

ГЕАХІМІЯ

УДК 551.464.6.02; 551.734.2; 551.734.3 (476)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОТОПНЫХ (С, О) ВАРИАЦИЙ В ОТЛОЖЕНИЯХ НИЖНЕ- И СРЕДНЕДЕВОНСКИХ ГОРИЗОНТОВ НА ЛАТВИЙСКОЙ И ЖЛОБИНСКОЙ СЕДЛОВИНАХ, СЕВЕРО-ПРИПЯТСКОМ ПЛЕЧЕ И ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЕ (БЕЛАРУСЬ)

А. А. Махнач¹, Б. Г. Покровский², А. Г. Лапцевич¹, О. Ф. Кузьменкова¹, Г. Д. Стральцова¹,
Н. С. Яковлева¹, 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

В статье описана попытка погоризонтной изотопной (С, О) корреляции ниже- и среднедевонских отложений Беларуси в разрезах скважин 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 ГГК-1 (на юго-западном краю Воронежской антеклизы). Изучались следующие горизонты: витебский горизонт (эмс), адровский и освейский (нижний эйфель), городокский (средний эйфель), костюковичский (верхний эйфель). Показано, что изотопная информация может служить для определения эпизодов эвапоритизации, усиления и ослабления континентального стока, обмеления седиментационного бассейна, окисления рассеянного органического вещества в осадке, для корреляции разрезов, оценки характера постседиментационных изменений отложений. Не всегда наблюдается согласованность в поведении величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, с одной стороны, и литофациальных параметров – с другой. Таким образом, изотопные данные в ряде случаев могут служить самостоятельным показателем вариаций условий образования и преобразования отложений.

Ключевые слова: Беларусь, Латвийская и Жлобинская седловины, Северо-Припятское плечо, Воронежская антеклиза, нижний и средний девон, изотопы углерода и кислорода.

ВВЕДЕНИЕ

В 2019–2024 гг. опубликованы результаты изотопно-геохимических исследований ниже- и среднедевонских отложений пяти белорусских разрезов [3; 4; 11; 12; 14–18]. Эти разрезы вскрыты параметрическими скважинами 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 картировочной скважиной ГГК-1 (на юго-западном краю Воронежской антеклизы) (рис. 1). Были охарактеризованы вариации изотопного состава углерода и кислорода в карбонатном материале пород нижнего и среднего девона отдельно взятых разрезов и сделан сравнительный анализ изотопных вариаций в отдельно взятых стратиграфических интервалах.

В настоящей статье кратко суммированы результаты попытки погоризонтной изотопной кор-

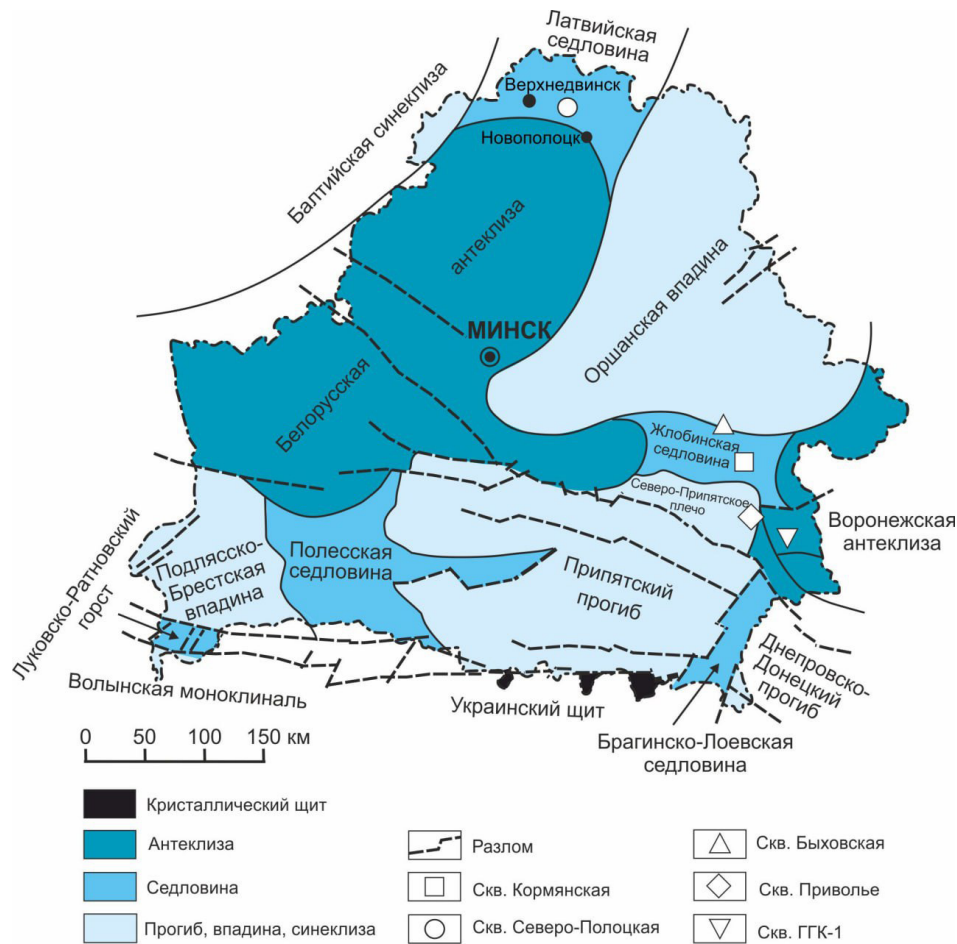
реляции отложений всей изучавшейся части нижнего и среднего девона, включающей витебский горизонт (эмс), адровский и освейский (нижний эйфель), городокский (средний эйфель), костюковичский (верхний эйфель).

Эти отложения широко распространены на Восточно-Европейской платформе [2; 6; 8; 9; 19].

Витебский горизонт коррелируется с нижней частью ряжского горизонта России и резекненским горизонтом Прибалтики; адровский – аналог верхней части ряжского горизонта и пярнуского горизонта названных регионов соответственно.

Освейский горизонт, находящийся в основании наровского надгоризонта, коррелируется с дорогобужским горизонтом России и вадьяским подгоризонтом наровского горизонта Литвы.

Городокский горизонт, средняя часть наровского надгоризонта, – коррелирует клинцовского и мосоловского горизонтов России и лейвуского подгоризонта наровского горизонта Литвы.



Рисунк 1 – Расположение скважин, материалы по которым использованы в работе, на схеме тектонического районирования территории Беларуси [6]

Костюковичский горизонт, завершающая часть наровского надгоризонта, – аналог черноморского горизонта России и кярнаваго подгоризонта наровского горизонта Литвы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исходный аналитический материал, данный в табличном виде в предыдущих публикациях [3; 4; 11; 12; 14–18], включал результаты измерений изотопного состава углерода и кислорода в карбонатном компоненте пород, определения карбонатности и содержания органического углерода (C_{org}).

Изотопные определения углерода и кислорода производились на масс-спектрометре Delta V Advanced с использованием установки Gas-Bench-I в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (Москва). Изотопные отношения $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ даны относительно стандарта PDB. Точность (воспроизводимость) определений находится в пределах $\pm 0,2$ ‰.

Карбонатность пород по методу В. Н. Щербини и газометрическим методом и содержание C_{org}

оксидометрическим методом определялись Г. И. Лучиной в Институте геологии (Минск).

Выбранные для изучения разрезы характеризуются существенным литофациальным разнообразием, что давало возможность проверить, сопровождаются ли вариации в строении горизонтов и наборе литотипов от скважины к скважине изотопными вариациями, и тем самым оценить валидность изотопной хемотратиграфии для нижне-среднедевонских отложений Беларуси.

В разрезе витебского горизонта (эмс) скв. ГГК-1 присутствуют гравелиты, а в скв. Кормянская их нет. В скв. Северо-Полоцкая доминируют мергели и доломиты и имеются проявления гипса, в то время как в Кормянском разрезе преобладают песчаники, и в нем, как и в скв. ГГК-1, гипса нет.

Отложения адровского горизонта нижнего эйфеля в скв. ГГК-1 представлены в основном песчаниками, а в скв. Кормянская – доломитами; образования освейского горизонта (нижний эйфель) в первом разрезе не содержат сульфатных проявлений, а во втором – сплошь загипсованы. Среди нижнеэйфельских образований Северо-Полоцко-

го разреза нет песчаников, но многочисленны гипсовые проявления, в Кормяном разрезе песчаники редки и много карбонатно-сульфатных пород, а в скв. ГГК-1 песчаники занимают значительное место, но отсутствуют сульфаты.

Среднеэфельские отложения Северо-Полоцкого и Кормянского разрезов, а также разреза ГГК-1 лишены проявлений гипса, которые присутствуют в одновозрастных разрезах скв. Быховская и Приволье.

Разрезы верхнего эфеля в скв. Северо-Полоцкая и скв. ГГК-1 сложены глинисто-доломитовыми и доломитово-глинистыми породами, которые сменяются в верхних частях бескарбонатными глинами, а верхнеэфельские отложения Кормянского разреза в основном песчаные.

Нижне-среднедевонские образования в скв. Быховская (144,7–206,5 м), Кормянская

(144,0–351,5 м), Северо-Полоцкая (127,8–338,7 м) залегают в близких глубинных интервалах. В разрезе скв. ГГК-1 глубина залегания отложений несколько больше (345,3–454,5 м). В разрезе Приволье ниже-среднедевонские отложения характеризуются существенно большей глубиной залегания по сравнению с остальными разрезами (604,8–902,4 м).

Примечательно и то, что разрез Приволье расположен в юго-восточной части Азделинского палеовулкана и в ареале самой высокой в Беларуси плотности современного теплового потока [7; 13].

Всего было проанализировано более 500 образцов. В таблице приведены сведения о количестве использованных образцов по разным стратиграфическим подразделениям и о степени детальности изучения разрезов.

Таблица – Стратиграфическое и поскважинное распределение количества изученных образцов (n) и разрешение (м) изотопных кривых, использованных для построения корреляционных диаграмм

Горизонт	n	Скв. Северо-Полоцкая	Скв. Быховская	Скв. Кормянская	Скв. Приволье	Скв. ГГК-1
		Разрешение кривых изотопных и литофациальных вариаций (метраж части разреза, охарактеризованной в среднем одним образцом)				
Костюковичский	40	1,1	4,9	5,5	1,2	0,5
Городокский	236	0,8	1,4	1,1	0,6	0,7
Освейский	103	1,0	1,6	1,7	1,7	0,7
Адровский	39	0,4	1,1	0,4	1,0	1,1
Витебский	88	0,8	2,0	1,1	2,2	1,4

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Витебский (эмс) и адровский (нижний эфель) горизонты

1. В Северо-Полоцком, Быховском и Кормянском разрезах, для которых характерна большая схожесть изотопных хеомстратиграфических кривых (рис. 2, 3), преобладают значения $\delta^{13}\text{C}$, соответствующие или близкие величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, и значения $\delta^{18}\text{O}$, присущие карбонатам эмсского и эфельского веков [22–24; 27; 28].

Это касается и витебского, и адровского горизонтов. Вместе с тем имеются сигналы усиления роли обогащенных изотопно-легким почвенным углеродом 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 $\delta^{18}\text{O}$) [20]. Изотопные признаки указанных палеогеографических явлений есть также в лепельских слоях скв. ГГК-1 и адровском горизонте скв. Приволье. Не исключено, что обмеле-

ние адровского бассейна в районе скв. Приволье сопровождалось окислением органического вещества осадков и превращением $\text{C}_{\text{орг}}$ в карбонатную форму [26], на что указывают более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в доманикоидах (–5,0...–3,9 ‰) чем в субдоманикоидах (–2,5...–1,4 ‰).

2. 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).

3. 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 [7; 13], предположительно связано с катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или расолов, не испытавших существенного влияния инфильтрации, в условиях повышенных (или высоких) температур.

$\delta^{13}\text{C}, \text{‰ (PDB)}$

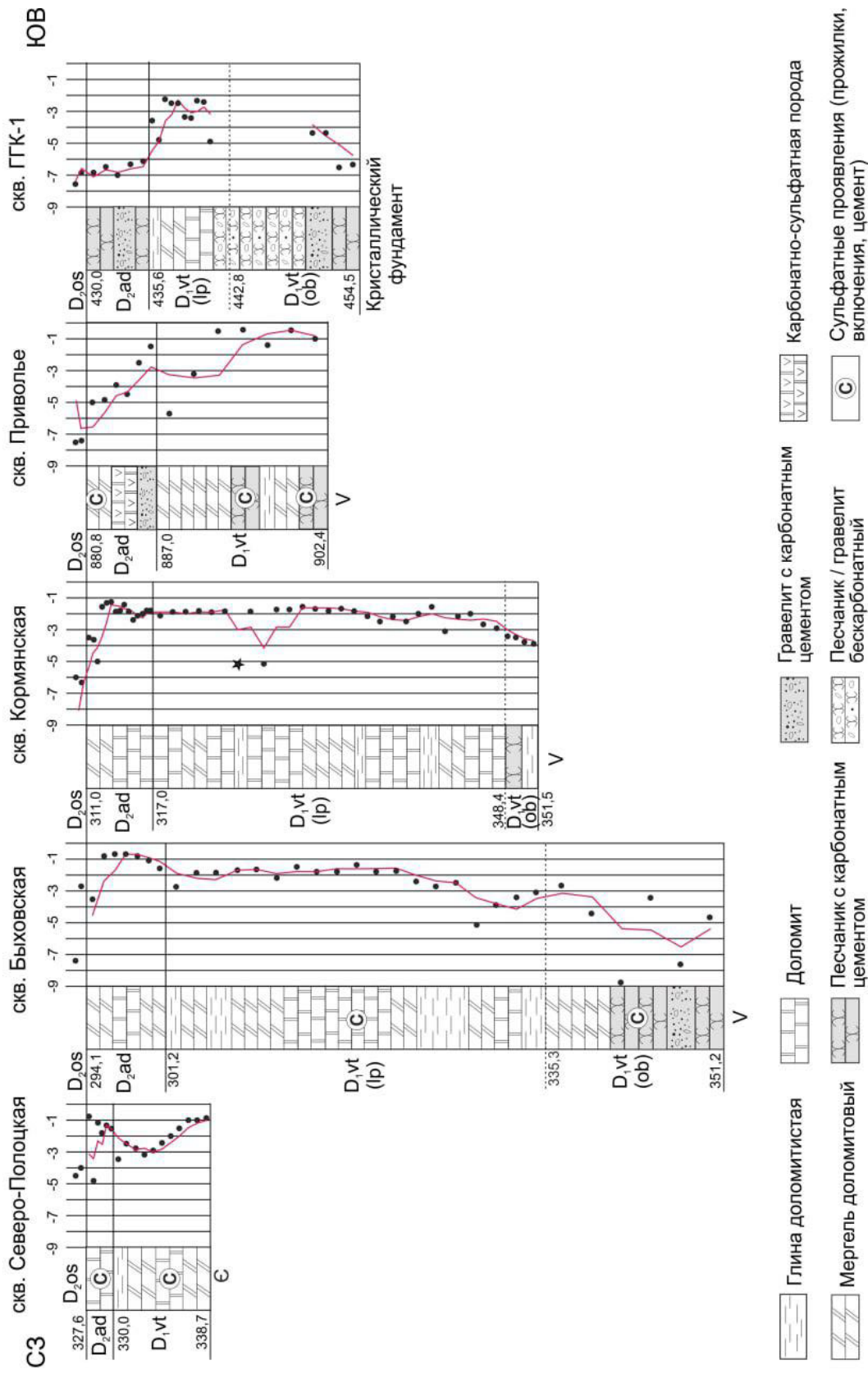


Рисунок 2 – Углеродно-изотопная корреляционная диаграмма отложенный витебского горизонта (D₁vt) эмса и адровского горизонта (D₂ad) нижнего эйфеля на Латвийской и Жлобинской селловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Точки – фактические значения $\delta^{13}\text{C}$ (звездочка – проба с катагенетическим калцитом); кривые – линии вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг – 3 точки); D₁vt(lp) – обольские, D₁vt(ob) – лепельские слои витебского горизонта, D₂os – освейский горизонт нижнего эйфеля, € – кембрий, V – венд; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м)

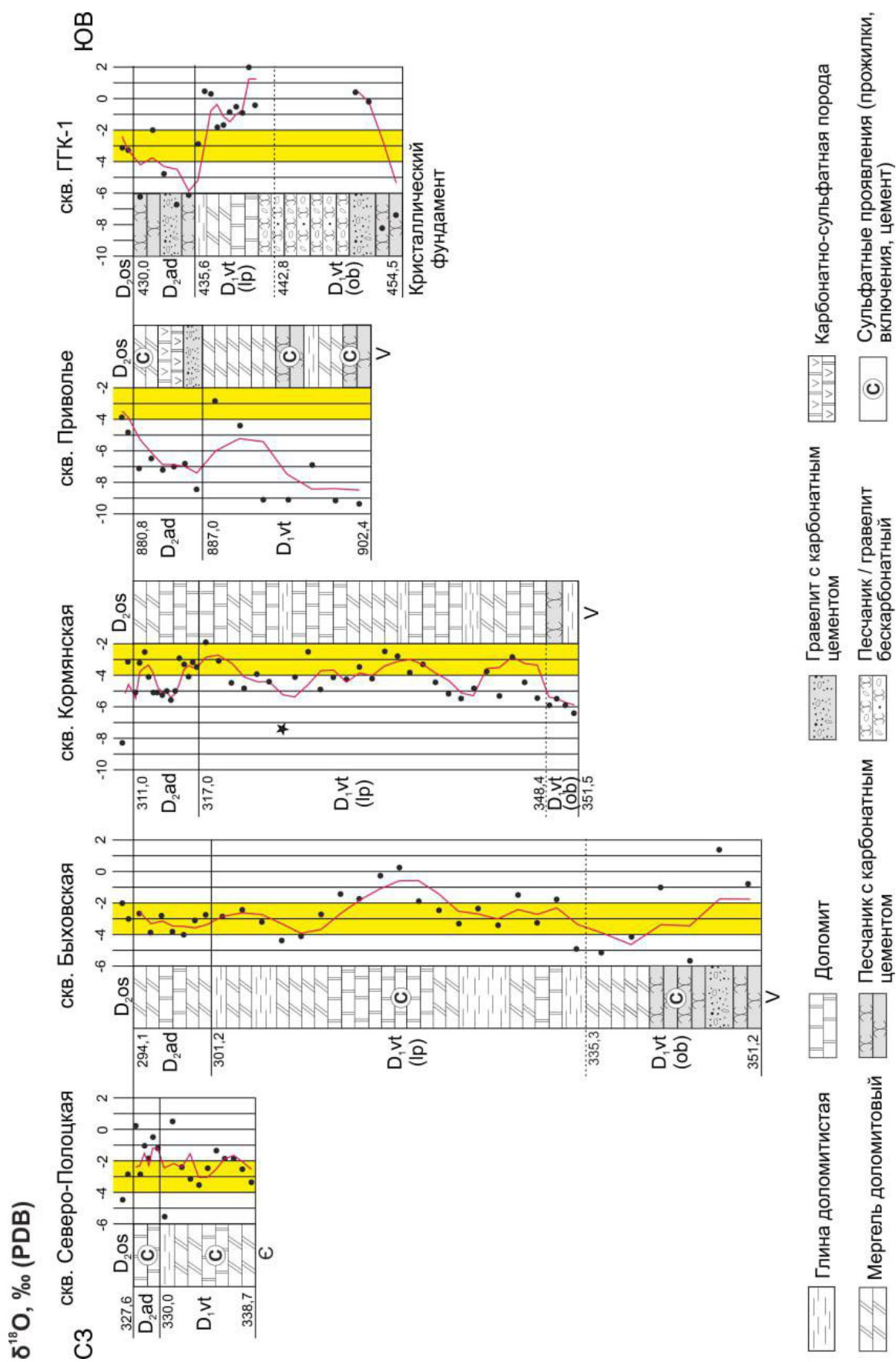


Рисунок 3 – Кислородно-изотопная корреляционная диаграмма отложений витебского (эмс) и здровского горизонтов (нижний эйфель) на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Заливка – интервал значений $\delta^{18}\text{O}$, наиболее характерных для карбонатов эмского и эйфельского моря по глобальным оценкам [22–24; 27; 28]; остальные условные обозначения см. на рис. 2

Освейский горизонт нижнего эйфеля

1. Наряду с интервалами, характеризующими значениями $\delta^{13}\text{C}$ на уровне стандарта для морских седиментационных карбонатов, в разрезах имеются отрицательные экскурсы этого параметра, величина которого на пиках может опускаться до $-7\ldots-11\text{‰}$ (рис. 4). В разрезах с ярко выраженной карбонатно-сульфатной пачкой (Быховский, Кормянский) хорошо видно, что именно она маркируется негативным сдвигом $\delta^{13}\text{C}$. Предполагается, что отрицательный углеродно-изотопный экскурс соответствует эпизодам эвапоритизации бассейна, когда он мелел, возможно, распадался на отдельные ванны, разделенные обнаженными и подвергающимися эрозии участками. Такое изменение геоморфологической ситуации приводило к увеличению роли континентальных вод в геохимической системе седиментации за счет активизации их притока и/или в связи с обмелением бассейна. Эти воды, обогащенные изотопно-легким почвенным углеродом [20], могли поступать как с длительно обнаженных участков суши, где и в настоящее время эйфельские отложения отсутствуют, так и с периодически существовавших островов.

2. Изотопный состав кислорода во всех разрезах не реагирует на отрицательные углеродно-изотопные экскурсы аналогичными сдвигами (рис. 4 и 5), причиной чего является возможное отсутствие существенной разницы между значениями $\delta^{18}\text{O}$ атмосферных осадков, дающих начало водам суши, и морской воды в низких широтах [21; 25], где в девоне находилась территория Беларуси [10]. Величины $\delta^{18}\text{O}$ в 40 % проанализированных проб заключены в пределы $-4\ldots-2\text{‰}$, т. е. соответствуют эйфельскому плато ($\sim -3\text{‰}$) на глобальной хемотратиграфической кривой [22–24; 27; 28].

3. В 44 % изученных образцов значения $\delta^{18}\text{O}$ ($> -2\text{‰}$) (рис. 5) несколько более высокие, чем цифры, присущие карбонатам эйфельского моря, что, вероятно, является следствием испарительного концентрирования воды.

4. Ряд образцов (16 %) имеют $\delta^{18}\text{O} < -2\text{‰}$, которые на пиках эвапоритовых эпизодов иногда (в том числе в слабопроницаемых глинистых породах) опускаются до $-7,0\ldots-9,5\text{‰}$ (рис. 5). Возможно, это обусловлено прогревом воды (иногда весьма значительным) при обмелении бассейна.

5. Кажущаяся противоречивость модели, состоящая в допущении усиления роли пресных континентальных вод в ходе эвапоритовых эпизодов, снимается примерами накопления калийных солей в континентально-морских бассейнах галогенеза (например, Припятский прогиб) [5] и гипсообразования в бассейнах с речным питанием (например, Арал) [1].

6. В разрезе скв. ГГК-1, отличающемся от остальных полным отсутствием сульфатных проявлений, отмечен очень сильный отрицательный экскурс $\delta^{13}\text{C}$ (минимум $-11,3$, в среднем $-9,7\text{‰}$), который охватывает всю нижнюю пачку освейского горизонта, сложенную слабопроницаемыми мергелями и глинами (рис. 4). Эта пачка, вероятно, является стратиграфическим бессульфатным аналогом карбонатно-сульфатной пачки, выделяемой во многих белорусских разрезах и отмеченной, как показано выше, на примере Кормянского и Быховского разрезов негативными сдвигами $\delta^{13}\text{C}$ за счет влияния почвенного углерода. Отсутствие сульфатной минерализации в разрезе ГГК-1 связано с сильным опресняющим влиянием вод рядом расположенной суши, в результате чего при эвапоритовом сгущении морской воды не было достигнуто состояние насыщенности раствора по сульфату кальция. Эти данные демонстрируют значение изотопного подхода для расчленения и корреляции разрезов, когда литологический подход не работает.

Городокский горизонт среднего эйфеля

1. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в Северо-Полоцком разрезе (от $-2,0$ до $+3,9\text{‰}$) и разрезе Приволье ($-2,8\ldots-1,2\text{‰}$) (рис. 6) указывают на нормальную морскую седиментацию в условиях отсутствия или незначительного притока континентальных вод.

2. Отложения нижней (доломитово-мергельной) и средней (доломитовой) гипсоносных пачек в скв. Быховская, отмеченные высокоамплитудным (8‰) отрицательным сдвигом $\delta^{13}\text{C}$ (рис. 6), накапливались во время эвапоритового эпизода в условиях значительного обмеления бассейна и активизации роли вод суши, обогащенных изотопно-легким почвенным углеродом.

Верхняя (глинисто-мергельная) пачка Быховского разреза характеризуется в основном низкой вариативностью близнулевых величин $\delta^{13}\text{C}$ (в среднем $-1,6\text{‰}$), отражающей существенное снижение роли континентальных вод в системе морской седиментации.

3. Раннегородокское время в районе скв. Кормянская знаменует собой окончание эвапоритового эпизода, начавшегося в освейское время, в условиях значительного притока континентальных вод (минимум значений $\delta^{13}\text{C}$ -7‰) (рис. 6). В среднегородокское время роль вод суши сокращается (стандартные морские цифры $\delta^{13}\text{C}$), а в позднегородокское – изотопный состав карбонатного углерода во многом определяется седиментационным или диagenетическим окислением органического вещества в осадке (падение $\delta^{13}\text{C}$ до -8‰ и параллельное увеличение концентрации $\text{C}_{\text{орг}}$).

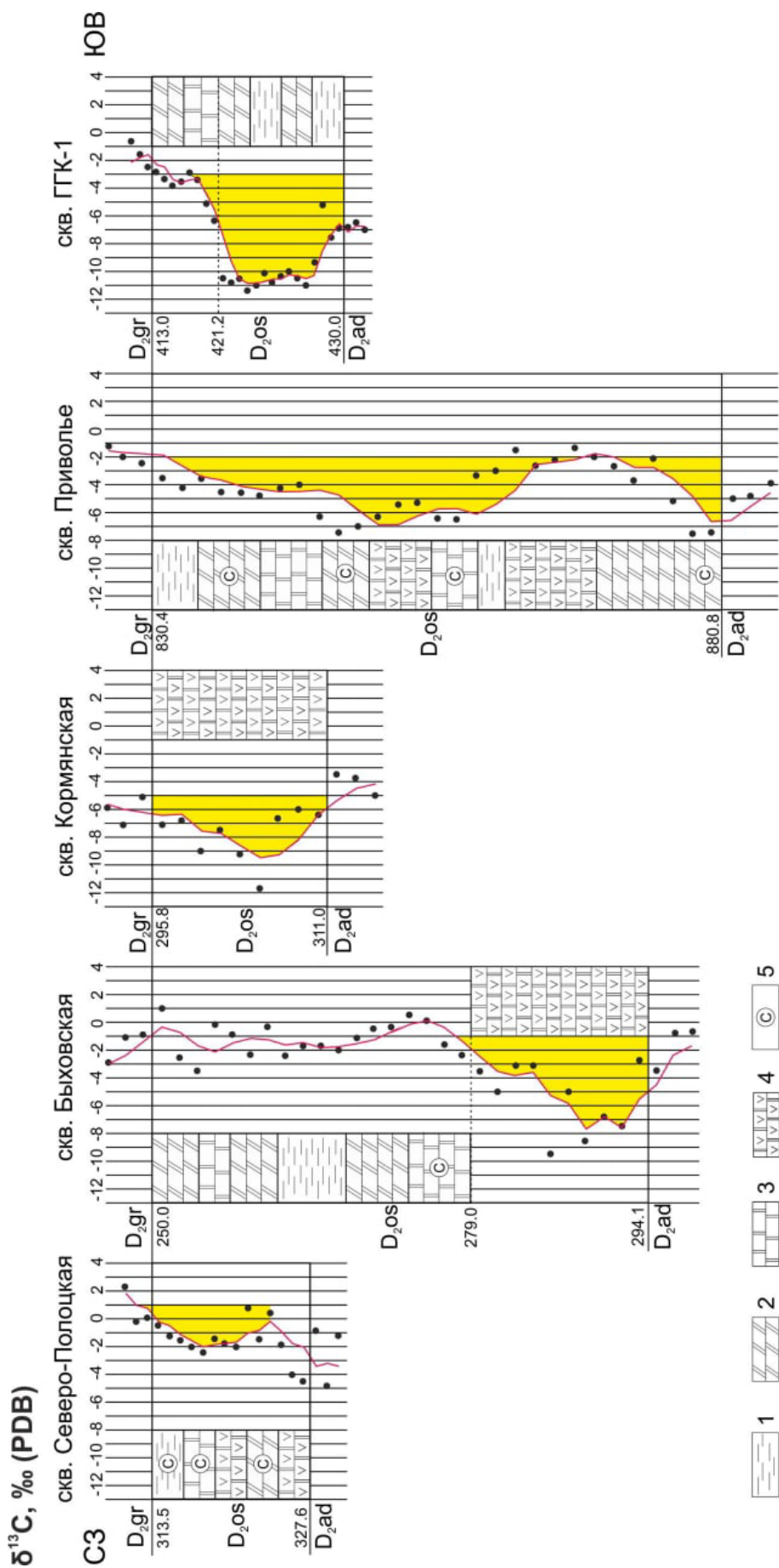


Рисунок 4 – Углеродно-изотопная корреляционная диаграмма отложений освейского горизонта (D_{2os}) нижнего эйфеля на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Точки – фактические значения $\delta^{13}C$; кривые – линии вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг – 3 точки); заливка – отрицательные экскурсы $\delta^{13}C$; D_{2gr} – городокский горизонт среднего эйфеля, D_{2ad} – адровский горизонт нижнего эйфеля; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы освейского горизонта и границы между пачками (м)

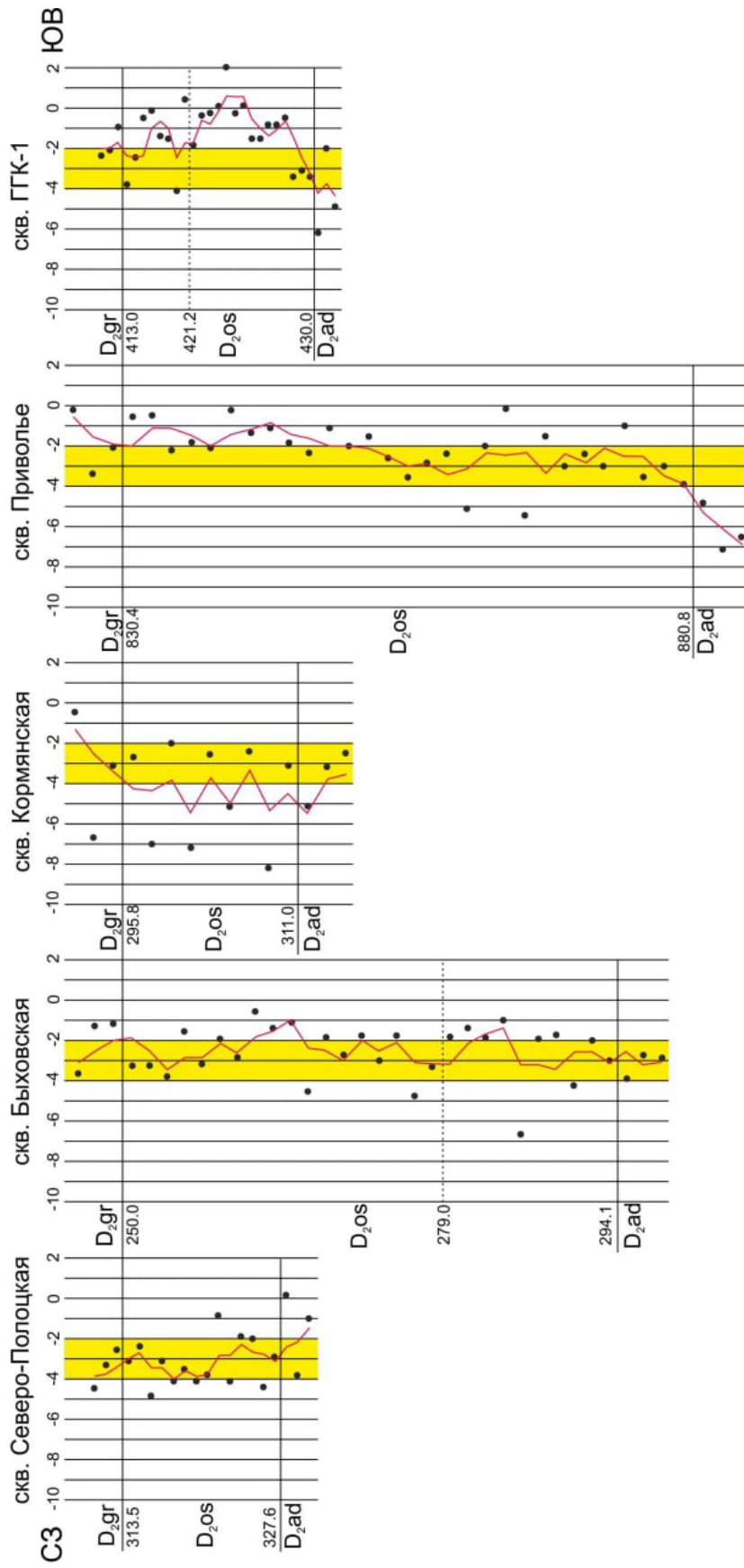
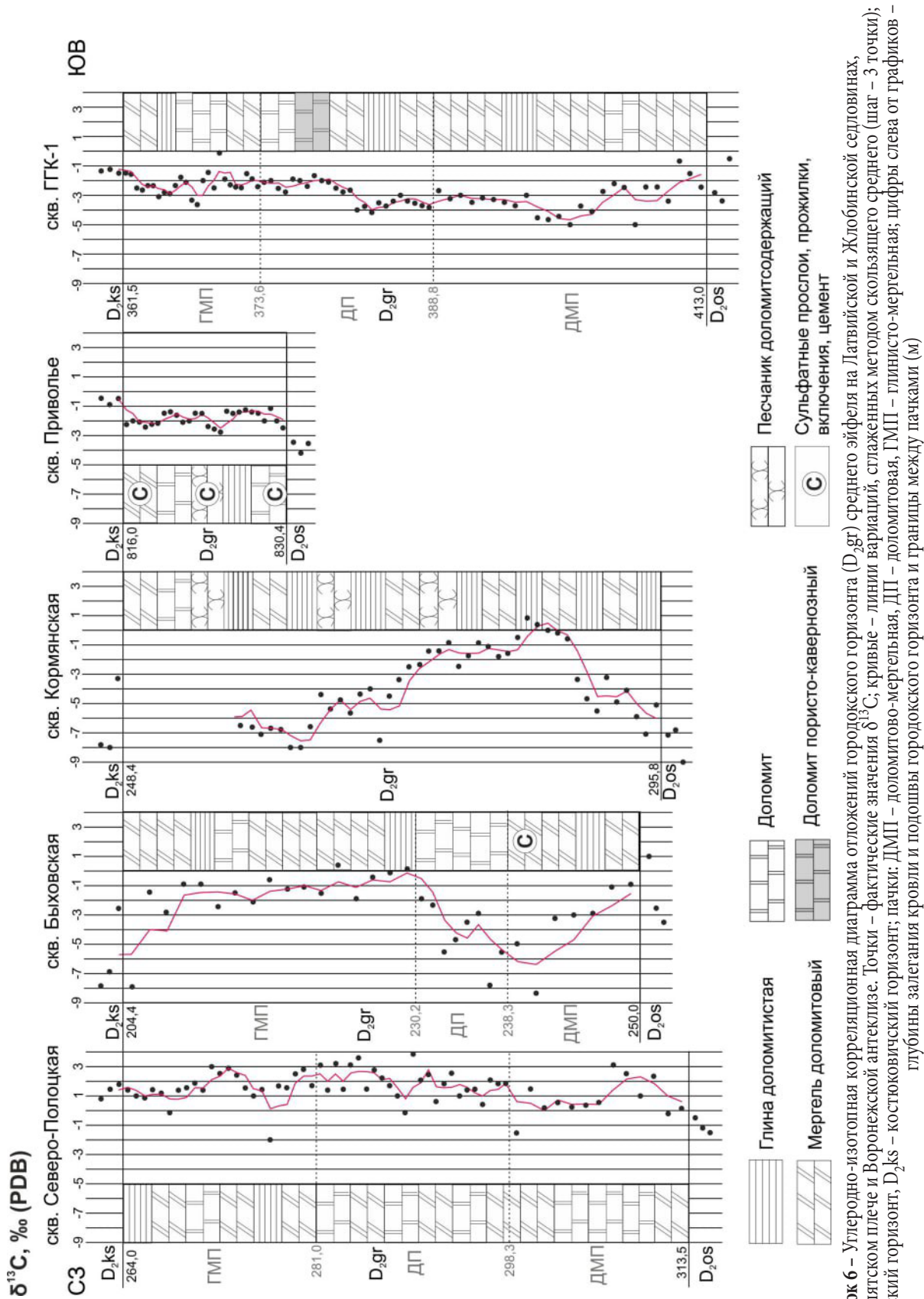
$\delta^{18}\text{O}, \text{‰ (PDB)}$ 

Рисунок 5 – Кислородно-изотопная корреляционная диаграмма отложений освейского горизонта (D₂os) нижнего эйфеля на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Заливка – интервал значений $\delta^{18}\text{O}$, наиболее характерных для карбонатов эйфельского моря по глобальным оценкам [22–24; 27; 28]; остальные условные обозначения см. на рис. 4



4. В самой нижней части и верхней половине горючего разреза скв. ГГК-1 значения $\delta^{13}\text{C}$ близки морскому стандарту (рис. 6). В интервале, охватывающем верхнюю часть доломитово-мергельной пачки и нижнюю половину доломитовой пачки, отмечен низкоамплитудный отрицательный экскурс значений $\delta^{13}\text{C}$, в основном совпадающий с отрезком повышенных содержаний $\text{C}_{\text{орг}}$ (в среднем 0,65 % против 0,16 % в остальных частях горизонта), что является следствием окисления органического вещества при седиментации или в диагенезе.

5. Во всех разрезах доминируют значения $\delta^{18}\text{O}$, характерные для морских эйфельских карбонатов ($-4 \dots -2 \text{‰}$), и несколько более высокие (рис. 7). Эпизоды активизации континентального стока, трассирующиеся отрицательными изотопно-углеродными сдвигами, не характеризуются аналогичными экскурсами $\delta^{18}\text{O}$, что, вероятно, связано с уже упоминавшимся отсутствием существенной разницы между значениями $\delta^{18}\text{O}$ атмосферных осадков (прародителей вод суши) и морской воды в приэкваториальной зоне, где в девоне находилась территория Беларуси.

6. Значения $\delta^{18}\text{O}$, более высокие, чем цифры, присущие эйфельским карбонатам, предположительно связаны с испарительным концентрированием воды.

7. В узком интервале доломитовой пачки скв. ГГК-1, представленном чистыми от глинистой примеси, карвернозно-пористыми и трещиноватыми породами, величины $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от $-7,6$ до $-4,1 \text{‰}$, в то время как в примыкающих сверху и снизу частях разреза составляют $-2,0 \dots +0,1 \text{‰}$ (рис. 7). Это, вероятно, обусловлено катагенетической перекристаллизацией материала в среде инфильтрационных подземных вод, обедненных тяжелым изотопом кислорода.

Костюковичский горизонт верхнего эйфеля

1. В костюковичских отложениях скв. Приволье значения $\delta^{13}\text{C}$ типично морские (рис. 8), а $\delta^{18}\text{O}$ низкие, монотонно уменьшающиеся вверх к границе с образованиями полоцкого горизонта живета от $-6,4$ до $-8,0 \text{‰}$ (рис. 9). Такое сочетание изотопных показателей, вероятно, отражает изотопно-геохимическую эволюцию среднедевонского моря и согласуется

с быстрым падением величин $\delta^{18}\text{O}$ в раковинах брахиопод от эйфеля ($\sim -3 \text{‰}$) к живету (-6‰ и менее), отмеченным в ряде районов мира [22–24; 27; 28].

2. В разрезах скв. Северо-Полоцкая и ГГК-1 значения $\delta^{18}\text{O}$ в основном соответствуют цифрам, характерным для моря эйфельского века ($-4 \dots -2 \text{‰}$). Величины $\delta^{13}\text{C}$ также близки к нормально-морским, но несколько снижаются снизу вверх к границам с завершающими разрезы бескарбонатными интервалами, что указывает на постепенное усиление поступления в морской бассейн вод континентального стока перед прекращением садки карбонатов.

3. В разрезах скв. Быховская и Кормянская значительный разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, вероятно, обусловлен преобразованиями отложений в среде инфильтрационных атмогенных вод. Эти преобразования представляли собой сочетание частичного растворения исходного седиментационного материала и кристаллизацию изотопно-легких катагенетических (или гипергенных) карбонатных фаз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение бросим взгляд на общую картину распределения изотопных показателей в изученных ниже-среднедевонских разрезах (рис. 10 и 11).

Не повторяя сказанного выше, отметим лишь то, что представляется весьма существенным и рельефно проявляется при анализе вариаций изотопного состава углерода. Не всегда наблюдается согласованность в поведении величин $\delta^{13}\text{C}$ и литофациальных параметров в разрезах. Тем самым оказывается, что изотопная информация является самостоятельным показателем вариаций условий образования и преобразования отложений. Приведенные материалы могут служить для определения эпизодов эвапоритизации, усиления и ослабления континентального стока, обмеления седиментационного бассейна, для корреляции разрезов, оценки характера постседиментационных изменений отложений, решения других задач, связанных с интерпретацией материалов параметрического бурения, глубинного геологического картирования, геологического доизучения площадей.

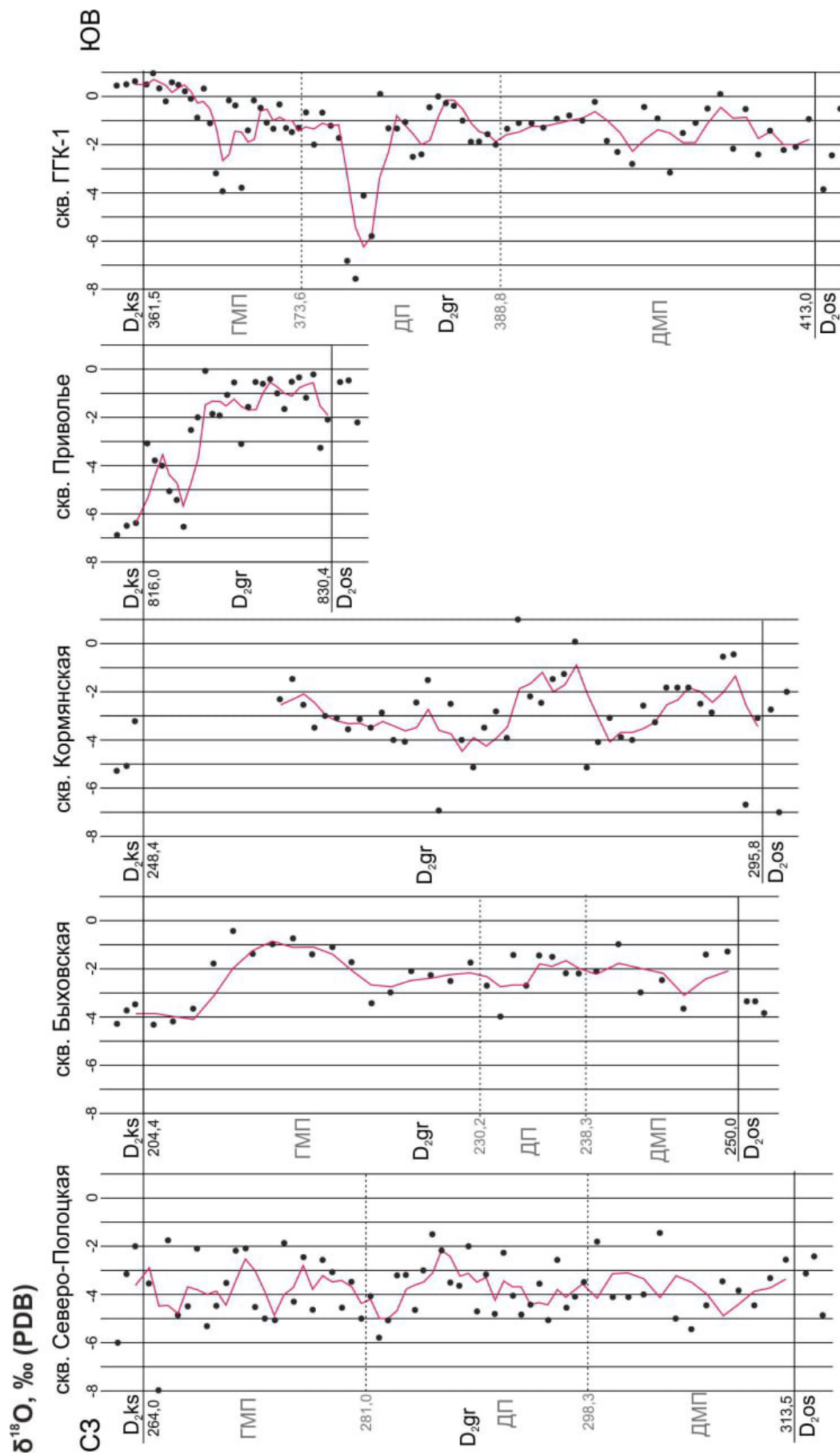


Рисунок 7 – Кислородно-изотопная корреляционная диаграмма отложений городского горизонта (D_{2gr}) среднего эйфеля на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Условные обозначения см. на рис. 6

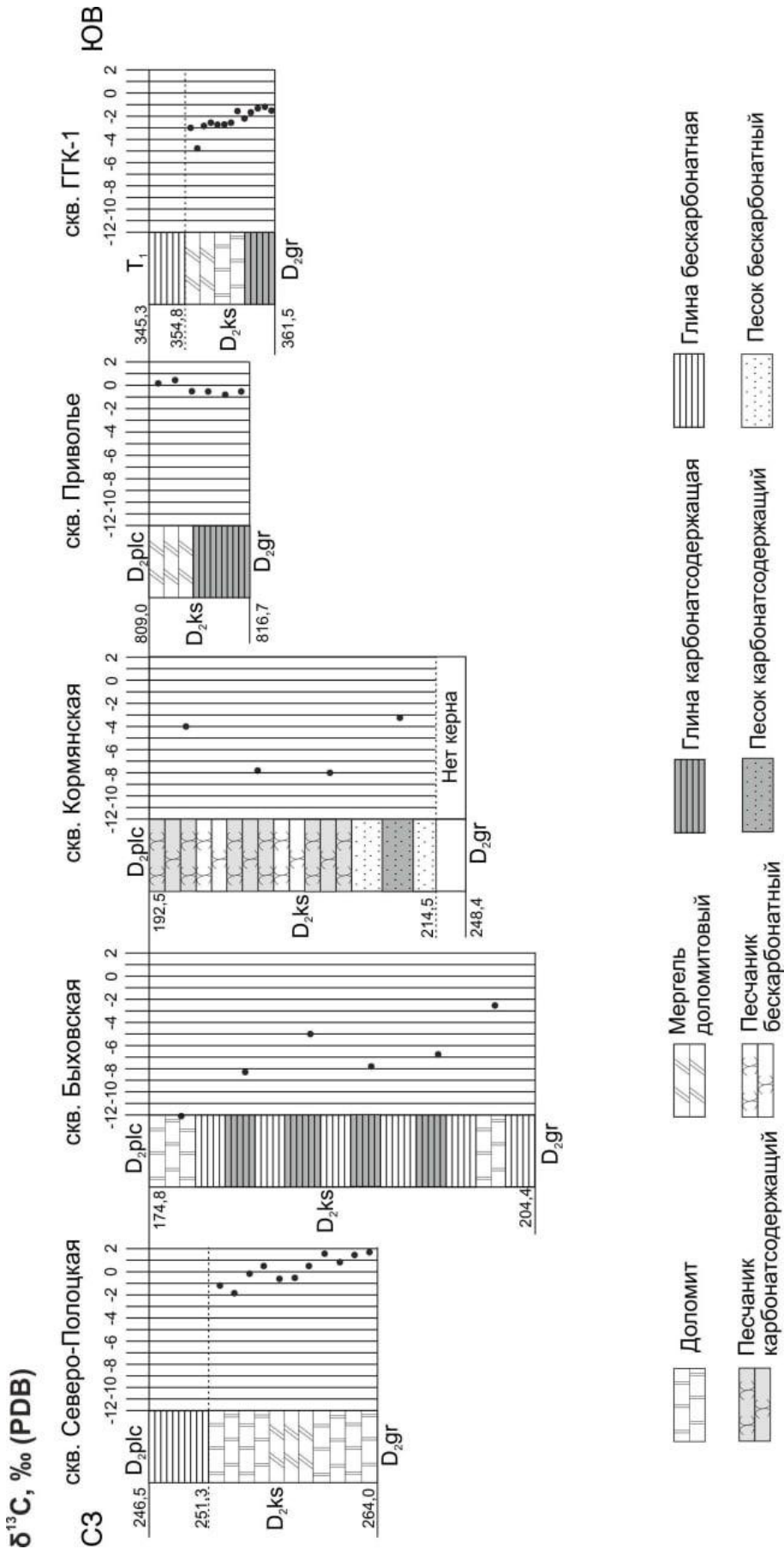


Рисунок 8 – Углеродно-изотопная корреляционная диаграмма отложений костюковичского горизонта (D₂ks) верхнего эйфеля на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. D₂gr – городокский горизонт (живет), T₁ – нижний триас; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы костюковичского горизонта и границы между исследованными интервалами (м)

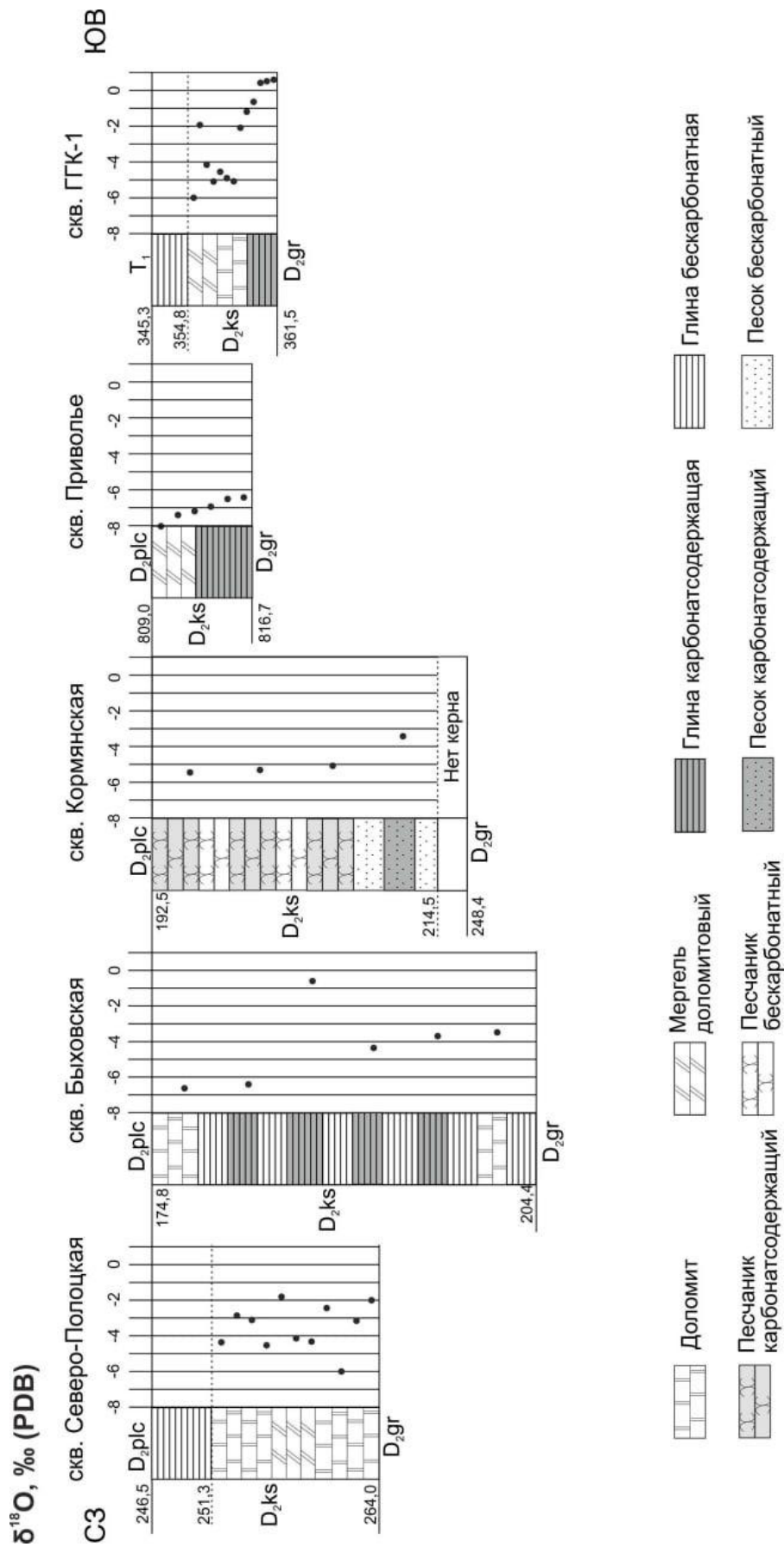


Рисунок 9 – Кислородно-изотопная корреляционная диаграмма отложений костюковичского горизонта (D₂ks) верхнего эйфеля на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Условные обозначения см. на рис. 9

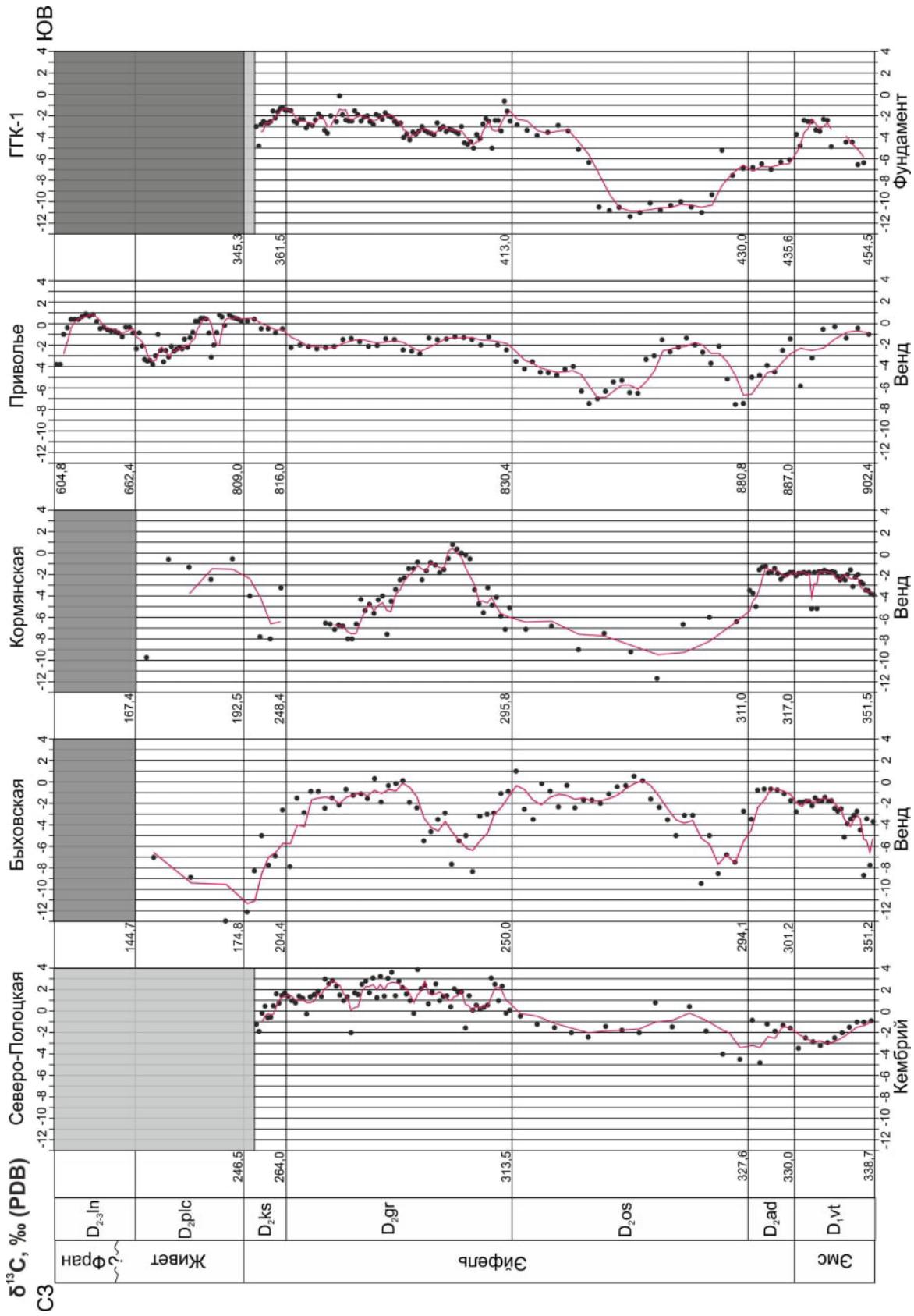


Рисунок 10 – Углеродно-изотопная корреляционная диаграмма ниже-среднедевонских отложений на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Светлая заливка – бескарбонатные интервалы, темная – отсутствие отложений; $D_2\text{-3ln}$ – ланский надгоризонт; остальные условные обозначения см. на рис. 2, 4, 6, 8

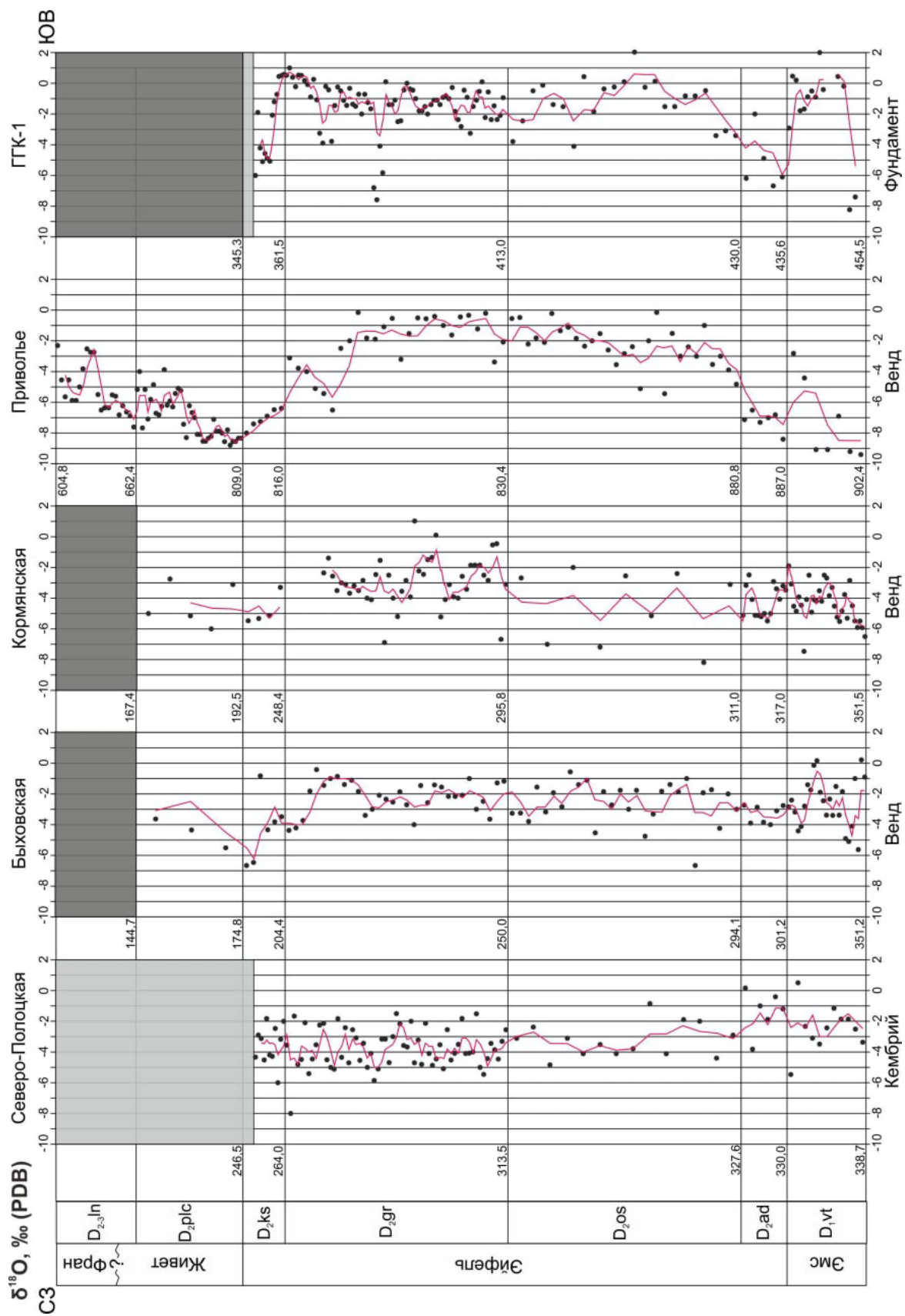


Рисунок 11 – Кислородно-изотопная корреляционная диаграмма нижне-среднедевонских отложений на Латвийской и Жлобинской седловинах, Северо-Припятском плече и Воронежской антеклизе. Условные обозначения см. на рис. 10

ГЕОХИМ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бродская, Н. Г.** Донные отложения и процессы осадкообразования в Аральском море / Н. Г. Бродская // Труды Ин-та геол. наук. Геологическая серия (57). – М. : Изд-во АН СССР, 1952. – Вып. 115. – 108 с.
2. **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.
3. **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.
4. **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.
5. **Высоцкий, Э. А.** Калиеносные бассейны мира / Э. А. Высоцкий, Р. Г. Гарецкий, В. З. Кислик. – Минск : Наука и техника, 1988. – 387 с.
6. **Геология** Беларуси / Ред. А. С. Махнач, [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
7. **Геотермический** атлас Беларуси / Под общ. ред. В. И. Зуя. – Минск : Нац. библиотека Беларуси, 2018. – 89 с.
8. **Девон** Воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г. Д. Родионова [и др.]. – М. : Изд-во Воронежского ун-та, 1995. – 265 с.
9. **Девон** и карбон Прибалтики / В. С. Сорокин [и др.]. – Рига : Зинатне, 1981. – 502 с.
10. **Зоненшайн, Л. П.** Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 1 / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов. – М. : Недра, 1990. – 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.** Изотопы С, О, S, Sr в отложениях осейского горизонта нижнего эйфеля на территории Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Литология и полезные ископаемые. – 2023. – № 4. – С. 387–406.
16. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода и кислорода в верхнеэйфельских отложениях Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2024. – № 1 (60). – С. 69–79.
17. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода и кислорода в отложениях пограничных горизонтов нижнего и среднего девона Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2023. – 2 (59). – С. 82–100.
18. **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.
19. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / ред. С. А. Кручек [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с.
20. **Фор, Г.** Основы изотопной геологии: пер. с англ. / Г. Фор. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
21. **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.
22. **Grossman, E. L.** Oxygen Isotope Stratigraphy / E. L. Grossman // The Geologic Time Scale 2012. – Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo : Elsevier, 2012. – Vol. 1. – P. 181–206.
23. **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. – Vol. 1. – P. 279–307.
24. **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. – 93 (4). – P. 542–553.

25. **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.
26. **Secular** variation in Late Cretaceous carbon isotopes: a new $\delta^{13}\text{C}$ carbonate reference curve for the Cenomanian–Campanian (99.6–70.6 Ma) / I. Jarvis [et al.] // Geological Magazine. – 2006. – 143 (5). – P. 561–608.
27. **Van Geldern, R.** Carbon, oxygen and strontium isotope records of Devonian brachiopod shell calcite / R. van Geldern // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2006. – 240 (1–2). – P. 47–67.
28. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater / J. Veizer [et al.] // Chemical Geology. – 1999. – 161 (1–3). – P. 59–88.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 03.12.2024

Рэцэнзент У. М. Шымановіч

ПАРАЎНАЛЬНЫ АНАЛІЗ ІЗАТОПНЫХ (С, О) ВАРЫЯЦЫЙ У АДКЛАДАХ НІЖНЕ-І СЯРЭДНЕДЭВОНСКИХ ГАРЫЗОНТАЎ НА ЛАТВІЙСКОЙ І ЖЛОБІНСКОЙ СЕДЛАВІНАХ, ПАЎНОЧНА-ПРЫПЯЦКІМ ПЛЯЧЫ І ВАРОНЕЖСКОЙ АНТЭКЛІЗЕ (БЕЛАРУСЬ)

А. А. Махнач¹, Б. Г. Пакроўскі², А. Г. Лапцэвіч¹, А. Ф. Кузьмянкова¹,
Г. Д. Стральцова¹, Н. С. Якаўлева¹, В. В. Мурашка¹

¹Дзяржаўнае прадпрыемства «НБЦ 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

У артыкуле апісана спроба пагарызонтнай ізатопнай (С, О) карэляцыі ніжне- і сярэднедэвонскіх адкладаў Беларусі ў разрэзах свідравін Паўночна-Полацкая (на паўднёвым усходзе Латвійскай седлавіны), Быхаўская (у зоне сучалення Аршанскай упадзіны і Жлобінскай седлавіны), Кармянская (на Жлобінскай седлавіне), Прыволле (на Паўночна-Прыпяцкім плячы Прыпяцкага прагіну) і ГТК-1 (на паўночна-заходнім краі Варонежскай антэклізы). Вывучаліся наступныя гарызонты: віцебскі (эмс), адроўскі і асвейскі (ніжні эйфель), гарадоцкі (сярэдні эйфель), касцюковіцкі (верхні эйфель). Паказана, што ізатопная інфармацыя можа служыць для вызначэння эпізодаў эвапарытызацыі, узмацнення і аслаблення кантынентальнага сціску, абмянення седыментацыйнага басейна, акіслення рассеянага арганічнага рэчыва ў асадку, для карэляцыі разрэзаў, ацэнкі характару постседыментацыйных змяненняў адкладаў. Не заўсёды назіраецца ўзгодненасць у паводзінах велічынь $\delta^{13}\text{C}$ і $\delta^{18}\text{O}$, з аднаго боку, і літафацыяльных параметраў – з другога. Такім чынам, ізатопныя даныя ў шэрагу выпадкаў могуць служыць самастойным паказчыкам варыяцый умоў утварэння і пераўтварэння адкладаў.

Ключавыя словы: Беларусь, Латвійская і Жлобінская седлавіны, Паўночна-Прыпяцкае плячо, Варонежская антэкліза, ніжні і сярэдні дэвон, ізатопы вугляроду і кіслароду.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ISOTOPIC (C, O) VARIATIONS IN DEPOSITS OF THE LOWER AND MIDDLE DEVONIAN HORIZONS IN THE LATVIAN AND ZHLOBIN SADDLES, NORTH PRIPYAT SHOWLDER AND VORONEZH ANTECLISE (BELARUS)

A. Makhnach¹, B. Pokrovsky², A. Laptsevich¹, O. Kuzmenkova¹, G. Streltsova¹,
N. Yakovleva¹, 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 paper describes the attempt of horizon-by-horizon isotopic (C, O) correlation of the Lower and Middle deposits on the territory of Belarus in geological sections of the following boreholes: the North Polotsk (south-east of the Latvian Saddle), Bykhov (the conjugation zone of the Orsha Depression and Zhlobin Saddle), Korma (Zhlobin Saddle), Privolje (the North Pripyat Shoulder of the Pripyat Trough) and GGK-1 (on the south-western edge of the Voronezh Antecline). The Vitebsk (Emsian), Adrov and Osveya (Lower Eifelian), Gorodok (Middle Eifelian) and Kostyukovich (Upper Eifelian) horizons were studied. It is shown that isotopic information may be used for revealing episodes of evaporitization, continental inflow strengthening and weakening, sedimentary basin shallowing, oxidation of dispersed organic matter in sediment, as well as for geological section correlation and estimation of peculiarities of rock post-sedimentary changes. A consistency in behavior between $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values, on one side, and lithofacies parameters, on the other side, is not usually observed. Thus, isotopic data may in some cases serve as an independent indicator of variations of sediment formation and transformation environment.

Keywords: Belarus, Latvian and Zhlobin Saddles, North Pripyat Shoulder, Voronezh Antecline, Lower and Middle Devonian, carbon and oxygen isotopes.