

УДК 550.42:551.71

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ И СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ КАРБОНАТАХ ДОНБАССА

Исаев В. А., Власов П. А., Галемский П. В., Пащенко А. А.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Встановлено, що ізотопний склад вуглецю і кисню в гідротермальних карбонатах Донбасу залежить від структурно-тектонічного положення проаналізованих проб. Для ряду структурно-тектонічних зон Донбасу визначено, що чим молодші відклади (у діапазоні від нижнього карбону до нижнього тріасу), тим ймовірніше збагачення гідротермальних карбонатів, що кристалізуються в них, важкими ізотопами вуглецю.

It is found that hydrogen and oxygen isotopic abundance in hydrothermal carbonates in Donbass depends on structural-tectonic positions of the analyzed samples. For a number of structural-tectonic zones of Donbass it is determined that the younger are the deposits (within the limits of Lower Carboniferous to Lower Triassic), the more probable is isotopic enrichment with heavy carbon isotopes of hydrothermal carbonates crystallizing therein.

Донецкий угольный бассейн все чаще рассматривается как комплексный газово-угольный, т.е. все большее значение придается углеводородным газам, сопутствующим каменным углям. В этой связи все актуальнее становятся проблемы, касающиеся генезиса газов в угольно-породном массиве.

На современном уровне исследований предпринимаются попытки решить вопросы происхождения углеводородных и ассоциирующихся с ними газов с помощью изотопного анализа. К насто-

ящему времени в результате изучения изотопных отношений, преимущественно в углероде, господствующей можно признать метаморфогенную гипотезу [1, 2], в соответствии с которой предполагается образование углеводородных и сопутствующих газов на больших глубинах при метаморфическом преобразовании углей.

Близка к ней и точка зрения на происхождение угольных газов в процессе углеводородной флюидизации [3]. По мнению авторов предлагаемой модели существенную роль в формировании газовой атмосферы угольных месторождений играют потоки глубинных мантийно-коровых флюидов и процессы углеводородной флюидизации ископаемых углей при воздействии на них не только собственных, аутигенных, но и привнесенных из глубин мантийных и внутрикоровых флюидов. «В нижних зонах земной коры и в верхней мантии ... углерод присутствует, главным образом, в восстановленной форме (метан и его гомологи и др.) и по мере продвижения к поверхности по зонам глубинных разломов подвергается различным стадиям окисления вплоть до образования типичных водно-углекислых гидротерм» [3, с. 3].

Если процессы метаморфизма или флюидизации действительно имели место, то, вероятно, существовали единые источники углерода, часть которого вошла в состав углеводородных и сопровождающих их газов, а часть – в состав гидротермальных карбонатов. В связи с этим появляется возможность, анализируя изотопный состав углерода в минералах гидротермального генезиса, присутствующих в различных частях геологического разреза, проследить изменение отношений изотопов по латерали и стратиграфической колонке, и, таким образом, оценить эволюцию этого процесса в пространстве и времени, а также влияние нижележащих отложений на изотопные характеристики гидротермальных карбонатов.

Преимущество такого подхода в том, что если газовая фаза весьма подвижна, может легко мигрировать по вертикали и латерали и не имеет возрастных меток, то изотопные отношения в гидротермальных минералах являются относительно законсервированными после их кристаллизации и жестко привязаны к стратиграфической (временной) шкале.

При таком подходе появляется возможность сравнивать различные структурно-тектонические зоны Донбасса по изотопии ха-

рактрных для них гидротермальных минералов, что может служить мерой проницаемости этих зон для газовых и флюидных потоков.

В Донбассе с юга на север вкрест преобладающего простирания пород выделяются следующие основные структурно-тектонические зоны: 1) зона сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом (ПКМ); 2) южная синклиральная зона; 3) Главная антиклиналь Донбасса; 4) северная синклиральная зона; 5) зона сочленения Донбасса с Воронежским кристаллическим массивом. Перечисленные зоны выделяются достаточно условно, и четких границ между ними не существует за исключением зоны сочленения Донбасса с ПКМ, к которой отнесены преимущественно терригенные, терригенно-карбонатные и карбонатные отложения среднего-верхнего девона и нижнего карбона.

Гидротермальные процессы проявились в Донецком складчатом сооружении не ранее позднего палеозоя, верхняя граница их проявления не установлена, но по косвенным данным может быть датирована меловым временем [4], в последние годы признаки гидротермальной минерализации установлены в нижнетриасовых отложениях Адамовского купола [5]. Продуктами их деятельности является широкий ряд минералов: сульфиды, силикаты и карбонаты. Особый интерес представляют изотопные исследования углерода и кислорода в гидротермальных карбонатах Донбасса, т.к. полученные при этом данные позволяют проводить сравнительный анализ по изотопии углерода и кислорода в минеральной и газовой фазах.

Изотопы углерода и кислорода в гидротермальных карбонатах Донбасса изучались рядом авторов [4, 6-10], причем исследованиями охвачены все структурно-тектонические зоны за исключением сочленения Донбасса с Воронежским кристаллическим массивом.

Вариации изотопов углерода увязывались с температурой образования минералов, определенной путем гомогенизации газожидких включений [4, 6, 9, 10] или заимствованием углерода из осадочных карбонатов [7]. Колебания отношений изотопов кислорода обычно объясняются различным соотношением в гидротермальных растворах ювенильных и метеорных вод [4, 6, 10]. Общим

при таком подходе являются попытки дать интерпретацию изотопным отношениям в каждой конкретной пробе, хотя очевидно, что процесс сепарации изотопов носит вероятностный характер и следует ожидать проявления лишь самых общих тенденций.

По данным таблицы 1, где сведены все определения изотопов углерода и кислорода по гидротермальным карбонатам Донбасса и ПКМ, построена диаграмма в координатах $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ (рис. 1). Все анализы группируются в три изолированных или слабо пересекающихся друг с другом поля.

Минимальные содержания изотопов ^{18}O ($\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ от -19,0 до -19,2 ‰) при низком содержании ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -7,8 до -8,6 ‰) характерны для карбоната и близкого к карбонатам по составу паризита Петрово-Гнутовского рудопроявления редких металлов (поле I, см. рис. 1), расположенного среди протерозойских магматических пород ПКМ. Для карбоната и паризита определены температуры кристаллизации в 200-260 °С [6].

Второе поле концентрации анализов (поле II, см. рис. 1) объединяет данные, полученные для карбонатов зоны сочленения Донбасса с ПКМ. Все пробы, попадающие в это поле, локализованы в породах раннекарбонового возраста (свита C_1^1). Гидротермы, генерировавшие карбонаты, прошли через широко развитые здесь карбонатные толщи, но имели минимальный контакт с угольными отложениями, слабо развитыми в нижнем карбоне. Для проб в этом поле характерно небольшое колебание соотношений изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -3,3 до +1,8 ‰) с довольно широким колебанием отношений легкого и тяжелого изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ от -18,0 до -10,5 ‰). Температурный интервал кристаллизации карбонатов составляет от 90 ° до 140 °С [6].

Максимальное по площади поле, несколько пересекающееся со вторым, объединяет пробы карбонатов из южной синклинали (преобладают и являются «полеобразующими»), Главной антиклинали и северной синклинали (поле III, см. рис. 1). Пробы охватывают возрастной интервал вмещающих пород от верхов нижнего карбона (свита C_1^5) до верхов среднего карбона, верхнего мела и нижнего триаса, т.е. можно предположить, что гидротермальные растворы, отложившие карбонаты в самых моло-

дых породах, прошли через весь разрез осадочных пород, в том числе карбонатных и угленосных, от девона до низов триаса.

Таблица 1

Изотопный состав кислорода и углерода гидротермальных карбонатов Донбасса и Приазовского кристаллического массива со стратиграфической привязкой проб

Номер по порядку	Номер образца	Минерал и условия его нахождения	Изотопный состав кислорода, $\delta^{18}\text{O}$, ‰		Изотопный состав углерода, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, ‰	Возраст вмещающих отложений	Источник
			SMOW	PDB			
1	2	3	4	5	6	7	8
Приазовский кристаллический массив							
1	6268	Кальцит, Петрово-Гнутово	+10,7	-19,0	-7,8	PR	[6]
2	6289	Паризит, там же	+10,5	-19,2	-8,6	PR	[6]
Зона сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом							
3	6202	Доломит, рудн. Вост.-Доломитовый	+17,7	-11,5	+1,0	C ₁	[4]
4	6218	Кальцит, там же	+16,7	-13,3	+0,1	C ₁	[4]
5	6216	«-»	+15,3	-14,6	-3,3	C ₁	[4]
6	6217	Кальцит, рудн. Восточный	+19,6	-10,5	+0,7	C ₁	[4]
7	6219	Кальцит, рудн. Южный	+15,1; +13,0	-16,4; -16,4	-0,4; -2,0	C ₁	[6]
8		Кальцит	+12,3 – +13,8 ¹	-18,0 – -16,6 ²	+1,8 – -2,6	C ₁	[7]
9		Доломит	+16,8	-13,6 ²	-2,0	C ₁	[7]
Южная синклиальная зона							
10	6220	Кальцит, кристаллы в пустотах известняка L ₁ , ш. № 1 им. Челюскинцев	+20,3	-10,3	+1,0	C ₂	[4]
11	6203	Анкерит, там же	+20,7	-8,5	-1,6	C ₂	[4]
12	6273	Кальцит в сланцах, там же	+17,2	-12,8	-2,6	C ₂	[6]
13	6274	Кальцит, проросший миллеритом, там же	+16,0	-13,9	-9,9	C ₂	[6]

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	6275	Кальцит, там же	+17,2	-12,8	-6,8	C ₂	[6]
15	6263	Кристаллы кальцита, прожилки в мергеле, Амвросиевка	+22,7	-7,5	0,0	K ₂	[6]
16	6264	«-»	+22,3	-7,9	0,0	K ₂	[6]
17	6265	«-»	+20,8	-9,3	+0,3	K ₂	[6]
18	6265	«-»	+22,9	-7,2	-0,3	K ₂	[6]
Главная антиклиналь							
19	6211	Анкерит, Есауловское месторожд.	+16,6	-12,6	-9,7	C ₂	[4]
20	6212	«-»	+17,2	-12,0	-6,4	C ₂	[4]
21		Карбонаты, там же	+16,6 – +17,2	-13,8 – -13,3 ²	-9,7 – -2,8	C ₂	[8]
22		Сидерит, там же	–	–	-6,9	C ₂	[10]
24		Сидерит (35) ³ , Бобринское месторожд.	–	–	-6,9 – -10,6	C ₂	[10]
25		Анкерит (25), там же	–	–	-5,6 – -10,1	C ₂	[10]
26		Сидерит (2), Нагольно-Тарасовское месторожд.	–	–	-7,2 – -7,3	C ₂	[10]
27		Анкерит (4), там же	–	–	-5,9 – -10,1	C ₂	[10]
28		Анкерит (3), Грузское месторожд.	–	–	-1,0 – -3,4	C ₂	[10]
29		Анкерит (3), Веровское рудопроявл.	–	–	-1,4 – -2,5	C ₂	[10]
30	127-Лс	Анкерит, там же	–	–	-2,1	C ₂	[9]
31	15-Вр	«-»	–	–	-1,4	C ₂	[9]
32	20-Вр	«-»	–	–	-2,5	C ₂	[9]
33		Анкерит (4), Никитовское месторожд.	–	–	-0,1 – -1,6	C ₂	[10]
34		Кальцит (2), там же	–	–	-1,8 – -2,8	C ₂	[10]
35	8-Оп	Анкерит, Никитовское рудное поле	–	–	-0,1	C ₂	[9]
36	101-Кт	«-»	–	–	-1,6	C ₂	[9]
37	1003-Сб	«-»	–	–	-0,9	C ₂	[9]
38	221-Чб	«-»	–	–	-1,1	C ₂	[9]
39	23-Оп	Кальцит, там же	–	–	-2,8	C ₂	[9]
40	231-ЧБ	«-»	–	–	-1,8	C ₂	[9]
41		Кальцит, Дружковско-Константиновское месторожд.	–	–	-1,4	C ₃	[10]
42	1-Д	Кальцит, там же	–	–	-1,4	C ₃	[9]

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Северная синклиналиальная зона							
43	6221	Кальцит в кровле пласта угля l_1^2 , шахта «Криворожье», Кадиевуголь	+20,4	-9,7	+0,7	C ₂	[4]
44		Анкерит (3), Павловское месторожд., Северная антиклиналь	–	–	-3,1 – -5,4	C ₂	[10]
45		Анкерит (3), Городищенская антиклиналь	–	–	-1,0 – -2,0	C ₂	[10]
46		Кальцит, там же	–	–	-1,3	C ₂	[10]
47	11-Ад	Кальцит, Адамовский купол	–	–	-2,1	T ₁	[9]
48	32-Ад	Кальцит, там же	–	–	-1,1	T ₁	[9]

Примечания: 1 – пределы колебаний значений; 2 – значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ пересчитаны по формуле $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = 0,97006 \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} - 29,94$; 3 – в скобках указано количество анализов.

Для проб, попадающих в это поле, характерен значительный разброс содержаний изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -9,9 до +1,0 ‰) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ от -13,9 до -7,2 ‰). Наиболее высокое содержание тяжелого изотопа углерода ^{13}C характерно для проб из северной и южной синклиналиальных зон, минимальными значениями характеризуются карбонаты южной синклиналиальной зоны и Главной антиклинали. Карбонаты описанного поля кристаллизовались в температурном интервале от 60 до 150° С [6], что практически совпадает с температурами кристаллизации карбонатов второго поля.

С появлением дополнительных данных по изотопии гидротермальных карбонатов поля II и III скорее всего сольются в единое поле, т.к. генетических различий между породами зоны сочленения Донбасса с ПКМ и стратиграфически согласно лежащими выше отложениями южной синклиналиальной зоны нет, но тяготение основной массы проб из той и другой зон к разным флангам даже единого поля вероятно сохранится.

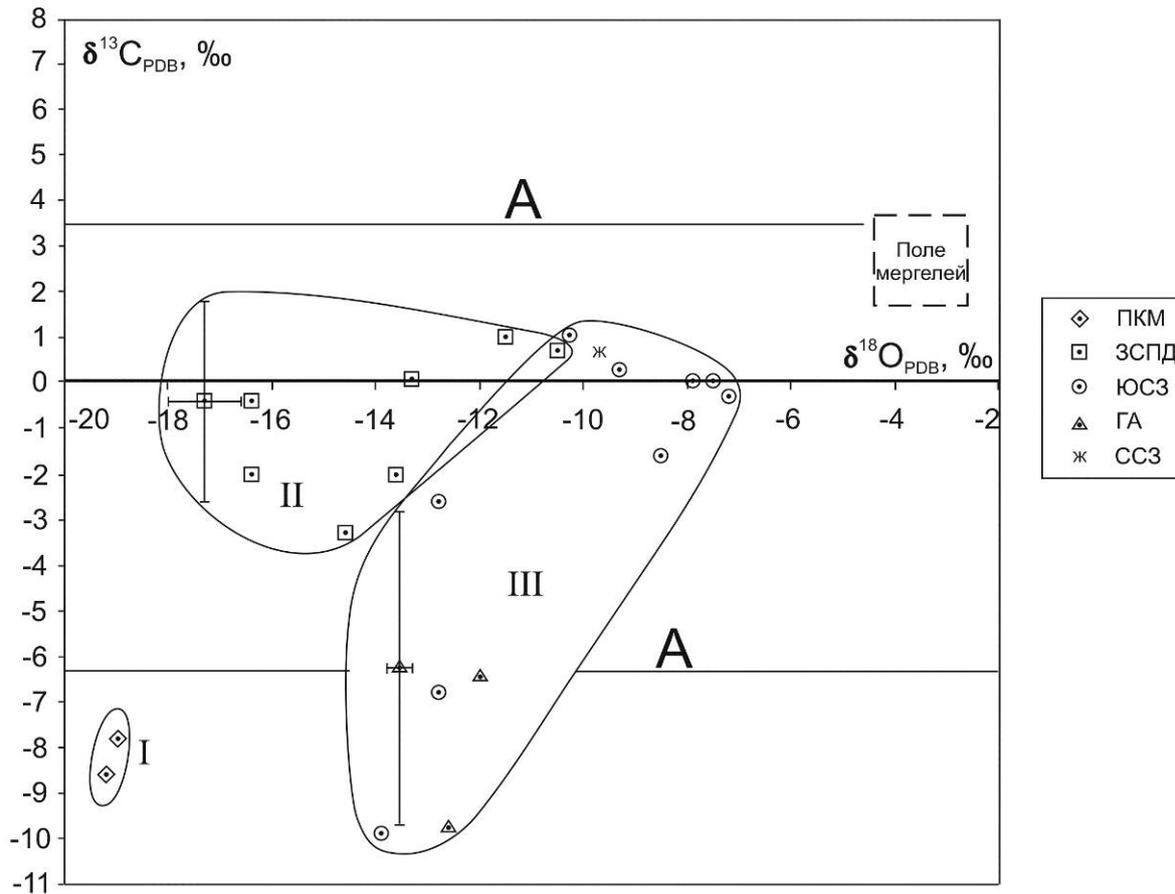


Рис. 1. Диаграмма зависимости в координатах $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ – $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ для гидротермальных карбонатов Донбасса и ПКМ (ПКМ – Приазовский кристаллический массив, ЗСПД – зона сочленения Донбасса с ПКМ, ЮСЗ – южная синклиналиальная зона, ГА – Главная антиклиналь Донбасса, ССЗ – северная синклиналиальная зона, линии А – пределы колебаний $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ в осадочных карбонатах и карбонатных конкрециях Донбасса (табл. 2), поле мергелей (см. табл. 2))

Таким образом, из рисунка 1 видно, что среди всех структурно-тектонических зон Донбасса зона сочленения Донецкого складчатого сооружения с ПКМ выделяется максимальным обогащением гидротермальных карбонатов тяжелым изотопом углерода, хотя здесь же преобладает легкий изотоп кислорода.

Таблица 2

Изотопный состав кислорода и углерода осадочных карбонатов и конкреций Донецкого бассейна

Номер по порядку	Анализируемые образования	Изотопный состав кислорода, $\delta^{18}\text{O}$, ‰		Изотопный состав углерода, ‰	Возраст отложений	Источник
		SMOW	PDB	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$		
Южная синклиналиальная зона						
1	Мергель, Амвросиевка	+25,8 – +27,7	-4,4 – -2,6	+1,7 – +3,7	K ₂	[6]
Главная антиклиналь						
2	Известняк F ₁ , Никитовское рудное поле	–	–	+1,9	C ₂ ¹	[10]
3	Сидеритовый цемент софиевского песчаника, там же	–	–	-2,9	C ₂ ³	[9]
4	Сидероплезитовая конкреция в аргиллитах, там же	–	–	-2,8	C ₂ ³	[9]
5	Анкеритовая конкреция в глинистом сланце, Бобринковская антиклиналь	–	–	-5,5	C ₁ ⁵	[10]
6	Анкеритовая конкреция, там же, скв. 317; 294 м, центральная часть	–	–	+3,5	C ₁ ⁵	[10]
7	То же, периферия	–	–	-6,3	C ₁ ⁵	[10]
8	Угольный прослой, Бобринковская антиклиналь, скв. 265; 217,5 м	–	–	-22,5	C ₁ ⁵	[10]
9	Углистое вещество глинистых сланцев, там же, скв. 338; 130,5 м	–	–	-21,5	C ₁ ⁵	[10]
10	Антраксолит (?)	–	–	-23,8	–	[10]
Северная синклиналиальная зона						
11	Известняк, Адамовский купол	–	–	-4,1	D	[9]
12	Известняк F ₁ , Волнухинская антиклиналь	–	–	+1,8	C ₂ ¹	[10]
13	Известняк H, Северная антиклиналь	–	–	-0,4	C ₂ ³	[10]

Рассматривая возможность изменения отношений изотопов вследствие реакции гидротермальных растворов с вмещающими породами, необходимо обратиться к определениям изотопных отношений в осадочных отложениях, в частности угле и осадочных карбонатах (см. табл. 2), т.к. вероятнее всего именно эти породы могли оказывать существенное влияние на изотопные характеристики гидротермальных карбонатов.

Надо сказать, что все гидротермальные карбонаты, отраженные на рисунке 1, по степени возможного воздействия осадочных пород на их изотопию разделяются на три группы, как это уже отмечалось выше.

Карбонат и паризит Петрово-Гнутовского рудопроявления редких металлов, локализованного в фенитизированных граносиенитах юго-западной эндоконтактовой зоны Кальмиусского массива гранитов и сиенитов [5], могут служить своеобразными эталонами, при образовании которых отсутствовало влияние угольных пластов и осадочных карбонатов с характерными для них отношениями изотопов углерода и кислорода. Пробы карбоната и паризита Петрово-Гнутовского рудопроявления расположены вне поля изотопных характеристик углерода осадочных карбонатов и далеко отстоят от поля мергелей, для которых имеются определения изотопных отношений как углерода, так и кислорода.

Поле карбонатов зоны сочленения Донбасса с ПКМ не выходит за границы колебаний $\delta^{13}\text{C}$ в осадочных карбонатах, но по отношению изотопов кислорода далеко отстоит от поля типичных осадочных образований – мергелей.

Поле III в основной своей части также не выходит за пределы изотопных отношений, характерных для осадочных карбонатов и конкреций, но нижней, максимально обедненной тяжелым изотопом ^{13}C частью, опускается ниже нижнего предела поля осадочных карбонатов. Это может быть объяснено заимствованием легкого изотопа углерода из угля, имеющего изотопные характеристики $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -21,5 до -22,5 ‰, или антраксолита, характеризующегося $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -23,8$ ‰ (см. табл. 2).

Однако влияние вмещающих толщ на изотопию гидротермальных карбонатов могло носить лишь случайный, незакономерный характер, т.к. пробы для анализов отбирались на значи-

тельном расстоянии друг от друга из разновозрастных отложений, где существенно могла меняться роль главных возмущающих изотопные отношения пород – осадочных карбонатов и углей. В то же время значимые положительные коэффициенты парной корреляции (при 95 %-ном доверительном интервале) между $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в гидротермальных карбонатах, составляющие для зоны сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом – 0,50 (7 проб, см. табл. 1), для южной синклинальной зоны – 0,80 (9 проб, см. табл. 1), а для общего массива карбонатов южной синклинальной зоны, Главной антиклинали и северной синклинальной зоны – 0,81 (12 проб, см. табл. 1), свидетельствуют о едином источнике изотопов как углерода, так и кислорода при образовании гидротермальных карбонатов этих зон, что делает маловероятным предположение о существенном влиянии отдельных разновидностей пород из вмещающих отложений на изотопный состав рассмотренных карбонатов.

Скорее всего, гидротермы имеют глубинный, хотя и коровый, источник, в котором индивидуальные изотопные особенности тех или иных разновидностей пород существенно нивелировались, что близко к точке зрения на происхождение угольных газов и гидротермальных растворов при углеводородной флюидизации [3].

В таблице 1 кроме анализов гидротермальных карбонатов с одновременным определением изотопов кислорода и углерода собраны также определения лишь изотопов углерода. Данные определений изотопов углерода (сопровождающиеся определением изотопов кислорода и без него) нанесены на рисунке 2, причем имеющиеся данные разнесены по соответствующим структурно-тектоническим зонам Донбасса и возрасту вмещающих пород.

Из рисунка 2 очевидно, что и при существенном увеличении количества используемых данных для карбонатов зоны сочленения по-прежнему характерны максимальные содержания тяжелого изотопа ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ достигает +1,8 ‰, не опускаясь ниже -3,3 ‰). Затем по обогащенности тяжелым изотопом углерода следуют южная и северная синклинальные зоны ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -9,9 до +1,0 ‰ и от -5,4 до +0,7 ‰ соответственно). Несколько уступает син-

клинальным зонам область Главной антиклинали Донбасса, где размах $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ составляет от -10,6 до -0,1 ‰.

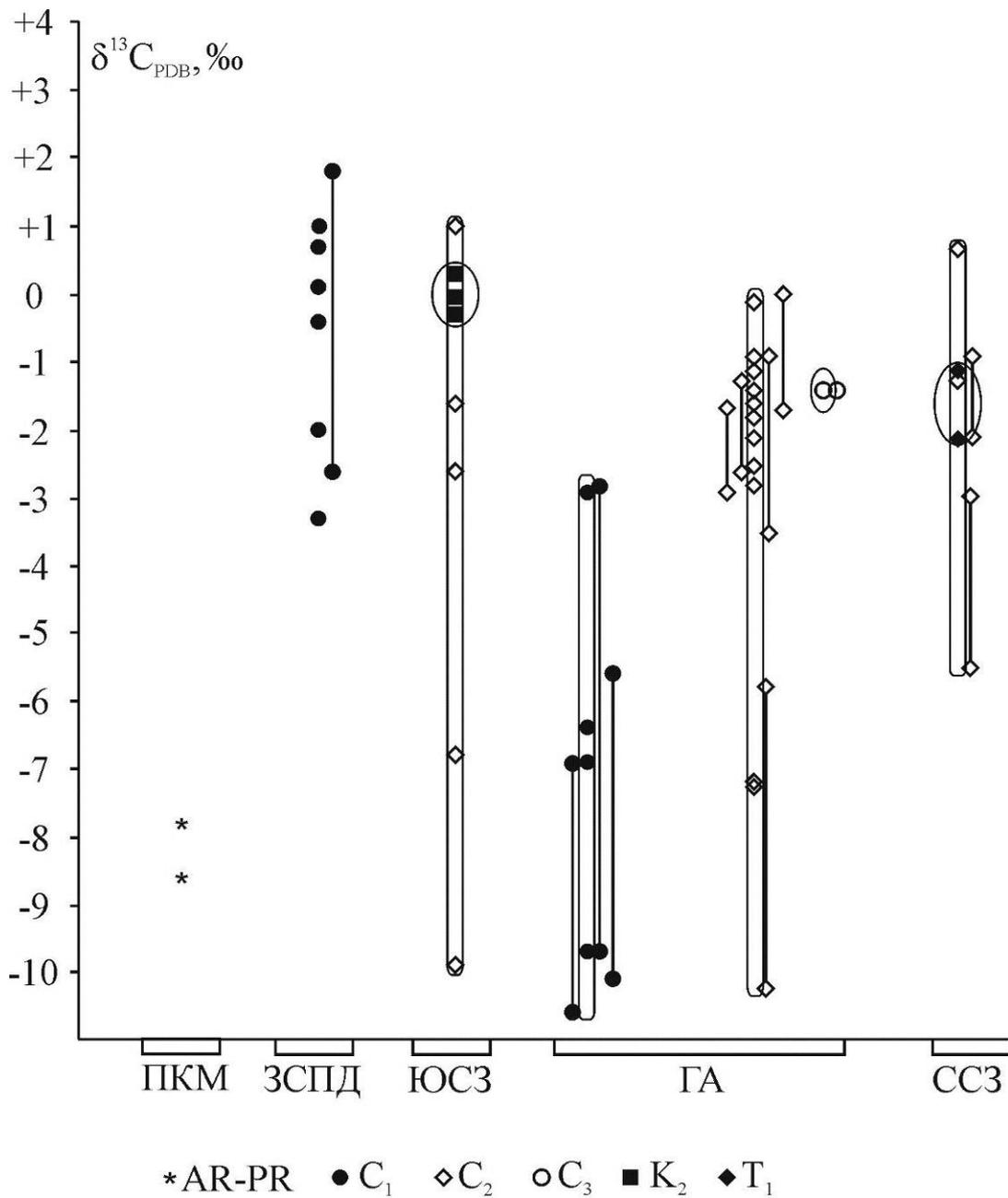


Рис. 2. Распределение изотопов углерода в гидротермальных карбонатах по структурно-тектоническим зонам Донбасса и возрасту вмещающих пород. Название зон см. на рисунке 1

Особое положение карбонатов зоны сочленения объясняется, по всей видимости, близостью к тектоническим нарушениям

глубокого заложения по границе Донбасс – Приазовский кристаллический массив и активизацией вулканической и гидротермальной деятельности в этой зоне, начиная с девонского времени. В позднем палеозое и раннем мезозое произошло, вероятно, обновление тектонической и связанной с ней гидротермальной деятельности, о чем свидетельствует широкое развитие наложенной минерализации в зоне сочленения Донбасса и ПКМ [4], что и повлекло появление здесь повышенных для Донбасса содержаний изотопа ^{13}C в гидротермальных карбонатах.

Обращает на себя внимание также рост содержаний тяжелого изотопа ^{13}C вверх по разрезу. Особенно хорошо это выражено в южной синклинальной зоне и Главной антиклинали Донбасса, хотя необходимо вновь подчеркнуть, что выявленная закономерность носит вероятностный характер.

В южной синклинальной зоне самые верхние в разрезе гидротермальные карбонаты, кристаллизовавшиеся в верхнемеловых отложениях (3 пробы), занимают верхнюю часть шкалы распределения проб, слагая компактное поле ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ составляет от -0,3 до +0,3 ‰), уступая по содержанию тяжелого изотопа лишь одной пробе из отложений среднего карбона (общее количество проб – 5), имеющей $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = +1,0$ ‰.

В пробах из Главной антиклинали Донбасса карбонаты, кристаллизовавшиеся среди отложений среднего карбона (91 проба) имеют максимальное содержание $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, равное -0,1 ‰, для таких же карбонатов в верхнекаменноугольных отложениях (2 пробы) максимальное значение $\delta^{13}\text{C}$ достигает -0,4 ‰, т.е. карбонаты, занимающие более высокое стратиграфическое положение, имеют и изотопный состав углерода, близкий к самым тяжелым пробам карбонатов, залегающих ниже по стратиграфической колонке.

В северной синклинальной зоне гидротермальные карбонаты, кристаллизовавшиеся среди нижнетриасовых отложений (2 пробы) имеют разброс значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -2,1 до -1,1 ‰ и занимают среднее положение среди диапазона значений ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ составляет от -5,4 до -1,3 ‰), характерных для таких же минералов, выкристаллизовавшихся среди среднекарбонатовых отложений (8 проб).

ВЫВОДЫ

1. Изотопный состав углерода и кислорода в гидротермальных карбонатах Донбасса и зоны сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом зависит от структурно-тектонического положения проявления гидротермальной минерализации.

2. Максимальное содержание тяжелых изотопов углерода характерно для гидротермальных карбонатов, кристаллизовавшихся в нижнекарбовых отложениях зоны сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом.

3. Значимые положительные коэффициенты парной корреляции между $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в гидротермальных карбонатах Донбасса свидетельствуют о едином источнике изотопов как углерода, так и кислорода, в котором индивидуальные изотопные особенности тех или иных конкретных разновидностей пород существенно нивелировались.

4. Для южной синклинальной зоны Донбасса, Главной его антиклинали и, в меньшей мере, северной синклинальной зоны выявлено, что чем моложе отложения (в диапазоне от нижнего карбона до нижнего триаса) тем более вероятно обогащение кристаллизующихся в них гидротермальных карбонатов тяжелыми изотопами углерода.

5. Выявленные закономерности вариаций изотопных отношений в кислороде и углероде гидротермальных карбонатов Донбасса (зависимость от структурно-тектонического положения проявления минерализации, обогащение тяжелыми изотопами углерода последних порций гидротермальных растворов), выстраиваются в непротиворечивую рабочую гипотезу с возможностью ее проверки и уточнения.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Привалов В.А., Саксенхофер Р.Ф., Изар А. Генетическая идентификация метана и геологическая природа выбросоопасности угольных пластов Донбасса. // Наук. праці ДонНТУ: Сер. гірн.-геол. – 2004. – Вип. 72. – С. 175 – 184.

2. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины в 2 т. / А.В. Анциферов, А.А. Голубев, В.А. Канин и др. – Донецк, изд-во «Вебер», Т. 1, 2009 – 456 с., Т. 2, 2010 – 478 с.
3. Угледородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. / В.Н. Труфанов, М.И. Гамов, В.Г. Рылов и др. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета. – 2004. – 270 с.
4. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Павлишин В.И. Минералогия Донецкого бассейна. – Ч. II. – К.: Наук. думка. – 1975 – 502 с.
5. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Т. 1. Металлические полезные ископаемые. / Д.С. Гурский, К.Е. Есипчук, В.И. Калинин и др. Киев – Львов – Изд-во «Центр Европы» – 2005 – 785 с.
6. Корчемагин В.А., Панов Б.С., Купенко В.И., Бутурлинов Н.В., Пилот И. О генезисе гидротермальной минерализации Донбасса по данным изотопной геохимии. // Геохимия – 1980 – № 3 – С. 408 – 415.
7. Артеменко В.М., Артеменко О.В., Чернищина О.М. Нові дані про тонковкраплене золоте зруденіння у верхньопалеозойських теригенно-карбонатних комплексах Південного Донбасу. // Мінеральні ресурси України. – 2002 – № 2 – С. 9 – 15.
8. Загнітко В.М., Ємець О.В. Ізотопні аспекти петрології та рудоутворення (на прикладі деяких родовищ України). // Мінерал. журнал – 2005. – 27, № 3 – С. 128 – 137.
9. Горовой А.Ф., Мамчур Г.П. Изотопный состав углерода гидротермальных карбонатов рудных районов Донбасса. // Геохимия – 1979 – № 1. – С. 149 – 153.
10. Зинчук И.Н., Калюжный В.А., Щирица А.С. Флюидный режим гидротермального минералообразования Центрального Донбасса. – К.: Наук. думка – 1984. – 104 с.