

УДК 552.52(571.65):551.736

ПЕРВАЯ ДЕТАЛЬНАЯ ЗАПИСЬ $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ В ПЕРМСКИХ АРГИЛЛИТАХ ТАСКАНСКОГО БАССЕЙНА (ОМУЛЁВСКИЙ БЛОК): ОТРАЖЕНИЕ БИОСФЕРНЫХ СОБЫТИЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ

© 2023 г. А. С. Бяков^{1,*}, И. Л. Ведерников¹, академик РАН Н. А. Горячев¹, Б. И. Гареев²

Поступило 05.06.2023 г.

После доработки 10.07.2023 г.

Принято к публикации 20.07.2023 г.

Впервые получена детальная запись величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в пермских аргиллитах Тасканского бассейна (Омулёвский блок, Северо-Восток Азии), охватывающая интервал от верхов кунгурского, роудский, вордский, кепитенский и низы вучапинского яруса. Величина $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ варьирует в пределах от -23.81‰ (середина кунгура) до -26.97‰ (нижняя часть вучапина). В разрезе отчетливо выделяются три отрицательных экскурса величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ — в верхах кунгурского яруса нижней перми, низах кепитенского и на границе кепитенского—вучапинского ярусов. Эти экскурсы хорошо совпадают с эпизодами массовых вымираний, установленных нами ранее (Бяков, 2012), и связаны, вероятнее всего, с периодами активности островодужного магматизма в регионе в течение перми.

Ключевые слова: хемотратиграфия $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, отрицательные экскурсы, биосферные события, вымирания, пермь, Северо-Восток Азии

DOI: 10.31857/S2686739723601199, EDN: LEDFUC

Детальные записи величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ содержат важную информацию о геохимических условиях осадконакопления и широко используются для целей хемотратиграфии, в том числе для выявления крупных отрицательных экскурсов $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$. Ряд из таких записей был получен нами ранее для верхнепермских и нижней части триасовых отложений запада Балыгычанского блока. Это позволило, с учетом данных U—Pb-определения возраста цирконов, установить примерное положение вучапинско-чансинской и пермо-триасовой границ ([1] и др.).

В данной работе мы приводим первую детальную запись величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в пермских аргиллитах тыловодужного Тасканского бассейна, охватывающую интервал от верхов кунгурского, роудский, вордский, кепитенский и низы вучапинского яруса. Таким образом, мы практически смыкаем ранее полученную запись этой величины из верхней перми Балыгычанского блока и приведенную здесь, получив в итоге первую композитную реги-

ональную кривую $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ для верхов нижней, всей средней и почти всей верхней перми Северо-Востока Азии.

В основу данной публикации положены результаты анализа 95 образцов аргиллитов, отобранных с интервалом 1.8–2.3 м из разреза пермских отложений Тасканского бассейна, расположенного в пределах Омулёвского кратонного блока (рис. 1). В перми этот блок находился в тыловой части системы задуговых бассейнов, связанных с Охотско-Тайгонской (Кони-Тайгонской) вулканической дугой [2] и характеризовался преимущественно относительно мелководными условиями осадконакопления. Рассматриваемый разрез был изучен нами еще в 2005 г. [3] и представлен относительно маломощными (общая мощность изученного разреза около 600 м) глинистыми, в средней его части — глинисто-карбонатными породами кипрейской, туринской и рогачевской свит (рис. 2), охватывающими верхи нижней—верхнюю пермь (за исключением ее верхов). Глинистые породы в той или иной степени расланцованы. Содержание органического углерода в изученных образцах варьирует от 0.16 до 1% и почти не коррелирует с $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, что свидетельствует о незначительном постседиментационном воздействии на эту величину, которая, таким образом, близка к первоначальным значениям и может использоваться для стратиграфической корреляции (см., например, [4]). Возраст отложений уста-

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Магадан, Россия

²Казанский федеральный университет, Казань, Россия

*E-mail: abiakov@mail.ru

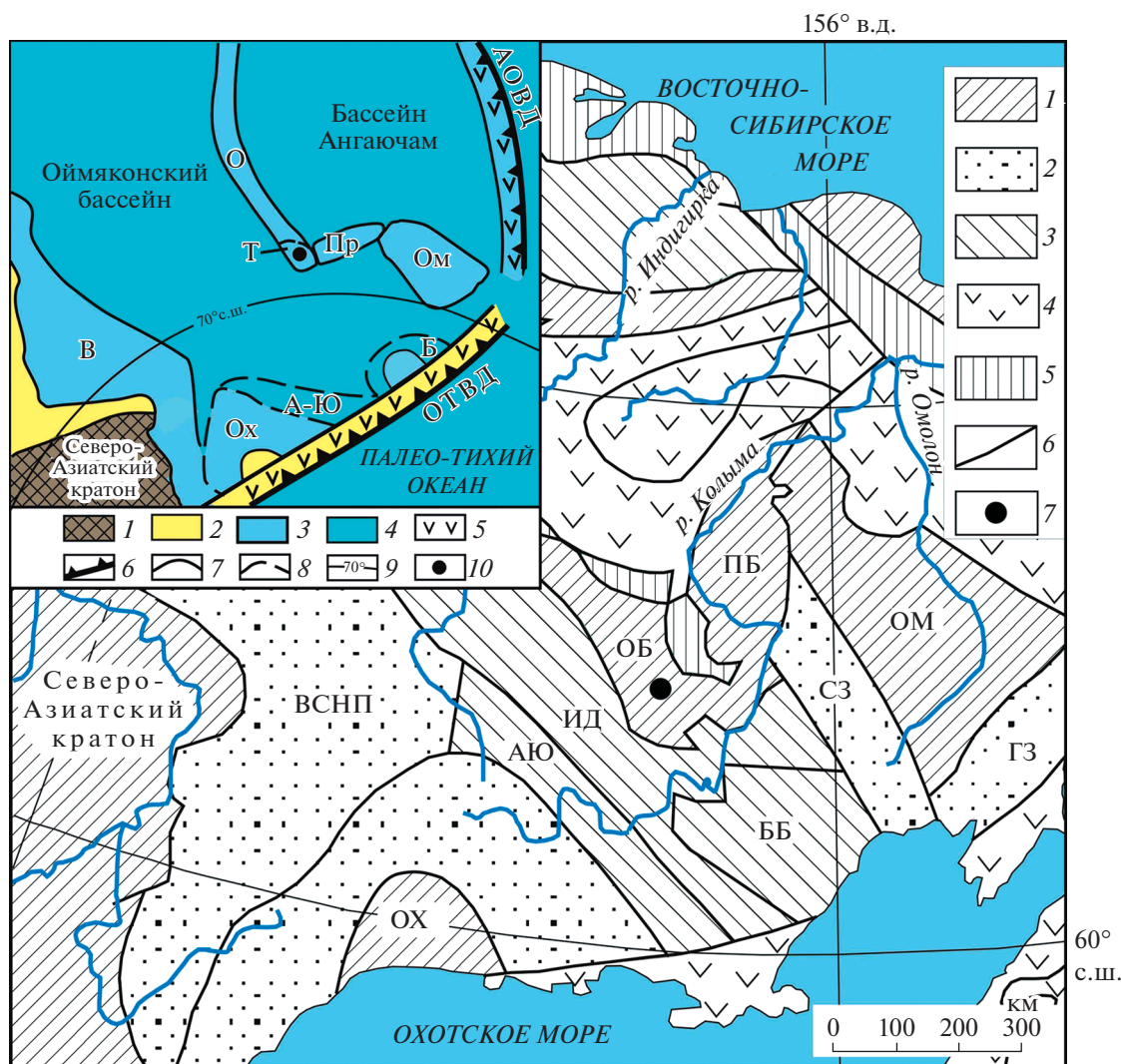


Рис. 1. Положение изученного разреза на тектонической схеме Северо-Востока Азии. 1 – кратоны и кратонные террейны (массивы); 2 – погруженные окраины кратонов и кратонных террейнов; 3 – террейны малых океанических бассейнов, задуговых бассейнов и краевых морей; 4 – островодужные террейны и террейны аккреционных призм; 5 – океанические террейны; 6 – границы тектонических элементов; 7 – положение изученного разреза. АЮ – Аян-Юряхский антиклинорий, ББ – Балыгчанский блок; ВСНП – Верхоянский складчато-надвиговый пояс, ГЗ – Гижигинская складчатая зона; ИД – Иньяли-Дебинский синклиний, ОБ – Омүлөвский блок; ОХ – Охотский массив; ПБ – Приколымский блок; СЗ – Сугойская складчатая зона. На врезке: Палеогеография Северо-Востока Азии и основные седиментационные бассейны в перми (кепитенский век) (по [2]): 1 – высокая суша; 2 – низкая суша; 3 – мелкое море, 4 – глубокое море, 5 – вулканические дуги (АОВД – Алазейско-Олойская; ОТВД – Охотско-Тайгонская), 6 – зоны субдукции, 7 – границы основных тектонических структур; 8 – границы седиментационных бассейнов; 9 – палеоширота, 10 – положение изученного разреза. Седиментационные бассейны: А-Ю – Аян-Юряхский, Б – Балыгчанский, В – Верхоянский, О – Омүлөвский; Ом – Омолонский; Ох – Охотский; Пр – Приколымский, Т – Тасканский.

новлен на основании определений остатков двусторчатых моллюсков и брахиопод, сделанных А.С. Бяковым и В.Г. Ганелиным (ГИН РАН).

Определения значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ были выполнены в Аналитическом центре Казанского федерального университета на масс-спектрометре Delta V Plus с приставкой Flash HT в режиме постоянного потока. Для проведения анализа из образца удалялась карбонатная составляющая; для этого бралась навеска массой 500 мг, к которой

добавлялось 10 мл 10% HCl. Далее проводилось выпаривание при температуре 55°C до получения сухого остатка. После этого навеска массой примерно 2 мг помещалась в оловянный тигель, который сбрасывался в продуваемый гелием кварцевый реактор, находящийся при температуре 1020°C и заполненный оксидом хрома и медной проволокой. В результате получившийся углекислый газ с помощью потока гелия переносился в масс-спектрометр, предварительно проходя че-

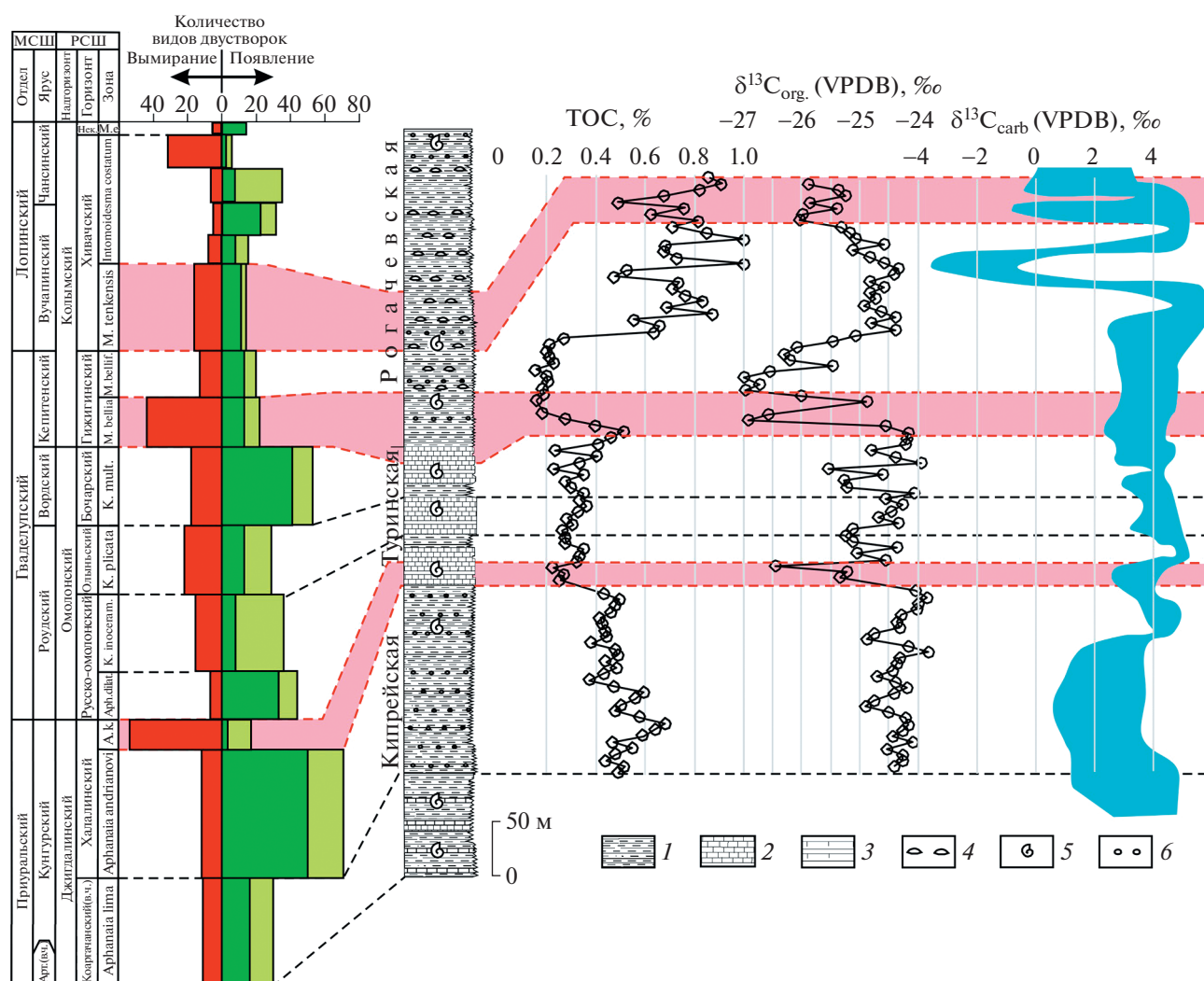


Рис. 2. Корреляция вариаций ТОС, величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в пермских аргиллитах Тасканского бассейна с событиями вымирания двусторчатых моллюсков на Северо-Востоке Азии. Условные обозначения: 1 – аргиллиты; 2 – известняки; 3 – карбонатные турбидиты (переслаивание аргиллитов и известняков); 4 – строматолиты (?); 5 – остатки ископаемой фауны; 6 – конкреции. Сокращения: МСШ – Международная стратиграфическая шкала, Нек. – некучанский региональный горизонт, РСШ – Региональная стратиграфическая шкала. Розовым цветом показаны зональные интервалы событий вымирания, желто-зеленым – общее количество видов двусторчатых моллюсков в той или иной зоне, светло-зеленым цветом – количество вновь появившихся видов двусторчатых моллюсков, красным цветом – количество вымерших видов двусторчатых моллюсков. Справа для сравнения приведен сводный график вариации величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ в перми (по Cramer B.D., Jarvis I. Carbon Isotope Stratigraphy // The Geologic Time Scale / Eds F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Boston, USA: Elsevier, 2020. V. 1. Ch. 11. P. 309–344).

рез осушитель и специальную хроматографическую колонку при температуре 45°C. Для контроля в серии образцов снимались стандарты МАГАТЭ: USGS-40 и IAEA-CN-7. Измерения регулярно сравнивались со стандартами V-PDB с точностью выше, чем 0.1‰ при доверительном интервале 95%.

Величина $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в изученном разрезе варьирует в пределах от –23.81‰ (нижняя часть разреза, кипрейская свита) до –26.97‰ (средняя часть разреза, низы рогачевской свиты). Отчетливо выделяются два отрицательных экскурса величины

$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ – в верхах кунгурского яруса нижней перми (бивальвиевая зона *Arhaniaia korkodonika*) и низах кепитенского яруса (низы бивальвиевой зоны *Maitaia bella*), где значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ падают на 2–2.5‰ по сравнению с нижележащими слоями, до –26.5...–27‰. Третий отрицательный экскурс выражен менее отчетливо (минимальные значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ составляют около –26‰ на фоне –24.5...–25‰ из нижележащих слоев) и фиксируется примерно на границе кепитенского–вучапинского ярусов (граница бивальвиевых зон *Maitaia belliformis* – *Maitaia tenkensis*).

Как известно, крупные отрицательные экскурсы величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ служат индикаторами неблагоприятных событий изменения окружающей среды и связываются с поступлением в атмосферу и мировой океан метана и углекислого газа, приводящих к широкому развитию аноксидных обстановок и черносланцевой седиментации. Источником углекислого газа, скорее всего, были проявления вулканизма различной геодинамической природы, поступление метана обычно связывается с разрушением газовых гидратов ([5–7] и др.).

При этом традиционно считается, что основной причиной пермского вулканизма, влиявшей на вымирание биоты, является плюмовая деятельность, связанная с крупными магматическими провинциями (LIPs) — Таримской, Эмейшаньской и Сибирской [8]. Однако в последнее время появляется все больше данных и о существенном вкладе в воздействие на окружающую среду островодужного вулканизма (т.н. SLIPs) [9], в частности, в перми — провинций Кеннеди-Коннорс-Оберн (северо-восток Австралии) и Чойой (Южная Америка) [10], а также Южнокитайской [11]. В нашем случае, скорее всего, также основное влияние на вымирание биоты оказала система вулканических дуг, обрамлявших Северо-Азиатский континент в пермское время.

Выявленные отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ очень хорошо коррелируют с эпизодами позднекунгурского, раннекепитенского и ранневучапинского вымираний, установленными нами ранее [12]; позднечансинское событие в рассматриваемом разрезе не зафиксировано из-за местного перерыва в осадконакоплении в конце перми — начале триаса. Почти повсеместно на Северо-Востоке Азии эти события вымирания ассоциируются с черносланцевой седиментацией и крупными регрессивными эпизодами. Это позволяет предполагать широкое развитие аноксических и эксинных обстановок, связанных с сероводородным заражением. Последнее косвенно подтверждается тем, что немногочисленные остатки бентоса этого времени известны исключительно из очень мелководных разрезов, не затронутых аноксией.

Первый (позднекунгурский) отрицательный экскурс прослеживается в ряде разрезов Южного Китая [13] и может быть связан как с влиянием Таримского плюма, выразившимся, в частности, в проявлении базальтоидного вулканизма, проявившегося в Алазейско-Олойской зоне и на восточном обрамлении Омолонского массива [14]. Однако, более вероятно, он связан с активизацией среднего и кислого островодужного вулканизма в Охотском сегменте Охотско-Тайгоносской (Кони-Тайгоносской) вулканической дуги. Последнее доказывается результатами датирования

нескольких образцов детритовых цирконов, в которых присутствует популяция с возрастом около 278–280 млн лет. ([15, 16] и неопубликованные авторские данные).

Аналогов второго (раннекепитенского) экскурса не удалось обнаружить нигде в мире, поэтому очевидно, что он имеет, скорее всего, региональный характер. Его главной причиной, по нашему мнению, является усиление активности Охотско-Тайгоносской (Кони-Тайгоносской) вулканической дуги. В это время на больших пространствах Северо-Востока Азии накапливались диамиктиты — своеобразные породы, являющиеся продуктом разрушения этой дуги, и многочисленные прослои синхронных осадконакоплению туфов среднего и кислого состава. В последнее время получены U–Pb SHRIMP-II и CA ID-TIMS датировки матрикса вулканогенных диамиктитов и прослоев туфов и туффитов: от 266 ± 2 и 265 ± 3 до 262.45 ± 0.2 млн. лет [16, 17].

Третий (кепитенско-вучапинский) отрицательный экскурс величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ распознается в ряде разрезов мира, в частности, в Южном Китае [18] и на Шпицбергене [19] и, очевидно, связан с гваделупско-лопинским вымиранием, основной причиной которого считается Эмейшаньский плюмовый вулканизм. Однако нельзя исключить и существенный региональный вклад в это событие вследствие очередного эпизода активизации Охотско-Тайгоносской вулканической дуги. Последнее подтверждается LAM ICP-MS, SHRIMP-II и CA ID-TIMS датировками многочисленных кислых и средних туфов и туфогенных диамиктитов возрастом около 260 млн. лет [15, 20].

Таким образом, получена первая композитная кривая изменения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ практически на большую часть пермского времени для Северо-Востока Азии. Выявлено три региональных отрицательных экскурса, которые, вероятнее всего, связаны с периодами активности островодужного магматизма в регионе в течение перми.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Б.Г. Покровскому (ГИН РАН) и анонимному рецензенту за высказанные замечания, способствовавшие улучшению текста рукописи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках темы НИР СВКНИИ ДВО РАН “Эволюция магматических, осадочных и метаморфических комплексов Арктики и севера Палеопацифики” и при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2022-299 в рамках реализации программы создания и развития НЦМУ “Радио-

нальное освоение запасов жидких углеводородов планеты”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бяков А.С., Horacek M., Горячев Н.А., Ведерников И.Л., Захаров Ю.Д. Первая детальная запись $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в пограничных пермо-триасовых отложениях Колымо-Омолонского региона (Северо-Восток Азии) // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 347–350.
2. Бяков А.С., Прокопьев А.В., Кутыгин Р.В., Ведерников И.Л., Будников И.В. Геодинамические обстановки формирования пермских седиментационных бассейнов Верхояно-Колымской складчатой области // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 81–85.
3. Бяков А.С., Ведерников И.Л., Колесов Е.В. Предварительные результаты изучения пермских отложений юга Омулёвского блока (Северо-Восток Азии) // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России: Мат-лы Дальневост. регион. конф., посв. памяти А.П. Васильковского. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 71–75.
4. Ishikawa T., Ueno Y., Shu D., Li Y., Han J., Guo J., Yoshida N., Komiya T. Irreversible change of the oceanic carbon cycle in the earliest Cambrian: high-resolution organic and inorganic carbon chemostratigraphy in the Three Gorges area, South China // Precambrian Res. 2013. V. 225. P. 190–208.
5. Svensen H., Planke S., Mørth-Jensen A., Jamveit B., Myklebust R., Eidem T.R., Rey S.S. Release of methane from a volcanic basin as a mechanism for initial Eocene global warming // Nature. 2004. V. 429. P. 542–545.
6. Grard A., Francois L.M., Dessert C., Dupre B., Godderis Y. Basaltic volcanism and mass extinction at the Permo-Triassic boundary: environmental impact and modeling of the global carbon cycle // Earth Planet. Sci. Lett. 2005. V. 234. P. 207–221.
7. Zhang B.L., Wignall P.B., Yao S.P., Hu W.X., Liu B. Collapsed upwelling and intensified euxinia in response to climate warming during the Capitanian (Middle Permian) mass extinction // Gondwana Res. 2021. V. 89. P. 31–46.
8. Chen J., Xu Y. Establishing the link between Permian volcanism and biodiversity changes: Insights from geochemical proxies // Gondwana Res. 2019. V. 75. P. 68–96.
9. Bryan S. Environmental impact of silicic magmatism in large igneous province events / Large igneous provinces: driver of global environmental and biotic changes. Ernst R., Dickson A., Bekker A., eds. Geoph. Monogr. Ser. № 255. Washington: AGU and Wiley, 2021. P. 133–152.
10. Chen J., Xu Y. Permian large igneous provinces and their paleoenvironmental effects / Large igneous provinces: driver of global environmental and biotic changes. Ernst R., Dickson A., Bekker A., eds. Geoph. Monogr. Ser. № 255. Washington: AGU and Wiley, 2021. P. 417–434.
11. Zhang H., Zhang F.F., Chen J.B., Erwin D.H., Syverston D.D., Ni P., et al. Felsic volcanism as a factor driving the end-Permian mass extinction // Sci. Adv. 2021. V. 7. № 47. Eabh1390. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abh1390>
12. Бяков А.С. Пермские биосферные события на Северо-Востоке Азии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. № 2. С. 88–100.
13. Zhang B.L., Yao S.P., Mills B.J.W., Wignall P.B., Hu W.X., Liu B., Ren Y.L., Li L.L., Shi G. Middle Permian organic carbon isotope stratigraphy and the origin of the Kamura Event // Gondwana Res. 2020. V. 79. P. 217–232.
14. Решения Третьего межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург, 2002) / Ред. Т.Н. Корень, Г.В. Котляр. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 268 с. + CDR.
15. Бяков А.С., Ведерников И.Л., Акинин В.В. Пермские диамиктиты Северо-Востока Азии и их вероятное происхождение // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 14–24.
16. Брынько И.В., Ползуненков Г.О., Бяков А.С., Ведерников И.Л. Первые результаты U-Pb SHRIMP датирования цирконов из кепитенских (средняя пермь) отложений Омолонского массива (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 1. С. 77–86.
17. Davydov V.I., Biakov A.S., Crowley J.L., Schmitz M.D., Isbell J.L., Vedernikov I.L. Middle Permian U-Pb zircon ages of the “glacial” deposits of the Atkan Formation, Ayan-Yuryakh anticlinorium, Magadan province, NE Russia: Their significance for global climatic interpretations // Gondwana Res. 2016. V. 38. P. 74–85.
18. Kaiho K., Chen Z.-Q., Ohashi T., Arinobu T., Sawada K., Cramer B.S. A negative carbon isotope anomaly associated with the earliest Lopingian (Late Permian) mass extinction // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2005. V. 223. P. 172–180.
19. Bond D.P.G., Wignall P.B., Joachimski M.M., Sun Y., Savov I., Grasby S.E., Beauchamp B., Blomeier D.P.G. An abrupt extinction in the Middle Permian (Capitanian) of the Boreal Realm (Spitsbergen) and its link to anoxia and acidification // GSA Bulletin, 2015. <https://doi.org/10.1130/B31216.1>
20. Davydov V.I., Biakov A.S., Schmitz M.D., Silantiev V.V. Radioisotopic calibration of the Guadalupian Series: review and updates // Earth-Sci. Rev. 2018. V. 176. P. 222–240.

FIRST DETAILED RECORD $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ IN PERMIAN MUDSTONES OF THE TASKAN BASIN (OMULEVKA BLOCK): A REFLECTION OF BIOSPHERIC EVENTS IN NORTHEAST ASIA

A. S. Biakov^{a, #}, I. L. Vedernikov^a, Academician of the RAS N. A. Goryachev^a, and B. I. Gareev^b

^a*N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan, Russian Federation*

^b*Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation*

[#]*E-mail: abiakov@mail.ru*

For the first time, a detailed record of the $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ value has been obtained in Permian mudstones of the Taskan Basin (Omulevka block, Northeast Asia), covering the interval from the Upper Kungurian, Roadian, Wordian, Capitanian, and Lower Wuchiapingian stages. The value of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ varies from -23.81‰ (middle Kungurian) to -26.97‰ (lower part of the Wuchiapingian). Three negative excursions of the $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ value are clearly distinguished in the section – in the upper part of the Kungurian Stage of the Lower Permian, in the lower part of the Capitanian and at the boundary of the Capitanian – Wuchiapingian stages. These excursions are in good agreement with the episodes of mass extinctions established by us earlier (Biakov, 2012) and are most likely associated with periods of activity of island-arc magmatism in the region during the Permian.

Keywords: $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, chemostratigraphy, negative excursions, biospheric events, extinctions, Permian, Northeast Asia