

другие подходы. В своих исследованиях текстур горных пород мы используем метод быстрого Фурье-преобразования цифровых фотографий (FFT). Текстура породы представляется здесь в виде центросимметричной полярной диаграммы в обратном пространстве (пространстве частот). Этот подход пригоден для анализа любых изображений – микрофотографий шлифов, фотографий штуфов, керна, геологических обнажений и др.

*Заключение.* Цифровая петрография принципиально отличается от обычной петрографии как по оптической схеме микроскопа и приёмам получения количественных данных цветности микрофотографий шлифов, так и по возможностям дальнейшего анализа изображений современными программными средствами. Анализ научных изображений представляет собой особое научное направление, включающее разнообразные методы и требует отдельного рассмотрения.

УДК 551.464.6.02; 551.734.2; 551.734.3 (476-11)

## **ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КАРБОНАТНОГО УГЛЕРОДА В ЭМССКИХ И ЭЙФЕЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ВОСТОКЕ БЕЛАРУСИ (ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СКВАЖИНА БЫХОВСКАЯ)**

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

<sup>1</sup>Научно-производственный центр по геологии, филиал «Институт геологии», ул. Купревича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь; amahnach1951@gmail.com

<sup>2</sup>Геологический институт РАН,

Пыжевский пер. 7, 119017 Москва, Российская Федерация; pokrov@ginras.ru

Параметрическая скв. Быховская пробурена в зоне сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины в 2017 г. Толща эмских (нижний девон) и эйфельских (средний девон) отложений в разрезе скважины залегает в интервале 174,8–351,2 м, перекрывается песчаными породами живетского яруса среднего девона и подстилается терригенными ледниковыми образованиями вильчанской серии нижнего венда (рис.).

Эмские отложения представлены витебским горизонтом, имеют мощность 50 м и снизу вверх подразделяются на обольские (мощность 15,9 м) и лепельские (34,1 м) слои. Обольские слои сложены преимущественно кварцевыми песчаниками, слоистыми и массивными со структурой от мелко- до крупнозернистой. Встречаются прослои гравелитов. Цемент пород обычно глинистый и доломитовый. Лепельские слои – это чередование доломитовых мергелей, доломитов, доломитовых глин; отмечаются также песчаники с глинистым и доломитовым цементом.

В эйфельском разрезе снизу вверх выделяются адровский, освейский, городокский и костюковичский горизонты.

Адровский горизонт, имеющий мощность 7,1 м, представлен преимущественно доломитами с разным содержанием терригенной примеси, в т. ч. строматолитовыми и оолитовыми, гнездами окремненными. Встречаются мергельные прослои.

В освейском горизонте (44,1 м) выделяются карбонатно-сульфатная (нижняя) и доломитово-мергельная (верхняя) литологические пачки.

Нижняя, мощностью 15,1 м, сложена глинисто-карбонатно-сульфатными породами, массивными и горизонтально-слоистыми, переслаиванием глин и гипса. Цвет пород светло-серый, зеленовато- и коричневатосерый. Структура гипса от мелко- до

крупнокристаллической, окраска белая, светло-серая, розовая, коричневая. Характерно поперечно-волокнистое сложение гипсовых прослоев. Для трактовки изотопного состава углерода важно отметить, что на восточных склонах Белорусской антеклизы карбонатно-сульфатная пачка замещается глинисто-карбонатной брекчией [2].

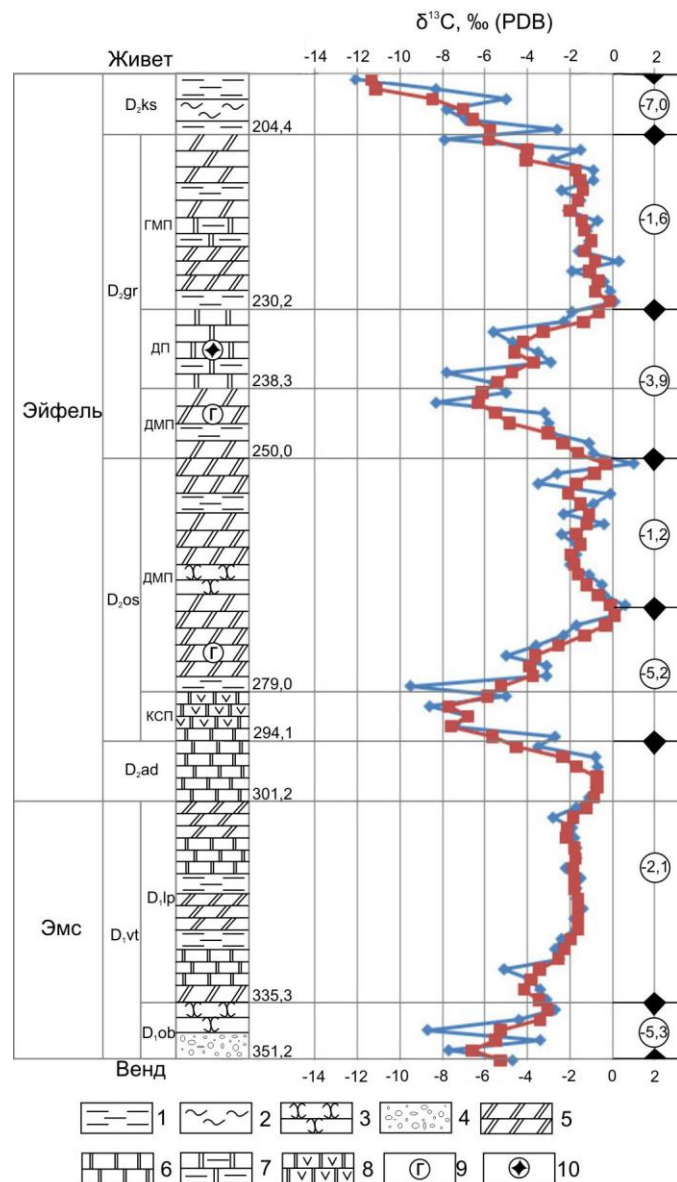


Рисунок – Изменчивость изотопного состава углерода в карбонатном веществе эмско-эйфельских пород в разрезе скв. Быховская

Стратиграфические горизонты: D<sub>2ks</sub> – костюковичский, D<sub>2gr</sub> – городокский, D<sub>2os</sub> – освейский, D<sub>2ad</sub> – адровский, D<sub>1vt</sub> – витебский (D<sub>1р</sub> и D<sub>1об</sub> – лепельские и обольские слои); литология: 1 – глина, 2 – алевролит, 3 – песчаник, 4 – гравелит, 5 – мергель доломитовый, 6 – доломит, 7 – доломит глинистый, 8 – карбонатно-сульфатная порода, 9 – гипсовые прослои, включения, цемент, 10 – следы выщелачивания галита; пачки: ГМП – глинисто-мергельная, ДП – доломитовая, ДМП – доломитово-мергельная, КСП – карбонатно-сульфатная; глубинная позиция стратиграфических и литологических подразделений дана в метрах вне масштаба; синим показаны вариации фактических значений δ<sup>13</sup>C, красным – линия вариаций, сглаженная методом скользящего среднего (шаг 3); цифры в кружках – поинтервальные средние значения δ<sup>13</sup>C.

Верхняя, доломитово-мергельная, пачка (29 м) представляет собой переслаивание глин, глинистых доломитов, доломитовых мергелей, песчаников с карбонатно-сульфатным цементом. Отмечаются прослойки и вкрапления гипса. Породы зеленовато-серые, иногда с тёмно-коричневыми разводами. Гипс белый, светло-серый, красновато-коричневый.

Залегающий выше городокский горизонт (мощность 45,6 м) подразделяется снизу вверх на доломитово-мергельную (11,7 м), доломитовую (8,1 м) и глинисто-мергельную (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 [4]. 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 [6]. 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.

Костюковичский горизонт, мощностью 29,6 м, представлен, главным образом, пестроцветными алевритистыми глинами, иногда карбонатсодержащими. Имеются также линзы и прослои алевролитов, известняков, глинистых мергелей, включения доломита.

В 46 образцах пород эмско-эйфельского разреза определен изотопный состав углерода карбонатного вещества ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ). Анализ выполнялся на масс-спектрометре Delta V Advanced с использованием установки Gas-Bench-I в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (Москва). Точность (воспроизводимость) определений находится в пределах  $\pm 0,2\%$ .

Особенностью углеродно-изотопной кривой разреза является изотопная специализация литологических пачек, интервалов и стратиграфических слоёв (рисунок), что свидетельствует о региональном характере изотопных вариаций, связанных с периодическими изменениями условий седиментации. На такой характер вариаций указывают также слишком сильные отрицательные экскурсы значений  $\delta^{13}\text{C}$  (амплитуда до 8–10‰ и выше), которых нет на глобальных изотопно-хемостратиграфических кривых, и отсутствие сколько-нибудь выраженных положительных экскурсов, трансиррующих глобальные события [7, 10].

На нашей кривой выделяются три интервала с низкой вариабельностью значений  $\delta^{13}\text{C}$ , близких к морскому стандарту (рис.). Эти интервалы приходятся на: (1) лепельские слои витебского горизонта и адровский горизонт (в среднем  $-2,1\%$ ),

(2) верхнюю часть доломитово-мергельной пачки освейского горизонта ( $-1,2\text{‰}$ ) и (3) глинисто-мергельную пачку городокского горизонта ( $-1,6\text{‰}$ ). Очевидно, все эти отложения накапливались в нормальных морских условиях с достаточно хорошим углекислотным обменом между водной массой бассейна осадконакопления и атмосферой и умеренной биопродуктивностью.

Отрицательные экскурсы  $\delta^{13}\text{C}$  соответствуют четырем интервалам разреза (рис.). Это: (1) обольские слои витебского горизонта (в среднем  $-5,3\text{‰}$ ), (2) карбонатно-сульфатная пачка и нижняя часть доломитово-мергельной пачки освейского горизонта ( $-5,2\text{‰}$ ), (3) интервал, охватывающий доломитово-мергельную и доломитовую пачки городокского горизонта ( $-3,9\text{‰}$ ), и (4) верхняя часть разреза, представленная костюковичским горизонтом ( $-7,0\text{‰}$ ). Амплитуда первых трёх экскурсов составляет  $6\text{--}9\text{‰}$ ; минимальные значения  $\delta^{13}\text{C}$  находятся в пределах  $-8\text{--}-10\text{‰}$ . В верхах эйфельского разреза  $\delta^{13}\text{C}$  опускаются до  $-12,1\text{‰}$  при амплитуде пика  $11\text{‰}$ . Причины отмеченных отрицательных экскурсов, с учётом литологии пород, представляются следующим образом.

В обольских слоях облегчение изотопного состава углерода, по-видимому, связано с интенсификацией поступления с суши изотопно-лёгкой почвенной (органической) углекислоты в составе континентального стока. Данное предположение согласуется с более грубым составом обломочного материала обольских слоёв (песчаники, гравелиты) по сравнению, скажем, с вышележащими лепельскими слоями, в которых этот материал представлен глиной.

Два следующих вверх по разрезу отрицательных экскурса значений  $\delta^{13}\text{C}$  объединяет то, что они, как видно из приведённых литологических данных, соответствуют эпизодам эвапоритизации бассейна. Представляется, что главным фактором облегчения изотопного состава углерода карбонатного материала, осаждающегося в эти отрезки времени, была активизация поступления континентальных вод, обогащённых почвенным углеродом. Не вызывает сомнений, что во время эвапоритовых эпизодов морской бассейн в силу тектонических причин становился более мелководным, отдельные его части обнажались и подвергались эрозии, на что указывает, в частности, наличие участков, где карбонатно-сульфатная пачка освейского горизонта замещена глинисто-карбонатной брекчией. Не исключено, что бассейн распался на отдельные ванны с морской водой, интенсивно испаряющейся в приэкваториальных условиях, где в девонское время находилась территория Беларуси [3]. Такое изменение геоморфологической ситуации приводило к интенсификации континентального стока. И хотя роль континентальных вод в балансе питания морских эвапоритовых бассейнов известна [1], подкрепим наше предположение об активизации континентального стока во время эвапоритовых эпизодов полученными ранее [5] результатами изучения изотопного состава стронция в эйфельских гипсах северных и центральных районов Беларуси. Значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $0,708402\text{--}0,708742$ ) в этих гипсах, гораздо более высокие, чем те, что характерны для морской (океанической) воды эйфельского века ( $0,70772$ ) [8], отражают значительную роль континентальных вод в водном балансе эйфельского бассейна галогенеза. На суше, служившей источником сноса в это время, были обнажены в основном обогащённые радиогенным стронцием алюмосиликатные породы: кристаллический фундамент, терригенные и вулканогенные образования верхнего протерозоя, терригенные отложения кембрия.

Назовём ещё два возможных фактора снижения  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатном веществе эвапоритовых интервалов, которые, правда, существенно менее действенны, чем

почвенный углерод континентального стока. Во-первых, это уменьшение биопродуктивности бассейна при осолонении воды, что обуславливает ослабление вывода изотопа  $^{12}\text{C}$  органическим веществом из водной массы. Во-вторых, это вызванная обмелением бассейна интенсификация окисления органического углерода, в том числе накопленного ранее, и, как следствие, обогащение водного резервуара лёгким изотопом [9].

В самой верхней части разреза наша углеродно-изотопная кривая имеет низкое разрешение: костюковичский горизонт охарактеризован всего 6 пробами. Причиной этого является редкость карбонатсодержащих интервалов в этой части. Поэтому трактовка отрицательного экскурса (рис.) здесь затруднительна. Скорее всего, он обусловлен гипергенной переработкой пород, а точнее, новообразованием карбонатов в среде инфильтрационных метеогенных вод с изотопно-лёгким гидрокарбонатом почвенной природы. На это указывают рекордно низкие значения  $\delta^{13}\text{C}$  в этой части разреза. С общегеологических позиций, данное предположение согласуется с наличием предживетского перерыва в осадконакоплении [6] и колоссального перерыва между живетскими и перекрывающими их юрскими отложениями.

Таким образом, в эмско-эйфельской толще разреза скважины Быховская выявлены изотопные сигналы региональных палеогеографических событий (эпизодов эвапоритизации, активизации континентального стока, перерывов в седиментации). Установлена специализация этих изотопных сигналов по отдельным частям разреза (стратиграфические подразделения, литологические пачки и интервалы), демонстрирующая возможности региональной изотопной хеостратиграфии.

Работа выполнена в рамках подпрограммы 4 «Структурно-вещественные комплексы Беларуси» Государственной программы научных исследований «Природопользование и экология» (2016–2020 гг.) и в соответствии с планом научно-исследовательских работ Геологического института РАН.

### Библиографические ссылки

1. *Валяшко М. Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: МГУ, 1962. 397 с.
2. Геология Беларуси / А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев и др. Минск: Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
3. *Жарков М. А.* История палеозойского соленакопления. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.
4. *Махнач А. А.* Катагенез и подземные воды. Минск: Наука и техника, 1989. 335 с.
5. *Махнач А. А., Колодны И., Старински А., Спиро Б.* Стабильные изотопы стронция в сульфатных минералах Беларуси // Докл. НАН Беларуси. 2000. Т. 44, № 6. С. 92–95.
6. *Обуховская В. Ю., Обуховская Т. Г., Кручек С. А.* Седиментологические и биотические события в девоне на территории Жлобинской седловины и Северо-Припятского плеча и их палинологические маркеры // Литасфера. 2012. 1(36). С. 31–46.
7. *Becker R. T., Gradstein F.M., Hammer O.* The Devonian Period // The Geologic Time Scale 2012. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2012. P. 559–601.
8. *Denison R. E., Korpnick R. B., Burke W. N. et al.* Construction of the Silurian and Devonian seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  curve // Chemical Geology. 1997. Vol. 140. P. 109–121.
9. *Jarvis I., Gale A. S., Jenkyns H. C. et al.* 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) // Geological Magazine. 2006. 143(5). P. 561–608.

10. *Saltzman M. R., Thomas E. Carbon Isotope Stratigraphy // The Geologic Time Scale 2012. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, N. Y., Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2012. P. 207–232.*

УДК 550.42;551.763.3(476–12)

## **ИЗОТОПНЫЕ СИГНАЛЫ ОКЕАНСКИХ АНОКСИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ВЕРХНЕМЕЛОВОМ РАЗРЕЗЕ НА ЮГО-ВОСТОКЕ БЕЛАРУСИ**

**А. А. Махнач**

Научно-производственный центр по геологии, филиал «Институт геологии», ул. Купревича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь; amahnach1951@gmail.com

Объектом изучения был разрез верхнемеловых отложений на юго-востоке Беларуси (Гомельский объект, скв. 804). Он имеет мощность порядка 80 м и охватывает сеноманский, туронский, коньякский, сантонский и кампанский ярусы, расчленённые на подъярусы. Отложения представлены, главным образом, мергельно-меловыми породами (рис. 1). Нижняя часть сеномана сложена известковистыми песчаниками. Вариации изотопного состава карбонатных углерода и кислорода в этом разрезе уже изучались и были объяснены региональными изменениями биопродуктивности бассейна осадконакопления и температуры морской воды как следствие нескольких эпизодов апвеллинга. При этом отмечено, что «отражения океанских аноксических событий в изотопных данных... установить не удалось...» [1, С. 89]. Пересмотр фактического материала на основе изменения подхода к построению изотопно-хемостратиграфических кривых показал, что возможна и более обоснована другая интерпретация изотопных вариаций в разрезе.

Значения  $\delta^{13}\text{C}$  (PDB) находятся в пределах 1,2–4,1 ‰, в среднем составляют  $2,6 \pm 0,1$  ‰. Диапазон флуктуаций  $\delta^{18}\text{O}$  (PDB) от –4,8 до –1,1 ‰, среднее  $-2,2 \pm 0,1$  ‰. При рассмотрении конфигурации вариационных кривых изотопного состава углерода и кислорода наибольшего внимания заслуживает интервал на границе сеномана и турона (рис. 1). Он характеризуется сильными синхронными положительным экскурсом  $\delta^{13}\text{C}$  (от 1,2 до 4,1 ‰) и отрицательным экскурсом  $\delta^{18}\text{O}$  (от –1,9 до –4,8 ‰). Интервал приходится на эпизод смены существенно терригенной седиментации, характерной для первой половины сеноманского века, накоплением меловых и мергельно-меловых осадков, которое началось во второй половине века и продолжалось до конца мелового периода. Такая смена характера осадконакопления могла сопровождаться ослаблением поступления в бассейн изотопно-легкого почвенного углерода в составе вод суши. Однако изотопный эффект этого явления слишком сильный. Кроме того, сокращение интенсивности притока континентальных вод с лёгким атмосферным кислородом должно было привести не к снижению, а к увеличению значений  $\delta^{18}\text{O}$  в карбонатном осадке. Поэтому представляется наиболее вероятным, что в разрезе скв. 804 на юго-востоке Беларуси мы имеем дело с изотопными сигналами океанского аноксического события (oceanic anoxic event – OAE). Для позднего мела хорошо известны и изучены такие события в среднем сеномане, на рубежах сеноман–турон, коньяк–сантон [3, 6, 7, 11, 12, 15, 16]. Они заключаются в быстром выводе из зоны седиментации большого количества органического вещества путем его фоссилизации в виде прослоев чёрных сланцев. Это сопровождается