\text{\textperthousand}$), а CO_2 магматического происхождения ($-10.0\text{\textperthousand}$) [3]. Кроме того, по данным того же автора, в средне- и высокотемпературных гидротермальных растворах (имеющих температуру более 130 °C) легкий изотоп концентрируется не в углекислоте, а в самом кальците [3]. Действительно, С. А. Садыков приводит средние содержания $\delta^{13}\text{C}$, полученные для образцов кальцита, имеющих гидротермальное происхождение, изменяющиеся в пределах от -17.38 до $-9.49\text{\textperthousand}$ [7].

Во-вторых, светло-коричневый цвет карбонатов, заполняющих трещины в матрице, может свидетельствовать о присутствии в их составе рассеянного ОВ, представленного, например,

УВ или битумами, которые характеризуются высоким содержанием в них легкого изотопа углерода (см. табл. 2, рис. 3а).

Отличия в составе карбонатных минералов, входящих в состав карбонатной матрицы образца, отобранного из скважины 4503 Кечимовского месторождения, и трещин, присутствующих в образце, а также значительные отличия в изотопном составе углерода в составе матрицы и трещин свидетельствуют о различиях в источниках карбонатного материала, слагающего их.

Очевидно, что обе генерации кальцита, заполняющие трещины в рассматриваемом карбонатном образце, не имеют никакого отношения к трещинам синерезиса, а отложились, скорее всего, из гидротермальных растворов.

Поскольку каждый из рассмотренных выше двух типов кальцитов (темно-бурого и светло-коричневого цветов) содержит резко отличные друг от друга концентрации изотопов углерода, то можно заключить, что они относятся к различным генерациям. Можно было бы предположить, что бурый или коричневый оттенок эпигенетическим разновидностям кальцитов, заполняющих трещины, придают присутствующие в них УВ и/или битумы, но низкое содержание в них легкого изотопа углерода полностью исключает возможность такого объяснения их цвета. Скорее всего, хромофором в них служит трехвалентное железо, которое из-за высокой степени окисления не может входить в состав карбонатов и вынуждено оставаться в форме тонкодисперсных окислов или гидроокислов, окрашивая более интенсивно первую и в меньшей степени вторую генерации кальцита. Возникает вопрос: откуда берется Fe^{3+} в составе гидротермальных растворов? Дело в том, что гидротермы, поступающие по зонам дробления из фундамента в осадочный чехол, характеризуются не только низкими значениями pH, то есть имеют кислую реакцию, но и обладают высокой окислительной способностью из-за присутствия в их составе кислорода [1, 5, 6]. Они легко окисляют железо, входящее в состав минералов, слагающих осадки, подстилающие верхне-юрские отложения, через которые они проникают в них, уже имея в своем составе трехвалентное железо. Очевидно, что первая генерация гидротерм, из которой отложился бурый кальцит, растворила и окислила большую часть мобильного железа, а вторая вынесла лишь его остатки.

На самом деле кроме описанных выше двух генераций карбонатов, присутствующих в трещинах, имеющих темно- и светло-коричневый цвета, присутствует еще одна, самая последняя по времени образования генерация кальцита, имеющего почти белый цвет. Эта генерация

кальцита заполняет тонкие извилистые трещинки, секущие две описанные выше генерации (см. рис. 4а). К сожалению, из-за их микроскопических размеров из них не удалось отобрать представительную пробу для изотопного анализа углерода. Это третья и последняя низкотемпературная генерация кальцита. О низкой температуре гидротерм, из которых происходило отложение белого кальцита, свидетельствует присутствие в них великолепно ограненных мелких кристаллов кварца и пирита кубического габитуса (см. рис. 4б, 4г). Действительно, сульфидная гидротермальная минерализация, как известно, является самой низкотемпературной. На этой стадии кислород, первоначально присутствовавший в составе гидротерм, полностью расходуется, железо, содержащееся в гидротермах, сохраняет свое двухвалентное состояние, а сульфатная сера переходит в сульфидную форму, что приводит к образованию пирита кубического и прямоугольного габитусов [5, 6].

Постепенное увеличение в составе карбонатов, заполняющих трещины, содержания тяжелого изотопа углерода свидетельствует о том, что гидротермы, участвовавшие в их отложении, в трещинах на каждой последующей стадии все в большей степени обогащались ювенильной углекислотой. Первая (бурая) генерация кальцита, вероятно, содержит часть исходного карбонатного материала матрицы, растворенного гидротермальным раствором, и часть привнесенной (более изотопно тяжелой) углекислоты глубинного происхождения. Вторая (светло-коричневая) генерация кальцита уже в меньшей степени реагировала с матрицей, так как последняя была покрыта сплошной плотной корочкой кальцита первой генерации. Доля участия карбонатного материала матрицы в отложении второй генерации кальцита значительно уменьшалась, а вклад ювенильной углекислоты, напротив, увеличивался. Кроме того, очевидно, что вторая генерация кальцита выделялась из менее горячих гидротермальных растворов, поэтому в отличие от первой, более высокотемпературной генерации кальцита, в которой происходило обогащение легким изотопом кальцита, в кальците второй генерации, напротив, легкий изотоп накапливался в CO_2 , а не в кальците [3].

Судя по изотопному составу углерода, входящего в состав матрицы образца, отобранного из скважины 296П Южно-Ягунского месторождения, можно заключить, что ее образование не обошлось без биогенного CO_2 . Формирование рассматриваемой карбонатной матрицы происходило в условиях «локального углеродного цикла», возникшего благодаря значительной

степени закрытости системы, в которой происходило накопление и диагенетическое преобразование осадка, содержащего ОВ [3].

В светло-коричневом кальците первой генерации легкого изотопа углерода заметно меньше, чем в матрице, что указывает на присутствие в его составе иного источника углерода. О том же свидетельствуют и различия в составе карбонатных минералов, слагающих матрицу и трещину, заполненную карбонатом этой генерации (см. табл. 3). Вероятно, как и в ранее рассмотренном случае (образец из Кечимовского месторождения), к растворенному гидротермами карбонатному веществу матрицы, в которой образовались трещины, добавился и ювенильный углерод, привнесенный гидротермами в форме CO_2 или ее производных, имеющий большую концентрацию тяжелого изотопа углерода, чем биогенный кальцит матрицы (см. табл. 3). Так же как и в предыдущем случае, коричневый цвет кальцита первой генерации обусловлен не микроскопическими включениями УВ в нем, а соединениями трехвалентного железа, причина появления которого в составе гидротерм была рассмотрена выше.

Последний по времени образования кальцит белого цвета, занимающий центральные части трещин, еще больше обогащен тяжелым изотопом углерода, что свидетельствует о содержании в его составе значительной доли ювенильного углерода, привнесенного в состав гидротерм, в виде углекислоты. Отсутствие в составе вторичных карбонатов, заполняющих трещины, включений нафтидов косвенно указывает на то, что эти гидротермы не являлись транспортерами УВ, и их можно условно назвать «сухими».

В составе карбонатной матрицы образца, отобранного из скважины 4Р Тортасинского месторождения, отмечается самое высокое содержание изотопа C^{12} (см. табл. 3).

Столь высокая концентрация C^{12} в составе матрицы может быть объяснена наиболее сильно выраженным восстановительными условиями, в которых происходило образование карбонатного осадка. Действительно, если карбонатные зерна, как было предположено выше, являются псевдоморфозами по органическим остаткам, то практически весь углерод, вошедший в состав этих карбонатных псевдоморфоз, является биогенным. Из этого следует, что замкнутый изотопный цикл биогенного углерода был максимально коротким в силу практически полной закрытости системы по отношению к внешним источникам углерода и в первую очередь к карбонат-ионам морской воды. На резко восстановительную среду, в которой формировались рассматриваемые карбонатные осадки, указывает

и довольно высокое содержание пирита, которого обычно очень мало в верхнеюрских карбонатных породах (см. табл. 3).

Коричневый цвет эпигенетических карбонатов, заполняющих трещины, может объясняться, как и в предыдущих случаях, присутствием в них соединений трехвалентного железа. Однако отмеченная выше более высокая концентрация в них легкого изотопа углерода, чем в матрице, позволяет предположить наличие в них (помимо или вместо) соединений железа, а также и микроподключений УВ, так как только их присутствием в коричневых карбонатах первой генерации можно объяснить их аномальное обогащение легким изотопом углерода (см. табл. 3).

Карбонаты второй генерации, заполняющие трещины белого цвета, отличаются резким снижением в их составе легкого изотопа углерода (см. табл. 3). Величина $\delta^{13}\text{C}$ в рассматриваемых карбонатах близка к значениям таковой в кальцитах, имеющих гидротермальное происхождение [3, 7], поэтому можно с большой долей вероятности считать, что трещины последней генерации заполнены кальцитом, имеющим преимущественно гидротермальное происхождение.

Рассматривая минеральный состав карбонатной матрицы образцов, отобранных из отложений баженовской свиты, которые вскрыты скважиной 592 Западно-Салымского месторождения (образцы 3 и 8), можно отметить, что, несмотря на небольшое расстояние между местами отбора этих образцов (около 1.8 м), их вещественные составы заметно отличаются (см. табл. 3). Это свидетельствует о том, что условия, в которых они отлагались и подвергались диагенетическим изменениям, были различными. Отличалась и физико-химическая обстановка во время их отложения. Карбонатный 8 образец, отобранный с большей глубины, отлагался в более восстановительной среде с явно выраженным локальным циклом органического углерода [3]. В то время как верхний 3 образец носит следы более окислительной (открытой) обстановки, в которой он находился в момент образования, благодаря чему в его составе отмечается более высокое содержание C^{13} , поступавшего вместе с карбонат-ионом морской воды (см. табл. 3). Кроме того, высокая концентрация в его составе доломита также способствует увеличению доли «тяжелого» углерода (от 0.3 до 1.0 % в зависимости от происхождения доломита) [3].

Первая генерация гидротермального кальцита, отлагавшегося в трещинах карбонатной матрицы (образец 3), практически не отличается по изотопному составу углерода от такового матрицы.

Однако минеральный состав слагающих их карбонатов различен (см. табл. 3). Исходя из этого факта можно заключить, что либо под действием гидротермального флюида произошло растворение карбонатной матрицы с дополнительным приносом катиона Ca^{2+} , находившегося в избытке в составе гидротермы (кальциевый метасоматоз), либо изотопный состав углерода, входившего в гидротермальный раствор в виде CO_2 и ее производных (HCO_3^- или CO_3^{2-}), был близок к таковому матрицы, что ближе к истине.

Полупрозрачный бурый или темно-коричневый кальцит, являющийся последним или предпоследним выделившимся до белого, самого последнего по времени образования, характеризуется во всех трех исследованных образцах наиболее высоким содержанием в нем легкого изотопа углерода (см. табл. 3). Причем в 6 и 8 образцах он имеет близкий изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C} = -17.8\ \text{\textperthousand}$ и $-17.1\ \text{\textperthousand}$ соответственно), а в 3 образце концентрация легкого изотопа ($-14.3\ \text{\textperthousand}$) заметно меньше (см. табл. 3).

Скорее всего, отмеченные отличия в изотопных составах углерода бурого полупрозрачного кальцита в этих образцах объясняются различной концентрацией в нем рассеянных микровключений УВ, что подтверждается его специфическим цветом (см. рис. 7а, 8а и 9а).

Появление в центральной части трещины, присутствующей в 3 образце, белого полупрозрачного кальцита (на последней, заключительной стадии отложения в ней гидротермальных генераций карбонатов) свидетельствует о том, что на этой стадии УВ полностью исчезли из состава гидротермы. Поэтому в предпоследней генерации, представленной полупрозрачным кальцитом бурого цвета, присутствующего в этом образце, их концентрация заметно ниже, чем в 6 и 8 образцах, что и отразилось в отмеченных выше особенностях их изотопного состава (см. табл. 3).

Факт появления на заключительной стадии отложения гидротермальных карбонатов кальцита белого цвета довольно неприятен, так как он означает, что УВ залежи здесь, скорее всего, нет (последняя генерация карбонатов отлагалась из чисто водоносной гидротермы без признаков УВ). При условии если скважиной вскрыт верхнеюрский разрез, в котором в карбонатных пластиах присутствуют открытые трещины и каверны, заполненные эпигенетическими полупрозрачными карбонатами бурого и/или темно-коричневого цвета, то это очень оптимистичный признак. Этот интервал перспективен на обнаружение УВ залежей (гидротермы на последней стадии своего существования были переполнены УВ).

ВЫВОДЫ

- Высокое содержание C^{13} в составе раковин двустворок и белемнита из верхнеюрских отложений свидетельствует о том, что большая доля легкого изотопа углерода вошла в состав ОВ и карбонатов, содержащих биогенный углерод. Это, в свою очередь, может быть связано с потеплением (аридизацией) климата в период их образования и затоплением обширных пространств вследствие таяния полярных шапок льда (эвстазии) и формирования верхнеюрского Западно-Сибирского эпиконтинентального морского бассейна.

- Повышенная концентрация легкого изотопа углерода в составе битумоидов, экстрагированных из отложений баженовской свиты (по сравнению с таковыми морского происхождения), свидетельствует о присутствии в них в качестве исходного не только аквагенного морского, но и террагенного ОВ, компоненты которого были вынесены гидротермами из подстилающих углистых осадков тюменской свиты.

- Все изученные карбонатные образцы (матрица) в большей или меньшей степени обогащены легким углеродом биогенного происхождения. Минимальная его доля присутствует в карбонатных отложениях периферической части верхнеюрского морского бассейна (Сыморьяхское месторождение), а максимальная — в карбонатах из центральной его части (Тортасинское месторождение).

- Существовало по крайней мере два механизма образования карбонатных пород в составе верхнеюрских отложений: из пересыщенного карбонатного, вероятно, коллоидного илового раствора (микрозернистый карбонат) и путем псевдоморфного замещения органических остатков (карбонатные радиоларииты, копролиты и др.).

- Карбонаты, заполняющие трещины в матрице, отлагались не единовременно, а представляли собой несколько генераций, отличающихся как минеральным, так и изотопным составами.

- Хромофарами в эпигенетических карбонатах, входящими в состав трещин, являются в одних случаях, вероятно, соединения трехвалентного железа, а в других — УВ. Первые имеют шестоватую и/или первьевидную микроструктуру, а вторые представлены крупнокристаллическим кальцитом.

- Присутствие в трещинах мелкокристаллической (закалочной) фазы на границе с матрицей свидетельствует о быстром охлаждении поступивших в трещины высокотемпературных гидротермальных растворов, из которых первонально выделялась эта мелкокристаллическая фаза карбонатов.

- Последовательное увеличение доли тяжелого изотопа углерода в составе различных

генераций эпигенетических карбонатов, последовательно заполняющих собой трещины от ранних к более поздним, свидетельствует о росте доли в их составе ювенильной (гидротермальной) углекислоты и/или ее производных.

9. Последовательное увеличение в составе эпигенетических карбонатов легкого изотопа углерода (при переходе от ранней к более поздней их генерации) свидетельствует о присутствии в них рассеянных УВ. Это является благоприятным признаком, указывающим на возможное существование нефтяной залежи в такой трещиноватой карбонатной породе.

10. При условии если последняя генерация карбонатов, отложившихся в трещинах карбонатной породы, имеет белый цвет и тяжелый изотопный состав углерода, то это свидетельствует

о бесперспективности этих пород для поисков в них залежей УВ.

11. Присутствие в последней генерации карбонатов, заполняющих трещины, крупнокристаллического кальцита, прекрасно ограненных мелких кристаллов кварца, пирита и каолинита (диккита) свидетельствует о том, что эти трещины имели не диагенетическое (трещины синерезиса), а эпигенетическое (гидротермальное) происхождение.

12. Все изученные нами трещиноватые карбонатные образцы не являются септариевыми конкрециями исходя из особенностей вещественного и изотопного состава матрицы и присутствующих в ней трещин, а трещины в них образовались и заполнились карбонатами в результате эпигенетических тектоно-гидротермальных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы. М.: Недра, 1985. 87 с.
2. Боркун Ф.Я., Сонич В.П., Чухланцева В.Я. и др. Характеристика карбонатных пород и конкрециеносность баженовской свиты Салымского месторождения // Конкреционный анализ углеродсодержащих формаций: Сб. науч. тр. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985. С. 63–69.
3. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
4. Зубков М.Ю. Некоторые модели конкрециеобразования. Постседиментационное минералообразование в осадочных формациях: Сб. науч. тр. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985. С. 43–51.
5. Зубков М.Ю. Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза // Геология нефти и газа. 2014. № 5. С. 58–72.
6. Зубков М.Ю. Закономерности распределения урана в черносланцевых толщах и битуминозных отложениях баженовской свиты // Горные ведомости. 2015. № 4. С. 28–46.
7. Садыков С. А. Генезис кальцита Дальнегорских скарновых месторождений и гипергенного кальцита карстовых полостей по данным изотопного состава углерода: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук. СПб., 2010. 18 с.
8. Сидоренков А.И., Симошкин А.А., Высоцкий В.Н. и др. Конкреционный анализ кимериджских отложений месторождения Большой Салым // Постседиментационное минералообразование в осадочных формациях: Сб. науч. тр. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985. С. 26–43.