



**INTERREGIONAL CORRELATION OF THE MIDDLE FRASNIAN (UPPER DEVONOIAN)
OF THE NORTH-WEST OF THE RUSSIAN PLATE AND THE EAST OF THE PECHORA PLATE:
AN ECOGEOCHEMICAL ASPECT**

A.V. Zhuravlev  

Institute of Geology Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 54 Pervomaiskaya St, Syktyvkar 167982, Russia

ABSTRACT. The paper provides an example of the first stratigraphic application of ecogeochemical method based on the analysis of the carbon isotope values in conodont elements. The method is based on hypothesis of almost isochronic regime change (at least within the basin) in isotope fractionation of carbon in pelagic ecosystems which is reflected and kept in carbon isotope composition of conodont elements. This method has been used to compare between different fa-
cial Frasnian sequences of the northwestern Russian Plate (coastal marine facies) and eastern Pechora Plate (depression facies). There were traces of three isotope excursions: negative in the vicinity of the MN5 zone basement (domanic horizon basement), negative at the boundary between the MN5 and MN6 zones, and double positive excursion in the upper MN6 zone. The amplitude of excursions is usually much less in the deep-water facies. The similarity of variations in carbon isotope composition of conodont elements in geographically remote and facially different Frasnian sedimentary sequences of the northwestern Russian Plate and eastern Pechora Plate confirms the possibility of using this parameter for stratigraphic correlation.

KEYWORDS: C-isotope composition; conodonts; Upper Devonian; stratigraphy

FUNDING: The work was done as a part of the state assignment theme FUUU-2022-0056.

SHORT COMMUNICATION

Received: December 7, 2021

Revised: February 7, 2022

Accepted: February 16, 2022

Correspondence: Andrey V. Zhuravlev, micropalaeontology@gmail.com

FOR CITATION: Zhuravlev A.V., 2022. Interregional Correlation of the Middle Frasnian (Upper Devonian) of the North-West of the Russian Plate and the East of the Pechora Plate: an Ecogeochemical Aspect. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2s), 0620. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0620

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ СРЕДНЕГО ФРАНА (ВЕРХНИЙ ДЕВОН) СЕВЕРО-ЗАПАДА РУССКОЙ ПЛИТЫ И ВОСТОКА ПЕЧОРСКОЙ ПЛИТЫ: ЭКОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОДХОД

А.В. Журавлев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрен первый пример применения экогеохимического метода в стратиграфии, основанного на анализе вариаций изотопного состава углерода конодонтовых элементов. В основу метода положена гипотеза о практической изохронности (как минимум в пределах бассейна) существенных изменений изотопного фракционирования углерода в пелагических экосистемах, которое отражается и сохраняется в изотопном составе углерода конодонтовых элементов. Этим методом сопоставлены разнофациальные франские последовательности северо-запада Русской плиты (прибрежно-морские фации) и востока Печорской плиты (депресссионные фации). Прослежены три изотопных экскурса: отрицательный вблизи подошвы зоны MN5 (подошва доманикового горизонта), отрицательный на границе зон MN5 и MN6 и двойной положительный экскурс в верхней части зоны MN6. В глубоководных фациях амплитуда экскурсов, как правило, намного меньше. Присутствие сходных вариаций в изотопном составе углерода конодонтов в географически удаленных и фациально различных франских осадочных последовательностях северо-запада Русской плиты и востока Печорской плиты подтверждает возможность использования этого параметра для стратиграфической корреляции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изотопный состав углерода; конодонты; верхний девон; стратиграфия

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнялась в рамках госзадания по теме FUUU-2022-0056.

1. ВВЕДЕНИЕ

Русская и Печорская плиты в палеозое формировали восточную часть палеоконтинента Лавруссия, или Аркт-Лавруссия [Kuznetsov et al., 2010; Scotese, 2016]. В позднем девоне эпиконтинентальные морские бассейны с терригенно-карбонатным осадконакоплением покрывали значительную часть этих плит (рис. 1). Несмотря на принадлежность этих бассейнов к единому палеоконтиненту, они обладали своей спецификой, которая, в частности, могла быть обусловлена различием в возрасте фундамента структур платформенного типа, в пределах которых были расположены эти осадочные бассейны, а также вариациями темпов и характера погружения субстрата. Так, во франском веке на востоке Печорской и Русской плит произошло заложение внутришельфовых впадин за счет дифференцированного прогибания [Gorozhanina et al., 2019; Gruzdev et al., 2020; Gruzdev, 2021]. Северо-запад Русской плиты развивался в это время в режиме медленного стабильного погружения. Различия бассейнов проявились и в характере осадконакопления – мелководный прибрежно-морской на северо-западе Русской плиты и глубоководный, с накоплением доманикоидов, на востоке Печорской плиты (рис. 2).

Различия бассейнов обусловили значительные проблемы с детальной корреляцией осадочных толщ франского возраста. Разнофациальность отложений препятствует эффективному использованию биостратиграфического метода [Zhuravlev et al., 2006; Zhuravlev, 2021a]. Дифференцированные тектонические движения не позволяют проводить достоверную корреляцию циклостратиграфическим методом, поскольку

проявления тектонических движений затушевывают эвстатическую составляющую осадочной цикличности [Gruzdev, 2021].

Задача данной работы – оценить перспективы применения нового экогеохимического (по конодонтам) метода корреляции осадочных последовательностей для среднефранского интервала северо-запада Русской плиты и востока Печорской плиты.

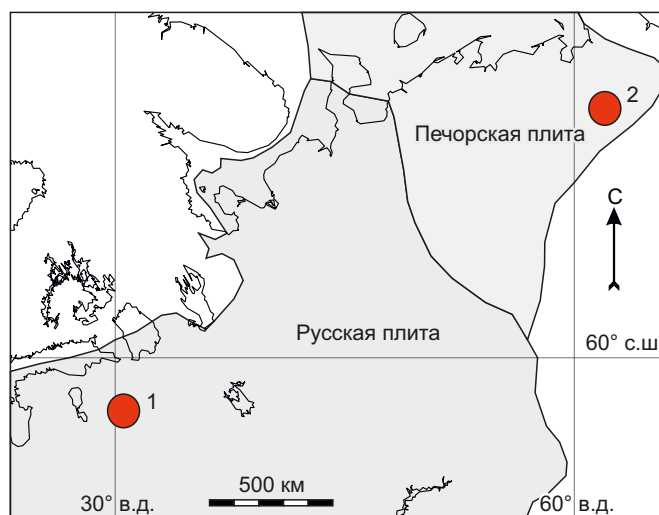


Рис. 1. Положение рассматриваемых разрезов: 1 – разрезы Главного девонского поля, Русская плита; 2 – разрез на севере гряды Чернышева, Печорская плита.

Fig. 1. Position of the sequences under consideration: 1 – sections on the Main Devonian Field, Russian Plate; 2 – section on the north of the Tchernyshev Swell, Pechora Plate.

2. МАТЕРИАЛ

Материалом для работы послужили коллекции конодонтов из сводной последовательности франского яруса (верхняя часть саргаевского – семилукский горизонт) северо-запада Русской плиты (Главное девонское поле) (см. рис. 1), представленной прибрежно-морскими мелководными терригенно-карбонатными отложениями [Zhuravlev et al., 2006]. Для изотопного анализа углерода использовано 26 конодонтовых элементов различной таксономической принадлежности (*Polygnathus*, *Youngquistognathus*, *Mehlina*, *Pandorinellina*, *Ligonodina*) с десяти стратиграфических уровней (рис. 2) [Zhuravlev, 2021a].

Коллекция конодонтов, характеризующая относительно глубоководные доманикоидные фации доманикового горизонта франского яруса востока Печорской плиты, «происходит» из опорного разреза на р. Пымвашир (север гряды Чернышева) [Kotik et al., 2021] (см. рис. 1). Для изотопного анализа углерода использовано восемь конодонтовых элементов двух видов (*Mesotaxis falsovalis* и *Polygnathus decorosus*) с восемью стратиграфических уровней (рис. 2).

Биостратиграфические построения, использованные в настоящей работе, были подробно изложены ранее в работах [Zhuravlev et al., 2006; Kotik et al., 2021; Zhuravlev, 2021a]. В качестве биостратиграфической основы использованы зоны по конодонтам, выделенные в Монтань-Нуар [Klapper, 1988, 1997].

3. МЕТОДЫ

В работе использован экогеохимический (по конодонтам) метод корреляции осадочных последовательностей, реализованный на базе оборудования Центра коллективного пользования (ЦКП) «Геонаука» (г. Сыктывкар). Экогеохимия – это применение геохимических характеристик для изучения экологии животных в качестве экогеохимического параметра наиболее широко применяется изотопный состав углерода мягких и минерализованных тканей [McMahon et al., 2013; Zhuravlev, 2021b]. Этот параметр отражает экологическую специализацию организмов и состояние экосистемы, а его временная и пространственная динамика отвечает преобразованиям пелагических экосистем [McMahon et al., 2013; Zhuravlev, 2021b].

В основу применения вариаций экогеохимических параметров (прежде всего, изотопного состава углерода конодонтовых элементов) в стратиграфии положена гипотеза о практической изохронности (как минимум в пределах бассейна) существенных изменений изотопного фракционирования углерода в пелагических экосистемах, которое отражается и сохраняется в изотопном составе углерода конодонтовых элементов. При этом большая часть конодонтов, как консументы первого уровня, сходно реагировали на изменения экосистем [Zhuravlev, 2020]. Это обеспечивает корректность сравнения динамики (но не абсолютных

значений) изотопного состава углерода конодонтовых элементов различных таксонов как на видовом, так и на родовом уровне [Zhuravlev, 2021a, fig. 5].

Результаты моделирования процессов фракционирования изотопов углерода в пелагических экосистемах (модифицированная модель [Hayes et al., 1999; Hartke et al., 2021], компьютерная реализация (<https://github.com/avz777/C-isotope-model>)) показывают, что эти процессы преимущественно контролировались продуктивностью фитопланктона, изменениями в изотопном составе растворенного неорганического углерода и вариациями содержания углекислоты, а также температурой. Перечисленные факторы, в свою очередь, связаны с климатическими флуктуациями и эндогенной активностью, что обеспечивает их глобальное действие.

Изотопный состав углерода конодонтовых элементов (интегральная характеристика углерода органической и минеральной компоненты, подробнее см. [Zhuravlev, 2021a, 2021b]) $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ был определен в ЦКП «Геонаука» (г. Сыктывкар) на масс-спектрометре DELTA V Advantage с Thermo Electron Continuous Flow Interface (ConFlo III) и Element Analyser (Flash EA 1112). Использовался международный стандарт USGS-40 (L-Glutamic acid). Точность определения $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ составляла ± 0.15 ‰. Химическая и физическая устойчивость конодонтовых элементов, сложенных коллаген-гидроксилфтор-карбонатпатитовыми композитами, обеспечивает хорошую сохранность первичного изотопного сигнала, в отличие от карбонатов и рассеянного органического вещества [Zhuravlev et al., 2020]. Для анализа были использованы конодонтовые элементы хорошей сохранности с индексом окраски менее 3, что обеспечивает минимальную деградацию органической составляющей [Zhuravlev, 2021b].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Детальная корреляция франских последовательностей рассматриваемых регионов биостратиграфическим методом невозможна из-за существенных, фациально обусловленных, различий комплексов органических остатков. По конодонтам удалось примерно идентифицировать только два корреляционных уровня в нижнем – среднем фране Главного девонского поля: в подошве зоны *punctata* (подошва зоны MN5) и в основании зоны MN6 [Zhuravlev et al., 2006; Zhuravlev, 2021a] (рис. 2).

Данные по распределению изотопного состава углерода конодонтов в нижнем – среднем фране Главного девонского поля приведены по [Zhuravlev, 2021a]. В нижней части чудовских слоев (саргаевский горизонт) идентифицирован кратковременный положительный экскурс $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ (около -24 ‰). Этот экскурс обозначен как C1 (рис. 2) (здесь и далее обозначения экскурсов даны по [Zhuravlev, 2021a]). Слабовыраженные отрицательные сдвиги отмечены в дубниковских слоях саргаевского горизонта и нижней части порховских слоев семилукского горизонта (рис. 2). Наиболее значительный отрицательный экскурс (до -32 ‰) установлен

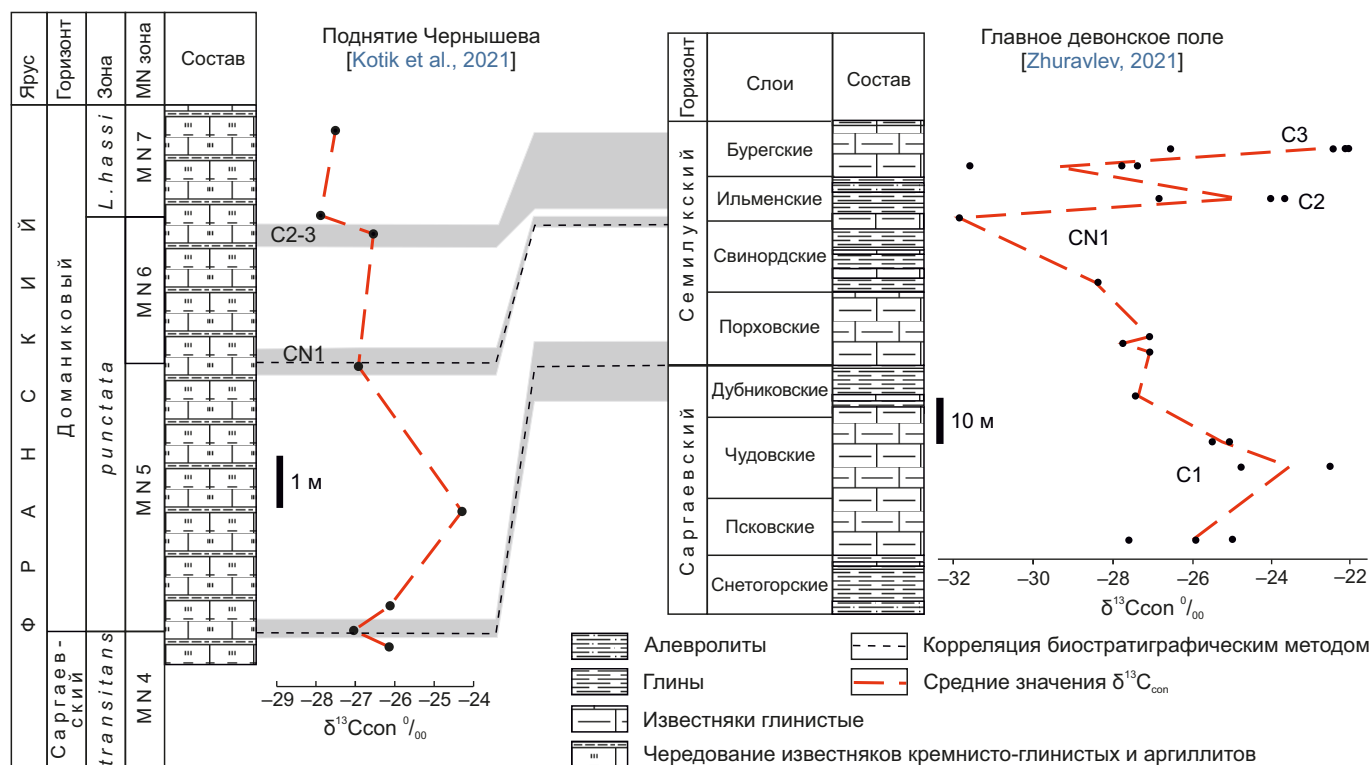


Рис. 2. Сопоставление разреза на р. Пымвашор (север гряды Чернышева) и сводного разреза Главного девонского поля биостратиграфическим и экогеохимическим методами. Обозначения изотопных отклонений дано по [Zhuravlev, 2021a].

Fig. 2. Correlation of the Pymvashor River section (north of the Tchernyshev Swell) and the synoptic section of the Main Devonian Field by the biostratigraphic and ecogeochemical methods. The C-isotope excursions are marked after [Zhuravlev, 2021a].

в нижней части ильменских слоев (CN1 на рис. 2). Небольшой положительный сдвиг выявлен в средней части ильменских слоев (C2 на рис. 2). На этом уровне значения $\delta^{13}C_{con}$ повышаются до $-23.6 \text{ ‰} \dots -26.8 \text{ ‰}$. Экскурс C2 отделяется некоторым снижением значений $\delta^{13}C_{con}$ (до -28 ‰) в нижней части бурегских слоев от последующего положительного экскурса C3 (до -22 ‰) в средней части бурегских слоев (рис. 2).

Информация по распределению изотопного состава углерода конодонтов в среднем фране севера гряды Чернышева приведена по [Kotik et al., 2021] с дополнением новыми данными для верхней части разреза. Анализ этой информации показал облегчение изотопного состава до -27.0 ‰ в пограничном нижнесреднефранском интервале (верхи зоны MN4) с последующим утяжелением до -26.2 ‰ в нижней части зоны *punctata* (зона MN5) (рис. 2). Выше, вблизи границы зон MN5 и MN6, зафиксирована слабая отрицательная аномалия в изотопном составе углерода конодонтов – до -26.9 ‰ . В верхней части зоны MN6 значения $\delta^{13}C_{con}$ незначительно возрастают до -26.6 ‰ с последующим снижением до $-27.5 \dots -27.8 \text{ ‰}$ в зоне MN7 (рис. 2).

Невысокая детальность опробования разрезов позволяет лишь приблизительно проследить некоторые уровни вариаций $\delta^{13}C_{con}$. Незначительный отрицательный экскурс вблизи границы зон MN4 и MN5, отмечаемый в рассматриваемых последовательностях, подтверждает корректность биостратиграфического

прослеживания этого уровня в подошве порховских слоев на Главном девонском поле. Отрицательный сдвиг, обозначенный как CN1 (рис. 2), подтверждает сопоставление нижней части ильменских слоев семилукского горизонта Главного девонского поля с основанием зоны MN6. Два сближенных положительных экскурса в верхней части ильменских слоев и в бурегских слоях семилукского горизонта Главного девонского поля, вероятно, соответствуют положительной аномалии в верхней части зоны MN6 на гряде Чернышева (рис. 2). Это позволяет сопоставить ильменские и бурегские слои (верхняя часть семилукского горизонта) с зоной MN6.

В целом, амплитуда вариаций $\delta^{13}C_{con}$ в мелководной последовательности северо-запада Русской плиты (около 10 ‰) значительно превосходит таковую в разрезе Печорской плиты (менее 4 ‰). Эти различия, скорее всего, определяются более стабильными условиями в глубоководных частях бассейна по сравнению с прибрежными мелководными, а также большим влиянием климатических изменений на прибрежные экосистемы толщи воды.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среднефранском интервале выделено три экскурса в $\delta^{13}C_{con}$, потенциально пригодных для широких корреляций. Первый отрицательный экскурс расположен вблизи подошвы зоны MN5 (подошва доманиковского горизонта), второй экскурс (CN1) маркирует

границу зон MN5 и MN6, а третий двойной положительный экскурс (C2-3) отмечен в верхней части зоны MN6. Эти экскурсы выявлены в разрезах обоих рассмотренных регионов, однако имеют различную амплитуду. В глубоководных фациях амплитуда, как правило, намного меньше, чем в мелководных.

Присутствие сходных вариаций в изотопном составе углерода конодонтов в географически удаленных и фациально различных франских осадочных последовательностях северо-запада Русской плиты и востока Печорской плиты подтверждает возможность использования этого параметра для стратиграфической корреляции. Как и любой геохимический метод, экохимический требует предварительного выделения опорных последовательностей в ключевых разрезах различных регионов. Работа представляет собой один из первых шагов в этом направлении.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность И.В. Смолевой (ЦКП «Геонаука») за проведение аналитических работ.

7. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Автор заявляет об отсутствии у него конфликта интересов. Автор прочитал рукопись и согласен с опубликованной версией.

The author has no conflicts of interest to declare. The author has read and agreed to the published version of the manuscript.

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Gorozhanina E.N., Gorozhanin V.M., Zagranovskaya D.E., Zakharova O.A., 2019. About the Structure of the Kama-Kinel Trough System. *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* 3, 920 (in Russian) [Горожанина Е.Н., Горожанин В.М., Заграновская Д.Е., Захарова О.А. О строении Камско-Кинельской системы прогибов // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. № 3. С. 9–20]. DOI:10.32454/0016-7762-2019-3-9-20.

Gruzdev D.A., 2021. Late Devonian–Early Carboniferous Isolated Carbonate Platforms of the North of the Urals and Pay-Khoy. *Vestnik of Geosciences* 10, 3–15 (in Russian) [Груздев Д.А. Позднедевонско-раннекаменноугольные изолированные карбонатные платформы на севере Урала и Пай-Хоя // Вестник геонаук. 2021. № 10. С. 3–15]. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.10.1>.

Gruzdev D.A., Gerasimova A.I., Zhuravlev A.V., Vevel Y.A., 2020. Geohistorical Analysis of the Northern Part of the Pai-Khoy Carbonate Parautochthone in Late Devonian – Carboniferous. *Lithosphere* 20 (5), 668–681 (in Russian) [Груздев Д.А., Герасимова А.И., Журавлев А.В., Вевель Я.А. Геоисторический анализ северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона в позднем девоне – карбоне // Литосфера. 2020. Т. 20. № 5. С. 668–681]. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-668-681>.

Hartke E.R., Bradley D., Cramer B.D., Calner M., Melchin M.J., Barnett B.A., Oborny S.C., Bancroft A.M., 2021. Decoupling

$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ at the Onset of the Ireviken Carbon Isotope Excursion: $\Delta^{13}\text{C}$ and Organic Carbon Burial (f_{org}) during a Silurian Oceanic Anoxic Event. *Global and Planetary Change* 196, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103373>.

Hayes J.M., Strauss H., Kaufman A.J., 1999. The Abundance of ^{13}C in Marine Organic Matter and Isotopic Fractionation in the Global Biogeochemical Cycle of Carbon during the Past 800 Ma. *Chemical Geology* 161 (1–3), 103–125. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00083-2).

Klapper G., 1988. The Montagne Noire Frasnian (Upper Devonian) Conodont Succession. In: N.J. McMillan, A.F. Embry, D.J. Glass (Eds), *Devonian of the World. Proceedings of the 2nd International Symposium on the Devonian System – Memoir 14. Vol. III. Paleontology, Paleoecology and Biostratigraphy*. Canadian Society of Petroleum Geologists Special Publication, p. 449–468.

Klapper G., 1997. Graphic Correlation of Frasnian (Upper Devonian) Sequences in Montagne Noire, France, and Western Canada. In: G. Klapper, M.A. Murphy, J.A. Talent (Eds), *Paleozoic Sequence Stratigraphy, Biostratigraphy, and Biogeography: Studies in Honor of J. Granville ("Jess") Johnson*. Geological Society of America 321, 113–129. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2321-3.113>.

Kotik I.S., Zhuravlev A.V., Maydl T.V., Bushnev D.A., Smoleva I.V., 2021. Early-Middle Frasnian (Late Devonian) Carbon Isotope Event in the Timan-Pechora Basin (Chernyshev Swell, Pymvashor River Section, North Cis-Urals, Russia). *Geologica Acta* 19.3, 1–17. <https://doi.org/10.1344/GeologicaActa2021.19.3>.

Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A., O'Reilly S.Y., Griffin W.L., 2010. Geochronological, Geochemical and Isotopic Study of Detrital Zircon Suites from Late Neoproterozoic Clastic Strata along the NE Margin of the East European Craton: Implications for Plate Tectonic Models. *Gondwana Research* 17 (2–3), 583–601. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.08.005>.

McMahon K.W., Hamady L.L., Thorrold S.R., 2013. A Review of Ecogeochemistry Approaches to Estimating Movements of Marine Animals. *Limnology and Oceanography* 58 (2), 697–714. <https://doi.org/10.4319/lo.2013.58.2.0697>.

Mizutani H., Kabaya Y., Wada E., 1991. Nitrogen and Carbon Isotope Compositions Relate Linearly in Cormorant Tissues and Its Diet. *Isotopenpraxis* 27 (4), 166–168. <http://doi.org/10.1080/10256019108622500>.

Scotese C.R., 2016. PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates and the PaleoDataPlotter Program. In: *Abstracts of 50th Annual Meeting of the Geological Society of America. North-Central Section (April 18–19, 2016)*. Vol. 48. Iss. 5. Geological Society of America, Paper 24–11. <http://doi.org/10.1130/abs/2016NC-275387>.

Zhuravlev A.V., 2020. Trophic Position of Some Late Devonian – Carboniferous (Mississippian) Conodonts Revealed on Carbon Organic Matter Isotope Signatures: A Case Study of the East European Basin. *Geodiversitas* 42 (24), 443–453. <https://doi.org/10.5252/geodiversitas2020v42a24>.

Zhuravlev A.V., 2021a (in press). Lower–Middle Frasnian Organic Carbon Isotope Record of Conodonts in East European Platform. *Palaeoworld*. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2021.07.003>.

Zhuravlev A.V., 2021b. Middle–Late Paleozoic Conodont Ecogeochemistry: An Overview. *Vestnik of Geosciences* 3, 31–34. <http://doi.org/10.19110/geov.2021.3.5>.

Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Gruzdev D.A., 2020. Chapter 40: Carbon Isotope Ratios in the Apatite-Protein Composites of Conodont Elements – Palaeobiological Proxy. In:

O.V. Frank-Kamenetskaya, D.Y. Vlasov, E.G. Panova, S.N. Lessovaia (Eds), *Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature. Lecture Notes in Earth System Sciences*. Springer, Cham, p. 749–764. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_40.

Zhuravlev A.V., Sokiran E.V., Evdokimova I.O., Dorofeeva L.A., Rusetskaya G.A., Małkowski K., 2006. Faunal and Facies Changes at the Early–Middle Frasnian Boundary in the North-Western East European Platform. *Acta Palaeontologica Polonica* 51 (4), 747–758.