

## ГЕАХІМІЯ

УДК 551.464.6.02; 551.734.2; 551.734.3 (476)

### ИЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В СРЕДНЕЙФЕЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛАРУСИ

А. А. Махнач<sup>1</sup>, Б. Г. Покровский<sup>2</sup>, О. В. Мурашко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

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

E-mail: amahnach1951@gmail.com

<sup>2</sup>Геологический институт РАН

Пыжевский пер., 7, 119017, Москва, Россия

E-mail: pokrov@ginras.ru

*Статья содержит результаты изотопно-геохимического изучения глинисто-карбонатных и карбонатно-глинистых отложений городокского горизонта (средний эйфель) Беларуси в разрезах пяти скважин – Северо-Полоцкой (на юго-востоке Латвийской седловины), Быховской (в зоне сочленения Орианской впадины и Жлобинской седловины), Кормянской (на Жлобинской седловине), Приволье (на Северо-Припятском плече Припятского прогиба) и ГГК-1 (на юго-западном краю Воронежской антеклизы). Установлены углеродно-изотопные сигналы нормальной морской седиментации, активизации роли вод континентального стока, влияния окисления органического вещества в осадке. Во всех разрезах доминируют значения  $\delta^{18}\text{O}$ , характерные для эйфельских морских карбонатов и несколько более высокие, возможно, обусловленные испарением морской воды. В узком интервале разреза скв. ГГК-1, сложенного чистыми от глинистой примеси, кавернозно-пористыми и трещиноватыми доломитами, отрицательный сдвиг  $\delta^{18}\text{O}$  обусловлен катагенетической перекристаллизацией пород в среде инфильтрационных подземных вод.*

### ВВЕДЕНИЕ

В 2019–2022 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; 12; 13; 17; 18]. В настоящей статье приведены результаты сопоставления изотопных данных по этим разрезам для образований среднего эйфеля, представленных в Беларуси городокским горизонтом. Он коррелируется с клинцовским и мосоловским горизонтами Московской синеклизы и лейвуским подгоризонтом наровского горизонта Литвы [1; 7; 8; 24].

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Скважины, давшие материал для статьи, пробурены на разных тектонических структурах Беларуси и выстраиваются в профиль с северо-запада на юго-восток (см. рис. 1). Это параметрические скважины Северо-Полоцкая (на юго-востоке Латвийской седловины), Быховская (в зоне сочленения Орианской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (на Жлобинской седловине), Приволье

(на Северо-Припятском плече Припятского прогиба) и картировочная скважина ГГК-1 (в Клинцовском грабене на юго-западном краю Воронежской антеклизы).

Литостратиграфическое расчленение этих разрезов выполнено А. Г. Лапцевич, О. Ф. Кузьменковой, Г. Д. Стрельцовой и Н. С. Яковлевой (Институт геологии, Минск). Ими же при полевом описании керна скважин была собрана коллекция образцов, из которых 236 проб карбонатных и карбонатсодержащих пород городокского горизонта было использовано для определения изотопного состава углерода и кислорода и карбонатности пород и 231 – для определения содержания органического углерода ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ).

Разрешение построенных кривых вариаций изотопного состава углерода и кислорода в городокском горизонте, определяемое метражом разреза, охарактеризованным одним образцом, оказалось следующим: скв. Северо-Полоцкая – 0,8 м, Быховская – 1,4 м, Кормянская – 1,1 м, Приволье – 0,6 м, скв. ГГК-1 – 0,7 м. Эти цифры свидетельствуют о высокой детальности изучения разрезов.

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 газометрическим методом и содержание Сорг по-

средством оксидометрии определялись в Институте геологии (Минск) Г. И. Лучиной.

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

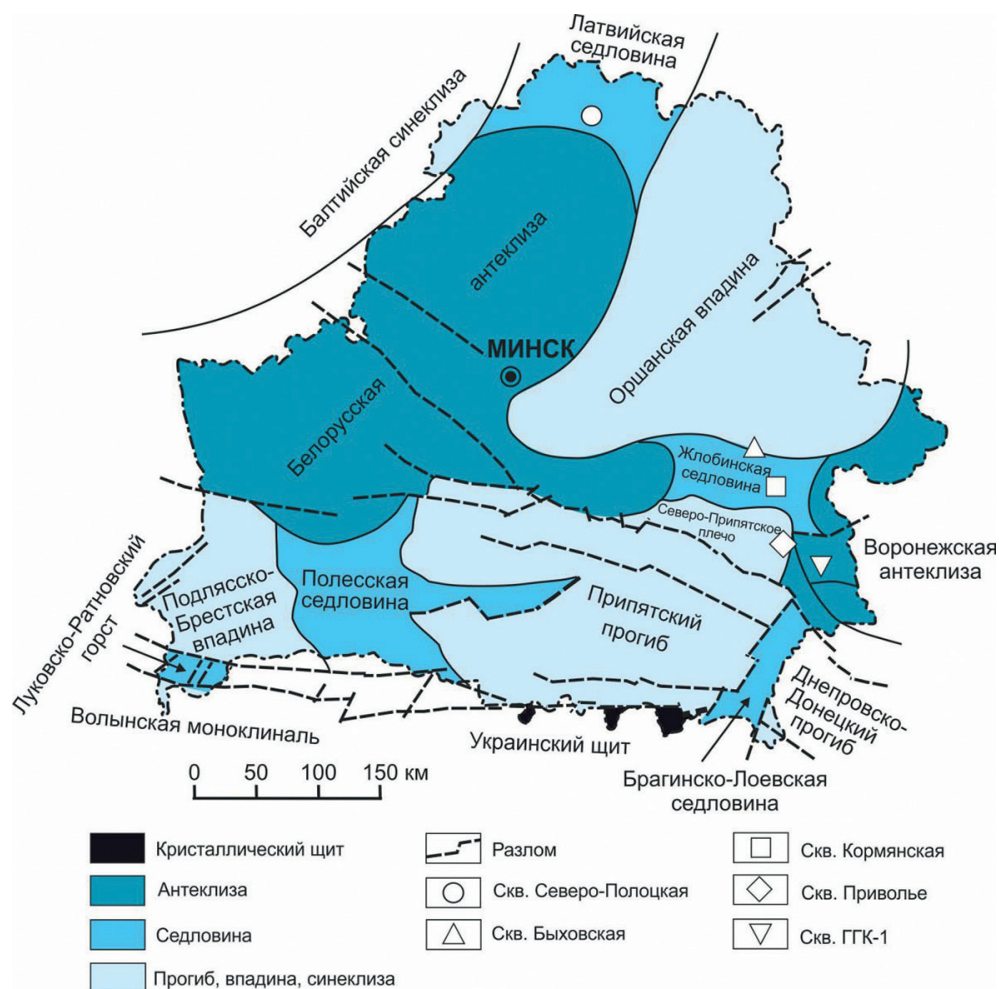


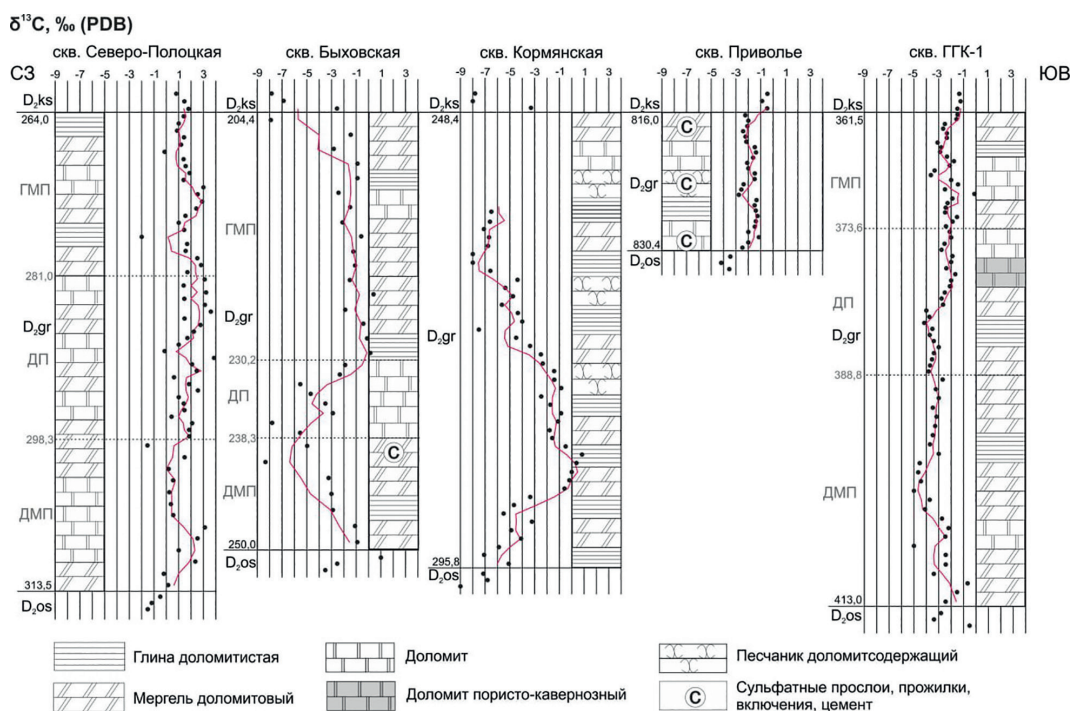
Рисунок 1 – Расположение скважин, материалы по которым использованы в работе, на схеме тектонического районирования территории Беларуси [5]

## ЛИТОЛОГИЯ

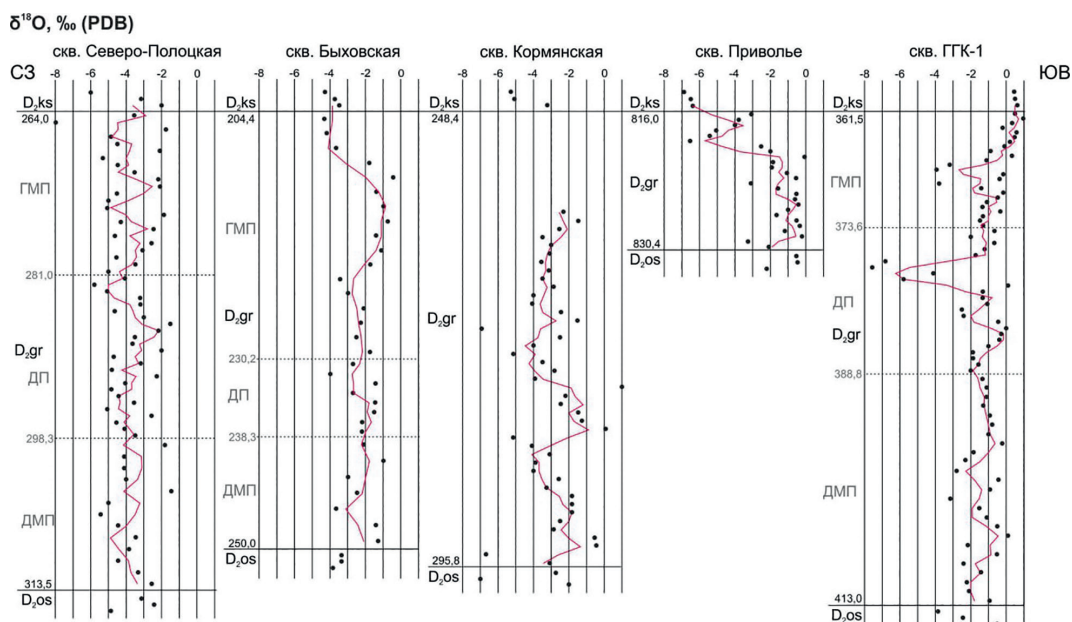
Во всех пяти изучавшихся разрезах (рис. 2, 3) отложения городокского горизонта подстилаются образованиями освейского горизонта нижнего эйфеля (дорогобужский горизонт Московской синеклизы или вадьянский подгоризонт наровского горизонта Литвы) и перекрываются породами костюковичского горизонта верхнего эйфеля (черноярский горизонт Центрального девонского поля, кярнавский подгоризонт наровского горизонта Литвы) [1; 7; 8; 24].

В разрезе скв. Северо-Полоцкая городокский горизонт залегает в интервале глубин 264,0–313,5 м, имеет мощность 49,5 м и подразделяется на три пачки. В нижней, доломитово-мергельной (15,2 м),

преобладают серые, светло-серые и пестроцветные («яшмовидные») доломитовые мергели, присутствуют глинистые доломиты и доломитистые глины. Средняя, доломитовая, пачка (17,3 м) сложена глинистыми и известковистыми пелитоморфными и микрокристаллическими доломитами, иногда водорослевыми и кавернозными, а также доломитовыми мергелями. Окраска пород серая, светло-, бежево- и зеленовато-серая. Верхняя, глинисто-мергельная, пачка (17,0 м) представляет собой переслаивание серых и пестроокрашенных доломитистых глин, зеленовато-серых и бурых доломитовых мергелей, серых и зеленовато-серых глинистых и известковистых доломитов, пелитоморфных и микрокристаллических, интервалами кавернозных.



**Рисунок 2** – Вариации изотопного состава углерода в отложениях городокского горизонта ( $D_2gr$ ) среднего эйфеля на территории Беларуси. Точки – фактические значения  $\delta^{13}C$ ; кривые – линии вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг 3);  $D_{2os}$  – освейский горизонт,  $D_{2ks}$  – костюковичский горизонт; пачки: ДМП – доломитово-мергельная, ДП – доломитовая, ГМП – глинисто-мергельная; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы городокского горизонта и границы между пачками (м)



**Рисунок 3** – Вариации изотопного состава кислорода в отложениях городокского горизонта ( $D_2gr$ ) среднего эйфеля на территории Беларуси. Точки – фактические значения  $\delta^{13}C$ ; кривые – линии вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг 3);  $D_{2os}$  – освейский горизонт,  $D_{2ks}$  – костюковичский горизонт; пачки: ДМП – доломитово-мергельная, ДП – доломитовая, ГМП – глинисто-мергельная; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы городокского горизонта и границы между пачками (м)

В Быховском разрезе городокского горизонта (204,4–250,0 м; мощность 45,6 м) снизу вверх выделяются доломитово-мергельная (11,7 м), доломитовая (8,1 м) и глинисто-мергельная (25,8 м) пачки. Первая сложена чередованием преимущественно глинистых доломитовых мергелей и доломитов с редкими прослоями известняков и оранжевого гипса. Вторая представлена светло-бежевыми и кремово-серыми доломитами, массивными, с сульфидной минерализацией по субвертикальным трещинам, а также глинистыми доломитами и доломитовыми мергелями. Существенно отметить, что на ряде участков распространения доломитовой пачки на территории Северной и Средней Беларуси в породах отмечаются многочисленные субгоризонтальные и субвертикальные короткие и тонкие (от долей миллиметра до 3 мм) разрывы с неровными краями (пустоты усыхания, фенестры). Кроме того, в ряде мест, в том числе и в непосредственной близости от скв. Быховская, встречаются заполненные нацело или частично кальцитом полости, имеющие форму кубов с вогнутыми гранями [19]. Очень вероятно, что эти полости – следы растворения кристаллов галита в неполностью литифицированных отложениях. Неполная литифицированность осадка могла обеспечить искажение формы образующейся полости, занятой растворяющимся кристаллом. На повышенную соленость вод, в которых происходило накопление доломитовой пачки, указывает также моноксидный состав акритарх, которые представлены здесь тонкостенными лейосферами диаметром 30–50 мкм [21]. В третьей (глинисто-мергельной) пачке городокского горизонта доминируют доломитовые мергели; реже встречаются доломитистые глины и глинистые доломиты; отмечены также редкие прослои пелитоморфных и кавернозно-пористых строматолитовых известняков.

Породы городокского горизонта в скв. Кормянская (248,4–295,8; мощность 47,4 м) представлены серыми и темно-серыми доломитовыми мергелями, серыми доломитами, преимущественно пелитоморфными, иногда с онколитами водорослей, прослоями пористыми и кавернозными. Отмечаются также пропластки глин и песчаников.

Городокский разрез скв. Приволье (816,0–830,4; 14,4 м) сложен чередованием серых и светло-серых, иногда коричнево-зеленых пестро окрашенных доломитовых мергелей, глинистых и известковистых доломитов (интервалами водорослевых) и реже встречающихся доломитистых глин, песчаников и алевролитов. Характерно присутствие гипса в субвертикальных прожилках, секущих мергели и доломиты, и в цементе песчаников (наряду с карбонатами).

В скв. ГГК-1 городокский горизонт (361,5–413,0 м) имеет мощность 51,5 м и подразделяется на три пачки. В нижней, доломитово-мергельной (24,2 м), преобладают доломитовые мергели, встречаются прослои доломитистых глин и глинистых доломитов, реже – песчаников и алевролитов. Породы зеленовато- и бежево-серые, реже имеют пеструю (бордово-зеленую) окраску. В средней, доломитовой, пачке (15,2 м) доминируют доломиты, обычно сероцветные, пелитоморфные, микро- и реже мелкокристаллические. Отмечаются интервалы трещиноватых и пористо-кавернозных доломитовых пород, прослои доломитовых мергелей и доломитистых глин. Верхняя, глинисто-мергельная, пачка (12,1 м) представлена пестроцветными (зеленые, серые, бордовые тона) «яшмовидными» доломитовыми мергелями с прослоями доломитов, в том числе глинистых и известковистых, и доломитистых глин.

Как видим, городокская толща в четырех из пяти выбранных для изотопно-геохимического изучения разрезах (Северо-Полоцком, Быховском, Кормянской и ГГК-1) характеризуется довольно близкими мощностями и глубинами залегания. Выбивается из общего ряда разрез Приволье, где мощность городокских отложений на 31–37 м меньше, а глубина залегания на 454–612 м больше, чем в остальных скважинах. Вещественное наполнение всех разрезов в основном одинаковое – доминируют доломитовые мергели, доломитистые глины и глинистые доломиты. Вместе с тем в разрезах скв. Быховская и Приволье, в отличие от других, имеются проявления гипса.

## ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ

О диапазоне вариаций и изменчивости изотопного состава углерода и кислорода в породах городокского горизонта, а также о структуре частотного распределения значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в изучавшихся разрезах дают представление таблица 1 и рисунки 2, 3, 4. Отклонения значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  от собственных морским седиментационным карбонатам требуют рассмотреть ряд возможных факторов распределения изотопов.

### Континентальный сток

Изотопы углерода. Хорошо известно, что увеличение роли континентального стока в геохимической системе седиментации морских карбонатов приводит к их изотопно-углеродному облегчению в связи обогащенностью вод суши почвенным углеродом [25].

**Таблица 1** – Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов  
в отложениях городокского горизонта (средний эйфель) Беларуси

| Глубина, м                  | Литология                                    | Кальцит, % | Доломит, % | C <sub>орг</sub> , % | δ <sup>13</sup> C, ‰<br>(PDB) | δ <sup>18</sup> O, ‰<br>(PDB) |
|-----------------------------|----------------------------------------------|------------|------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Скв. Северо-Полоцкая</b> |                                              |            |            |                      |                               |                               |
| 265,0                       | Мергель известковисто-доломитовый            | 10,6       | 59,2       | 0,22                 | 1,3                           | -3,6                          |
| 265,2                       | Глина доломитистая                           | нет        | 13,0       | 0,30                 | 1,0                           | -8,0                          |
| 267,4                       | Доломит известковистый                       | 8,4        | 91,6       | 0,11                 | 0,8                           | -1,7                          |
| 268,4                       | Глина доломитистая                           | нет        | 16,5       | 0,31                 | 1,4                           | -4,8                          |
| 269,0                       | Доломит глинистый                            | –"–        | 83,7       | 0,18                 | 1,2                           | -4,5                          |
| 269,7                       | Доломит известковистый глинистый кавернозный | 19,9       | 67,2       | 0,13                 | -0,2                          | -2,1                          |
| 270,0                       | Глина доломитистая                           | нет        | 14,6       | 0,28                 | 1,3                           | -5,3                          |
| 270,1                       | Доломит известковистый                       | 24,1       | 71,9       | 0,21                 | 1,6                           | -4,4                          |
| 271,5                       | –"–                                          | 9,7        | 90,3       | 0,12                 | 1,9                           | -3,6                          |
| 271,7                       | –"–                                          | 17,8       | 79,3       | 0,18                 | 1,4                           | -2,2                          |
| 273,2                       | Доломит глинистый                            | нет        | 79,4       | 0,18                 | 3,0                           | -2,1                          |
| 273,8                       | Доломит известковистый глинистый кавернозный | 15,6       | 70,7       | 0,25                 | 2,6                           | -4,6                          |
| 274,2                       | Доломит глинистый                            | 0,2        | 80,4       | 0,23                 | 2,9                           | -5,0                          |
| 275,0                       | –"–                                          | 4,7        | 72,7       | 0,42                 | 2,3                           | -5,1                          |
| 275,5                       | Доломит известковый                          | 35,9       | 64,1       | 0,20                 | 1,6                           | -1,8                          |
| 275,6                       | Глина доломитистая                           | нет        | 13,1       | 4,38                 | 1,0                           | -4,3                          |
| 275,9                       | Доломит известковистый кавернозный           | 20,9       | 79,1       | 0,73                 | 1,3                           | -2,4                          |
| 276,0                       | Глина доломитистая                           | нет        | 5,8        | 9,19                 | -2,0                          | -4,7                          |
| 276,3                       | Доломит известковый                          | 33,3       | 66,7       | 0,29                 | 1,7                           | -2,6                          |
| 276,5                       | Доломит известковый глинистый                | 27,2       | 64,7       | 0,31                 | 1,6                           | -3,1                          |
| 276,7                       | Мергель доломитовый                          | 4,4        | 68,6       | 0,40                 | 2,5                           | -4,6                          |
| 278,0                       | Доломит известковый                          | 33,4       | 66,6       | 0,22                 | 2,8                           | -3,4                          |
| 278,1                       | Глина доломитистая                           | нет        | 11,9       | 0,72                 | 1,7                           | -5,0                          |
| 281,1                       | Доломит известковистый                       | 21,2       | 76,2       | 0,19                 | 3,1                           | -4,1                          |
| 281,3                       | Мергель известково-доломитовый               | 14,6       | 56,4       | 0,36                 | 1,3                           | -5,8                          |
| 281,5                       | Мергель доломитовый                          | 1,2        | 49,0       | 0,45                 | 3,2                           | -5,1                          |
| 281,9                       | Доломит известковый кавернозный с сульфидами | 38,7       | 61,3       | 0,49                 | 1,4                           | -3,2                          |
| 282,5                       | Доломит известковистый                       | 7,5        | 91,5       | 0,32                 | 3,1                           | -3,2                          |
| 283,2                       | Мергель доломитовый                          | 4,3        | 61,4       | 0,60                 | 3,7                           | -4,7                          |
| 283,6                       | Доломит известковый                          | 28,9       | 65,0       | 0,29                 | 1,4                           | -3,0                          |
| 284,5                       | Доломит известковый кавернозный с сульфидами | 31,6       | 68,4       | 0,28                 | 2,8                           | -1,5                          |
| 284,7                       | Доломит известковистый кавернозный           | 15,7       | 84,3       | 0,29                 | 2,2                           | -2,2                          |
| 285,9                       | –"–                                          | 17,4       | 82,6       | 0,33                 | 1,7                           | -3,6                          |
| 286,8                       | Мергель доломитовый                          | 3,4        | 61,6       | 16,96                | 1,0                           | -3,7                          |
| 287,0                       | Доломит известковый кавернозный              | 27,7       | 72,0       | 0,36                 | -0,2                          | -2,0                          |
| 287,5                       | Доломит известковистый глинистый             | 16,8       | 68,2       | 0,35                 | 3,9                           | -4,7                          |
| 287,9                       | Доломит                                      | 3,4        | 96,0       | 2,72                 | 2,1                           | -3,2                          |
| 289,5                       | Мергель доломитовый                          | нет        | 35,2       | 0,43                 | 2,4                           | -4,8                          |
| 290,1                       | Доломит известковистый кавернозный           | 24,0       | 76,0       | 0,57                 | 0,7                           | -2,2                          |
| 290,2                       | Доломит известковистый                       | 7,7        | 88,0       | 0,50                 | 1,8                           | -4,1                          |
| 291,6                       | Мергель доломитовый                          | 0,7        | 50,3       | 0,35                 | 2,6                           | -4,8                          |
| 293,0                       | Доломит известковый кавернозный              | 26,6       | 73,2       | 0,32                 | 1,0                           | -4,4                          |
| 293,4                       | Доломит глинистый                            | 4,9        | 87,4       | 0,33                 | 1,3                           | -3,6                          |
| 294,7                       | Мергель доломитовый                          | нет        | 57,2       | 0,64                 | 1,4                           | -5,1                          |
| 295,1                       | Доломит известковистый глинистый             | 10,7       | 80,9       | 0,23                 | 0,4                           | -2,6                          |
| 296,7                       | Доломит глинистый                            | 0,9        | 75,5       | 0,24                 | 2,1                           | -4,6                          |
| 297,4                       | –"–                                          | 4,0        | 73,8       | 0,52                 | 1,8                           | -4,1                          |
| 297,9                       | Доломит известковистый с сульфидами          | 9,0        | 91,0       | 0,23                 | 1,8                           | -3,5                          |
| 298,3                       | Доломит песчаный                             | 1,3        | 66,9       | 0,19                 | -1,6                          | -1,8                          |
| 298,4                       | Мергель доломитовый                          | нет        | 51,1       | 0,38                 | 1,4                           | -4,1                          |

Продолжение табл. 1

| Глубина, м                  | Литология                                                 | Кальцит, % | Доломит, % | C <sub>орг</sub> , % | δ <sup>13</sup> C, ‰<br>(PDB) | δ <sup>18</sup> O, ‰<br>(PDB) |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|------------|------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Скв. Северо-Полоцкая</b> |                                                           |            |            |                      |                               |                               |
| 300,9                       | Глина доломитистая                                        | –"         | 19,5       | 0,29                 | 0,1                           | –4,1                          |
| 302,7                       | Алеврит доломитовый                                       | –"         | 38,8       | 0,19                 | 0,6                           | –4,0                          |
| 303,2                       | Доломит известковый                                       | 8,8        | 91,2       | 0,09                 | 0,2                           | –1,5                          |
| 304,0                       | Глина доломитистая                                        | нет        | 14,2       | 0,51                 | 0,3                           | –5,0                          |
| 304,5                       | Мергель доломитовый глинистый                             | 2,1        | 38,2       | 0,33                 | 0,6                           | –5,4                          |
| 305,6                       | Мергель доломитовый                                       | нет        | 57,8       | 0,21                 | 3,1                           | –4,4                          |
| 306,6                       | Мергель доломитовый                                       | 7,5        | 52,5       | 0,22                 | 2,5                           | –3,4                          |
| 307,0                       | Доломит известковый                                       | 19,9       | 77,8       | 0,19                 | 1,0                           | –3,8                          |
| 309,0                       | Доломит глинистый                                         | 6,1        | 71,5       | 0,18                 | 2,3                           | –4,4                          |
| 310,2                       | Глина доломитистая алевритистая                           | нет        | 17,1       | 0,20                 | –0,2                          | –3,3                          |
| 312,7                       | Доломит глинистый                                         | –"         | 84,2       | 0,12                 | 0,1                           | –2,6                          |
| <b>Скв. Быховская</b>       |                                                           |            |            |                      |                               |                               |
| 204,6                       | Глина доломитистая                                        | 0,9        | 7,9        | 0,45                 | –7,9                          | –4,3                          |
| 205,6                       | Мергель доломитовый                                       | 4,3        | 51,8       | 0,92                 | –1,5                          | –4,2                          |
| 206,3                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 2,7        | 41,7       | 1,05                 | –2,8                          | –3,7                          |
| 206,8                       | Глина доломитистая                                        | 0,2        | 20,8       | 0,43                 | –0,9                          | –1,8                          |
| 208,0                       | –"                                                        | 1,6        | 17,4       | 0,17                 | –0,9                          | –0,4                          |
| 209,3                       | Доломит известковый глинистый                             | 13,0       | 81,0       | 0,17                 | –2,4                          | –1,4                          |
| 212,0                       | Мергель доломитовый                                       | 4,9        | 54,3       | 0,12                 | –1,5                          | –1,0                          |
| 213,0                       | Доломит глинистый известковый                             | 11,1       | 72,7       | 0,17                 | –2,1                          | –0,8                          |
| 215,5                       | Мергель известково-доломитовый                            | 6,3        | 68,3       | 0,26                 | –0,7                          | –1,4                          |
| 216,0                       | Песчаник с карбонатным цементом                           | нет данных |            | 0,28                 | –1,2                          | –1,1                          |
| 216,0                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 0,4        | 36,1       | 0,34                 | –1,1                          | –1,8                          |
| 222,3                       | Глина доломитистая                                        | 0,2        | 11,2       | 0,91                 | –1,6                          | –3,4                          |
| 224,0                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 0,4        | 25,2       | 0,33                 | 0,3                           | –3,0                          |
| 225,0                       | Глина доломитистая                                        | 1,1        | 15,6       | 0,24                 | –1,9                          | –2,1                          |
| 226,0                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 2,3        | 28,1       | 0,20                 | –0,4                          | –2,3                          |
| 228,0                       | –"                                                        | 2,7        | 41,4       | 0,33                 | –0,1                          | –2,6                          |
| 229,5                       | –"                                                        | 0,4        | 51,8       | 0,34                 | 0,1                           | –1,8                          |
| 231,0                       | Доломит глинистый известковый                             | 4,9        | 72,9       | 0,33                 | –1,9                          | –2,7                          |
| 232,2                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 0,9        | 32,3       | 0,86                 | –2,3                          | –4,0                          |
| 233,6                       | Доломит глинистый известковый с сульфидной минерализацией | 7,5        | 80,8       | 0,34                 | –5,6                          | –1,4                          |
| 234,6                       | Доломит известковый с сульфидами                          | 11,8       | 83,9       | 0,56                 | –4,7                          | –2,7                          |
| 235,5                       | Доломит известковый глинистый                             | 12,1       | 81,4       | 0,65                 | –3,5                          | –1,4                          |
| 236,8                       | Доломит известковый                                       | 10,5       | 85,0       | 0,53                 | –2,9                          | –1,6                          |
| 237,5                       | Доломит глинистый известковый                             | 11,6       | 72,9       | 0,81                 | –7,8                          | –2,2                          |
| 238,2                       | Доломит известковый глинистый                             | 9,5        | 85,4       | 0,38                 | –5,6                          | –2,2                          |
| 239,7                       | Мергель доломитовый                                       | 5,2        | 45,3       | 0,36                 | –5,0                          | –2,1                          |
| 244,1                       | Мергель известково-доломитовый                            | 10,9       | 62,0       | 0,49                 | –8,3                          | –1,0                          |
| 245,9                       | Глина доломитистая                                        | 2,7        | 13,1       | 0,26                 | –3,2                          | –3,0                          |
| 246,8                       | Доломит глинистый известковый                             | 6,5        | 72,9       | 0,14                 | –3,0                          | –2,5                          |
| 247,8                       | Глина карбонатсодержащая                                  | 0,2        | 3,9        | нет<br>данных        | –2,9                          | –3,7                          |
| 248,3                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 1,8        | 37,4       | 0,18                 | –1,1                          | –1,3                          |
| 249,0                       | Глина доломитистая                                        | 2,0        | 14,8       | 0,20                 | –0,9                          | –1,2                          |
| <b>Скв. Кормянская</b>      |                                                           |            |            |                      |                               |                               |
| 257,3                       | Мергель доломитовый                                       | 2,7        | 54,1       | 0,64                 | –6,5                          | –2,3                          |
| 258,0                       | –"                                                        | 2,5        | 55,3       | 0,39                 | –6,6                          | –1,4                          |
| 258,5                       | Мергель глинистый доломитовый                             | 2,3        | 38,4       | 0,40                 | –7,1                          | –2,6                          |
| 258,9                       | Мергель известково-доломитовый                            | 10,2       | 51,1       | 0,29                 | –6,7                          | –3,5                          |
| 259,1                       | –"                                                        | 6,8        | 52,2       | 0,45                 | –6,8                          | –3,0                          |

Продолжение табл. 1

| Глубина, м             | Литология                                  | Кальцит, % | Доломит, % | C <sub>орг</sub> , % | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰<br>(PDB) | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰<br>(PDB) |
|------------------------|--------------------------------------------|------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Скв. Кормянская</b> |                                            |            |            |                      |                                    |                                    |
| 259,8                  | Мергель доломитовый                        | 2,3        | 59,1       | 1,14                 | -8,0                               | -3,1                               |
| 260,3                  | Мергель глинистый доломитовый              | 1,1        | 36,5       | 5,23                 | -8,0                               | -3,7                               |
| 261,0                  | —                                          | 1,1        | 40,7       | 0,71                 | -6,6                               | -3,2                               |
| 262,3                  | —                                          | 0,4        | 26,0       | 1,11                 | -4,3                               | -3,5                               |
| 262,7                  | Мергель доломитовый                        | 3,4        | 48,0       | 0,54                 | -5,3                               | -2,8                               |
| 264,2                  | —                                          | 2,3        | 50,5       | 1,35                 | -4,8                               | -4,0                               |
| 264,9                  | Мергель глинистый доломитовый              | 1,4        | 41,7       | 0,36                 | -5,7                               | -4,1                               |
| 265,5                  | —                                          | 1,6        | 28,4       | 0,34                 | -4,3                               | -2,4                               |
| 266,3                  | Доломит глинистый                          | 3,2        | 87,7       | 0,47                 | -4,0                               | -1,6                               |
| 267,5                  | Песчаник<br>с известковым цементом         | 16,1       | 4,4        | 0,07                 | -7,6                               | -6,9                               |
| 268,7                  | Доломитово-песчаная порода                 | 3,7        | 40,5       | 0,47                 | -4,5                               | -2,5                               |
| 270,5                  | Глина доломитистая                         | 0,9        | 7,5        | 0,19                 | -3,3                               | -4,0                               |
| 272,6                  | Песчаник с доломитовым цементом            | 0,2        | 14,4       | 0,13                 | -2,5                               | -5,2                               |
| 274,0                  | Глина доломитистая песчаная                | 0,4        | 10,0       | 0,28                 | -2,3                               | -3,6                               |
| 276,0                  | Глина доломитистая                         | 1,8        | 19,6       | 0,23                 | -1,4                               | -2,8                               |
| 276,3                  | Глина доломитистая песчаная                | 0,7        | 12,9       | 0,17                 | -1,4                               | -3,9                               |
| 276,6                  | Мергель доломитовый                        | 1,6        | 32,6       | 0,24                 | -0,8                               | 1,0                                |
| 278,2                  | Глина доломитистая                         | 1,1        | 7,2        | 0,23                 | -2,5                               | -2,2                               |
| 278,9                  | Песчаник с глинисто-доломитовым цементом   | 0,4        | 20,8       | 0,10                 | -1,7                               | -2,4                               |
| 279,1                  | Глина алевролитовая доломитистая           | 2,0        | 15,9       | 0,17                 | -0,9                               | -1,5                               |
| 281,0                  | Мергель доломитовый песчаный               | 1,1        | 25,4       | 0,19                 | -1,1                               | -1,3                               |
| 281,5                  | Мергель известково-доломитовый             | 5,6        | 55,8       | 0,16                 | -1,8                               | 0,1                                |
| 283,6                  | Песчаник с глинисто-доломитовым цементом   | нет        | 12,5       | 0,10                 | -1,6                               | -5,2                               |
| 283,9                  | Глина доломитистая                         | 0,2        | 14,4       | 0,25                 | -0,5                               | -4,1                               |
| 284,0                  | —                                          | 0,4        | 13,8       | 0,18                 | 0,8                                | -3,1                               |
| 285,3                  | —                                          | 0,2        | 12,5       | 0,18                 | 0,3                                | -3,9                               |
| 285,5                  | Мергель доломитовый                        | 0,0        | 51,6       | 0,26                 | 0,0                                | -4,0                               |
| 286,0                  | Мергель доломитовый песчаный               | 2,3        | 43,8       | 0,17                 | -0,2                               | -2,6                               |
| 286,3                  | Мергель глинистый доломитовый              | 0,7        | 28,6       | 0,10                 | -0,6                               | -3,3                               |
| 287,6                  | Глина доломитистая                         | 0,9        | 17,0       | 0,15                 | -3,3                               | -1,8                               |
| 289,2                  | Глина песчаная доломитистая                | 0,4        | 10,4       | 0,23                 | -4,7                               | -1,8                               |
| 289,4                  | Глина доломитистая                         | 0,4        | 6,2        | 0,22                 | -5,6                               | -1,8                               |
| 291,6                  | Глина песчаная доломитистая                | 0,4        | 15,2       | 0,19                 | -3,2                               | -2,5                               |
| 292,1                  | Мергель глинистый известково-доломитовый   | 9,5        | 17,4       | 0,15                 | -4,9                               | -2,8                               |
| 292,8                  | Мергель доломитовый                        | 2,5        | 47,9       | 0,18                 | -4,1                               | -0,6                               |
| 294,0                  | Глина песчаная доломитистая                | 1,6        | 7,5        | 0,18                 | -5,9                               | -0,4                               |
| 294,5                  | Глина карбонатсодержащая                   | 2,3        | 1,5        | 0,05                 | -7,1                               | -6,7                               |
| 295,6                  | Глина песчаная доломитистая                | 0,4        | 14,8       | 0,28                 | -5,1                               | -3,1                               |
| <b>Скв. Приволье</b>   |                                            |            |            |                      |                                    |                                    |
| 817,1                  | Доломит глинистый слабоизвестковистый      | 6,2        | 75,8       | 0,72                 | -2,2                               | -3,1                               |
| 818,5                  | Мергель доломитовый с остатками водорослей | нет        | 68,3       | 1,46                 | -2,0                               | -3,8                               |
| 819,2                  | —                                          | —          | 73,1       | 1,58                 | -2,1                               | -4,0                               |
| 819,8                  | Мергель доломитовый                        | —          | 60,2       | 2,58                 | -2,3                               | -5,1                               |
| 820,2                  | —                                          | 0,6        | 60,7       | 2,16                 | -2,2                               | -5,4                               |
| 820,5                  | Мергель глинистый доломитовый              | нет        | 40,3       | 6,96                 | -2,1                               | -6,6                               |
| 820,9                  | Доломит известковистый водорослевый        | 13,9       | 85,6       | 0,24                 | -1,5                               | -2,5                               |
| 821,0                  | Мергель доломитовый с остатками водорослей | 5,6        | 59,2       | 0,25                 | -1,4                               | -2,0                               |
| 821,2                  | Глина доломитистая яшмовидная              | нет        | 17,9       | 0,21                 | -1,7                               | -0,1                               |
| 822,5                  | Мергель известково-доломитовый             | 6,2        | 55,2       | 0,21                 | -2,1                               | -1,8                               |
| 823,0                  | Доломит известковистый глинистый           | 6,7        | 86,9       | 0,19                 | -2,0                               | -1,9                               |
| 823,3                  | Мергель известково-доломитовый             | 7,9        | 45,7       | 0,21                 | -1,4                               | -1,1                               |

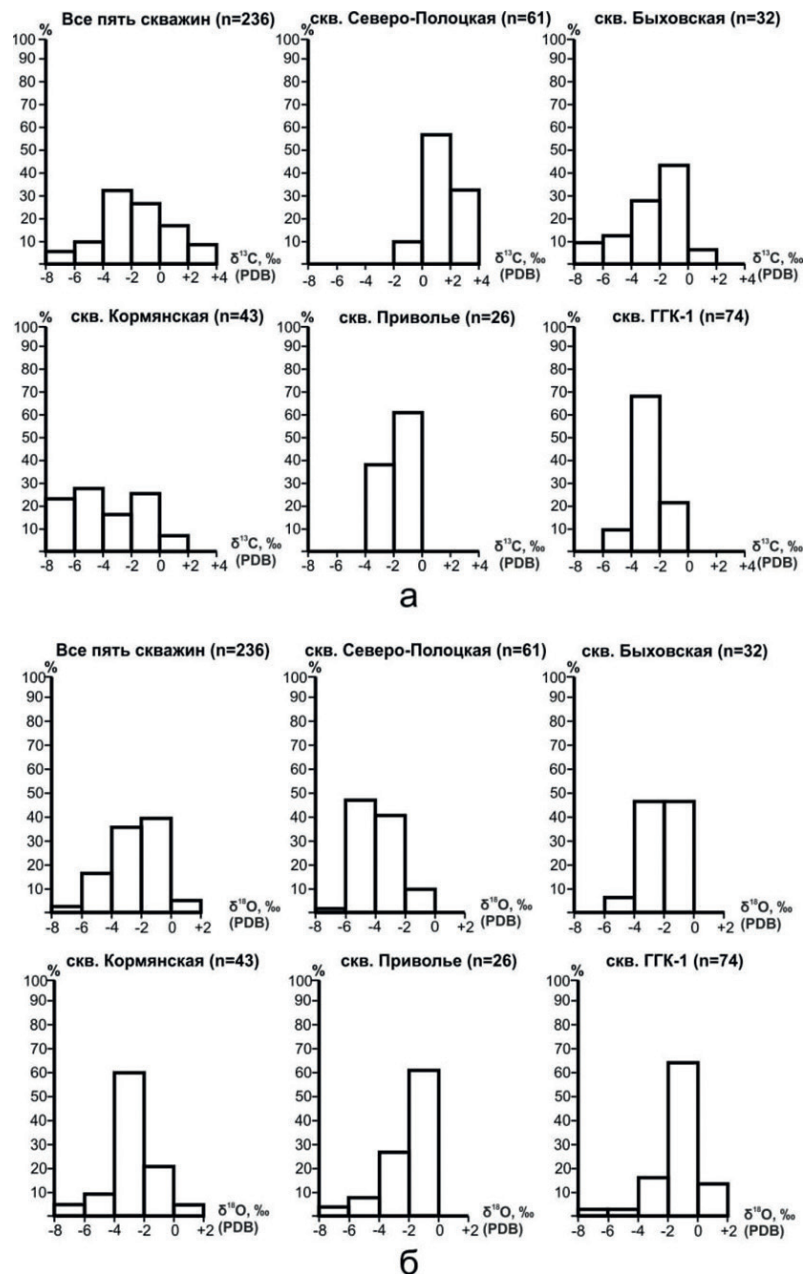
Продолжение табл. 1

| Глубина, м           | Литоология                                               | Кальцит, % | Доломит, % | C <sub>орг</sub> , % | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰<br>(PDB) | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰<br>(PDB) |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Скв. Приволье</b> |                                                          |            |            |                      |                                    |                                    |
| 823,5                | Мергель доломитовый                                      | 1,1        | 62,1       | 0,14                 | -1,5                               | -0,6                               |
| 824,9                | Доломит глинистый                                        | 0,9        | 89,6       | 0,19                 | -2,4                               | -3,2                               |
| 825,1                | Доломит известковистый                                   | 12,5       | 87,5       | 0,44                 | -2,6                               | -1,6                               |
| 825,5                | Доломит                                                  | нет        | 95,0       | 0,42                 | -2,8                               | -0,6                               |
| 826,2                | Мергель доломитовый                                      | —          | 53,7       | 0,40                 | -1,3                               | -0,7                               |
| 826,7                | Доломит глинистый водорослевый                           | 1,6        | 81,6       | 0,41                 | -1,5                               | -0,4                               |
| 827,2                | Доломит известковистый                                   | 12,6       | 87,4       | 0,22                 | -1,4                               | -1,0                               |
| 827,3                | Мергель известковисто-доломитовый                        | 6,2        | 51,3       | 0,41                 | -1,2                               | -1,7                               |
| 827,4                | Доломит известковистый                                   | 16,1       | 83,9       | 0,16                 | -1,3                               | -0,5                               |
| 828,0                | Мергель доломитовый                                      | нет        | 53,4       | 0,49                 | -1,5                               | -0,3                               |
| 829,0                | Глина доломитистая                                       | —          | 17,0       | 1,94                 | -2,0                               | -1,2                               |
| 829,7                | Доломит                                                  | 4,0        | 92,1       | 0,31                 | -1,2                               | -0,2                               |
| 830,0                | Доломит известковистый                                   | 18,4       | 80,7       | 0,71                 | -2,0                               | -3,3                               |
| 830,3                | Доломит                                                  | 1,0        | 95,9       | 0,93                 | -2,5                               | -2,1                               |
| <b>Скв. ГГК-1</b>    |                                                          |            |            |                      |                                    |                                    |
| 361,6                | Мергель доломитовый                                      | 1,3        | 52,8       | 0,07                 | -1,5                               | 0,5                                |
| 361,9                | —                                                        | 1,6        | 51,7       | 0,12                 | -1,6                               | 1,0                                |
| 362,1                | Доломит глинистый известковистый                         | 18,9       | 57,0       | 0,08                 | -2,5                               | 0,3                                |
| 362,7                | Доломит известковый                                      | 25,2       | 74,8       | 0,07                 | -2,7                               | -0,2                               |
| 363,8                | Мергель глинистый доломитовый                            | 1,6        | 39,5       | 0,06                 | -2,3                               | 0,6                                |
| 364,6                | Мергель глинистый известковисто-доломитовый              | 6,4        | 36,7       | 0,06                 | -2,3                               | 0,5                                |
| 365,2                | Глинисто-известково-доломитовая порода                   | 35,1       | 45,4       | 0,04                 | -3,1                               | 0,2                                |
| 365,4                | Глинисто-известково-доломитовая порода                   | 27,3       | 50,2       | 0,11                 | -2,8                               | -0,1                               |
| 365,7                | Мергель доломитово-известковый                           | 35,8       | 24,8       | 0,09                 | -2,9                               | -0,9                               |
| 366,2                | Глинисто-известково-доломитовая порода                   | 30,8       | 45,5       | 0,08                 | -2,3                               | 0,3                                |
| 366,8                | Мергель глинистый доломитовый                            | 1,1        | 41,2       | 0,10                 | -1,8                               | -1,1                               |
| 367,3                | Доломит известковистый                                   | 17,3       | 80,0       | 0,12                 | -2,1                               | -3,2                               |
| 367,8                | Доломит глинистый известковистый                         | 5,7        | 85,9       | 0,17                 | -3,3                               | -3,9                               |
| 368,0                | Доломит известковый                                      | 29,4       | 70,6       | 0,17                 | -3,7                               | -0,2                               |
| 368,9                | Мергель доломитовый                                      | 1,3        | 74,5       | 0,13                 | -2,0                               | -0,4                               |
| 369,4                | —                                                        | 1,7        | 53,4       | 0,12                 | -1,4                               | -3,8                               |
| 369,8                | Мергель известково-доломитовый                           | 16,7       | 38,6       | 0,11                 | -2,5                               | -1,4                               |
| 371,5                | Доломит глинистый                                        | 2,5        | 84,6       | 0,12                 | -0,1                               | -0,2                               |
| 371,9                | —                                                        | 4,0        | 76,1       | 0,17                 | -1,9                               | -0,5                               |
| 372,1                | Мергель известковисто-доломитовый                        | 6,1        | 54,2       | 0,11                 | -2,3                               | -1,1                               |
| 372,2                | Глинисто-известково-доломитовая порода                   | 22,7       | 59,2       | 0,08                 | -2,4                               | -1,3                               |
| 372,3                | —                                                        | 38,2       | 41,5       | 0,09                 | -2,5                               | -0,3                               |
| 372,8                | Мергель доломитовый                                      | 3,2        | 68,7       | 0,09                 | -1,6                               | -1,3                               |
| 373,3                | Глинисто-известково-доломитовая порода                   | 22,6       | 46,2       | 0,10                 | -1,9                               | -1,5                               |
| 373,5                | Мергель глинистый известковисто-доломитовый              | 9,8        | 29,9       | 0,12                 | -2,4                               | -1,3                               |
| 374,0                | Доломит известковый                                      | 33,8       | 66,2       | 0,10                 | -2,1                               | -0,7                               |
| 374,5                | Глина доломитистая                                       | нет        | 8,5        | 1,47                 | -2,0                               | -2,0                               |
| 374,8                | Мергель известковисто-доломитовый                        | 8,7        | 42,7       | 0,14                 | -2,6                               | -0,7                               |
| 375,1                | Глина доломитистая                                       | 0,9        | 10,9       | 0,19                 | -2,8                               | -1,2                               |
| 375,5                | Доломит                                                  | 2,4        | 95,6       | 0,06                 | -1,9                               | -1,7                               |
| 378,5                | Доломит известковистый трещиноватый, пористо-кавернозный | 21,1       | 78,9       | 0,19                 | -2,0                               | -6,8                               |
| 379,2                | Доломит кавернозный                                      | нет        | 100,0      | 0,15                 | -2,3                               | -7,6                               |
| 379,6                | Доломит перекристаллизованный                            | —          | 98,1       | 0,07                 | -1,7                               | -4,1                               |
| 380,2                | Доломит известковистый кавернозный                       | 16,7       | 83,3       | 0,13                 | -2,0                               | -5,8                               |
| 381,7                | Доломит глинистый                                        | нет        | 81,8       | 0,25                 | -2,1                               | 0,1                                |
| 382,0                | Доломит известковистый                                   | 8,7        | 91,3       | 0,52                 | -2,6                               | -1,3                               |

Окончание табл. 1

| Глубина, м | Литология                                  | Кальцит, % | Доломит, % | C <sub>орг</sub> , % | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰<br>(PDB) | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰<br>(PDB) |
|------------|--------------------------------------------|------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Скв. ГГК-1 |                                            |            |            |                      |                                    |                                    |
| 382,1      | Мергель глинистый доломитовый              | нет        | 30,4       | 2,48                 | -2,8                               | -1,3                               |
| 382,3      | –"                                         | 0,5        | 43,8       | 1,95                 | -2,7                               | -1,1                               |
| 382,7      | Доломит известковый глинистый              | 14,7       | 77,1       | 0,31                 | -4,0                               | -2,5                               |
| 383,2      | –"                                         | 27,8       | 66,8       | 0,17                 | -3,7                               | -2,4                               |
| 383,9      | Глина доломитистая                         | 0,1        | 22,2       | 0,72                 | -4,2                               | -0,4                               |
| 384,5      | Доломит глинистый                          | 2,8        | 80,3       | 0,19                 | -3,5                               | 0,0                                |
| 385,0      | Мергель доломитовый                        | 0,9        | 74,0       | 0,69                 | -3,7                               | -0,3                               |
| 385,3      | Доломит глинистый известковый              | 8,3        | 75,9       | 0,11                 | -3,4                               | -0,4                               |
| 386,0      | Мергель доломитовый                        | нет        | 56,1       | 0,32                 | -3,0                               | -1,0                               |
| 387,0      | –"                                         | –"         | 53,5       | 0,81                 | -3,3                               | -1,8                               |
| 387,6      | Доломит                                    | 1,0        | 95,0       | 0,39                 | -3,6                               | -1,8                               |
| 387,9      | Доломит известковый                        | 16,6       | 82,2       | 0,39                 | -3,7                               | -1,6                               |
| 388,7      | Доломит глинистый                          | нет        | 81,9       | 0,94                 | -3,8                               | -2,0                               |
| 388,9      | Доломит глинистый                          | 0,3        | 83,6       | 0,61                 | -2,7                               | -1,3                               |
| 389,0      | Мергель доломитовый                        | нет        | 51,1       | 0,59                 | -3,2                               | -1,1                               |
| 389,3      | Мергель глинистый доломитовый              | –"         | 40,1       | 0,35                 | -3,0                               | -1,1                               |
| 390,4      | –"                                         | –"         | 35,5       | 1,45                 | -3,5                               | -1,3                               |
| 391,0      | Мергель доломитовый                        | 3,0        | 61,8       | 0,29                 | -3,2                               | -0,9                               |
| 391,7      | –"                                         | 3,7        | 53,0       | 0,35                 | -3,3                               | -0,8                               |
| 392,3      | Глина доломитистая                         | нет        | 14,7       | 0,30                 | -3,5                               | -1,0                               |
| 393,0      | Мергель доломитовый                        | –"         | 55,8       | 0,29                 | -3,7                               | -0,3                               |
| 393,7      | Глина доломитистая                         | нет        | 13,3       | 0,50                 | -3,0                               | -1,8                               |
| 393,9      | Глина с малой примесью доломита            | –"         | 3,4        | 0,21                 | -4,6                               | -2,3                               |
| 394,6      | Глина доломитистая                         | –"         | 10,1       | 0,22                 | -4,7                               | -2,8                               |
| 395,8      | Известково-глинисто-доломитовая порода     | 23,6       | 52,1       | 0,11                 | -4,4                               | -0,4                               |
| 396,8      | Мергель глинистый известково-доломитовый   | 6,1        | 30,4       | 0,18                 | -5,0                               | -0,9                               |
| 397,4      | Глина доломитистая                         | нет        | 17,3       | 0,21                 | -3,7                               | -3,2                               |
| 398,0      | –"                                         | –"         | 13,4       | 0,18                 | -4,1                               | -1,5                               |
| 399,4      | Мергель глинистый известково-доломитовый   | 7,7        | 39,0       | 0,13                 | -2,8                               | -1,1                               |
| 401,5      | –"                                         | 7,1        | 58,5       | 0,13                 | -2,2                               | -0,6                               |
| 401,9      | Известково-глинисто-доломитовая порода     | 8,9        | 67,2       | 0,13                 | -2,5                               | 0,1                                |
| 402,7      | Глина с малой примесью доломита            | нет        | 3,5        | 0,21                 | -5,0                               | -2,2                               |
| 403,4      | Мергель доломитовый                        | 0,3        | 66,4       | 0,09                 | -2,4                               | -0,6                               |
| 407,2      | Мергель глинистый доломитовый опесчаненный | 2,3        | 32,4       | 0,14                 | -2,4                               | -2,3                               |
| 408,5      | Глина доломитистая                         | нет        | 10,3       | 0,25                 | -3,3                               | -1,5                               |
| 409,9      | Глина доломитистая алевролитовая           | –"         | 14,6       | 0,17                 | -0,7                               | -2,3                               |
| 410,6      | Глина доломитистая опесчаненная            | –"         | 15,0       | 0,16                 | -1,6                               | -2,1                               |
| 411,8      | Мергель глинистый доломитовый опесчаненный | 0,6        | 41,0       | 0,08                 | -2,4                               | -0,9                               |

Примечание: C<sub>орг</sub> – концентрация органического углерода.



**Рисунок 4** – Гистограммы распределения  $\delta^{13}\text{C}$  (а) и  $\delta^{18}\text{O}$  (б) в отложениях городокского горизонта среднего эйфеля в пяти разрезах на территории Беларуси

Для двух из наших разрезов говорить о сколько-нибудь значимой роли вод континентального стока в формировании изотопного состава карбонатного углерода не приходится. Это скв. Северо-Полоцкая (диапазон  $\delta^{13}\text{C}$  составляет  $-2,0 \dots +3,9 \text{ ‰}$ ) и Приволье ( $-2,8 \dots -1,2 \text{ ‰}$ ), где все значения соответствуют или близки морскому стандарту (рис. 2, 4а). Очевидно, эти отложения накапливались в нормальных морских условиях с достаточно хорошим углекислотным обменом между водной массой бассейна осадконакопления и атмосферой. Такая же картина наблюдается для верхней и самой нижней части городокского горизонта в скв. ГГК-1.

Существенно иное распределение изотопов углерода отмечено в Быховском и Кормянском разрезах (рис. 2, 4а).

В скв. Быховская интервал, охватывающий доломитово-мергельную и доломитовую пачки, характеризуется сильным отрицательным экскурсом  $\delta^{13}\text{C}$  (амплитуда порядка  $8 \text{ ‰}$ ). Экскурс, исходя из литологических данных (проявления гипса), соответствует эпизоду эвапоритизации бассейна. В это время морской бассейн в силу тектонических причин становился более мелководным, отдельные его части обнажались и подвергались эрозии. Возможно, он распадался на отдельные ванны с морской водой,

интенсивно испаряющейся в приэкваториальных условиях, где в девонское время находилась территория Беларуси [9; 11]. Такое изменение геоморфологической ситуации приводило к увеличению вклада вод суши, обогащенных изотопно-легкой почвенной углекислотой, в водно-солевой баланс седиментационной системы за счет активизации континентального притока и/или обмеления бассейна. Ранее мы подобным образом трактовали природу высокоамплитудных негативных углеродно-изотопных сдвигов в освейском горизонте нижнего эйфеля Быховского и Кормянского разрезов [12; 13]. А недавно отрицательные экскурсы  $\delta^{13}\text{C}$ , установленные в гипсоносных глинисто-карбонатных отложениях среднего – верхнего ордовика Вилуйской структурно-фациальной зоны (Сибирская платформа), были также объяснены протеканием эвапоритового процесса на фоне речных плюмов [26].

Выше отрицательного экскурса, в глинисто-мергельной пачке городокского горизонта Быховского разреза установлена, в основном, низкая вариабельность значений  $\delta^{13}\text{C}$ , близких к морскому стандарту (в среднем  $-1,6\text{‰}$ ), свидетельствующая, очевидно, об углублении бассейна и существенном снижении роли континентальных вод в системе седиментации.

Разрез городокского горизонта в скв. Кормянская начинается сильным отрицательным экскурсом (с минимумом в  $-7\text{‰}$ ), который сменяется интервалом с низкой вариабельностью значений, близких к морскому стандарту (в среднем  $-1,1\text{‰}$ ) (рис. 2). О природе экскурса можно судить, приняв во внимание, что через всю толщу нижележащего освейского горизонта, представленную карбонатно-сульфатными породами, проходит высокоамплитудный отрицательный сдвиг, связанный с эвапоритовым эпизодом на фоне активизации влияния вод суши, обогащенных почвенным углеродом [12]. В нижней части городокского горизонта этот экскурс продолжается и заканчивается. Особенностью седиментационного бассейна в раннегородокское время на данном участке было то, что здесь, в отличие от района скв. Быховская, не достигалась насыщенность морской воды по гипсу и не образовывались минеральные эвапоритовые продукты.

Подводя итог обсуждению изотопно-углеродного сигнала континентального стока, отметим три наблюдаемых варианта протекания эвапоритового процесса: с минеральным завершением без активизации континентального стока (скв. Приволье), на фоне его активизации с образованием (скв. Быховская) и без образования (скв. Кормянская) твердых эвапоритовых продуктов.

Изотопы кислорода. Анализ статистических показателей распределения изотопного состава кислорода в городокских отложениях показывает, что во

всех разрезах доминируют значения  $\delta^{18}\text{O}$  на уровне эйфельского «плато» ( $-4\ldots-2\text{‰}$ ) на глобальной хемотратиграфической кривой, построенной по результатам анализа раковин брахиопод из девонских отложений США, Испании, Марокко, России (Сибирь) и Китая [28; 29; 30; 33; 34] и несколько более высокие (рис. 3, 4б). Вместе с тем имеются пробы со значениями  $\delta^{18}\text{O}$  более низкими. Минимальные и максимальные цифры  $\delta^{18}\text{O}$  по скважинам следующие – Северо-Полоцкая:  $-8,0\ldots-1,5\text{‰}$ ; Быховская:  $-4,3\ldots-0,8$ ; Кормянская:  $-6,9\ldots+1,0$ ; Приволье:  $-6,6\ldots-0,1$ ; ГГК-1:  $-7,6\ldots+1,0\text{‰}$ .

Характерной особенностью вариаций изотопного состава кислорода в изучаемых разрезах является то, что он не «реагирует» на отрицательные углеродно-изотопные экскурсы, которые мы связываем с усилением роли континентального стока, аналогичными сдвигами (рис. 3). Причиной этого является возможное отсутствие существенной разницы между значениями  $\delta^{18}\text{O}$  атмосферных осадков, дающих начало водам суши, и морской воды в низких широтах [27; 31], где в девоне находилась территория Беларуси [9; 11].

Значения  $\delta^{18}\text{O} > -2\text{‰}$ , т. е. несколько более высокие, чем цифры, присущие карбонатам эйфельского моря, могут быть следствием испарительного концентрирования воды, сопровождающегося удалением из нее изотопа  $^{16}\text{O}$ .

Что касается величин  $\delta^{18}\text{O}$  более низких, чем эйфельские морские, то надо отметить одно обстоятельство, которое важно не только для трактовки изотопных вариаций седиментационной природы, но и для обсуждения влияния постседиментационной инфльтрации на изотопный состав карбонатного кислорода. Несмотря на зависимость изотопного состава кислорода атмосферных осадков от географической широты, на него влияют также высота их выпадения, температура воздуха, сезон, близость к океану и другие факторы, способные вызвать искажения широтного эффекта [20; 25; 27; 31]. Было бы заманчивым объяснить региональной спецификой, искажающей широтный эффект, особенно большое количество значений  $\delta^{18}\text{O}$ , более низких, чем те, что характерны для эйфельских морских карбонатов, в Северо-Полоцком разрезе (рис. 4б), который находится далеко от всех остальных (рис. 1). Но это не согласуется с изотопным составом углерода карбонатов, который, как показано выше, свидетельствует о крайне низкой роли вод суши в геохимической системе седиментации.

#### Окисление органического вещества в осадках

Проанализируем возможность мобилизации в образующихся карбонатах изотопно-легкого углерода за счет окисления органического вещества, рассеянного в осадках [25]. Окислителем может

выступать как водорастворенный свободный кислород, так и кислород сульфат-иона при бактериальной сульфатредукции. Процесс с участием кислорода и в той, и в другой форме может протекать как в зоне седиментации, так и в зоне диагенеза.

Поскважинные средние содержания  $C_{орг}$  в городокских отложениях лежат в диапазоне 0,31–0,68 %, а в резко доминирующих субдоманикоидах – в интервале 0,17–0,30 % (табл. 2). Приняв во внимание, что состав отложений, в основном, карбонатно-глинистый и глинисто-карбонатный и что субкларки  $C_{орг}$  по разным оценкам [4; 22] составляют для глинистых пород 0,8–1,14 %, а для карбонатных – 0,2–0,45 %, концентрацию органического вещества в городокских отложениях наших скважин надо считать невысокой. Это, однако, не означает, что окисление органического материала осадков не сыграло своей роли в формировании изотопного состава карбонатного углерода. Невысокое содержание органического вещества может быть следствием его удаления из осадка при окислении и указывать на имевшее место превращение органического углерода в карбонатный. Так, в верхнефаменском сланценосном разрезе Припятского прогиба наиболее бедные органическим веществом известняки и глинистые известняки ( $C_{орг}$  0,92±0,11 %) значительно более изотопно-легкие  $\delta^{13}C$  (–9,6±0,3 ‰), чем мергели, глинистые мергели и карбонатсодержащие глины с  $C_{орг}$  6,02±0,80 % ( $\delta^{13}C$  = –3,5±0,6 ‰) [14].

Наверное, более или менее определенно предполагать влияние окисления органического вещества на формирование изотопного состава карбонатного углерода можно тогда, когда наблюдается ковариация  $\delta^{13}C$  и  $C_{орг}$ , причем неважно, положительная или отрицательная. В контексте сказанного обратим внимание на три аспекта распределения этих величин в городокских разрезах.

(а) На корреляционной диаграмме, построенной для субдоманикоидов и доманикоидов всех разрезов, какой-либо связи между параметрами не прослеживается (рис. 5).

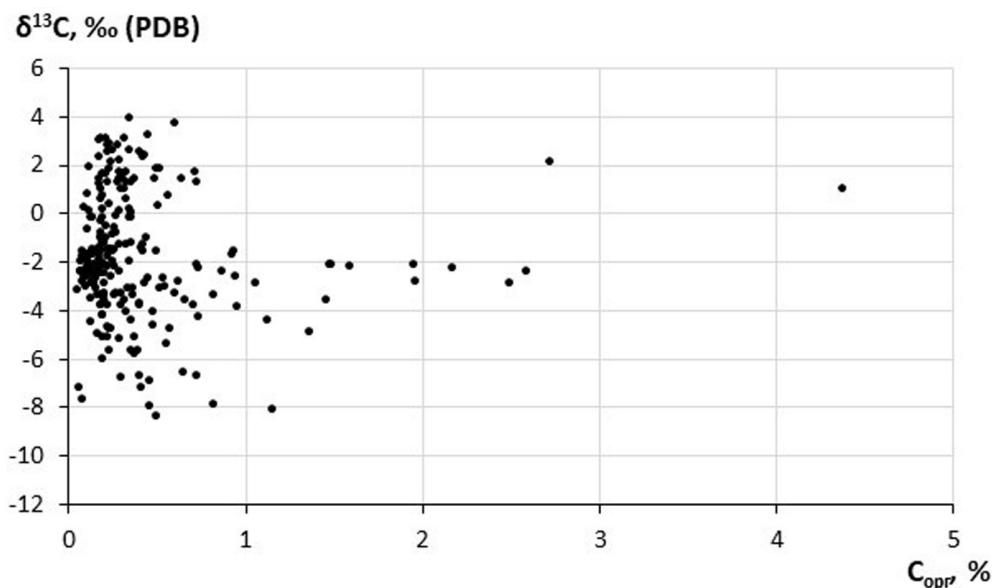
(б) Четыре образца из всей коллекции, самые богатые органическим веществом, попали в категорию доманикоидов. В трех из них значения  $\delta^{13}C$  нормально-морские – скв. Приволье: –2,1 ‰ ( $C_{орг}$  = 6,96 %); скв. Северо-Полоцкая: –2,0 ‰ ( $C_{орг}$  = 9,19 %) и +1,0 ‰ ( $C_{орг}$  = 16,96 %). В четвертом (скв. Кормянская)  $\delta^{13}C$  очень низкое (–8,0 ‰), а  $C_{орг}$  = 5,23 %.

(в) В интервале, охватывающем доломитово-мергельную и доломитовую пачки Быховского разреза, сильный отрицательный экскурс  $\delta^{13}C$  коррелируется с положительным экскурсом  $C_{орг}$  (рис. 6). Похожая картина наблюдается в самой верхней части глинисто-мергельной пачки. Здесь, однако, мы воздержимся от интерпретации этой ковариации, так как разброс точек не дает уверенности в объективности динамики скользящего среднего. В скв. Кормянская убогие концентрации  $C_{орг}$  в нижней части городокского горизонта сменяются на более высокие с пиком в 5,23 % в верхней части (см. рис. 6). И здесь же отмечается отрицательный экскурс  $\delta^{13}C$  с минимумом в –8 ‰. Интервал городокского горизонта в скв. ГГК-1, включающий верхнюю часть доломитово-мергельной пачки и нижнюю половину доломитовой пачки, характеризуется низкоамплитудным, но продолжительным отрицательным экскурсом значений  $\delta^{13}C$  (см. рис. 6). Нельзя не заметить его соответствие не свойственному остальным частям горизонта поведению концентрации органического вещества. Линия  $C_{орг}$  здесь ломаная, включающая точки повышенных содержаний относительно других частей разреза, где она представляет собой практически прямую, состоящую из точек крайне низких концентраций.

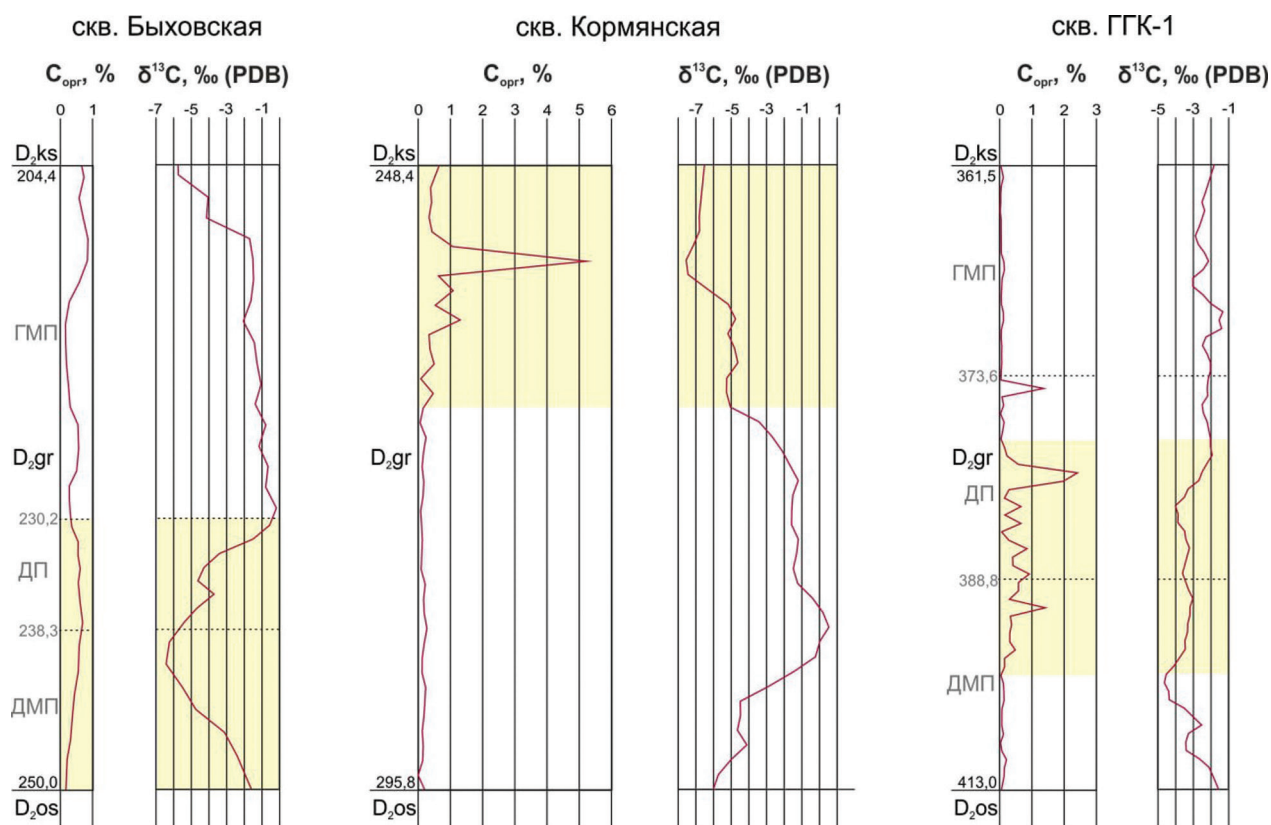
**Таблица 2** – Статистическая характеристика распределения содержания  $C_{орг}$  (%) в породах городокского горизонта (средний эйфель) Беларуси

| Скважина (n)         | $\bar{x}$ | Субдоманикоиды (0,1–0,5 % $C_{орг}$ ) |           |           |           | Доманикоиды (0,5–5,0 % $C_{орг}$ ) |           |           |           |
|----------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                      |           | n                                     | $x_{min}$ | $x_{max}$ | $\bar{x}$ | n                                  | $x_{min}$ | $x_{max}$ | $\bar{x}$ |
| Северо-Полоцкая (59) | 0,42      | 50/85                                 | 0,09      | 0,50      | 0,30      | 9/15                               | 0,51      | 4,38      | 1,27      |
| Быховская (31)       | 0,43      | 23/74                                 | 0,12      | 0,49      | 0,28      | 8/26                               | 0,53      | 1,05      | 0,79      |
| Кормянская (42)      | 0,32      | 36/86                                 | 0,05      | 0,47      | 0,23      | 6/14                               | 0,54      | 1,35      | 0,92      |
| Приволье (25)        | 0,68      | 17/68                                 | 0,14      | 0,49      | 0,29      | 8/32                               | 0,71      | 2,58      | 1,51      |
| ГГК-1 (74)           | 0,31      | 63/85                                 | 0,04      | 0,50      | 0,17      | 11/15                              | 0,52      | 2,48      | 1,11      |

Примечания: n – число определений (знаменатель – в процентах),  $\bar{x}$  – среднее арифметическое,  $x_{min}$  и  $x_{max}$  – минимальное и максимальное значения; в расчеты не были включены данные по четырем образцам доманикоидов (5–25 %  $C_{орг}$ ) [23], а именно: 5,23 % (скв. Кормянская), 6,96 % (скв. Приволье), 9,19 и 16,96 % (скв. Северо-Полоцкая).



**Рисунок 5** – Корреляционная диаграмма  $\delta^{13}\text{C}$  –  $C_{\text{орг}}$  для отложений городокского горизонта среднего эйфеля на территории Беларуси, построенная по образцам с  $C_{\text{орг}}$  не выше 5 % (субдоманикоиды и доманикоиды [23])



**Рисунок 6** – Соотношение содержания  $C_{\text{орг}}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  в отложениях городокского горизонта ( $D_{2\text{gr}}$ ) среднего эйфеля на территории Беларуси. Линий вариаций  $C_{\text{орг}}$  построены по фактическим содержаниям, линии  $\delta^{13}\text{C}$  – по скользящим средним (шаг 3); заливкой показаны синхронные сдвиги параметров.  $D_{2\text{os}}$  – освейский горизонт,  $D_{2\text{ks}}$  – костюковичский горизонт; пачки: ДМП – доломитово-мергельная, ДП – доломитовая, ГМП – глинисто-мергельная; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы городокского горизонта и границы между пачками (м)

Суммируя приведенные факты о соотношении величин  $\delta^{13}\text{C}$  и содержаний  $\text{C}_{\text{орг}}$  в городокских отложениях, можно заключить, что окисление органического вещества как с участием свободного кислорода на мелководье [32], так и в результате сульфатредукции, в разные отрезки времени и на отдельных участках бассейна осадконакопления с повышенными концентрациями  $\text{C}_{\text{орг}}$  оказывало влияние на изотопный состав карбонатного углерода.

### Инфильтрационные атмогенные воды

Важный постдиагенетический фактор снижения значений  $\delta^{13}\text{C}$  – катагенетическая (и/или гипергенная) переработка пород инфильтрационными водами атмосферного происхождения, несущими изотопно-легкий почвенный углерод. Принято считать (например, [10]), что из-за обедненности атмосферных осадков изотопом  $^{18}\text{O}$  воздействие инфильтрационных вод способствует также облегчению изотопного состава карбонатного кислорода, что выражается в прямой корреляции  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . Как отмечалось выше, во всех наших разрезах (рис. 3, 4б) имеется то большее, то меньшее число образцов со значениями  $\delta^{18}\text{O}$  ниже тех, что присущи морским седиментационным карбонатам эйфельского века ( $\sim -3\text{‰}$ ) [28; 29; 30; 33; 34]. Однако внятные элементы прямой корреляции  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  трудно усмотреть на графиках, построенных как по скважинам, так и по литологическому признаку (рис. 7).

Гидрогеохимическая оценка среднедевонских отложений в окрестностях рассматриваемых скважин, выполненная нами ранее [2; 3; 12; 13; 17; 18] на основании результатов работ гидрогеологов [6; 15; 16], показала, что современные подземные воды городокских образований представляют собой морские дериваты, разбавленные инфильтрацией.

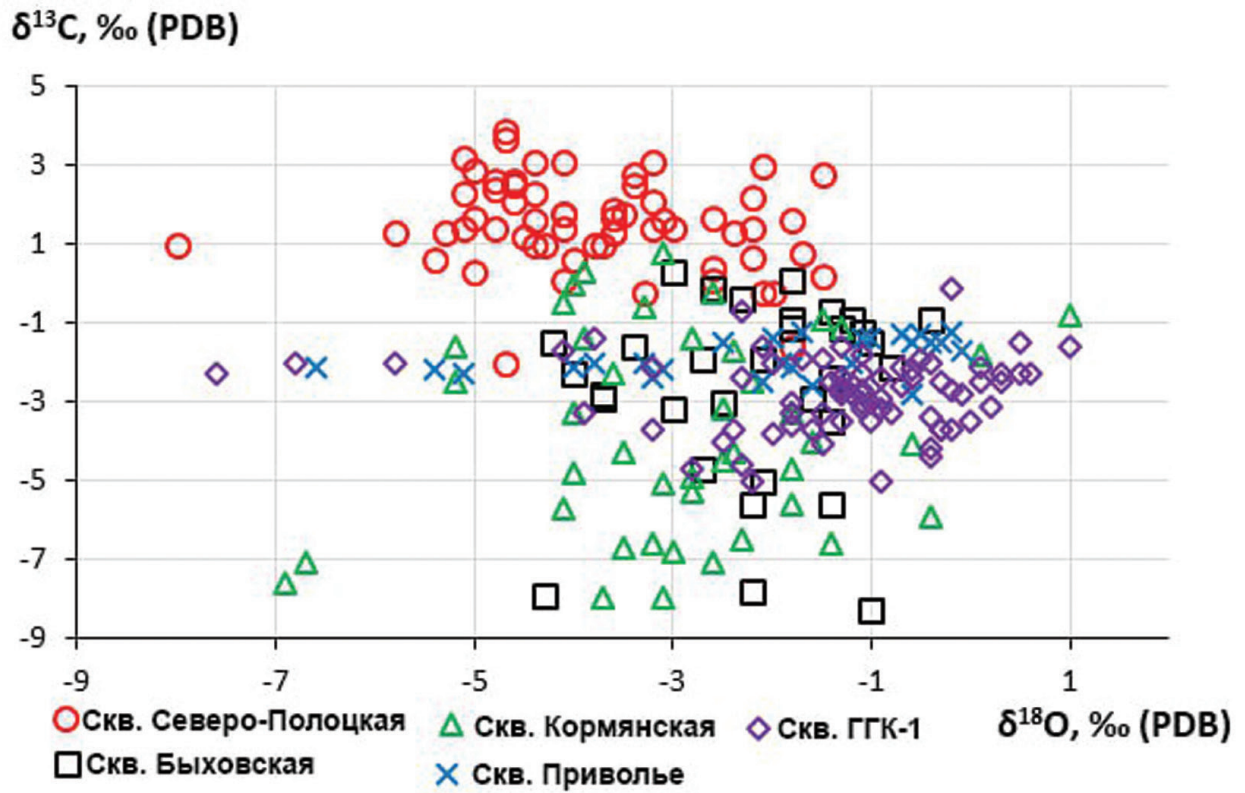
Среднедевонские образования в скв. Северо-Полоцкая перекрыты четвертичной толщей, в скв. Быховская и Кормянская – среднеюрской, в скв. ГГК-1 – нижнетриасовой. Поэтому естественно полагать, что городокские отложения не только сейчас подвержены инфильтрации, но были доступны воздействию атмогенных инфильтрационных вод в течение колоссальных отрезков времени, начиная с карбона. Это обстоятельство нельзя не учитывать по следующей причине.

Территория Беларуси в девоне находилась в приэкваториальной области [9; 11], где изотопный состав кислорода атмосферных осадков, дающих начало инфильтрационным водам, в связи с широтным эффектом может мало отличаться от такового морской воды [27; 31]. По мере перемещения территории из низких широт в средние изотопный состав кислорода атмосферных осадков, а

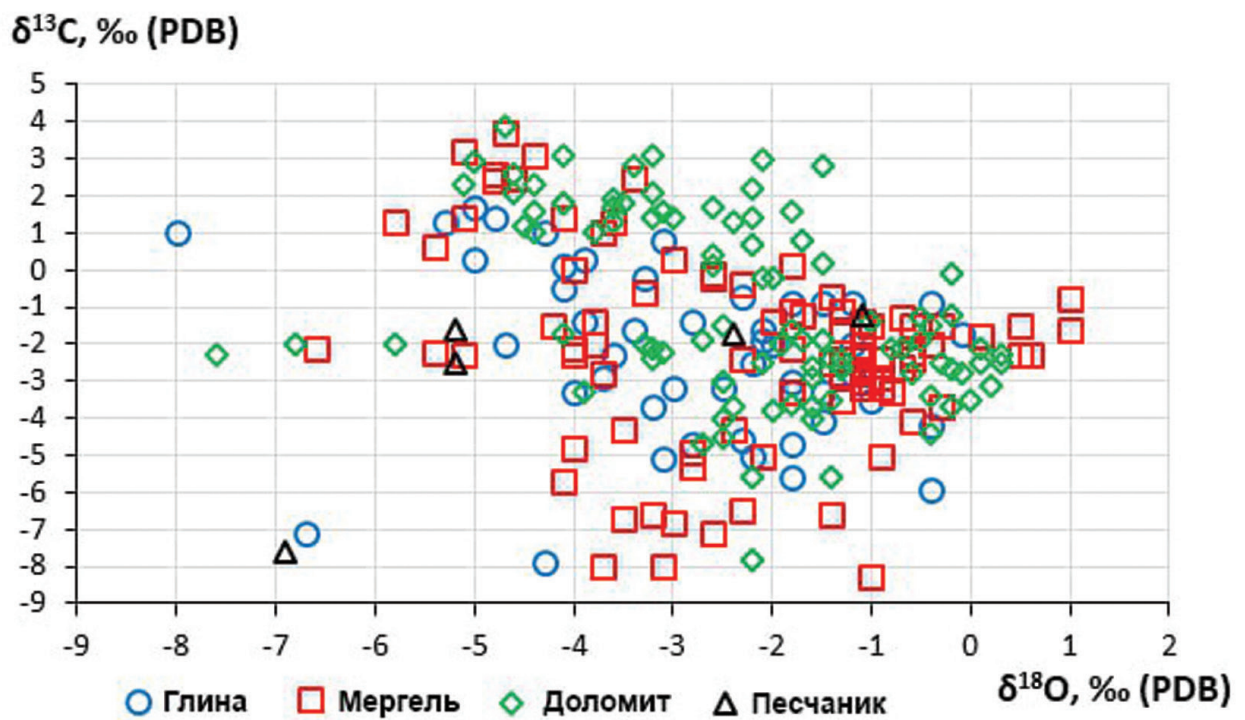
вслед за ними и инфильтрационных вод, мог облегчаться. Однако, как уже сказано выше, широтный эффект формирования изотопного состава кислорода атмосферных осадков может искажаться по ряду региональных причин [20; 25; 27; 31]. Так или иначе, существует неопределенность, когда и с какими значениями  $\delta^{18}\text{O}$  инфильтрационные воды могли оставить свой изотопный след в городокских отложениях.

Сложность решения обсуждаемого вопроса усугубляется и тем, что не вполне ясно, насколько сильно может измениться изотопный состав карбонатных углерода и кислорода пород (особенно доминирующих в наших разрезах низкопроницаемых глин и мергелей) при воздействии на них инфильтрационных вод с низкими  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . Показательный пример дают закарстованные и перекристаллизованные франские доломиты Оршанской впадины, залегающие на глубинах 20–85 м, перекрытые отложениями квартера и служащие источником водоснабжения Витебска [18]. Среднее значение  $\delta^{13}\text{C}$  этих доломитов ( $-0,7 \pm 0,2\text{‰}$ , 35 определений) соответствует морскому стандарту, а  $\delta^{18}\text{O}$  ( $-5,8 \pm 0,2\text{‰}$ ) – величинам, присущим кальциту брахиоподовых раковин из франских отложений ряда районов мира ( $-6 \dots -5\text{‰}$ ) [28–30; 33; 34].

Обращаясь, наконец, непосредственно к оценке роли инфильтрационных вод в городокских разрезах, отметим, что, пожалуй, лишь в одном из них можно усмотреть аргумент влияния инфильтрации. В узком интервале (378,5–380,2 м) доломитовой пачки разреза скв. ГГК-1 выявляется заметно облегченный изотопный состав кислорода (рис. 3). Здесь значения  $\delta^{18}\text{O}$  в доломитах изменяются от  $-7,6$  до  $-4,1\text{‰}$  в среднем составляя  $-6,1\text{‰}$ , в то время как в примыкающих сверху и снизу частях разреза они ощутимо выше ( $-2,0 \dots +0,1\text{‰}$ ). Отличительными литологическими особенностями интервала с облегченным изотопным составом кислорода являются чистота пород от глинистой примеси (рис. 8), пористость, кавернозность и трещиноватость и, как следствие, повышенная водопроницаемость. Отрицательный экскурс  $\delta^{18}\text{O}$  в доломитовой пачке городокского горизонта не сопровождается отклонением  $\delta^{13}\text{C}$  от почти нормальных морских значений ( $-2,3 \dots -1,7\text{‰}$ ) (см. рис. 2), чего можно было бы ожидать из-за обогащенности инфильтрационных вод почвенным углеродом. Представляется, что это связано с соотношением перераспределяемых концентраций тяжелых и легких изотопов углерода и кислорода в твердой и жидкой фазах при перекристаллизации, результатом которого является большая консервативность изотопного состава углерода по сравнению с кислородом в процессе инфильтрационного катагенеза.

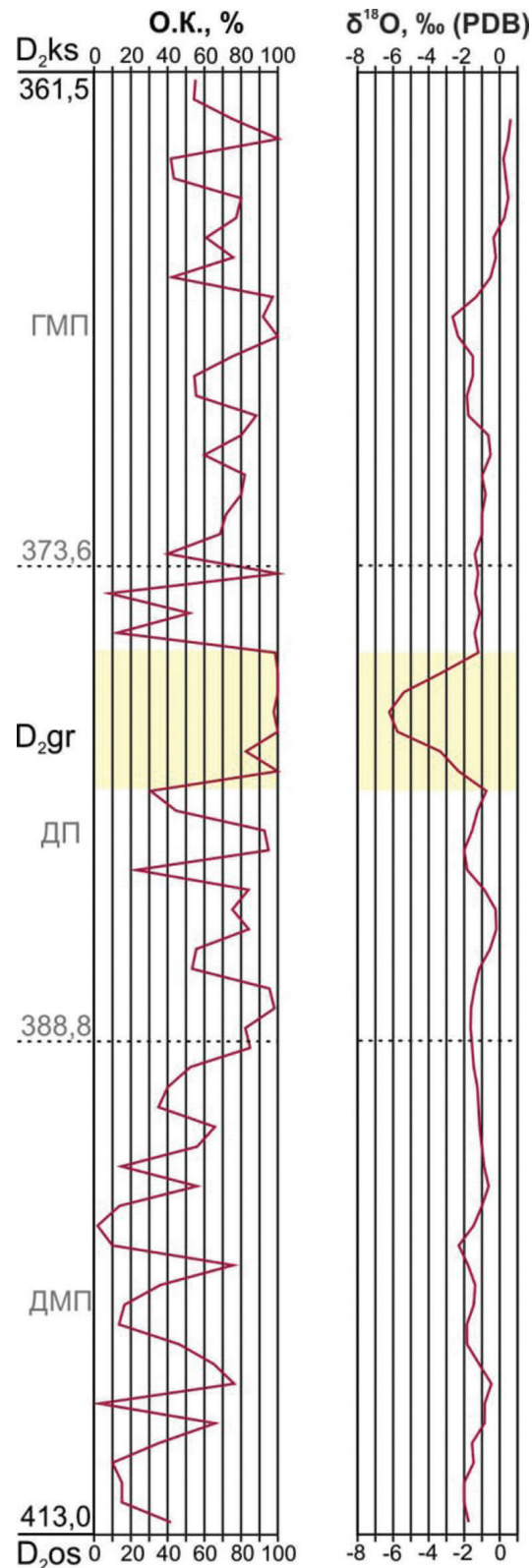


а



б

Рисунок 7 – Корреляционные диаграммы  $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$  для карбонатсодержащих городокских (средний эйфель) отложений Беларуси, построенные по скважинам (а) и литологическому признаку (б)



**Рисунок 8** – Соотношение общей карбонатности пород (О. К.) и  $\delta^{18}\text{O}$  в отложениях городокского горизонта ( $D_2^{\text{gr}}$ ) среднего эйфеля в разрезе скв. ГГК-1. Линия вариаций О. К. построена по фактическим цифрам, линия  $\delta^{18}\text{O}$  – по скользящим средним (шаг 3); заливкой показаны синхронные сдвиги параметров.  $D_2^{\text{os}}$  – освейский горизонт,  $D_2^{\text{ks}}$  – костюковичский горизонт; пачки: ДМП – доломитово-мергельная, ДП – доломитовая, ГМП – глинисто-мергельная; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы городокского горизонта и границы между пачками (м)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено изотопно-геохимическое изучение преимущественно глинисто-карбонатных и карбонатно-глинистых отложений городокского горизонта (средний эйфель) Беларуси в разрезах пяти скважин, пробуренных на юго-востоке Латвийской седловины (скв. Северо-Полоцкая), в зоне сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины (скв. Быховская), на Жлобинской седловине (скв. Кормянская), на Северо-Припятском плече Припятского прогиба (скв. Приволье) и на юго-западном краю Воронежской антеклизы (скв. ГГК-1). Результаты интерпретации распределения значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  с учетом литологических особенностей пород и содержания в них  $\text{C}_{\text{орг}}$  сводятся к следующему.

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

2. Отложения нижней (доломитово-мергельной) и средней (доломитовой) гипсосодержащих пачек в скв. Быховская, отмеченные высокоамплитудным ( $8\text{‰}$ ) отрицательным сдвигом  $\delta^{13}\text{C}$ , накапливались во время эвапоритового эпизода в условиях значительно обмеления бассейна и активизации роли вод суши, обогащенными изотопно-легким почвенным углеродом. Дополнительным фактором снижения здесь значений  $\delta^{13}\text{C}$  была мобилизация в карбонатном материале окисляющегося органического вещества осадков, о чем свидетельствует положительный экскурс  $\text{C}_{\text{орг}}$ , синхронный с отрицательным сдвигом  $\delta^{13}\text{C}$ . Верхняя (глинисто-мергельная) пачка Быховского разреза характеризуется, в основном, низкой вариабельностью близнулевых величин  $\delta^{13}\text{C}$  (в среднем  $-1,6\text{‰}$ ), отражающей существенное снижение роли континентальных вод в системе морской седimentации.

3. Раннегородокское время в районе скв. Кормянская знаменует собой окончание эвапоритового эпизода, начавшегося в освейское время, в условиях значительного притока континентальных вод (минимум значений  $\delta^{13}\text{C}$   $-7\text{‰}$ ). В среднегородокское время роль вод суши сокращается (стандартные морские цифры  $\delta^{13}\text{C}$ ), а в позднегородокское – изотопный состав карбонатного углерода во многом определяется седимен-

тационным или диагенетическим окислением органического вещества в осадке (падение  $\delta^{13}\text{C}$  до  $-8\text{‰}$  и параллельное увеличение концентрации  $\text{C}_{\text{орг}}$ ).

4. В самой нижней части и верхней половине городокского разреза скв. ГГК-1 значения  $\delta^{13}\text{C}$  близки морскому стандарту. 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  $\text{C}_{\text{орг}}$ , что является следствием окисления органического вещества при седimentации или в диагенезе.

5. Во всех разрезах доминируют значения  $\delta^{18}\text{O}$ , характерные для морских эйфельских карбонатов ( $-4\ldots -2\text{‰}$ ) и несколько более высокие. Эпизоды активизации континентального стока, трассирующиеся отрицательными изотопно-углеродными сдвигами, не характеризуются аналогичными экскурсами  $\delta^{18}\text{O}$ , что, вероятно, связано с 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, кавернозно-пористыми и трещиноватыми породами, величины  $\delta^{18}\text{O}$  доломитах изменяются от  $-7,6$  до  $-4,1\text{‰}$ , в то время как в примыкающих сверху и снизу частях разреза составляют  $-2,0\ldots +0,1\text{‰}$ . Это, вероятно, обусловлено катагенетической перекристаллизацией материала в среде инфильтрационных подземных вод, обедненных тяжелым изотопом кислорода. В других случаях природа низких  $\delta^{18}\text{O}$ , которых особенно много в низкопроницаемых породах Северо-Полоцкого разреза, не ясна.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (подпрограмма 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 № (34), (35). – Вильнюс, Ленинград, 1986. – С. 53–68.
2. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в ниже-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. **Вассоевич, Н. Б.** Основные закономерности, характеризующие органическое вещество современных и ископаемых осадков / Н. Б. Вассоевич // Природа органического вещества современных и ископаемых осадков. – М. : Наука, 1973. – С. 11– 59.
5. **Геология Беларуси** / ред. А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 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. : ЦРГЦ, 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. **Зайцев, А. В.** Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатных отложениях нижнего и среднего ордовика на северо-западе Русской плиты / А. В. Зайцев, Б. Г. Покровский // Литология и полезные ископаемые. – 2014. – № 3. – С. 283–291.
11. **Зоненшайн, Л. П.** Тектоника литосферных плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Нащупов. – М. : Недра, 1990. – Кн. 1. – 328 с.
12. **Изотопная** хемотратиграфия верхнеэмско-среднеэйфельских отложений в разрезе параметрической скважины Кормьянская на Жлобинской седловине / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С. 64–74.
13. **Изотопная** хемотратиграфия ниже-среднедевонского разреза зоны сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины (параметрическая скважина Быховская) / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 136–148.
14. **Изотопы** углерода и кислорода и условия формирования верхнефаменских сланцевосных отложений Припятского прогиба на юге Беларуси / А. А. Махнач [и др.] // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 1. – С. 28–42.
15. **Кудельский, А. В.** Гидрогеология и минеральные воды Беларуси / А. В. Кудельский. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 285 с.
16. **Кудельский, А. В.** Подземные воды Оршанской впадины / А. В. Кудельский. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 131 с.
17. **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.
18. **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.
19. **Махнач, А. А.** Катагенез и подземные воды / А. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1989. – 335 с.
20. **Никаноров, А. М.** Стабильные изотопы в гидрохимии / А. М. Никаноров, Ю. А. Федоров. – Л. : Гидрометеопиздат, 1988. – 247 с.
21. **Обуховская, В. Ю.** Седиментологические и биотические события в девоне на территории Жлобинской седловины и Северо-Припятского плеча и их палинологические маркеры / В. Ю. Обуховская, Т. Г. Обуховская, С. А. Кручек // Літасфера. – 2012 – № 1 (36). – С. 31–46.
22. **Ронов, А. Б.** Стратисфера, или осадочная оболочка Земли (количественное исследование) / А. Б. Ронов. – М. : Наука, 1993. – 144 с.
23. **Систематика** и классификации осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов [и др.] – СПб. : Недра, 1998. – 352 с.
24. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / ред. С. А. Кручек [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с.
25. **Фор, Г.** Основы изотопной геологии : пер. с англ. / Г. Фор. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
26. **S–O–Sr–S-изотопная** геохимия и хемотратиграфическая корреляция ордовикских отложений Вилъюйской структурно-фацальной зоны, Сибирская платформа / Б. Г. Покровский [и др.] // Литология и полезные ископаемые. – 2022. – № 6. – С. 570–596.
27. **Fricke, H. C.** The correlation between 18O/16O 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.
28. **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.
29. **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.
30. **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.
31. **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.
32. **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.

33. **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.

34.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  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 27.02.2023

Рэцэнзент У. М. Шымановіч

## ІЗАТОПЫ ВУГЛЯРОДУ І КІСЛАРОДУ Ў СЯРЭДНЯЭЙФЕЛЬСКІХ АДКЛАДАХ БЕЛАРУСІ

**А. А. Махнач<sup>1</sup>, Б. Г. Пакроўскі<sup>2</sup>, В. В. Мурашка<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Філіял «Інстытут геалогіі» Дзяржаўнага прадпрыемства  
«Навукова-вытворчы цэнтр па геалогіі»  
вул. Акад. Купрэвіча, 7, 220141, Мінск, Беларусь  
E-mail: amahnach1951@gmail.com

<sup>2</sup>Геалагічны інстытут РАН  
Пыжэўскі зав., 7, 119017, Масква, Расія  
E-mail: pokrov@ginras.ru

Артыкул змяшчае вынікі ізатопна-геахімічнага вывучэння глініста-карбанатных і карбанатна-гліністых адкладаў гарадзкага гарызонту (сярэдні эйфель) Беларусі ў разрэзах пяці свідравін – Паўночна-Полацкай (на паўднёвым усходзе Латвійскай седлавіны, Быхаўскай (у зоне сучалення Аршанскай упадзіны і Жлобінскай седлавіны), Кармянскай (на Жлобінскай седлавіне), Прыволле (на Паўночна-Прыпяцкім плячы Прыпяцкага прагіну) і ГГК-1 (на паўднёва-заходнім ускрайку Варонежскай антэклізы). Вызначаны вугляродна-ізатопныя сігналы нармальнай марской седыментацыі, актывізацыі ролі вод кантынентальнага сцёку, уплыву акіслення арганічнага рэчыва ў асадку. Ва ўсіх разрэзах дамінуюць значэнні  $\delta^{18}\text{O}$ , характэрныя для эйфельскіх марскіх карбанатаў і некалькі больш высокія, якія, магчыма, абумоўлены выпарэннем марской вады. У вузкім інтэрвале разрэзу свідравіны ГГК-1, які складзены з чыстых ад гліністага дамешку, кавярнозна-порыстых і трэшчынаватых даламітаў, адмоўны зрух  $\delta^{18}\text{O}$  абумоўлены катагенетычнай перакрышталізацыяй парод у асяроддзі інфільтрацыйных падземных вод.

## CARBON AND OXYGEN ISOTOPES IN THE MIDDLE EIFEIAN DEPOSITS OF BELARUS

**A. Makhnach<sup>1</sup>, B. Pokrovsky<sup>2</sup>, O. Murashko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>The «Institute of Geology» Branch of the State Enterprise  
«Research and Production Centre for Geology»  
7 Akad. Kuprevich St, 220141, Minsk, Belarus  
E-mail: amahnach1951@gmail.com

<sup>2</sup>The Geological Institute of the Russian Academy of Sciences  
7 Pyzhevsky Lane, 119017, Moscow, Russia  
E-mail: pokrov@ginras.ru

The paper contains the results of isotope-geochemical study of clay-carbonate and carbonate-argillaceous deposits of the Gorodok horizon (Middle Eifelian) on the territory of Belarus in geological sections of five boreholes. These boreholes are 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 Shoulder of the Pripyat Trough) and GGK-1 (south-west edge of the Voronezh Antecline). Carbon isotope signals of normal marine sedimentation, increase of the continental water role, influence of organic matter oxidation in sediment were revealed. The  $\delta^{18}\text{O}$  values typical for the Eifelian marine carbonates and somewhat higher ones dominate in all sections. The latter values, are, probably, caused by seawater evaporation. The narrow interval of the GGK 1 section represented by free from clay impurities, cavernous-porous and fissured dolomite is characterized by a negative  $\delta^{18}\text{O}$  shift which is conditioned by the rock catagenetic recrystallization in the infiltration subsurface water environment.