

УДК 551.464.6.02;551.734.2;551.734.3(476)

ИЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ОТЛОЖЕНИЯХ ПОГРАНИЧНЫХ ГОРИЗОНТОВ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ДЕВОНА БЕЛАРУСИ

А. А. Махнач¹, Б. Г. Покровский², О. В. Мурашко¹

¹Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: amahnach1951@gmail.com

²Геологический институт РАН

Пыжевский пер., 7, 119017, Москва, Россия

E-mail: pokrov@ginras.ru

Выполнено изотопно-геохимическое изучение карбонатсодержащих отложений витебского (верхний эмс) и адровского (нижний эйфель) горизонтов Беларуси в разрезах скважин Северо-Полоцкая (юго-восток Латвийской седловины), Быховская (зона сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (Жлобинская седловина), Приволье (Северо-Припятское плечо Припятского прогиба) и ГГК-1 (юго-западный край Воронежской антеклизы).

В отложениях витебского и адровского горизонтов Северо-Полоцкого, Быховского и Кормянского разрезов преобладают значения $\delta^{13}\text{C}$, близкие величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, и значения $\delta^{18}\text{O}$, присущие карбонатам эмского и эйфельского веков. Однако имеются изотопные сигналы усиления роли вод суши при обмелении бассейна (отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$), эвапоритизации (увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$) и периодического изменения температуры морской воды, связанного с колебаниями глубины бассейна (разнонаправленные сдвиги $\delta^{18}\text{O}$).

Синхронные отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ трассируют интервалы разрезов, испытавших воздействие инфильтрационного катагенеза в обольских слоях витебского горизонта и адровском горизонте скв. ГГК-1, а также в лепельских слоях витебского горизонта скв. Кормянская.

Необычное сочетание нормально-морских $\delta^{13}\text{C}$ и крайне низких $\delta^{18}\text{O}$ в нижних частях витебского и адровского горизонтов разреза Приволье, расположенного в ареале самой высокой в Беларуси плотности теплового потока и на крыле палеовулкана, предположительно связано с катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или рассолов, не испытавших существенного влияния инфильтрации, в условиях повышенных (или высоких) температур.

Ключевые слова: Беларусь, витебский горизонт (верхний эмс), адровский горизонт (нижний эйфель), карбонатсодержащие отложения, изотопы углерода, изотопы кислорода.

ВВЕДЕНИЕ

В 2019–2023 гг. нами были выполнены изотопно-хемостратиграфические исследования карбонатных и карбонатсодержащих ниже-среднедевонских отложений в отдельно взятых разрезах пяти скважин на территории Беларуси (рис. 1) [2; 3; 11; 12; 14; 15], а также сопоставлены изотопные данные по этим разрезам для образований освейского горизонта нижнего эйфеля [17] и городокского горизонта среднего эйфеля [16]. В настоящей статье приводятся результаты сопоставления изотопного состава углерода и кислорода в отложениях пограничных стратиграфических подразделений нижнего и среднего девона, представленных в Беларуси витебским (верхний эмс) и адровским (нижний эйфель) горизонтами. Первый из них коррелируется с нижней частью рязжского горизонта Центрального

девонского поля и резекненским горизонтом Главного девонского поля, второй – с верхней частью рязжского горизонта и пярнуским горизонтом этих регионов соответственно [1; 7; 8; 21].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Скважины, каменный материал которых использован в работе, выстраиваются в профиль с северо-запада на юго-восток Беларуси (см. рис. 1). Это параметрические скважины Северо-Полоцкая (на юго-востоке Латвийской седловины), Быховская (в зоне сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (на Жлобинской седловине), Приволье (на Северо-Припятском плече Припятского прогиба) и картировочная скважина ГГК-1 (в Клиновском грабене на юго-западном краю Воронежской антеклизы).

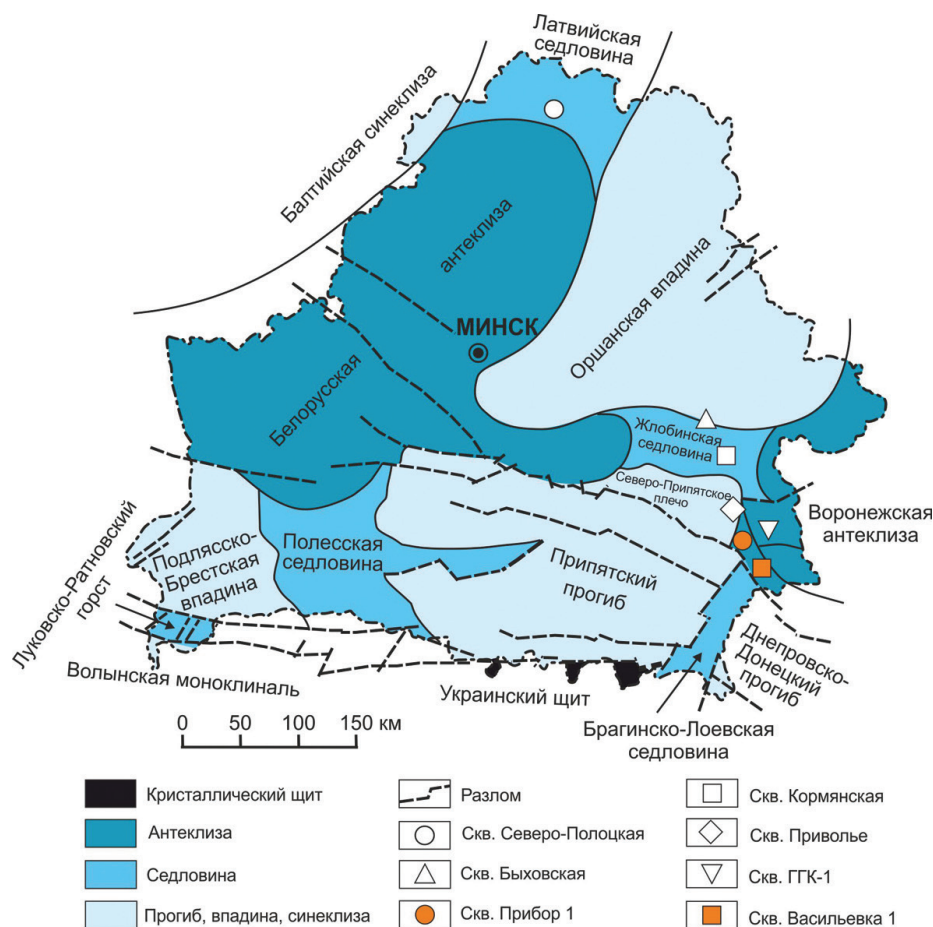


Рисунок 1 – Расположение скважин, материалы по которым использованы в работе, на схеме тектонического районирования территории Беларуси [4]

Литостратиграфическое расчленение этих разрезов выполнено А. Г. Лапцевич, О. Ф. Кузьменковой, Г. Д. Стрельцовой и Н. С. Яковлевой (Институт геологии, Минск) в соответствии со стратиграфической схемой девонских отложений Беларуси [21]. Ими же при полевом описании керна скважин была собрана коллекция образцов, из которых 126 проб карбонатных и карбонатсодержащих пород витебского и адровского горизонтов было использовано нами в работе.

Разрешение построенных кривых вариаций изотопного состава углерода и кислорода в витебском и адровском горизонтах, определяемое метражом разреза, охарактеризованным одним образцом, оказалось следующим: скв. Северо-Полоцкая – 0,8 и 0,4 м соответственно; Быховская – 2,0 и 1,0; Кормянская – 1,2 и 0,4; Приволье – 2,2 и 1,0; скв. ГГК-1 – 1,4 и 1,1 м.

Изотопные определения производились на масс-спектрометре Delta V Advanced с использованием установки Gas-Bench-I в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (Москва). Их результаты даны относительно следующих стандартов: $\delta^{13}\text{C}$ – PDB, $\delta^{18}\text{O}$ – PDB. Точность (воспроизводимость) измерений находится в пределах $\pm 0,2$ ‰. Карбонатность пород газометри-

ческим методом и содержание органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) посредством оксидометрии определялись в Институте геологии (Минск) Г. И. Лучиной.

Авторы благодарны указанным выше коллегам, способствовавшим формированию массива фактических данных, использованных в статье.

ЛИТОЛОГИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Литологическая информация об изучаемых разрезах дана в таблице 1 и на рисунках 2 и 3.

Витебско-адровская часть разреза скв. Северо-Полоцкая подстилается отложениями томмотского яруса нижнего кембрия, в скв. Быховская, Кормянская и Приволье – образованиями вильчанской серии нижнего венда, а в скв. ГГК-1 – породами кристаллического фундамента. Во всех пяти разрезах витебско-адровские отложения перекрыты образованиями освейского горизонта нижнего эйфеля (дорогобужский горизонт Московской синеклизы, или вадьянский подгоризонт наровского горизонта Литвы) [1; 7; 8; 21].

В разрезе скв. Северо-Полоцкая маломощные витебско-адровские отложения залегают в интервале 327,6–338,7 м. Начинаящие девонскую часть разреза образования витебского горизонта мощностью 8,7 м представлены бежево-серыми и зеленовато-серыми доломитовыми мергелями, известковистыми глинистыми и песчанистыми доломитами, доломитистыми глинами, песчаниками с доломитовым цементом. Встречаются гнезда гипса размером до 3–4 см. Адровский горизонт (мощность 2,4 м) сложен, главным образом, светло-серыми массивными песчаными доломитами с гнездами, прослоями и прожилками желтоватого гипса.

В Быховском разрезе витебско-адровская толща (294,1–351,2 м) имеет мощность 57,1 м, из которых 50 м приходится на витебский горизонт. Он сни-

зу вверх подразделяется на обольские (мощность 15,9 м) и лепельские (34,1 м) слои. Обольские слои сложены преимущественно кварцевыми песчаниками, слоистыми и массивными, со структурой от мелко- до крупнозернистой. Встречаются прослои гравелитов. Цемент пород глинистый и доломитовый, иногда гипсовый. Лепельские слои – это чередование доломитовых мергелей, доломитов, доломитистых глин; отмечаются также песчаники с глинистым и доломитовым цементом. Присутствуют редкие гипсовые включения. Адровский горизонт (7,1 м) представлен преимущественно доломитами с разным содержанием терригенной примеси, в т. ч. строматолитовыми и оолитовыми, гнездами окремненными. Встречаются мергельные прослои.

Таблица 1 – Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов в отложениях витебского (верхний эмс) и адровского (нижний эйфель) горизонтов Беларуси

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)
Скв. Северо-Полоцкая						
Адровский горизонт						
327,7	Доломит песчаный	0	70,6	0,13	–0,8	0,2
328,2	Доломит известковый	27,9	69,5	0,62	–4,8	–3,8
328,5	Доломит песчаный	0	51,1	0,22	–1,2	–1,0
328,7	Мергель доломитовый глинистый опесчаненный	–»–	39,5	0,56	–1,8	–1,8
329,0	Доломит песчаный	3,9	68,8	0,15	–1,3	–0,4
329,6	Мергель доломитовый с алевритом	0	51,6	0,18	–1,6	–1,2
Витебский горизонт						
330,6	Глина доломитистая с выделениями гипса	0	16,1	0,13	–3,4	–5,5
332,4	Глина доломитистая	–»–	13,4	0,36	–2,5	0,5
332,6	Мергель доломитовый глинистый	–»–	41,5	0,27	–2,8	–2,3
332,9	Доломит известковистый глинистый	11,9	78,1	0,21	–3,2	–3,1
333,1	Глина доломитистая	0	16,8	0,69	–2,9	–3,5
334,0	Доломит известковистый опесчаненный выделениями гипса	21,7	78,3	0,23	–2,4	–2,4
335,2	Мергель доломитовый алевритистый	0,6	58,1	0,22	–2,0	–1,2
336,2	Мергель доломитовый глинистый	0	47,2	0,22	–1,5	–1,8
337,1	Мергель известковисто-доломитовый с выделениями гипса	6,3	59,0	0,18	–1,0	–1,8
337,6	Мергель доломитовый алевритистый	0	53,5	0,21	–1,0	–2,5
338,6	Песчаник с доломитовым цементом	–»–	42,5	0,17	–0,9	–3,3
Скв. Быховская						
Адровский горизонт						
294,5	Мергель известково-доломитовый	10,7	42,3	Нет данных	–3,5	–2,7
294,7	Доломит глинистый известковистый	6,3	81,6	0,25	–0,8	–3,9

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	δ ¹³ C, ‰ (PDB)	δ ¹⁸ O, ‰ (PDB)
Скв. Быховская						
Адровский горизонт						
297,0	Доломит известковистый глинистый	13,8	79,7	0,19	-0,7	-2,8
298,0	Мергель доломитовый	4,5	60,2	0,29	-0,7	-3,8
299,0	Мергель доломитовый	4,5	58,5	0,38	-0,8	-4,0
299,9	Глина доломитовая	1,4	12,7	0,32	-1,1	-3,1
301,1	Доломит известковистый глинистый	7,2	86,2	0,34	-1,7	-2,7
Витебский горизонт, лепельские слои						
302,0	Глина доломитистая	0,2	5,9	1,76	-2,8	-2,8
303,3	Мергель глинистый доломитовый	2,3	24,0	0,41	-1,9	-2,4
304,6	Глина доломитистая	3,0	19,6	0,44	-1,8	-3,2
306,9	—»—	0,7	10,2	0,47	-1,7	-4,3
307,3	Мергель доломитовый	2,7	49,7	0,23	-1,7	-4,1
310,1	Мергель глинистый доломитовый	2,0	33,2	0,26	-2,2	-2,7
311,2	Доломит глинистый известковистый	6,8	74,6	0,12	-1,5	-1,4
312,0	Доломит известковистый	10,9	86,6	0,09	-1,7	-1,7
313,0	Мергель доломитовый	4,3	48,2	0,15	-1,7	-0,2
315,0	Доломит известковистый глинистый	10,9	79,7	0,09	-1,4	0,2
317,0	Мергель глинистый доломитовый	3,7	34,0	0,17	-1,8	-1,9
319,6	Мергель доломитовый	5,6	52,4	0,15	-1,7	-2,4
320,6	Глина доломитистая	2,5	14,4	0,18	-2,4	-3,3
323,4	—»—	0,9	5,5	0,94	-2,7	-2,3
324,7	—»—	1,6	10,8	0,66	-2,5	-3,4
326,0	Глина карбонатсодержащая	1,6	2,0	0,71	-5,1	-1,6
327,9	Мергель глинистый известково-доломитовый	5,9	39,9	0,40	-3,9	-3,3
331,5	Доломит известковистый глинистый	14,5	70,2	0,59	-3,4	-1,8
334,5	Глина доломитистая	0,9	14,6	Нет данных	-3,1	-4,9
Витебский горизонт, обольские слои						
335,4	Мергель известково-доломитовый	7,2	45,5	0,14	-2,7	-5,1
335,8	Известково-доломитовая глинистая порода	38,6	47,9	0,29	-4,4	-4,1
340,0	Песчаник с глинистым и доломитовым цементом	1,6	15,9	0,11	-8,7	-1,0
344,0	—»—	0,4	2,8	0,38	-3,4	-5,7
347,0	—»—	6,5	36,5	0,13	-7,7	1,2
349,5	—»—	0,0	2,2	0,12	-4,7	-0,9

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)
Скв. Кормянская						
Адровский горизонт						
311,2	Алеврит с доломитовым цементом	2,5	14,6	1,05	-3,5	-5,1
312,0	Мергель известково-доломитовый	9,1	44,2	0,98	-3,7	-3,2
312,1	Доломит известковистый глинистый с сульфидами	13,6	63,2	0,98	-5,0	-2,5
312,4	Мергель доломитовый	3,0	49,0	0,15	-1,6	-4,1
312,6	Доломит известковистый глинисто-песчаный оолитовый	5,6	73,5	0,20	-1,3	-5,1
312,7	—»—	5,4	60,7	0,21	-1,2	-5,1
312,8	Доломит известковистый глинистый оолитовый	7,2	79,9	0,16	-1,9	-5,2
313,0	Доломит известковистый оолитовый	15,2	85,2	0,16	-1,8	-5,0
313,5	Доломит	4,7	90,2	0,15	-1,4	-5,6
313,6	Доломит водорослевый кавернозный	4,5	95,5	0,37	-1,9	-5,0
314,5	Глина алевролитовая доломитовая	2,5	12,3	0,27	-2,4	-2,9
315,0	Мергель известково-доломитовый	7,2	53,9	0,39	-2,1	-3,3
315,5	Доломит известковистый с сульфидами	5,4	94,6	0,20	-2,0	-4,1
316,3	Доломит известковистый	6,8	88,7	0,30	-1,8	-3,2
316,7	Доломит известковистый кавернозный с сульфидами	19,3	80,7	0,17	-1,8	-3,5
Витебский горизонт, лепельские слои						
318,3	Доломит известковистый глинистый онколитовый	13,2	77,6	0,25	-2,1	-1,9
320,3	Мергель глинистый доломитовый	1,1	27,1	0,44	-1,9	-3,1
323,2	Доломит известковистый глинистый	6,8	85,2	0,07	-1,9	-4,5
324,6	Глина доломитовая	1,1	15,6	0,12	-1,8	-4,8
325,2	Доломит известковистый глинистый	9,1	78,2	0,11	-1,9	-3,9
325,8	Доломит	4,0	96,0	0,10	-1,8	-4,4
328,7	Доломит известковистый с кристаллами кальцита в трещине	8,6	89,4	0,12	-5,2	-7,4
328,7	Доломит известковистый	8,7	91,3	0,10	-1,8	-4,1
329,0	Мергель известково-доломитовый	13,6	60,5	0,96	-5,2	-2,5
329,2	Доломит известковистый глинистый строматолитовый	7,9	86,0	0,11	-1,7	-4,9

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	δ ¹³ C, ‰ (PDB)	δ ¹⁸ O, ‰ (PDB)
Скв. Кормянская						
<i>Витебский горизонт, лепельские слои</i>						
330,0	Мергель доломитовый брекчиевидный с водорослевой текстурой	3,7	60,5	0,10	-1,7	-4,1
330,6	Мергель доломитовый с раковинным детритом	3,9	47,3	0,14	-1,6	-4,2
331,6	Алевролит с доломитовым цементом	1,1	23,0	0,18	-1,7	-3,5
331,8	—»—	3,0	21,2	0,22	-1,8	-4,2
332,5	—»—	2,0	23,8	0,21	-1,7	-2,5
333,0	Мергель доломитовый	4,5	63,6	0,17	-1,8	-2,7
334,0	Алевролит доломитсодержащий	3,7	15,0	0,14	-2,2	-3,8
334,8	Алевролит глинистый доломитсодержащий	3,4	25,0	0,13	-2,5	-3,3
335,8	Глина доломитистая	2,0	14,8	0,15	-2,2	-4,5
336,0	Мергель глинистый доломитовый	1,6	28,8	0,14	-2,5	-5,2
336,7	Доломит известковистый	9,2	90,8	0,23	-2,0	-5,5
336,8	Глина доломитовая	0,7	20,8	0,18	-1,6	-4,8
340,1	Мергель доломитовый	4,1	23,8	0,34	-3,1	-3,7
340,8	Доломит известковистый глинистый	11,4	79,3	0,14	-2,2	-5,3
342,8	Мергель известковисто-доломитовый	5,4	60,9	1,19	-2,0	-2,8
344,4	—»—	5,9	60,7	0,67	-2,7	-4,5
347,1	Глина доломитистая	0,4	21,4	0,29	-2,9	-5,5
<i>Витебский горизонт, оболские слои</i>						
348,8	Песчаник с доломитовым цементом	2,7	30,7	0,11	-3,4	-5,9
350,2	—»—	1,8	47,5	0,24	-3,5	-5,5
351,0	—»—	2,0	33,6	0,24	-3,8	-5,9
351,3	Терригенно-карбонатная порода	5,6	55,1	0,21	-3,9	-6,4
Скв. Приволье						
<i>Адровский горизонт</i>						
883,3	Глина доломитистая, переслаивающаяся с ангидритом	0	12,8	0,88	-5,0	-7,1
883,5	Мергель глинистый доломитовый	—»—	33,9	1,08	-4,8	-6,5
884,8	Глина доломитистая	—»—	15,0	4,78	-3,9	-7,2
885,1	Мергель глинистый известковисто-доломитовый	13,4	32,7	2,80	-4,5	-7,0
885,7	Мергель известковисто-доломитовый	9,6	53,1	0,22	-2,5	-6,8
886,5	Песчано-гравелитовая порода с доломитом	0	9,3	0,15	-1,4	-8,4

Окончание табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	δ ¹³ C, ‰ (PDB)	δ ¹⁸ O, ‰ (PDB)
Скв. Приволье						
Витебский горизонт						
887,1	Мергель глинистый доломитовый	0	29,3	0,97	-5,8	-2,8
888,0	Ивестковисто-доломитовая порода	15,4	82,6	0,28	-3,2	-4,4
889,7	Мергель глинистый доломитовый	0	39,0	0,93	-0,6	-9,1
890,4	Песчаник доломитовый	-»-	28,0	0,40	-0,4	-9,1
891,9	Глина доломитистая	-»-	18,2	0,89	-1,3	-6,9
892,6	Мергель глинистый доломитовый	-»-	29,2	0,75	-0,5	-9,2
893,5	Песчаник доломитистый	-»-	8,5	0,12	-1,0	-9,4
Скв. ГГК-1						
Адровский горизонт						
430,1	Песчаник с известковым цементом	14,8	3,4	0,07	-6,8	-6,2
432,0	Гравелит с известковым цементом	21,4	4,7	0,07	-6,5	-2,0
433,8	-»-	33,1	2,9	0,09	-7,0	-4,8
435,1	Песчаник с пойкилитовым карбонатным цементом	15,0	4,3	0,06	-6,3	-6,7
435,6	-»-	5,7	4,0	0,21	-6,1	-6,1
Витебский горизонт, лепельские слои						
435,9	Глина доломитистая	0,0	20,5	0,19	-3,7	-2,9
436,6	Мергель доломитовый	11,1	57,9	0,06	-4,8	0,4
436,9	Доломит известковистый	14,0	86,0	0,13	-2,3	0,2
437,4	Доломит известковый	25,5	74,3	0,15	-2,5	-1,8
437,7	Доломит известковистый	17,8	77,3	0,13	-2,5	-1,7
438,4	Доломит известковистый глинистый	14,1	65,6	0,12	-3,3	-0,9
438,7	Доломит известковистый	22,6	74,7	0,08	-3,4	-0,5
439,6	Мергель известковисто-доломитовый	9,0	53,1	0,13	-2,3	-0,9
440,4	Песчаник с известковым цементом	11,8	0,0	0,12	-2,4	2,0
441,0	Доломит известковистый	12,6	84,1	0,12	-4,9	-0,4
Витебский горизонт, обольские слои						
449,9	Мергель глинистый доломитовый	0,3	31,7	0,06	-4,4	0,3
452,1	Песчаник с доломитовым цементом	2,7	40,6	0,07	-4,4	-0,2
452,8	Песчаник с пойкилитовым кальцитовым цементом	25,3	1,9	0,01	-6,6	-8,2
453,2	Песчаник с пойкилитовым карбонатным цементом	11,7	5,0	0,04	-6,3	-7,4

Примечание. C_{орг} – концентрация органического углерода.

Интервал залегания витебско-адровских отложений в скв. Кормянская – 311,0–351,5 м (мощность 40,5 м). В витебском горизонте (34,5 м) выделены обольские (3,1 м) и лепельские (31,4 м) слои. Первые представлены чередованием серых карбонатсодержащих песчаников и зеленовато-серых аргиллитоподобных глин. Есть прослои пелитоморфных доломитов. Лепельские слои сложены доломитами, обычно известковистыми глинистыми, нередко строматолитовыми, а также комковатыми доломитовыми мергелями и доломитистыми аргиллитоподобными глинами. Имеются прослои але-

ролитов и песчаников. Цвет пород главным образом серый, местами с зеленоватым или бежевым оттенком. В доломитах иногда отмечаются каверны и трещины, стенки которых инкрустированы хорошо оформленными бесцветными прозрачными кристаллами кальцита. Мощность адровского горизонта в Кормянском разрезе – 6 м. Он сложен преимущественно светло- и желтовато-серыми водорослевыми известковистыми и глинистыми доломитами, иногда с оолитами, прослоями пористыми и кавернозными. Встречаются тонкие прослои песчаников, алевролитов и темно-серых глин.

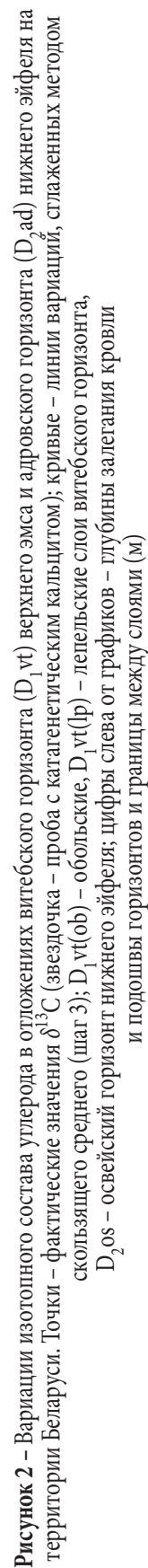


Рисунок 2 – Вариации изотопного состава углерода в отложениях витебского горизонта ($D_1 vt$) верхнего эмса и адровского горизонта ($D_1 ad$) нижнего эйфеля на территории Беларуси. Точки – фактические значения $\delta^{13}C$ (звездочка – проба с катагенетическим кальцитом); кривые – линии вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг 3); $D_1 vt(ob)$ – обольские, $D_1 vt(lp)$ – лепельские слои витебского горизонта, D_{2os} – освейский горизонт нижнего эйфеля; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м)

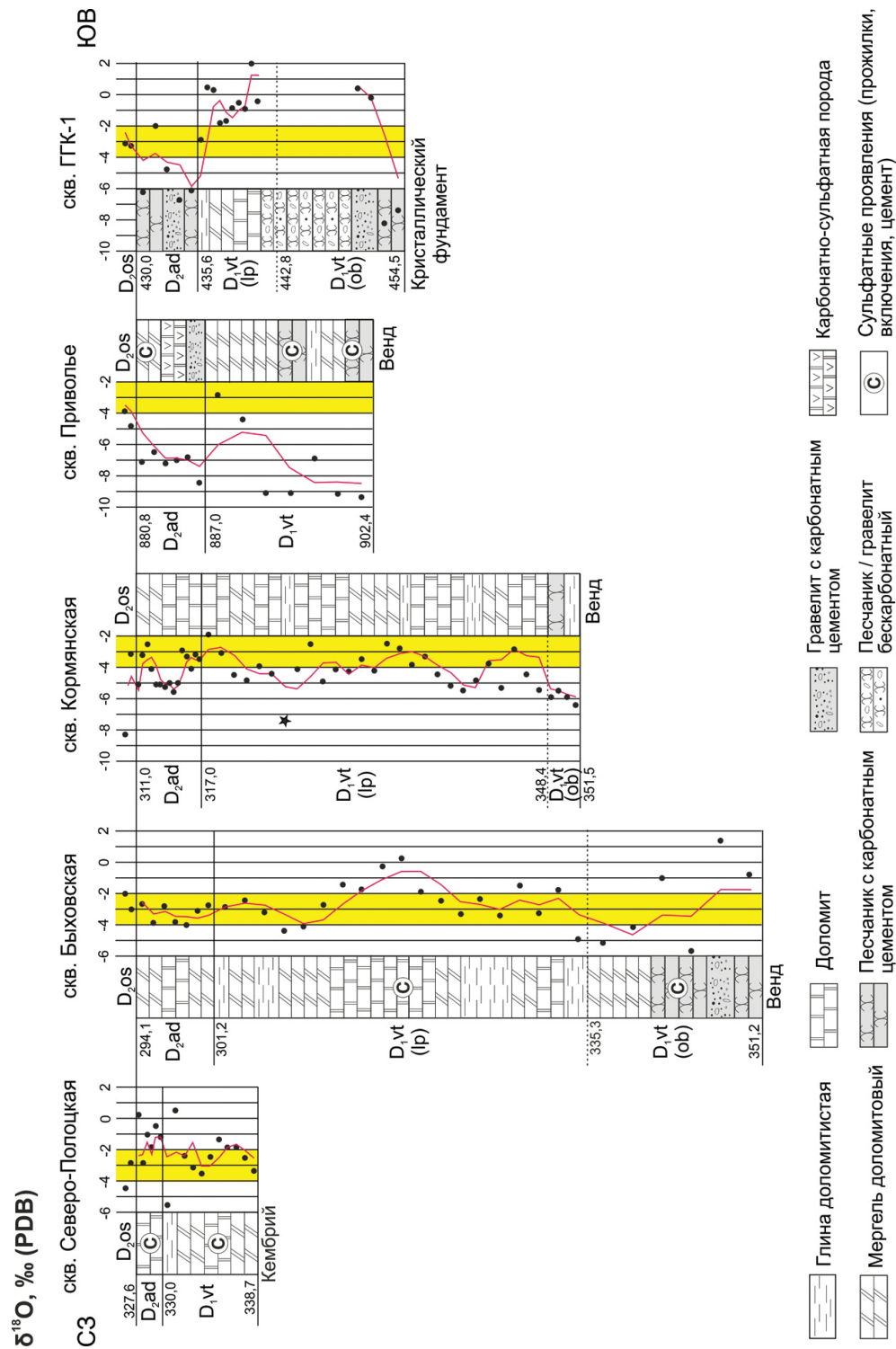


Рисунок 3 – Вариации изотопного состава кислорода в отложениях витебского горизонта (D_1vt) верхнего эмса и адровского горизонта (D_2ad) нижнего эйфеля на территории Беларуси. Точки – фактические значения $\delta^{18}\text{O}$ (звездочка – проба с катагенетическим кальцитом); кривые – линии вариаций, сложенных методом скользящего среднего (шаг 3); $D_1vt(ob)$ – обольские, $D_1vt(lp)$ – лепельские слои витебского горизонта, D_2os – освейский горизонт нижнего эйфеля; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м); заливка – интервал значений $\delta^{18}\text{O}$, наиболее характерных для карбонатов эмского и эйфельского моря по глобальным оценкам [24; 25; 27; 29; 30]

Глубина залегания витебско-адровской толщи в скв. ГГК-1 – 430,0–454,5 м. Витебский горизонт (18,9 м) здесь подразделяется на обольские (11,7 м) и лепельские (7,2 м) слои. Первые представлены ритмичным чередованием разномерных полевошпатово-кварцевых песчаников и гравелитов. Окраска пород серая, охристая, красная. В нижней части обольского разреза песчаники содержат базально-поровый и пойкилитовый карбонатный цемент. Лепельские слои сложены чередующимися доломитистыми глинами, доломитовыми мергелями и известковистыми доломитами. В нижней части присутствуют песчаники с карбонатным цементом и песчано-алевритовые породы. Цвет лепельских пород серый, розовато- и зеленовато-серый, коричневый, зеленый, бордовый. Породы адровского горизонта (5,6 м) – это преимущественно зеленовато-серые полевошпатово-кварцевые песчаники разной зернистости с известковым базально-поровым и пойкилитовым цементом.

Витебско-адровские образования в разрезе скв. Приволье залегают гораздо глубже (880,8–902,4 м), чем в остальных четырех рассматриваемых скважинах. Этот разрез расположен в юго-восточ-

ной части Азделинского вулкана, действовавшего в воронежско-чернинское время франского века позднего девона [13], и в ареале самой высокой в Беларуси плотности современного теплового потока [5]. На витебский горизонт здесь приходится 15,4, на адровский – 6,2 м разреза. Витебские породы представлены серыми, зеленовато- и светло-серыми, иногда бежевыми доломитовыми мергелями, доломитистыми глинами, разномерными песчаниками с карбонатным и гипсово-карбонатным цементом, реже – известковистыми доломитами. Адровский горизонт сложен переслаиванием серых, светло-серых, коричневатых-серых доломитовых мергелей, доломитистых глин, иногда с прожилками и корочками гипса, в том числе селенита, песчаников с карбонатным и гипсовым цементом, карбонатно-ангидритовых пород.

Содержание $C_{орг}$ в отложениях изучаемых разрезов в целом невысокое (табл. 2) – в подавляющем большинстве образцов находится на уровне субдоманикоидов (0,1–0,5 %) и пород со сверххассеянным $C_{орг}$ (<0,1 %) [20]. Лишь в скв. Приволье доманикоиды (0,5–5,0 % $C_{орг}$) преобладают над субдоманикоидами.

Таблица 2 – Статистическая характеристика распределения содержания $C_{орг}$ (%) в породах адровского и витебского горизонтов на территории Беларуси

Скважина (n)	$\bar{x}$	Субдоманикоиды (0,1–0,5 % $C_{\text{орг}}$) и породы со сверххассеянным $C_{\text{орг}}$ (<0,1 %)				Доманикоиды (0,5–5,0 % $C_{\text{орг}}$)			
		n	x_{min}	x_{max}	$\bar{x}$	n	x_{min}	x_{max}	$\bar{x}$
Адровский горизонт									
Северо-Полоцкая (6)	0,31	4	0,13	0,22	0,17	2	0,56	0,62	0,59
Быховская (6)	0,30	6	0,19	0,38	0,30	0	–	–	–
Кормянская (15)	0,38	12	0,15	0,39	0,23	3	0,98	1,05	1,00
Приволье (6)	1,66	2	0,15	0,22	0,19	4	0,88	4,78	2,39
ГГК-1 (5)	0,10	5	0,06	0,21	0,10	0	–	–	–
Витебский горизонт									
Северо-Полоцкая (11)	0,24	10	0,13	0,36	0,20	1	–	–	0,69
Быховская (24)	0,38	19	0,09	0,44	0,23	5	0,59	1,76	0,93
D ₂ lp (18)	0,43	13	0,09	0,44	0,24	5	0,59	1,76	0,93
D ₂ ob (6)	0,20	6	0,11	0,38	0,20	0			
Кормянская (30)	0,26	27	0,07	0,44	0,18	3	0,67	1,19	0,94
D ₂ lp (26)	0,27	23	0,07	0,44	0,18	3	0,67	1,19	0,94
D ₂ ob (4)	0,20	4	0,11	0,24	0,20	0			
Приволье (7)	0,62	3	0,12	0,40	0,27	4	0,75	0,97	0,89
ГГК-1 (14)	0,10	14	0,01	0,19	0,10	0	–	–	–
D ₂ lp (10)	0,12	10	0,06	0,19	0,12	0	–	–	–
D ₂ ob (4)	0,05	4	0,01	0,07	0,05	0	–	–	–

Примечания: n – число определений, $\bar{x}$ – среднее арифметическое (курсивом дано единичное значение), x_{min} и x_{max} – минимальное и максимальное значения; D₂lp – лепельские слои, D₂ob – обольские слои.

ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ

Как было показано в предыдущем разделе статьи, взятые для изотопно-геохимического изучения витебско-адровские разрезы достаточно разнообразны по вещественному наполнению. Наряду с доминирующими доломитовыми мергелями, доломитами и доломитистыми глинами присутствуют интервалы, представленные песчаниками, гравелитами и карбонатно-сульфатными породами. В глинисто-карбонатных и терригенных породах иногда содержатся сульфатные проявления в виде прослоев, включений и цемента. Названные литологические особенности разрезов свидетельствуют о том, что факторами формирования изотопного состава карбонатных углерода и кислорода в витебских и адровских породах могли быть периодически изменяющиеся глубина моря, интенсивность притока континентальных вод, соленость морской воды. С учетом наличия в разрезах изначально высокопроницаемых терригенных пород, сцементированных карбонатным цементом, и интервалов с кристаллами кальцита в кавернах, а также неглубокого залегания витебско-адровских пород вероятно также роль инфильтрационного катагенеза в формировании изотопной картины. Принимая во внимание специфику разреза Приволье, заключающуюся в его размещении в области позднедевонского вулкана и в зоне повышенной плотности современного теплового потока, следует проанализировать возможность термального воздействия на формирование изотопного состава кислорода катагенетических карбонатов. Что касается возможной роли превращения органического углерода в карбонатный в области седиментации или в зоне диагенеза, то, судя по графикам соотношений $C_{орг}$ и $\delta^{13}C$ (рис. 4), она вряд ли была существенной. Лишь для разреза Приволье, породы которого богаче органическим веществом, чем остальные, можно фрагментарно усмотреть не очень внятную связь между этими параметрами.

Рассмотрение частотного распределения показателей изотопного состава углерода и кислорода показывает, что в общей выборке, состоящей из данных по всем пяти скважинам (рис. 5), доминируют близнулевые значения $\delta^{13}C$, соответствующие нормальным морским цифрам для седиментационных карбонатов, и величины $\delta^{18}O$, характерные для эмса и эйфеля ($-4...-2\text{‰}$) на обобщенной хемотратиграфической кривой, построенной по результатам анализа раковин брахиопод из девонских отложе-

ний США, Испании, Марокко, России (Сибирь) и Китая [24; 25; 27; 29; 30]. Однако имеется немало отклонений от этих преобладающих значений в ту и другую сторону. Особенно много сниженных и низких величин и $\delta^{13}C$, и $\delta^{18}O$ в разрезах Приволье и ГГК-1. Рассмотрим погоризонтную динамику изотопных показателей.

Витебский горизонт

Значительной схожестью характеризуются конфигурации изотопных кривых для витебского горизонта в разрезах скважин Северо-Полоцкая, Быховская и Кормянская; это касается обоих рассматриваемых изотопов (см. рис. 2, 3). Преобладающая масса значений $\delta^{13}C$ соответствует или близка величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, а значения $\delta^{18}O$ в основном соответствуют цифрам, присущим карбонатам эмского века. Обратим внимание на отклонения от нормально-морских цифр в этих разрезах.

В средней части витебского горизонта Северо-Полоцкого разреза имеется отрицательный экскурс $\delta^{13}C$ небольшой амплитуды (не более 4‰), который, вероятно, сигнализирует о некотором обмелении бассейна и усилении в нем роли вод суши, обогащенных изотопно-легким почвенным углеродом. Предположение об обмелении бассейна согласуется с загипсованностью пород.

В Быховском разрезе витебского горизонта на обольские слои приходится отрицательный экскурс $\delta^{13}C$ (в среднем $-5,3\text{‰}$, амплитуда примерно 6‰). Присутствие здесь гипсовых проявлений указывает на обмеление бассейна и увеличение роли вод континентального стока в седиментационной геохимической системе. Об этом же свидетельствует и то, что значительное место в обольских слоях принадлежит песчаникам и гравелитам. На фоне углеродно-изотопного отрицательного экскурса в обольских слоях имеют место сильные флуктуации $\delta^{18}O$. Видятся две их возможные причины: неравномерная интенсивность поступления водных потоков с суши, что приводило к изменениям температуры воды в бассейне, и удаление изотопа ^{16}O из воды при ее испарении [22]. Вторая из названных причин, вероятно, объясняет также положительный экскурс $\delta^{18}O$ с амплитудой в 4‰ в средней части лепельских слоев витебского горизонта Быховского разреза, отмеченной проявлениями гипса.

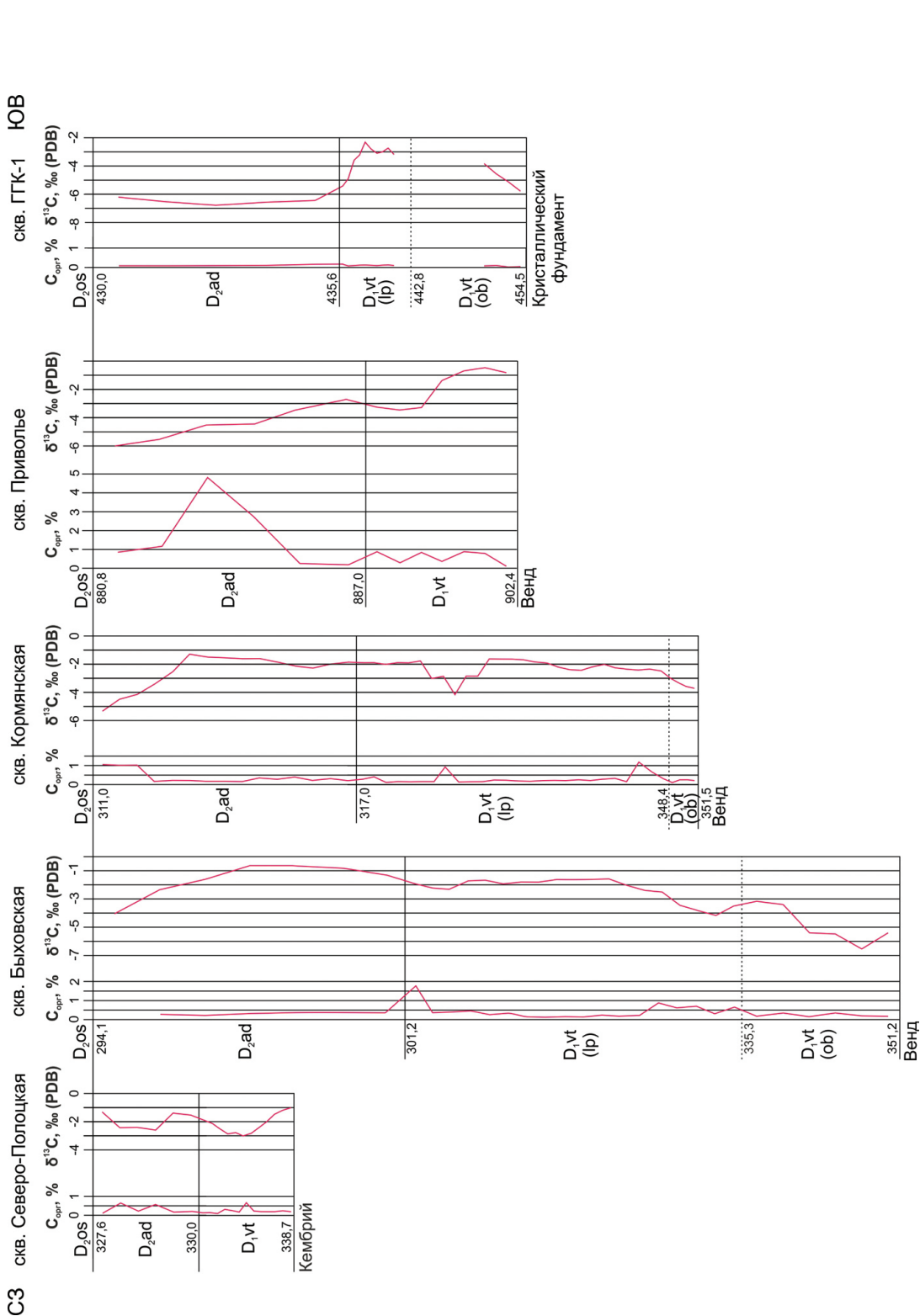


Рисунок 4 – Соотношение содержания C_{org} и $\delta^{13}C$ в отложениях витебского горизонта (D_{1vt}) верхнего эмса и адровского горизонта (D_{2ad}) нижнего эйфеля на территории Беларуси. Линии вариаций C_{org} построены по фактическим содержаниям, линии $\delta^{13}C$ – по скользящим средним (шаг 3); $D_{1vt}(ob)$ – обольские, $D_{1vt}(lp)$ – лепельские слои витебского горизонта, D_{2os} – освейский горизонт нижнего эйфеля; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м)

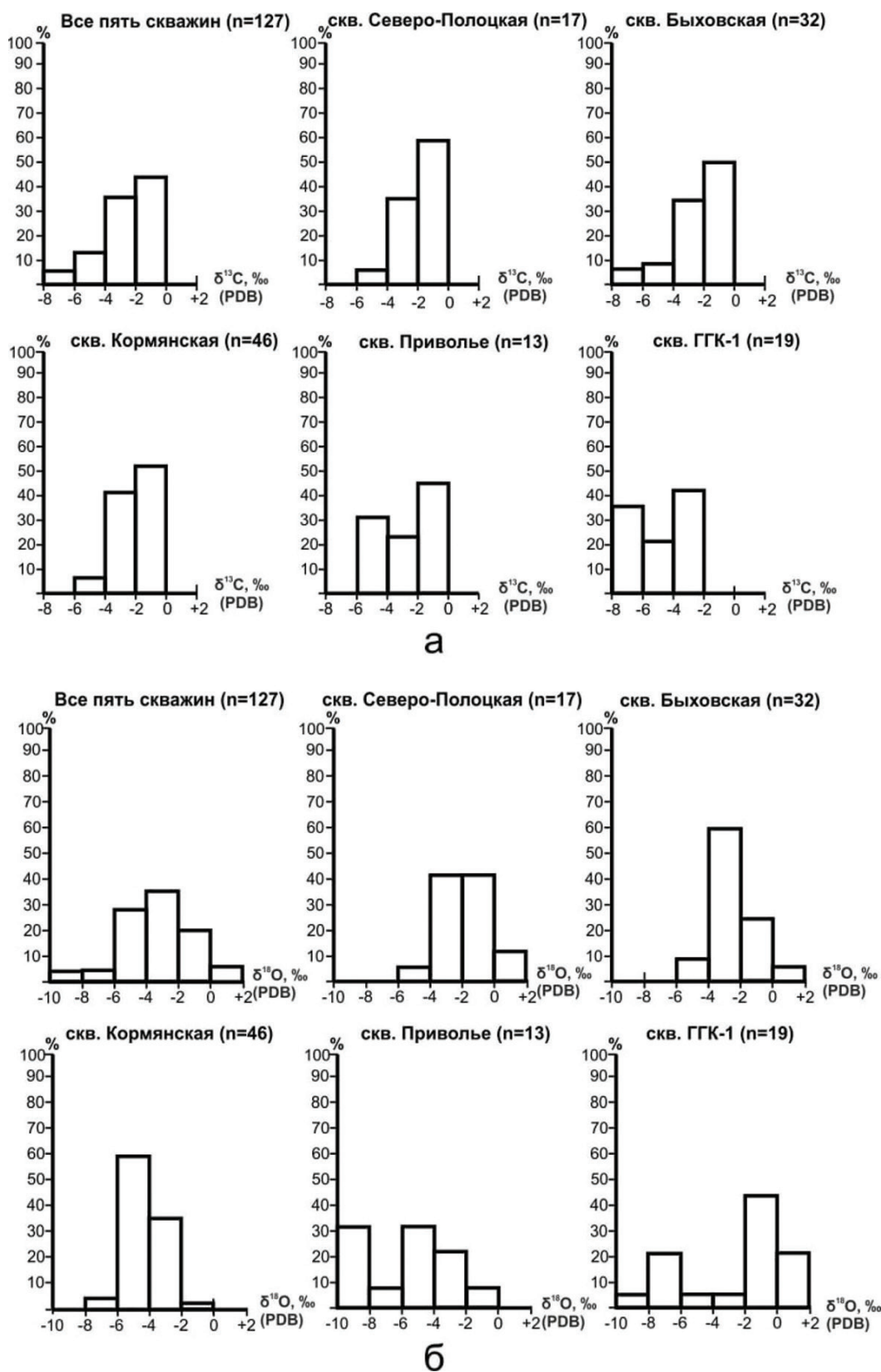


Рисунок 5 – Гистограммы распределения $\delta^{13}\text{C}$ (а) и $\delta^{18}\text{O}$ (б) в отложениях витебского (верхний эмс) и адровского (нижний эйфель) горизонтов в пяти разрезах на территории Беларуси (n – число определений)

В обольских слоях Кормянского разреза, так же как в Быховском, заметны сниженные относительно лепельских слоев значения $\delta^{13}\text{C}$. Однако здесь этот отрицательный экскурс, связанный с усилением континентального стока, в отличие от Быховского разреза, лишь намечается. Это, вероятно, обусловлено разной интенсивностью поступления вод суши в обольское время. Такое предположение подкрепляется тем, что обольские породы Быховской скважины сложены более грубым обломочным материалом (песчаники и гравелиты), чем Кормянской (песчаники и глины). Флуктуации значений $\delta^{18}\text{O}$ в витебском горизонте Кормянского разреза, по-видимому, вызваны изменениями глубины морского бассейна и, как следствие, температуры воды. Однако не исключена и роль инфильтрационного катагенеза. В образце из лепельских слоев (глубина 328,7 м), представленном смесью вмещающего известковистого доломита и явно катагенетических кристаллов кальцита из трещины в нем, значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляют $-5,2$ и $-7,4$ ‰ соответственно (см. рис. 2, 3, табл. 1). Это свидетельствует об образовании кальцита в гидрогеохимической среде с участием изотопно-легких по кислороду и несущих легкий почвенный углерод инфильтрационных метеогенных вод.

Разрезы ГГК-1 и Приволье значительно отличаются по конфигурации изотопных кривых и порядку значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ от описанных выше разрезов (см. рис. 2, 3).

В скв. ГГК-1 самая нижняя часть обольских слоев (452,8–453,2 м) характеризуется синхронными отрицательными экскурсами значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Первые здесь опускаются до $-6,6$ ‰, а вторые – до $-8,2$ ‰. Это цифры гораздо более низкие, чем характерны для нормально-морских седиментационных карбонатов. Интервал, отмеченный экскурсами, представлен песчаниками и гравелитами с карбонатным базально-поровым и пойкилитовым цементом. Седиментационный базально-поровый цемент формировался в условиях активизации поступления вод континентального стока, которые несли изотопно-легкий почвенный углерод. Сложно сказать, были ли воды суши обогащены также легким изотопом кислорода. С одной стороны, в приэкваториальной области, где находилась в девоне территория Беларуси [9; 10], изотопный состав кислорода атмосферных осадков в связи с широтным эффектом может мало отличаться от такового морской воды [23; 28]. Но, с другой стороны, изотопный состав кислорода атмосферных осадков зависит не только от географической широты, но также от высоты их выпадения, температуры воздуха, сезона, близости к океану и других факторов, способных вызвать искажения широтного эффекта [19; 22; 23; 28]. Основной при-

чиной отрицательных экскурсов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в низах обольского горизонта представляется образование более позднего карбонатного цемента пойкилитового типа, являющегося продуктом медленной кристаллизации, наиболее вероятной в среде подземных вод. Цементация изначально высокопроницаемых пород происходила в обстановке инфильтрационного катагенеза под воздействием атмогенных подземных растворов. Последние были обогащены почвенным углеродом. Изотопный состав их кислорода также мог быть облегченным по следующей причине. После накопления девонских отложений в районе скв. ГГК-1 наступил очень длительный (до триаса) перерыв в седиментации, когда эти отложения находились на поверхности или вблизи нее. На протяжении этого отрезка времени территория Беларуси перманентно удалялась от экватора [9; 10] и изотопный состав кислорода метеорных осадков (прародителей инфильтрационных подземных вод, способных вызвать цементацию пород) становился все легче и легче [23; 28].

В лепельских слоях разреза ГГК-1 значения $\delta^{13}\text{C}$ несколько более низкие, чем свойственны нормальным морским карбонатам, а $\delta^{18}\text{O}$ – выше, чем присущи седиментационным карбонатам эмского века. Вероятно, такое сочетание изотопных показателей, как и в средней части витебского горизонта Северо-Полоцкого разреза и в обольских слоях – Быховского, указывают на обмеление бассейна и увеличение роли вод континентального стока, сопровождавшие эвапоритовый эпизод, который не завершился образованием гипса.

Разрез витебского горизонта скв. Приволье – самый сложный из всех пяти рассматриваемых с точки зрения интерпретации наблюдаемой изотопной картины. Здесь не только значительный размах значений $\delta^{13}\text{C}$ ($-5,8 \dots -0,4$ ‰) и $\delta^{18}\text{O}$ ($-9,4 \dots -2,8$ ‰) и очень низкие доминирующие величины $\delta^{18}\text{O}$, но и необычное сочетание в образцах нижней части горизонта изотопных параметров: нормально- или почти нормально-морские $\delta^{13}\text{C}$ и крайне низкие $\delta^{18}\text{O}$ (см. рис. 2, 3, табл. 1). С нашей точки зрения, с учетом наличия здесь (в том числе и среди проанализированных проб) песчаников с карбонатным и гипсово-карбонатным цементом, такое сочетание можно объяснить катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или рассолов, не испытавших существенного влияния инфильтрации, обеспечивающей поставку изотопно-легкого почвенного углерода, в условиях повышенных (или высоких) температур. Попробуем обосновать эту версию геологическими фактами.

В интервале глубин 268,0–417,3 м разреза Приволье залегает магматическая толща франского возрас-

та (долериты, трахидолериты, трахиты, фонолиты, лавобрекчии и туфы), перекрытая отложениями триаса. Таким образом, после формирования девонского комплекса пород в этом районе наступил перерыв в осадконакоплении, который длился 120 млн лет. Трудно судить, как существенно и глубоко по разрезу атмосферные инфильтрационные воды могли в это время воздействовать здесь на девонские породы, поскольку неясно, насколько водопроницаемы магматические образования, а в скв. Приволье гидрогеологическое опробование не проводилось. Однако франские эффузивы были опробованы на воду в двух скважинах, пробуренных недалеко от района исследований (см. рис. 1) [6]. В параметрической скв. Прибор 1 эффузивы, залегающие на глубинах 353–961 м, оказались безводными, а в скв. Васильевка 1 из трещиноватых кератофилов в интервале 609–660 м был получен приток хлоридных натриевых рассолов с минерализацией 40,3 г/л и содержанием брома 51,6 мг/л, которые В. М. Шимановичем квалифицированы как несколько разбавленные седиментационные. На этом основании можно допустить, что существенного влияния инфильтрационных вод на отложения, залегающие под магматической толщей, и особенно на самые погруженные из них – витебские, в разрезе Приволье не было.

Что касается температурного фактора формирования изотопного состава кислорода карбонатов в витебском горизонте рассматриваемого разреза, то важно отметить следующее. В речичское время франского века территория Припятского прогиба начала испытывать превращение из синеклизы в рифтовый грабен [4]. Стал существенно возрастать тепловой поток. Пластовые температуры во время активного рифтообразования были существенно выше современных. По данным отражательной способности витринита, полученным Л. Ф. Ажгиревич, на глубинах 1000–1500 м они могли достигать 90 °С, а в интервале 1500–2000 м – 115 °С [18]. Особенно высокая палеогеотермическая напряженность имела место в северо-восточной части прогиба, составным элементом которой является Северо-Припятское плечо, где расположен разрез Приволье. Как уже сказано выше, на северо-востоке прогиба и сейчас отмечается самая большая в Беларуси плотность теплового потока. Воспользуемся изотопным геотермометром доломит – вода [26] для расчета возможной температуры образования катагенетических карбонатов в породах витебского горизонта разреза Приволье. Наблюдаемое очень низкое значение $\delta^{18}\text{O}$ в карбонате, равное –9 ‰, при условии, что минералообразующий раствор имел $\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$ такое, как было свойственно эмской морской воде (–4 ‰), соответствует температуре 52,7 °С. При $\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$ воды

–5 ‰ температура составит 47,2 °С. С учетом сказанного выше о геотермии региона, рассчитанные температуры не кажутся невероятными. Они могли быть достигнуты за счет роста общей плотности теплового потока при рифтообразовании и в результате локального прогрева пород и заключенных в них растворов в области контакта с магматическими массами Азделинского вулкана. Стоит добавить, что, вероятно, изначально проницаемые песчаные породы были проводниками горячих растворов, повлиявших и на менее проницаемые мергели и глины.

В верхней части витебского горизонта разреза Приволье изотопный состав углерода и кислорода карбонатного материала мергельно-доломитовых пород возвращается к значениям, характерным для седиментационных карбонатов или близких к ним. Вероятно, эти породы в связи с низкой проницаемостью были не затронуты или слабо затронуты катагенезом.

Адровский горизонт

Так же как и в отложениях витебского горизонта, динамика значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ по разрезу адровского горизонта в скв. Северо-Полоцкая, Быховская и Кормянская сходная (см. рис. 2, 3). Величины $\delta^{13}\text{C}$ на большей части горизонта во всех трех разрезах нормально-морские, а к границе с вышележащим освейским горизонтом падают. Значения $\delta^{18}\text{O}$ в основном на уровне цифр, свойственных эйфельским карбонатам, но есть отклонения от них в обе стороны. Представляется возможной следующая трактовка поведения изотопов. На рубеже адровского и освейского времени происходит существенное обмеление бассейна, и в системе седиментации усиливается роль вод суши с их изотопно-легким почвенным углеродом. Эта перестройка, сопровождающая эвапоритовый эпизод, то в большей, то в меньшей степени отражается в разрезах всех трех скважин, где нижняя (карбонатно-сульфатная) пачка освейского горизонта отмечена отрицательными экскурсами $\delta^{13}\text{C}$ [17]. Значения $\delta^{18}\text{O}$, более высокие (скв. Северо-Полоцкая) и более низкие (скв. Кормянская), чем характерны для эйфельских карбонатов, по-видимому, обусловлены разным сочетанием вклада двух процессов: испарением морской воды, ведущим к утяжелению изотопного состава кислорода, и нагреванием воды на мелководье, способствующим его облегчению.

Отложения адровского горизонта скв. ГГК-1 характеризуются существенно сниженными значениями $\delta^{13}\text{C}$ (в среднем –6,5 ‰) и $\delta^{18}\text{O}$ (–5,2 ‰), охватывающими разрез практически целиком (см. рис. 2, 3). Выше, при описании витебского горизонта, мы отметили наличие таких же синхронно пониженных показателей изотопного состава углерода и кислорода в нижней части обольских слоев разреза этой

скважины, которые представлены, как и адровский горизонт, песчаниками и гравелитами с базально-поровым и пойкилитовым карбонатным цементом. Там же была дана достаточно подробная интерпретация сниженных $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, которая вполне пригодна и для адровского горизонта. Не повторяя ее здесь полностью, скажем, что основной причиной наблюдаемых цифр является образование инфильтрационно-катагенетического карбонатного цемента пойкилитового типа. В плане корреляции изотопных и литофациальных вариаций показательно сравнение поведения изотопов в разрезах адровского горизонта, вскрытого скважинами ГГК-1, Быховской и Кормянской. В двух последних адровский горизонт сложен не песчаниками и гравелитами, как в скв. ГГК-1, а преимущественно низкопроницаемыми доломитами и мергелями, несущими изотопные сигналы нормальной морской седиментации.

Порядок значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ и динамику изотопных кривых в адровском разрезе скв. Приволье (см. рис. 2, 3) трудно проинтерпретировать однозначно. Величины $\delta^{13}\text{C}$ монотонно снижаются по направлению к границе с освейским горизонтом от нормально-морских цифр до $-4...-5\text{‰}$, а значения $\delta^{18}\text{O}$ устойчиво низкие ($-6,5...-8,4\text{‰}$). Облегчение изотопного состава углерода снизу вверх может быть обусловлено (как и в Северо-Полоцком, Быховском и Кормянском разрезах) началом сильного обмеления бассейна с усилением притока вод суши, что особенно ярко проявилось при накоплении залегающих выше освейских отложений, насыщенных проявлениями сульфатов [17]. Не исключено, что при обмелении бассейна некоторый вклад в состав карбонатного углерода внес и изотопно-легкий углерод окисляющегося органического вещества осадков. Это предположение основано на трех фактах. Во-первых, содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ в отложениях адровского горизонта скв. Приволье самое высокое по сравнению с другими разрезами (см. табл. 2). Во-вторых, на графике динамики $\delta^{13}\text{C}$ и $\text{C}_{\text{орг}}$ по разрезу, хоть и не очень явно, но заметна обратная корреляция величин (см. рис. 4). В-третьих, сами за себя говорят соотношения $\text{C}_{\text{орг}}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в доманикоидах ($0,88$ и $-5,0$; $1,08$ и $-4,8$; $4,78$ и $-3,9$; $2,80\text{‰}$ и $-4,5\text{‰}$) и субдоманикоидах ($0,22$ и $-2,5$; $0,15\text{‰}$ и $-1,4\text{‰}$) (см. табл. 1).

Стабильно низкие цифры $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов в адровском горизонте могут объясняться двояко: влиянием изотопно-легкого состава кислорода вод суши, который, как отмечалось выше, возможен даже в приэкваториальных областях [19; 22; 23; 28], и (по аналогии с витебским горизонтом этой же скважины) наличием карбонатных новообразований, возникших в породах на стадии катагенеза в условиях повышенных температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено изотопно-геохимическое изучение карбонатсодержащих отложений витебского (верхний эмс) и адровского (нижний эйфель) горизонтов Беларуси в разрезах скважин Северо-Полоцкая (юго-восток Латвийской седловины), Быховская (зона сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (Жлобинская седловина), Приволье (Северо-Припятское плечо Припятского прогиба) и ГГК-1 (юго-западный край Воронежской антеклизы). Установлены изотопные сигналы седиментационных и постседиментационных событий, согласующиеся с литологическими особенностями разрезов и региональными геологическими процессами.

В Северо-Полоцком, Быховском и Кормянском разрезах, для которых характерна большая схожесть изотопных хемотратиграфических кривых, преобладают значения $\delta^{13}\text{C}$, соответствующие или близкие величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, и значения $\delta^{18}\text{O}$, присущие карбонатам эмского и эйфельского веков. Это касается и витебского, и адровского горизонтов. Вместе с тем, имеются изотопные сигналы усиления роли вод суши при обмелении бассейна (отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$), эвапоритизации (увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$) и периодического изменения температуры морской воды, связанного с колебаниями глубины бассейна (разнонаправленные сдвиги $\delta^{18}\text{O}$). Изотопные признаки указанных палеогеографических явлений есть также в лепельских слоях скв. ГГК-1 и адровском горизонте скв. Приволье. Не исключено, что обмеление адровского бассейна в районе скв. Приволье сопровождалось окислением органического вещества осадков и превращением Сорг в карбонатную форму, на что указывают более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в доманикоидах, чем в субдоманикоидах.

Синхронные отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ трассируют интервалы разрезов, испытавших воздействие инфильтрационного катагенеза в обольских слоях витебского горизонта и адровском горизонте скв. ГГК-1 (песчаники и гравелиты с пойкилитовым карбонатным цементом), а также в лепельских слоях витебского горизонта скв. Кормянская (кальцит в трещине).

Необычное сочетание нормально- или почти нормально-морских $\delta^{13}\text{C}$ и крайне низких $\delta^{18}\text{O}$ в нижних частях витебского и адровского горизонтов разреза Приволье, расположенного в ареале высокой плотности теплового потока и на крыле Азделинского палеовулкана, предположительно связано

с катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или рассолов, не испытывавших существенного влияния инфильтрации, в условиях повышенных (или высоких) температур.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ре-

сурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (под-программа 10.4 «Белорусские недра») и в соответствии с планом научно-исследовательских работ Геологического института РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Валюкявичюс, Ю. Ю.** Девонская система / Ю. Ю. Валюкявичюс, В. К. Голубцов // Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1000000 (новая серия) : объяснительная записка. Лист N-(34), (35). – Вильнюс ; Ленинград, 1986. – С. 53–68.
2. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в нижне-среднедевонских отложениях на юго-западе Воронежской антеклизы / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2021. – № 2 (55). – С. 80–94.
3. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в эмских и эйфельских отложениях на юго-востоке Латвийской седловины / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2022. – № 1 (56). – С. 67–79.
4. **Геология** Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
5. **Геотермический** атлас Беларуси / под общ. ред. В. И. Зуя. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2018. – 89 с.
6. **Геохимические** особенности минеральных вод отложений нижней части платформенного чехла Гомельской структурной перемычки и сопредельных территорий / В. И. Толстошеев [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 116–135.
7. **Девон** Воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г. Д. Родионова [и др.]. – М. : Изд-во Воронежского ун-та, 1995. – 265 с.
8. **Девон** и карбон Прибалтики / В. С. Сорокин [и др.]. – Рига : Зинатне, 1981. – 502 с.
9. **Жарков, М. А.** История палеозойского соленакопления / М. А. Жарков. – Новосибирск : Наука, 1978. – 272 с.
10. **Зоненшайн, Л. П.** Тектоника литосферных плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов. – М. : Недра, 1990. – Кн. 1. – 328 с.
11. **Изотопная** хемотратиграфия верхнеэмско-среднейфельских отложений в разрезе параметрической скважины Кормянская на Жлобинской седловине / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С. 64–74.
12. **Изотопная** хемотратиграфия нижне-среднедевонского разреза зоны сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины (параметрическая скважина Быховская) / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 136–148.
13. **Кузьменкова, О. Ф.** Разрез позднедевонских магматических пород параметрической скважины Приволье (Северо-Припятское плечо, Беларусь) / О. Ф. Кузьменкова, А. Г. Лапцевич // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 27–29 сент. 2021 г. – Брест : БрГУ, 2021. – Ч. 1. – С. 72–75.
14. **Махнач, А. А.** Вариации изотопного состава углерода и кислорода в эмско-франских отложениях Северо-Припятского плеча (юго-восток Беларуси) / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 101–115.
15. **Махнач, А. А.** Геохимия стабильных изотопов в платформенном чехле Беларуси / А. А. Махнач, Н. А. Махнач, Б. Г. Покровский. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 373 с.
16. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода и кислорода в среднеэйфельских отложениях Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 110–129.
17. **Махнач, А. А.** Изотопы C, O, S, Sr в отложениях освейского горизонта нижнего эйфеля на территории Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Литология и полезные ископаемые. – 2023. – № 4. – С. 387–406.
18. **Махнач, А. А.** Катагенез и подземные воды / А. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1989. – 335 с.
19. **Никаноров, А. М.** Стабильные изотопы в гидрохимии / А. М. Никаноров, Ю. А. Федоров. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 247 с.
20. **Систематика** и классификации осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов [и др.] – СПб. : Недра, 1998. – 352 с.

21. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с.
22. **Фор, Г.** Основы изотопной геологии: пер. с англ. / Г. Фор. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
23. **Fricke, H. C.** The correlation between $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of meteoric water and surface temperature: its use in investigating terrestrial climate change over geologic time / H. C. Fricke, J. R. O'Neil // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1999. – Vol. 170. – P. 181–196.
24. **Grossman, E. L.** Oxygen Isotope Stratigraphy / E. L. Grossman // *The Geologic Time Scale 2012* / eds. F. M. Gradstein [et al.]. – Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo : Elsevier, 2012. – P. 181–206.
25. **Grossman, E. L.** Oxygen Isotope Stratigraphy / E. L. Grossman, M. M. Joachimski // *The Geologic Time Scale 2020* / eds. F. M. Gradstein [et al.]. – Amsterdam, Oxford, Cambridge (MA, US) : Elsevier, 2020. – P. 279–307.
26. **Matthews, A.** Oxygen isotope fractionation during the dolomitization of calcium carbonate / A. Matthews, A. Katz // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1977. – Vol. 41, No 10. – P. 1431–1438.
27. **Oxygen** isotope evolution of biogenic calcite and apatite during the Middle and Late Devonian / M. M. Joachimski [et al.] // *International Journal of Earth Sciences.* – 2004. – No 93 (4). – P. 542–553.
28. **Rozanski, K.** Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation / K. Rozanski, L. Araguas-Araguas, R. Gonfiantini // *Climate Change in Continental Isotope Records, Geophysical Monograph Series.* – Washington DC : AGU, 1993. – Vol. 78. – 36 p.
29. **Van Geldern, R.** Carbon, oxygen and strontium isotope records of Devonian brachiopod shell calcite / R. van Geldern // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2006. – No 240 (1–2). – P. 47–67.
30. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater / J. Veizer [et al.] // *Chemical Geology.* – 1999. – No 161 (1–3). – P. 59–88.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 16.09.2023

Рэцэнзент У. М. Шымановіч

ІЗАТОПИ ВУГЛЯРОДУ І КІСЛАРОДУ Ў АДКЛАДАХ ПАМЕЖНЫХ ГАРЫЗОНТАЎ НІЖНЯГА І СЯРЭДНЯГА ДЭВОНУ БЕЛАРУСІ

А. А. Махнач¹, Б. Г. Пакроўскі², В. В. Мурашка¹

¹Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: amahnach1951@gmail.com
²Геалагічны інстытут РАН
Пыжэўскі зав., 7, 119017, Масква, Расія
E-mail: pokrov@ginras.ru

Выканана ізатопна-геахімічнае вывучэнне карбанатутрымліваючых адкладаў віцебскага (верхні эмс) і адроўскага (ніжні эйфель) гарызонтаў Беларусі ў разрэзах свідравін Паўночна-Полацкая (паўднёвы ўсход Латвійскай седлавіны), Быхаўская (зона сучлянення Аршанскай упадзіны і Жлобінскай седлавіны), Кармянская (Жлобінская седлавіна), Прыволле (Паўночна-Прыпяцкае плячо Прыпяцкага прагіну) і ГГК-1 (паўднёва-заходні ўскраек Варонежскай антэклізы).

У адкладах віцебскага і адроўскага гарызонтаў Паўночна-Полацкага, Быхаўскага і Кармянскага разрэзаў пераважаюць значэнні $\delta^{13}\text{C}$, блізкія да велічынь тыповых для марскіх седыментацыйных карбанатаў, і значэнні $\delta^{18}\text{O}$, якія ўласцівы карбанатам эмскага і эйфельскага вякоў. Аднак маюцца ізатопныя сігналы ўзмацнення ролі вод сушы пры абмяленні басейна (адмоўныя экскурсы $\delta^{13}\text{C}$), эвапарытазацыі (павелічэнне значэнняў $\delta^{18}\text{O}$) і пераходнага змянення тэмпературы марской вады, якое звязана з ваганнямі глыбіні басейна (рознанакіраваныя зрухі $\delta^{18}\text{O}$).

Сінхронныя адмоўныя экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ і $\delta^{18}\text{O}$ трасіруюць інтэрвалы разрэзаў, якія падвергліся ўздзеянню інфільтрацыйнага катагенезу ў абальскіх сляях віцебскага гарызонту і ў адроўскім гарызонце свідравіны ГГК-1, а таксама ў лепельскіх сляях віцебскага гарызонту свідравіны Кармянская.

Незвычайнае спалучэнне нармальна-марскіх $\delta^{13}\text{C}$ і вельмі нізкіх $\delta^{18}\text{O}$ у ніжніх частках віцебскага і адроўскага гарызонтаў разрэза Прыволле, які знаходзіцца ў арэале найвышэйшай у Беларусі шчыльнасці

цеплаваго струменю і на крыле палеавулкана, меркавана звязана з катагенетычным новаўтварэннем карбонатаў у асяроддзі пахаваных марскіх вод або расолаў, якія не адчулі значнага ўплыву інфільтрацыі, ва ўмовах падвышаных (ці высокіх) тэмператур.

Ключавыя словы: Беларусь, віцебскі гарызонт (верхні эмс), адроўскі гарызонт (ніжні эйфель), карбонатутрымліваючыя адклады, ізатопы вугляроду, ізатопы кіслароду.

CARBON AND OXYGEN ISOTOPES IN DEPOSITS OF THE LOWER AND MIDDLE DEVONIAN BORDER HORIZONS IN BELARUS

A. Makhnach¹, B. Pokrovsky², O. Murashko¹

¹State Enterprise «Research and Production Center for Geology»

Branch «Institute of Geology»

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus

E-mail: amahnach1951@gmail.com

²The Geological Institute of the Russian Academy of Sciences

7 Pyzhevsky Lane, 119017, Moscow, Russia

E-mail: pokrov@ginras.ru

The isotope-geochemical study of deposits containing carbonate from the Upper Emsian Vitebsk and Lower Eifelian Adrov horizons in Belarus has been carried out in geological sections of five boreholes. These boreholes are the North-Polotsk (southeast of the Latvian Saddle), Bykhov (the conjugation zone of the Orsha Depression and Zhlobin Saddle), Korma (Zhlobin Saddle), Privolje (the North Shoulder of the Pripyat Trough) and GGK-1 (southwestern edge of the Voronezh Antecline).

The $\delta^{13}\text{C}$ values typical for marine sedimentary carbonates and $\delta^{18}\text{O}$ values characteristic of Emsian and Eifelian carbonates prevail in the Vitebsk and Adrov horizon deposits of the North-Polotsk, Bykhov and Korma sections. However, there are isotopic signals testifying about the increase of land water role during the basin shallowing (negative $\delta^{13}\text{C}$ excursions), evaporitization ($\delta^{18}\text{O}$ increase) and periodic changes of sea water temperature due to sea depth fluctuations (negative or positive $\delta^{18}\text{O}$ shifts).

Synchronous negative $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ excursions trace intervals of geological sections which were affected by infiltration catagenesis in the Vitebsk horizon Obol layers and Adrov horizon of the GGK-1 section as well as in the Vitebsk horizon Lepel layers of the Korma section.

The unusual combination of normal sea $\delta^{13}\text{C}$ values and very low $\delta^{18}\text{O}$ ones in lower parts of the Vitebsk and Adrov horizons in the Privolje section situated in the area of the highest in Belarus heat flow density and on the flank of paleovolcano is, presumably, connected with new formation of catagenetic carbonates in the environment of buried sea water or brine which were not be significantly affected by infiltration, and at elevated (or high) temperature.

Keywords: Belarus, Vitebsk horizon (Upper Emsian), Adrov horizon (Lower Eifelian), carbonate-containing sediments, carbon isotopes, oxygen isotopes.