

Вариации изотопного состава углерода в опорном разрезе верхневизейско-нижнесерпуховского интервала нижнего карбона Московской синеклизы (карьер Полотняный Завод и р. Лужа)

А. В. Журавлев

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54,
e-mail: micropalaeontology@gmail.com

Поступила в редакцию 13.05.2025 г., принята к печати 06.10.2025 г.

Объект исследования. Изотопный состав углерода карбонатных пород и конодонтовых элементов в верхневизейско-серпуховском интервале (нижний карбон) в опорных разрезах Полотняный Завод и Лужа на юго-западе Московской синеклизы. *Цель.* Оценить возможность межрегиональной корреляции горизонтов, выделенных в Московской синеклизе, по изотопному составу углерода карбонатных пород и конодонтовых элементов. *Материалы и методы.* Изотопный состав углерода изучен в интервале от верхней части алексинского до протвинского горизонта. Изотопный анализ углерода известняков ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) определен в 14 образцах, а конодонтов ($\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$) – в 20 образцах. Для сравнения привлечен материал из опорного разреза серпуховского яруса на р. Изьяю (гряда Чернышева, восток Печорской плиты). *Результаты.* Для верхней части алексинско-тарусского горизонтов характерны значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}} \approx 1.5\text{‰ VPDB}$ с понижениями до -2.6 и -0.2‰ VPDB в верхнеалексинском и верхнемихайловском интервалах соответственно. Широкое “плато” (значения $1.2\text{--}1.6\text{‰ VPDB}$) охватывает верхнюю часть веневского и тарусский горизонты. $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ демонстрирует понижение до -30‰ VPDB в веневском горизонте и повышение до -24‰ VPDB в средней части тарусского горизонта. В стешевском горизонте значения снижаются до средних по разрезу величин (около -27‰ VPDB). *Выводы.* Изучение вариаций $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в разрезе верхнего визе–серпухова в карьере Полотняный Завод позволило выделить два корреляционных интервала с отрицательным сдвигом $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в веневском горизонте и положительным сдвигом $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в тарусском горизонте. Эти интервалы могут быть идентифицированы в разрезе Печорской плиты и служить для межрегиональной корреляции.

Ключевые слова: изотопный состав углерода, конодонты, карбонаты, визейский ярус, серпуховский ярус, Московская синеклиза

Источник финансирования

Исследования проводились в рамках государственного задания по теме № 122040600008-5

Variations in carbon isotope composition in a reference section of the Upper Viséan-Lower Serpukhovian interval (Lower Carboniferous) of the Moscow Syncline (Polotnyany Zavod quarry)

Andrey V. Zhuravlev

N.P. Yushkin Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar 167982, Russia,
e-mail: micropalaeontology@gmail.com

Received 13.05.2025, accepted 06.10.2025

Research subject. Carbon isotope composition of carbonates and conodont elements in the Upper Viséan–Serpukhovian interval (Lower Carboniferous) in the Polotnyany Zavod and Luzha reference sections in the southwest of the Moscow Syncline. *Aim.* To evaluate the possibility of tracing the horizons identified in the basin of the Moscow Syncline on the basis of data on the carbon isotope composition of carbonates and conodont elements. *Materials and methods.* Carbon isotope composition was studied in the Upper Aleksin–Protva stratigraphic interval. Carbon isotopic composition of

Для цитирования: Журавлев А.В. (2026) Вариации изотопного состава углерода в опорном разрезе верхневизейско-нижнесерпуховского интервала нижнего карбона Московской синеклизы (карьер Полотняный Завод и р. Лужа). *Литосфера*, **26**(2), 420–433. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-2-420-433>. EDN: LOGOSX

For citation: Zhuravlev A.V. (2026) Variations in carbon isotope composition in a reference section of the Upper Viséan-Lower Serpukhovian interval (Lower Carboniferous) of the Moscow Syncline (Polotnyany Zavod quarry). *Lithosphere (Russia)*, **26**(2), 420–433. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-2-420-433>. EDN: LOGOSX

carbonates ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) was determined in 14 samples, and that of conodonts ($\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$) – in 20 samples. Comparative material was obtained from the reference section of the Serpukhovian Stage on the Izyayu River (Tchernyshev Ridge, east of the Pechora Plate). *Results.* The Upper Aleksin–Tarusa interval is characterised by $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ values of about 1.5‰ VPDB with decreases to –2.6 and –0.2‰ VPDB in the Upper Aleksin and Upper Mikhaylov intervals respectively. A broad “plateau” (values of 1.2–1.6‰ VPDB) covers the upper part of the Venyev and Tarusa horizons. The carbon isotope composition of conodont elements shows a decrease to –30‰ VPDB in the Venyev Horizon and an increase to –24‰ VPDB in the middle part of the Tarusa Horizon. In the Steshev Horizon, the $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ values decrease to the average values in the section (about –27‰ VPDB). *Conclusion.* The study of variations in the carbon isotopic composition of conodonts and carbonates in the Upper Viséan–Lower Serpukhovian interval at the Polotnyany Zavod quarry enabled the identification of two correlation intervals characterized by a negative shift in $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ in the Venyev Horizon and a positive shift in $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ in the Tarusa Horizon. These intervals are also traceable in sections of the Pechora Plate and may be used for interregional correlation.

Keywords: carbon isotope composition, conodonts, carbonates, Viséan Stage, Serpukhovian Stage, Moscow Syncline

Funding information

The research was conducted within the framework of the state assignment on topic No. 122040600008-5

Acknowledgements

The author is grateful to I.V. Smoleva (CKP “Geonauka,” IG FRC Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar) for conducting the isotope analyses, and to the reviewers for their constructive comments, which helped improve the manuscript. Fieldwork carried out in 2005 would not have been possible without the assistance of M.G. Papin, S.B. Shishlov, I.O. Evdokimova, and Y.A. Vevel, to whom the author extends sincere gratitude.

ВВЕДЕНИЕ

Карьер Полотняный Завод расположен в Калужской области, в юго-западной части Московской синеклизы (рис. 1). Разрез в этом карьере рассматривался в качестве одного из опорных для нижнего карбона Московской синеклизы (Махлина и др., 1993). В нем идентифицированы границы михайловского, веневского, тарусского и стешевского горизонтов, а также палеопочвы, маркирующие уровни региональных несогласий (Махлина и др., 1993; Alekseev et al., 2015; Kabanov et al., 2016; Alekseeva et al., 2016). Однако по этому разрезу опубликованы лишь детальные литологические и литохимические материалы (Махлина и др., 1993; Вевель и др., 2007; Alekseev et al., 2015; Kabanov et al., 2016; Alekseeva et al., 2016), а биостратиграфическая (Махлина и др., 1993; Вевель и др., 2007) и изотопно-геохимическая (Alekseeva et al., 2016) информация приведена в общих чертах. Кроме того, в настоящее время карьер рекультивирован и недоступен для дальнейшего изучения.

Мелководность раннекаменноугольного бассейна Московской синеклизы, фациальный контроль распределения в нем бентосной (фораминиферы, брахиоподы, остракоды) и нектонно-планктонной (конодонты, головоногие моллюски) фауны, а также наличие в разрезе нижнего карбона многочисленных несогласий обуславливают сложности в прослеживании границ выделенных здесь горизонтов биостратиграфическими методами за пределы бассейна. На примере разрезов нижнего карбона Печорской плиты показана перспективность использования изотопной стратиграфии по углероду для региональных и межрегиональных корреляций

в этом стратиграфическом интервале (Zhuravlev et al., 2023; Журавлев, 2025).

Цель данного исследования состоит в оценке возможности межбассейновой корреляции горизонтов, выделенных в бассейне Московской синеклизы, на основе данных об изотопном составе углерода карбонатов и конодонтовых элементов.

МАТЕРИАЛ

Общая характеристика разреза

В статье описаны материалы из карьера Полотняный Завод (N 54°43' E 35°59') и разреза на правом берегу р. Лужа в районе пос. Кременское (N 55°05.96' E 35°57.5') (Воротникова и др., 2011). Отложения поздневизейско-серпуховского возраста, вскрытые в уступах и забое карьера, образуют локальную брахиантиклиналь (около 500 м в поперечнике) с амплитудой около 30 м и углами падения на крыльях 3–5° (см. рис. 1). Общая мощность разреза составляет около 50 м и слегка увеличивается на крыльях брахиантиклинали.

Существует два варианта расчленения данного разреза на горизонты: по М.Х. Махлиной с соавторами (1993) и П.Б. Кабанову с соавторами (Kabanov et al., 2016). Последний вариант основан на уровнях региональных несогласий, датированных биостратиграфическим методом. Проведение границ горизонтов по уровням региональных несогласий (Kabanov et al., 2016) представляется оправданным и соответствующим требованиям Стратиграфического кодекса России (2019). Такой вариант принимается в настоящей работе (рис. 2).



Рис. 1. Схемы расположения изученных разрезов.

а – карьер Полотняный Завод (1) и разрез на р. Лужа (2), б – схема карьера Полотняный Завод (2005 г.) с точками наблюдений и элементами залегания визейско-серпуховских отложений.

Fig. 1. Locality sketch maps.

б – The Polotnyany Zavod quarry (1) and the Luzha River section (2), б – Sites in the Polotnyany Zavod quarry (2005) with dip directions of the Viséan-Serpukhovian deposits.

Вскрытая в карьере верхняя часть алексинского горизонта представлена известняками светло-серыми, массивными (преимущественно пакстоуны), с тонкими прослоями (до 0.1 м) известняков серых глинистых (мадстоуны) и глин бурых, алевритистых. Кровля горизонта проведена по кровле известняка с кавернами выщелачивания, которые интерпретируются в качестве проявления субаэральной экспозиции (несогласие “Малиновка” – по (Alekseev et al., 2015; Kabanov et al., 2016)) (см. рис. 2). Видимая мощность алексинского горизонта 4.3 м.

Михайловский горизонт сложен известняками светло-серыми, массивными (преимущественно пакстоуны), с тонкими (до 0.2 м) прослоями глины бурой, алевритистой, известковой и двумя пачками (2–4 м по мощности) буровато-серых глин, алевритов и тонкозернистых волнисто-слоистых песчаников с растительным детритом и уровнями с остатками ризофор. Кровля михайловского горизонта проведена по уровню, отвечающему несогласию “Холм” (Alekseev et al., 2015; Kabanov et al., 2016) (см. рис. 2). Мощность горизонта 15.3 м.

Веневский горизонт представлен известняками буровато-серыми, массивными (преимущественно пак- и грейнстоуны), в нижней части с кремнистыми конкрециями серого цвета. Присутствуют про-

слои (0.1–0.2 м) глины серой, известковой. Примерно в 6 м от подошвы горизонта отмечается кавернозная поверхность известняка с псевдобрекчией и остатками ризофор в прижизненном положении (несогласие “Барсуки” – по (Alekseev et al., 2015; Kabanov et al., 2016)). Выше залегает пачка серых глин, алевритов и песчаников мощностью около 1.5 м. Разрез горизонта завершают известняки буровато-серые, неотчетливо волнисто-слоистые (пакстоуны). Кровля горизонта проведена по глинистому прослою в известняках (несогласие “Муратовка” – по (Alekseev et al., 2015; Alekseeva et al., 2016)) (см. рис. 2). Мощность веневского горизонта 9.6 м.

Тарусский горизонт сложен известняками светло-серыми, массивными (преимущественно пакстоуны), с прослоями (0.1–0.2 м) известняков глинистых и глин известковых, алевритистых, волнисто-слоистых, серых и зеленовато-серых. Вверх по разрезу частота глинистых прослоев возрастает и увеличивается общая глинистость отложений. В известняках появляются включения сульфидов (до 3 см в поперечнике). Кровля тарусского горизонта проводится достаточно условно, по началу преобладания в разрезе глин (см. рис. 2). Мощность горизонта 7.7 м.

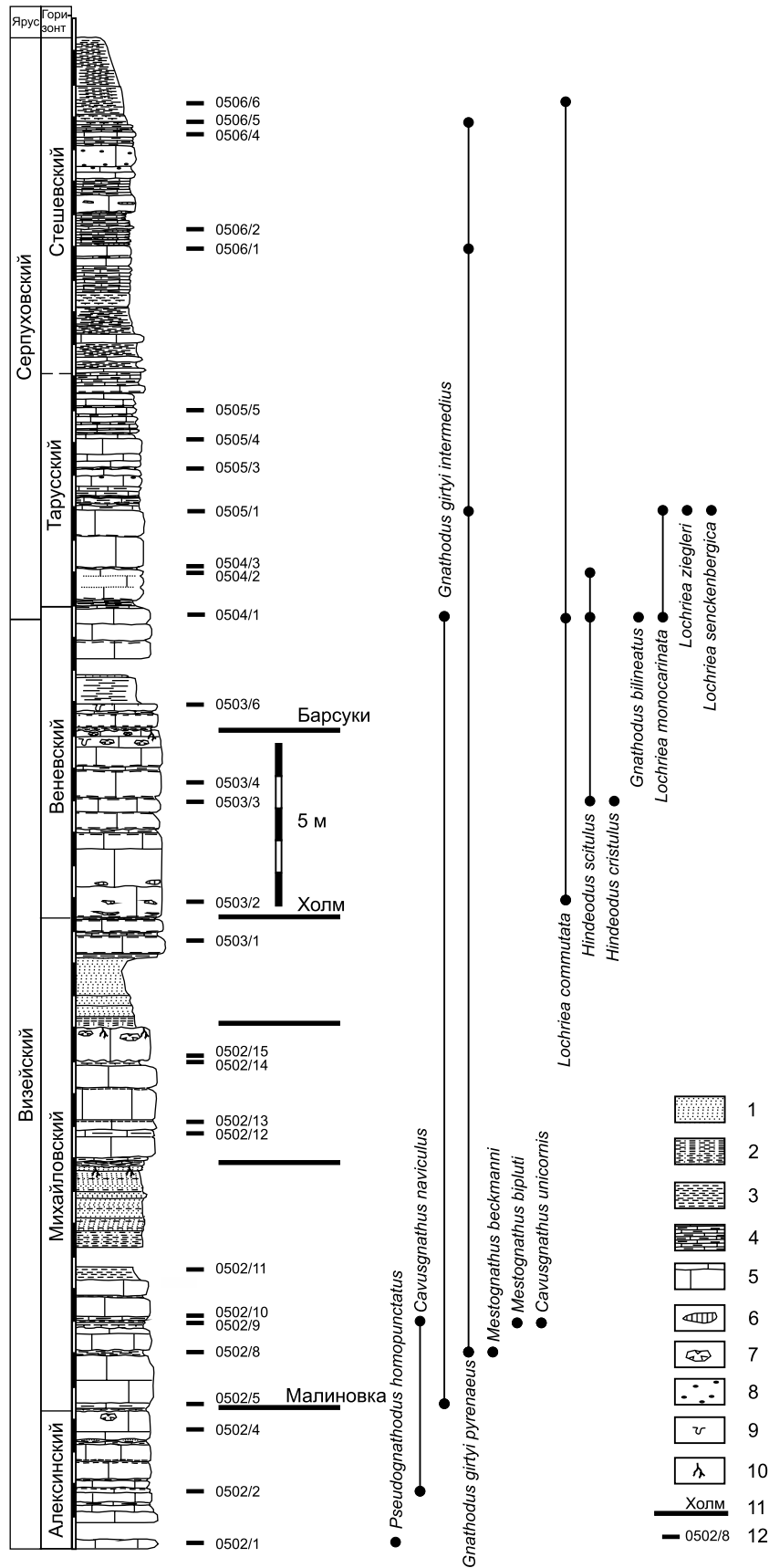


Рис. 2. Сводный разрез в карьере Полотняный Завод с уровнями основных несогласий, по (Kabanov et al., 2016) (горизонтальные линии), и распространением некоторых таксонов конодонтов.

1 – песок, 2 – алеврит, 3 – глина, 4 – глинистый известняк, 5 – известняк, 6 – кремнисто-карбонатная конкреция, 7 – каверны выщелачивания, 8 – стяжения сульфидов, 9 – ихнофоссилии, 10 – ризофоры, 11 – уровень несогласия, 12 – образец и его номер.

Fig. 2. Composite log of the Polotnyany Zavod section with marked levels of the main unconformities, according to (Kabanov et al., 2016) (bold horizontal lines), and ranges of some conodont taxa.

1 – sand, 2 – silt, 3 – clay, 4 – clayey limestone, 5 – limestone, 6 – cherty nodule, 7 – leach cavern, 8 – sulfide nodules, 9 – ichnofossils, 10 – rhizophores, 11 – unconformity, 12 – sample and its number.

Стешевский горизонт характеризуется преобладанием глин темно-серых, в различной степени известковистых, массивных, с выделениями сульфидов. В глинах отмечаются прослои (до 1 м) известняков глинистых (преимущественно мадстоуны), серых, волнисто-слоистых. Видимая мощность стешевского горизонта 10.5 м.

Разрез на р. Лужа вскрывает верхнюю часть протвинского горизонта. Его образуют известняки (пак- и вакстоуны) светло-серые, неотчетливо субгоризонтально-слоистые и массивные. Известняки местами кремнистые, с кремнисто-карбонатными конкрециями и конкреционными плитами светло-серого цвета. Видимая мощность обнаженного интервала 8 м.

Для изучения конodontов отобрано четыре образца из алексинского горизонта, 11 из михайловского горизонта, семь из веневского горизонта, шесть из тарусского горизонта, шесть из стешевского горизонта и шесть из верхней части протвинского горизонта (разрез на р. Лужа). Масса одного образца варьировалась от 1 до 3 кг. Всего конodontовые элементы обнаружены в 20 образцах, преимущественно из визейской части разреза (см. рис. 2).

Из 14 образцов взяты пробы на изотопный анализ углерода карбоната (табл. 1), а для 20 образцов изучен изотопный состав углерода конodontовых элементов (табл. 2). Всего проанализировано 25 конodontовых элементов, принадлежащих родам *Idioproniodus*, *Mestognathus*, *Cavusgnathus*, *Gnathodus* и *Lochriea*. Часть элементов (P2-, S- и M-элементы) таксономически не диагностированы.

Для сравнения привлечен материал из опорного разреза серпуховского яруса на р. Изъяю (гряда Чернышева, восток Печорской плиты) (N65°33'10" E58°38'43"). В этом разрезе вскрываются поздне-визейско-серпуховские отложения мощностью около 30 м, представленные в фациях внешнего рампа. Визейская часть разреза (конodontовая зона *Lochriea podosa*; видимая мощность около 2.5 м) состоит из водорослевых известняков, а нижнесерпуховская часть демонстрирует постепенный переход от водорослевых и полидетритовых известняков (в основном пак- и грейнстоунов) к глинистым вак- и мадстоунам с прослоями известковых аргиллитов (верхняя часть зоны *Lochriea zieglerei* и нижняя часть зоны *Gnathodus bollandensis*) (Zhuravlev et al., 2023). Используются данные по изотопному составу углерода карбонатов (Zhuravlev et al., 2023) и дополни-

тельные данные по изотопному составу углерода конodontовых элементов, приведенные в табл. 3.

МЕТОДЫ

Конodontы изучались по стандартной методике: карбонаты растворялись в 10%-м растворе уксусной кислоты, а глины отмучивались в горячей воде с использованием поверхностно-активных веществ. Конodontовые элементы отбирались из полученного остатка под бинокулярным микроскопом.

Выбранные для изотопных исследований конodontовые элементы промывались в этиловом спирте и дистиллированной воде. Изотопный состав углерода конodontовых элементов определялся на масс-спектрометре DELTA V Advantage, оснащенный интерфейсом непрерывного потока Thermo Electron (ConFlo III) и анализатором элементов (Flash EA 1112). Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ определялись относительно стандарта VPDB (Viana Pee Dee Belemnite). При калибровке использован международный стандарт USGS-40 (L-глутаминовая кислота). Ошибка определения $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ составляет $\pm 0.15\%$ VPDB. Методика пробоподготовки и особенности интерпретации изотопного состава углерода конodontовых элементов детально описаны ранее (Zhuravlev, 2023).

Для изучения изотопного состава углерода карбонатов со свежих сколов образцов пак- и вакстоунов стальным микробуром высверливался порошок. Изотопный состав определялся на масс-спектрометре DELTA V Advantage с пробоподготовкой на линии Gas Bench II по стандартной методике. Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ определялись относительно стандарта VPDB. При калибровке использованы международные стандарты МАГАТЭ NBS18 (calcite) и NBS19 (TS-limestone). Ошибка определения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ составляет $\pm 0.04\%$ VPDB.

Все изотопные исследования проводились в ЦКП “Геонаука” (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) аналитиком И.В. Смолевой.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Конodontы

Комплексы конodontов из разреза Полотняный Завод демонстрируют невысокое таксономи-

Таблица 1. Изотопный состав углерода карбонатов

Table 1. Carbon isotopic composition of carbonates

Образец	Горизонт	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, ‰ VPDB	Характеристика образца
0502/1	C _{1v} al	-0.2	Полидетритовый пак-вакстоун. Остатки брахиопод, криноидей, известковых водорослей, фораминифер, мшанок
0502/2	C _{1v} al	1.3	Полидетритовый пакстоун. Фораминиферы, криноидей, известковые водоросли
0502/4	C _{1v} al	-2.6	Вак-пакстоун брахиоподово-фораминиферовый с остатками остракод и криноидей
0502/10	C _{1v} m	1.7	Полидетритовый пакстоун. Остатки фораминифер, криноидей, брахиопод и известковых водорослей
0502/12	C _{1v} m	2.9	Полидетритовый вак-пакстоун
0502/13	C _{1v} m	2.4	Полидетритовый пакстоун. Остатки криноидей, мшанок, брахиопод, фораминифер и известковых водорослей
0502/15	C _{1v} m	-0.2	Полидетритовый пакстоун
0503/3	C _{1v} v	1.3	Полидетритовый пакстоун. Остатки брахиопод, криноидей, фораминифер, остракод, известковых водорослей и мшанок
0503/4	C _{1v} v	1.6	Полидетритовый пакстоун
0504/1	C _{1s} t	1.3	Криноидно-брахиоподовый пакстоун. Остатки фораминифер, криноидей, брахиопод, мшанок и остракод
0505/1	C _{1s} t	1.2	Пак-вакстоун криноидный, перекристаллизованный. Остатки криноидей, фораминифер, брахиопод, остракод, рыб и известковых водорослей
0505/3	C _{1s} t	0.8	Полидетритовый пакстоун. Остатки криноидей, брахиопод, мшанок, известковых водорослей
0505/5	C _{1s} t	1.0	Криноидно-брахиоподовый пакстоун. Остатки криноидей, брахиопод, одиночных кораллов, фораминифер, известковых водорослей
0507/5	C _{1s} p	-5.1	Пак-вакстоун полидетритовый перекристаллизованный. Остатки криноидей, фораминифер, известковых водорослей и остракод

ческое разнообразие (рис. 3). Распределение наиболее стратиграфически значимых видов и подвидов показано на рис. 2. Верхняя часть алексинского горизонта охарактеризована конодонтами *Pseudognathodus homopunctatus* (Ziegler), *Cavusgnathus naviculus* (Hinde), *Idioproniodus* sp. и *Kladognathus* sp. В михайловском горизонте обнаружены *Gnathodus girtyi intermedius* Globensky, *Gnathodus girtyi pyrenaeus* Nemirovska et Perret, *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, *Mestognathus beckmanni* Bischoff, *Mestognathus bipluti* Higgins, *Idioproniodus* sp., *Kladognathus* sp. Веневский горизонт охарактеризован *Hindeodus scitulus* (Hinde), *Gnathodus bilineatus* (Roundy), *Gnathodus girtyi intermedius* Globensky, *Lochriea commutata* (Branson et Mehl), *Lochriea monocarinata* Zhuravlev, *Idioproniodus* sp. и *Kladognathus* sp. Один экземпляр *Lochriea monocarinata* найден в самой верхней части горизонта, выше поверхности несогласия "Барсуки" (обр. 0504/1, см. рис. 2). В тарусском горизонте обнаружен комплекс коно-

донтов, включающий *Gnathodus girtyi pyrenaeus* Nemirovska et Perret, *Gnathodus bilineatus* (Roundy), *Hindeodus scitulus* (Hinde), *Lochriea* aff. *monocarinata* Zhuravlev, *Lochriea ziegleri* Nemirovska et Perret et Meischner, *Lochriea senckenbergica* Nemirovska et Perret et Meischner, *Cavusgnathus* sp., *Kladognathus* sp., *Idioproniodus* sp. При этом *Lochriea ziegleri* и *Lochriea senckenbergica* найдены в средней части горизонта в одном образце. Стешевский горизонт содержит таксономически бедный комплекс конодонтов с *Gnathodus girtyi pyrenaeus* Nemirovska et Perret, *Lochriea* sp., *Idioproniodus* sp. и *Idioproniodus* cf. *conjunctus* (Gunnell). В верхней части протвинского горизонта (разрез на р. Лужа) в одном образце найдены единичные конодонты *Hindeodus scitulus* (Hinde), *Lochriea* sp., *Gnathodus bollandensis* (Higgins et Bouckaert), *Gnathodus* sp.

Данные по конодонтам, полученные из разреза Полотняный Завод, не противоречат ранее сделанным региональным сопоставлениям горизонтов и конодонтовых зон (Махлина и др., 1993;

Таблица 2. Изотопный состав углерода конодонтовых элементов**Table 2.** Carbon isotopic composition of conodont elements

Образец	Горизонт	$\delta^{13}C_{\text{кон}}$, ‰ VPDB	Конодонты
0502/1	C _{1v} al	-26.2	Фрагмент
0502/4	C _{1v} al	-27.4	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0502/8	C _{1v} m	-25.6	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0502/8	C _{1v} m	-25.1	S-элемент
0502/8	C _{1v} m	-25.1	<i>Mestognathus</i> sp.
0502/9	C _{1v} m	-26.7	S-элемент
0502/11	C _{1v} m	-27.8	P2-элемент
0502/14	C _{1v} m	-25.8	M-элемент
0503/2	C _{1v} v	-30.3	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0503/3	C _{1v} v	-29.7	S-элемент
0503/6	C _{1v} v	-27.6	То же
0504/1	C _{1s} t	-27.2	<i>Lochriea commutata</i>
0504/2	C _{1s} t	-25.0	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0504/3	C _{1s} t	-27.9	<i>Cavusgnathus</i> sp.
0504/3	C _{1s} t	-29.1	P2-элемент
0505/1	C _{1s} t	-24.2	<i>Gnathodus</i> sp.
0505/3	C _{1s} t	-23.8	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0505/4	C _{1s} t	-26.5	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0506/2	C _{1s} s	-26.5	S-элемент
0506/4	C _{1s} s	-27.4	То же
0506/5	C _{1s} s	-27.7	<i>Idioprioniodus</i> sp.
0506/5	C _{1s} s	-27.3	S-элемент
0506/6	C _{1s} s	-27.6	<i>Lochriea commutata</i>
0507/5	C _{1s} p	-25.4	M-элемент

Kabanov et al., 2016). Алексинский и нижняя часть михайловского горизонта сопоставляются с зоной *Gnathodus bilineatus*, верхняя часть михайловского горизонта и большая часть веневского горизонта – с зоной *Lochriea nodosa*, верхи веневского горизонта, тарусский, стешевский и низы протвинского горизонта – с зоной *Lochriea ziegleri*, а верхняя часть протвинского горизонта – с зоной *Gnathodus bollandensis* (Kabanov et al., 2016). Единственная находка зонального вида *Lochriea ziegleri* (см. рис. 3: 24) приурочена в разрезе Полотняный Завод к средней части тарусского горизонта, а в самых верхах веневского горизонта найден вид *Lochriea monocarinata* (см. рис. 3: 26), характерный для зоны *Lochriea ziegleri* на севере Урала и в Приуралье (Zhuravlev, 2024) (см. рис. 2). Все найденные экземпляры, принадлежащие роду *Lochriea*, характеризуются небольшими размерами (вероятно, ранние стадии онтогенеза) и слаборазвитой орнаментацией (см. рис. 3), что затрудняет точную видо-диагностику.

Изотопный состав углерода

Изучение изотопного состава углерода в карбонатных породах показало среднее значение $\delta^{13}C_{\text{carb}}$ в алексинском – тарусском горизонтах около 1.5‰ VPDB с понижениями до -2.6 и -0.2‰ VPDB в верхнеалексинском и верхнемихайловском интервалах соответственно (рис. 4). Отрицательный сдвиг в верхней части михайловского горизонта отмечается также по данным (Alekseev et al., 2015). В верхней части веневского и тарусском горизонтах выявлены незначительные колебания величин $\delta^{13}C_{\text{carb}}$ (значения 1.2–1.6‰ VPDB). В протвинском горизонте в разрезе на р. Лужа отмечено низкое значение $\delta^{13}C_{\text{carb}}$ (-5.1‰ VPDB), вероятно обусловленное вторичными преобразованиями (окремнение и перекристаллизация) отложений.

Изотопный состав углерода конодонтовых элементов также достаточно изменчив (см. рис. 4). На фоне среднего значения около -27‰ VPDB отмечается понижение до -30‰ VPDB в веневском го-

Таблица 3. Изотопный состав углерода конодонтовых элементов и вмещающих карбонатов из разреза на р. Изьяю (поднятие Чернышева, Печорская плита)

Table 3. Carbon isotopic composition of conodont elements and host carbonates in the Izyayu River section (Tchernyshev Uplift, Pechora Plate)

Положение от начала разреза, м	Зона по конодонтам	Образец	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, ‰ VPDB	$\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$, ‰ VPDB	Конодонты
0.2	Nodosa	Iz4-1/1	2.0	-27.9	<i>Gnathodus bilineatus</i>
1.17		Iz4-2/3	2.8	-27.0	<i>Idioproniodus</i> sp.
1.17		Iz4-2/3	2.8	-26.6	S-элемент
4.14	Ziegleri	Iz4-2/10	3.1	-26.7	<i>Gnathodus bilineatus</i>
4.14		Iz4-2/10	3.1	-26.1	<i>Gnathodus bilineatus</i>
4.46		Iz4-2/11	3.1	-27.9	<i>Lochriea</i> sp.
4.46		Iz4-2/11	3.1	-27.6	<i>Kladognathus</i> sp.
5.65		Iz4-2/14	2.8	-27.0	<i>Gnathodus bilineatus</i>
6.47		Iz4-2/15	3.2	-24.9	S-элемент
7.9		Iz4-52/98	3.3	-24.2	<i>Mestognathus</i> sp.
8.51		Iz4-45/98	3.3	-25.7	<i>Gnathodus bilineatus</i>
11.78		Iz4-59/98	2.7	-22.5	<i>Mestognathus bipluti</i>
11.78		Iz4-59/98	2.7	-26.1	Фрагмент
14.6		Iz4-62/98	2.9	-25.9	S-элемент
14.73		Iz4-63/98	2.9	-29.4	То же
15.18		Iz41/9	3.0	-25.8	<i>Hindeodus cristulus</i>
16.78		Iz41/12	2.2	-31.5	<i>Lochriea ziegleri</i>
17.54		Iz41/13	2.5	-26.8	S-элемент
21.96		Iz41/16	1.7	-26.3	<i>Gnathodus girtyi</i>
21.96		Iz41/16	1.7	-25.3	<i>Idioproniodus</i> sp.
21.96		Iz41/16	1.7	-27.2	<i>Gnathodus girtyi</i>
22.3		Iz41/17am	1.7	-27.0	<i>Gnathodus bilineatus</i>
22.3		Iz41/17am	1.7	-27.9	<i>Gnathodus</i> sp.
22.3		Iz41/17am	1.7	-27.5	<i>Gnathodus</i> sp.
22.3		Iz41/17am	1.7	-25.7	<i>Idioproniodus</i> sp.
22.3		Iz41/17am	1.7	-26.1	<i>Kladognathus</i> sp.
22.3		Iz41/17am	1.7	-27.7	<i>Vogelgnathus campbelli</i>
22.3		Iz41/17am	1.7	-28.1	<i>Hindeodus spiculus</i>
28.6	Bollandensis	Iz20-3/23	-	-27.5	<i>Idioproniodus</i> sp.

ризонте и повышение до -24‰ VPDB в средней части тарусского горизонта. В стешевском горизонте значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ снижаются до средних по разрезу величин – около -27‰ VPDB . Единичное определение $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в протвинском горизонте в разрезе на р. Лужа составляет -25.4‰ VPDB .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Многочисленные несогласия в разрезе Полотняный Завод препятствуют выявлению отдельных отклонений $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, характерных для верхнего ви-

зе-серпухова во всем мире (Zhuravlev et al., 2023). Ранее отмечалась высокая изменчивость и в целом низкие значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ в разрезе, что связывалось с проявлениями палеокарста и процессов почвообразования (Alekseeva et al., 2016). Проведенные исследования подтверждают данную интерпретацию: значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, полученные для слабоизмененных карбонатов (пак- и вакстоуны), существенно отличаются в сторону больших значений от данных Т.В. Алексеевой с соавторами (Alekseeva et al., 2016), полученных преимущественно из карбонатов, затронутых вторичными процессами.

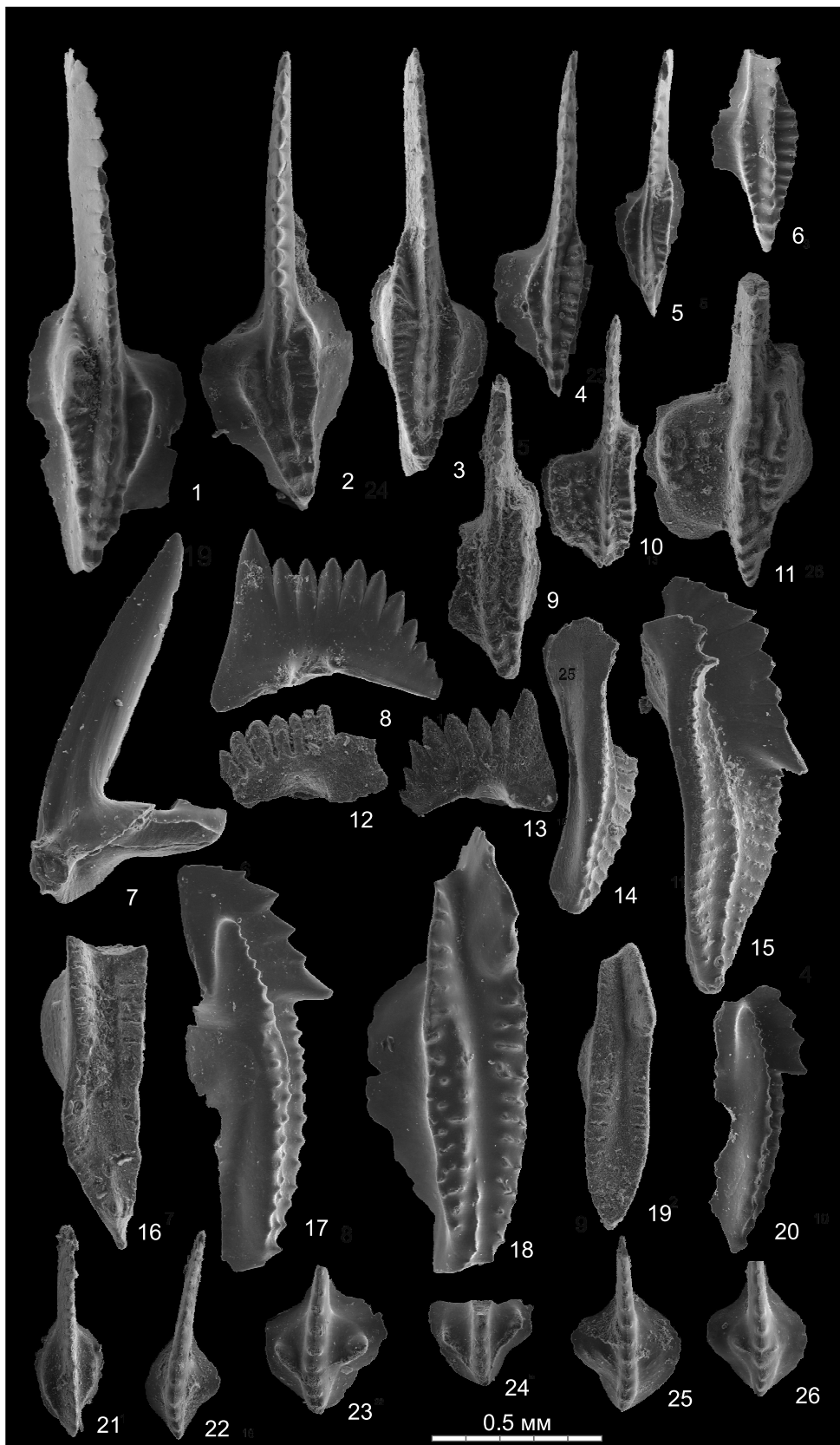


Рис. 3. Конодонты из карьера Полотняный Завод и разреза на р. Лужа (Кременское).

1 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, экз. 15/19, обр. 0505/1, тарусский горизонт; 2 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, экз. 15/24, обр. 0506/5, стешевский горизонт; 3 – *Gnathodus girtyi intermedius* Globensky,

экс. 15/15, обр. 0504/1, веневский горизонт; 4 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, экс. 15/23, обр. 0506/1, стешевский горизонт; 5 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, экс. 15/5, обр. 0502/8, михайловский горизонт; 6 – *Gnathodus girtyi intermedius* Globensky, экс. 15/3, обр. 0502/5, михайловский горизонт; 7 – *Idioproniodus* sp., S элемент, экс. 15/6, обр. 0502/8, михайловский горизонт; 8 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), экс. 15/14, обр. 0504/1, веневский горизонт; 9 – *Gnathodus* sp., экс. 15/25, обр. 0507/6, протвинский горизонт; 10 – *Gnathodus bilineatus* (Roundy), экс. 15/13, обр. 0504/1, веневский горизонт; 11 – *Gnathodus bollandensis* (Higgins et Bouckaert), экс. 15/26, обр. 0507/6, протвинский горизонт; 12 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), экс. 15/12, обр. 0503/3, веневский горизонт; 13 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), экс. 15/18, обр. 0504/2, тарусский горизонт; 14 – *Mestognathus bipluti* Higgins, экс. 15/11, обр. 0502/9, михайловский горизонт; 15 – *Mestognathus beckmanni* Bischoff, экс. 15/4, обр. 0502/8, михайловский горизонт; 16 – *Cavusgnathus* sp., экс. 15/7, обр. 0502/8, михайловский горизонт; 17 – *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, экс. 15/8, обр. 0502/9, михайловский горизонт; 18 – *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, экс. 15/9, обр. 0502/9, михайловский горизонт; 19 – *Cavusgnathus naviculus* (Hinde), экс. 15/2, обр. 0502/2, алексинский горизонт; 20 – *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, экс. 15/10, обр. 0502/9, михайловский горизонт; 21 – *Pseudognathodus homopunctatus* (Ziegler), экс. 15/1, обр. 0502/1, алексинский горизонт; 22 – *Lochriea commutata* (Branson et Mehl), экс. 15/16, обр. 0504/1, веневский горизонт; 23 – *Lochriea senckenbergica* Nemirovskaia, Perret et Meischner, экс. 15/22, обр. 0505/1, тарусский горизонт; 24 – *Lochriea zieglerei* Nemirovskaia, Perret et Meischner, экс. 15/21, обр. 0505/1, тарусский горизонт; 25 – *Lochriea* aff. *monocarinata* Zhuravlev, экс. 15/20, обр. 0505/1, тарусский горизонт; 26 – *Lochriea monocarinata* Zhuravlev, экс. 15/17, обр. 0504/1, веневский горизонт.

Fig. 3. Conodonts from the Polotnyany Zavod and the Luzha River sections.

1 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, specimen 15/19, sample 0505/1, Tarusa Regional Stage; 2 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, specimen 15/24, sample 0506/5, Steshevo Regional Stage; 3 – *Gnathodus girtyi intermedius* Globensky, specimen 15/15, sample 0504/1, Venev Regional Stage; 4 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, specimen 15/23, sample 0506/1, Steshevo Regional Stage; 5 – *Gnathodus girtyi pyrenaicus* Nemirovska et Perret, specimen 15/5, sample 0502/8, Mikhailov Regional Stage; 6 – *Gnathodus girtyi intermedius* Globensky, specimen 15/3, sample 0502/5, Mikhailov Regional Stage; 7 – *Idioproniodus* sp., S элемент, specimen 15/6, sample 0502/8, Mikhailov Regional Stage; 8 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), specimen 15/14, sample 0504/1, Venev Regional Stage; 9 – *Gnathodus* sp., specimen 15/25, sample 0507/6, Protva Regional Stage; 10 – *Gnathodus bilineatus* (Roundy), specimen 15/13, sample 0504/1, Venev Regional Stage; 11 – *Gnathodus bollandensis* (Higgins et Bouckaert), specimen 15/26, sample 0507/6, Protva Regional Stage; 12 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), specimen 15/12, sample 0503/3, Venev Regional Stage; 13 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), specimen 15/18, sample 0504/2, Tarusa Regional Stage; 14 – *Mestognathus bipluti* Higgins, specimen 15/11, sample 0502/9, Mikhailov Regional Stage; 15 – *Mestognathus beckmanni* Bischoff, specimen 15/4, sample 0502/8, Mikhailov Regional Stage; 16 – *Cavusgnathus* sp., specimen 15/7, sample 0502/8, Mikhailov Regional Stage; 17 – *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, specimen 15/8, sample 0502/9, Mikhailov Regional Stage; 18 – *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, specimen 15/9, sample 0502/9, Mikhailov Regional Stage; 19 – *Cavusgnathus naviculus* (Hinde), specimen 15/2, sample 0502/2, Aleksin Regional Stage; 20 – *Cavusgnathus unicornis* Youngquist et Miller, specimen 15/10, sample 0502/9, Mikhailov Regional Stage; 21 – *Pseudognathodus homopunctatus* (Ziegler), specimen 15/1, sample 0502/1, Aleksin Regional Stage; 22 – *Lochriea commutata* (Branson et Mehl), specimen 15/16, sample 0504/1, Venev Regional Stage; 23 – *Lochriea senckenbergica* Nemirovskaia, Perret et Meischner, specimen 15/22, sample 0505/1, Tarusa Regional Stage; 24 – *Lochriea zieglerei* Nemirovskaia, Perret et Meischner, specimen 15/21, sample 0505/1, Tarusa Regional Stage; 25 – *Lochriea* aff. *monocarinata* Zhuravlev, specimen 15/20, sample 0505/1, Tarusa Regional Stage; 26 – *Lochriea monocarinata* Zhuravlev, specimen 15/17, sample 0504/1, Venev Regional Stage.

К сожалению, очень условная привязка к разрезу изотопных данных в работе (Alekseeva et al., 2016, Fig. 9A) не позволяет точно совместить их с нашими результатами.

Сравнение полученных данных с имеющейся информацией по разрезам востока Печорской плиты (Zhuravlev et al., 2023) и Северной Америки (Batt et al., 2007) дает возможность предположить проявление в разрезе Полотняный Завод глобальных изотопных экскурсов по неорганическому углероду. Значительное (на 3‰ VPDB) облегчение изотопного состава углерода карбонатов в верхней части михайловского горизонта (рис. 5 – см. отрицательный экскурс, обозначенный VN3) сопоставимо с отрицательным сдвигом в верхней части конодонтовой зоны 1 Честера Северной Америки (Batt et al., 2007). Надежность такого сопоставления снижается из-за возможности влияния вторичных процессов и локальных вариаций изотопного состава бикарбоната морской воды в мелководном бассейне Московской синеклизы. Низкие значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ в кровле алексинского и михайловского горизонтов

попадают в интервал несогласий, и соответствующие породы, видимо, испытали привнос изотопно-легкого педогенного углерода. Глобальная отрицательная изотопная аномалия в терминальном визе (SN1 – по Zhuravlev et al., 2023) в разрезе не зафиксирована. Возможно, что стратиграфический интервал, отвечающий этой аномалии, приходится на несогласие “Барсуки” или располагается непосредственно выше, где данные по $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ отсутствуют. Последнее предположение частично подтверждается изотопными данными, приведенными для этой части разреза Т.В. Алексеевой с соавторами (Alekseeva et al., 2016).

Более детальная информация получена по изотопному составу углерода конодонтовых элементов. Важное преимущество этих данных заключается в меньшей подверженности конодонтовых элементов вторичным преобразованиям по сравнению с карбонатами и рассеянным органическим веществом (Zhuravlev, 2023). Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ отражают изотопный состав рациона конодонтов и не завысят, в отличие от $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, от изотопного состава

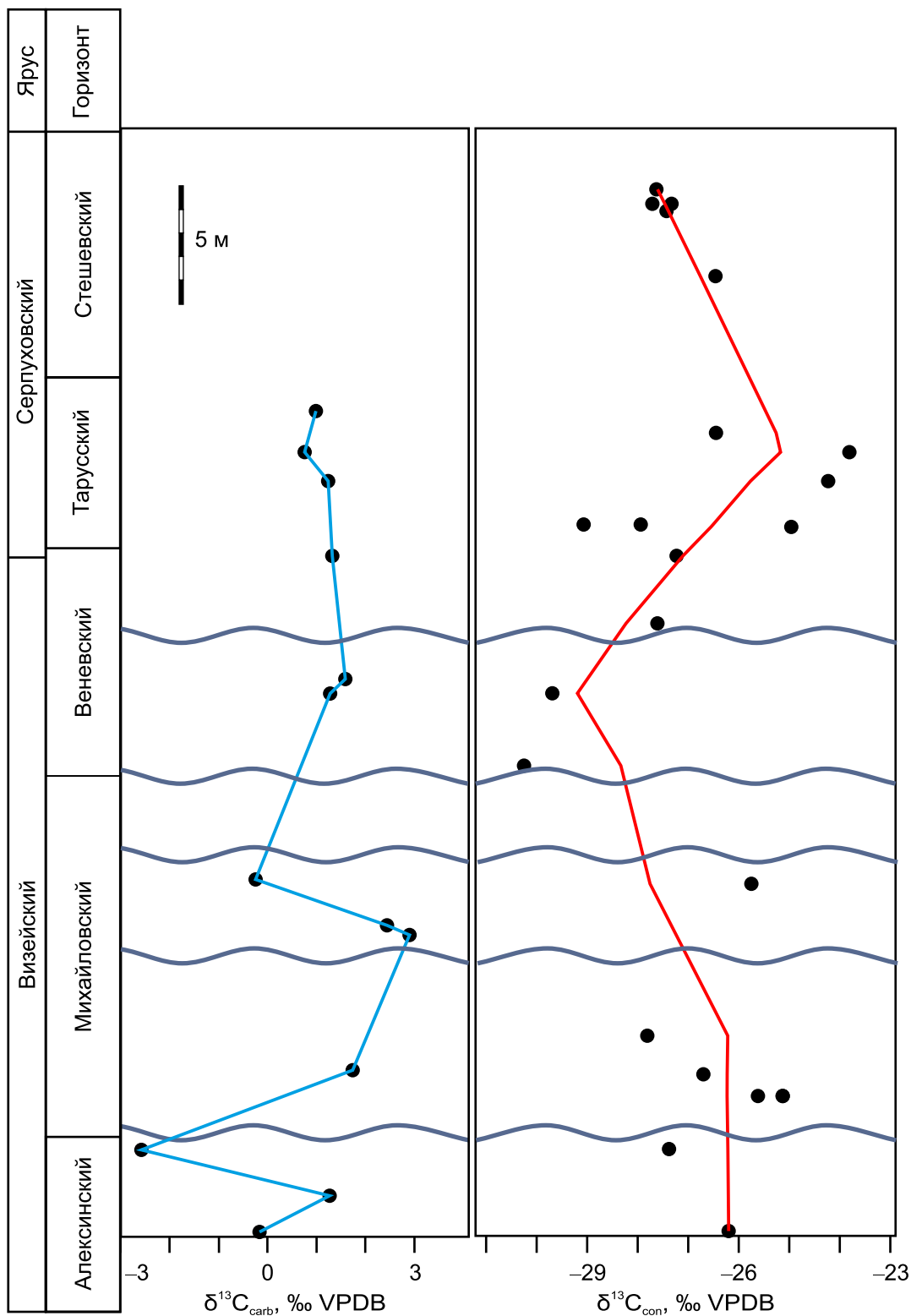


Рис. 4. Изотопный состав углерода карбонатов ($\delta^{13}C_{carb}$) и конодонтов ($\delta^{13}C_{con}$) в разрезе Полотняный Завод. Уровни несогласий обозначены волнистыми линиями. Графики получены путем LOESS сглаживания.

Fig. 4. Carbon isotope composition of carbonates ($\delta^{13}C_{carb}$) and conodonts ($\delta^{13}C_{con}$) in the Polotnyany Zavod section. The levels of unconformities are indicated by wavy lines. The graphs were obtained by LOESS smoothing.

растворенного в морской воде бикарбоната. Поэтому корреляция $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ в общем случае отсутствует (Zhuravlev, 2023). Вариации $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$, скорее всего, контролировались интенсивностью фракционирования изотопов углерода на низких трофических уровнях в пелагической экосистеме. Интенсивность фракционирования, в свою очередь, определялась длиной пищевых цепей, содержанием растворенной углекислоты (функция содержания CO_2 в атмосфере и температуры) и доступностью питательных веществ для фитопланктона. В шельфовых экосистемах ведущую роль, скорее всего, играло содержание углекислоты (Журавлев, 2025). Данная зависимость обеспечивает синхронность изменений $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в палеогеографически удаленных районах и возможность использования существенных экскурсов в качестве стратиграфических маркеров.

В разрезе Полотняный Завод установлены интервалы значительного облегчения изотопного состава углерода конодонтовых элементов в веневском и средней части стешевского горизонтов, а также интервал повышенных значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в тарусском горизонте (см. рис. 5). Облегчение изотопного состава углерода конодонтовых элементов может быть связано с увеличением интенсивности фракционирования изотопов углерода фитопланктоном, вызвавшим снижение $\delta^{13}\text{C}$ во всей пищевой цепи (Zhuravlev, 2023). Такая ситуация могла быть обусловлена, в частности, ростом содержания растворенной в морской воде углекислоты. Повышение значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в тарусском горизонте может быть связано со снижением интенсивности фракционирования изотопов углерода в пелагической экосистеме, возможно, за счет увеличения скорости роста фитопланктона и/или снижения содержания растворенного в морской воде CO_2 .

По вариациям $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ можно выделить два корреляционных интервала (см. рис. 5). Первый характеризуется минимальными значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ и соответствует веневскому горизонту (конодонтовая зона *Lochriea nodosa*). С некоторой долей условности данный уровень опознается в самой нижней части опорного разреза на р. Изъюю (поднятие Чернышева, Печорская плита) (см. рис. 5). Для второго интервала, отвечающего тарусскому горизонту (конодонтовая зона *Lochriea ziegleri*), характерны максимальные значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$. Интервал фиксируется в разрезе на р. Изъюю в нижней части зоны *Lochriea ziegleri* (см. рис. 5). Возможность прослеживания выделенных интервалов в разрезах весьма удаленных регионов (Московская синеклиза и восток Печорской плиты) позволяет предположить их высокий корреляционный потенциал, в том числе для трассирования пограничных визейско-серпуховских отложений в биостратиграфически плохо охарактеризованных разрезах. Первый интервал маркирует веневский горизонт, а второй – нижнюю часть тарусского горизонта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение вариаций изотопного состава углерода в верхневизейско-серпуховском стратиграфическом интервале в карьере Полотняный Завод и на р. Лужа позволило выделить два корреляционных интервала. Первый отвечает отрицательному сдвигу $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ в веневском горизонте, а второй – положительному экскурсу в тарусском горизонте. Оба интервала идентифицированы в разрезе на поднятии Чернышева (восток Печорской плиты) и могут служить дополнительным критерием для межрегиональной корреляции веневского и тарусского горизонтов. Экскурсы $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ имеют большую амплитуду и прослеживаются в рассматриваемых разрезах лучше, чем вариации $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$.

Благодарности

Автор выражает признательность И.В. Смолевой (ЦКП “Геонаука” ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) за проведение изотопных анализов, а также рецензентам за конструктивные замечания, позволившие улучшить статью. Проведение полевых исследований в 2005 г. было бы невозможно без помощи М.Г. Папина, С.Б. Шишлова, И.О. Евдокимовой и Я.А. Вевель, которым автор искренне благодарен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вевель Я.А., Шишлов С.Б., Журавлев А.В. (2007) Фацции и биостратиграфия визейско-серпуховских отложений в разрезе Полотняный Завод (юго-запад Московской синеклизы). *Верхний палеозой России: стратиграфия и палеогеография*. Мат-лы Всерос. конф. Казань: Казанск. гос. ун-т, 51-54.
- Воротникова Г.В., Гаврюшова Е.А., Друцкой С.В., Журавлев А.В., Кириков В.П., Лаврович О.Н., Лаврович Н.Н., Мязина Н.В., Осипова Л.Т., Папин М.Г., Петров Б.В., Русецкая Г.А., Рыборак М.В., Шокурова В.П. (2011) Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (3-е поколение). Сер. Центрально-Европейская. Лист N-36(М-36) – Смоленск. Объясн. записка. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 267 с.
- Журавлев А.В. (2025) Первые данные об изотопном составе углерода конодонтовых элементов из средней перми (казанский ярус) в разрезе Чимбулат (Вятские дислокации, Волго-Уральская антеклиза). *Литосфера*, **25**(3), 438-450. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-3-438-450>. EDN: DQTPYJ
- Махлина М.Х., Вдовенко М.В., Алексеев А.С., Бывшева Т.В., Донакова Л.М., Жулитова В.Е., Кононова Л.И., Умнова Н.И., Шик Е.М. (1993) Нижний карбон Московской синеклизы и Воронежской антеклизы. М.: Наука, 221 с.
- Стратиграфический кодекс России. (2019) 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 96 с.
- Alekseev A.O., Kabanov P.B., Alekseeva T.V., Kalinin P.I. (2015) Magnetic susceptibility and geochemical characterization of an upper Mississippian cyclothemic section

- Polotnyanyi Zavod (Moscow Basin, Russia). *Geol. Soc., Lond., Spec. Publ.*, **414**(1), 181-196.
- Alekseeva T.V., Alekseev A.O., Gubin S.V., Kabanov P.B., Alekseeva V.A. (2016) Palaeoenvironments of the Middle-Late Mississippian Moscow Basin (Russia) from multiproxy study of palaeosols and palaeokarsts. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **450**, 1-16.
- Batt L.S., Montañez I.P., Isaacson P., Pope M.C., Butts S.H., Abplanalp J. (2007) Multi-carbonate component reconstruction of mid-Carboniferous (Chesterian) seawater $\delta^{13}\text{C}$. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **256**, 298-318.
- Kabanov P.B., Alekseev A.S., Gibshman N.B., Gabdul-lin R.R., Bershov A.V. (2016) The upper Viséan-Serpukhovian in the type area for the Serpukhovian Stage (Moscow Basin, Russia). Pt 1. Sequences, disconformities, and biostratigraphic summary. *Geol. J.*, **51**, 163-194.
- Zhuravlev A.V. (2023) Carbon isotope study of conodont elements: Applications and limitations. *Mar. Micropaleontol.*, **178**, 102200.
- Zhuravlev A.V., Vevel Y.A., Gruzdev D.A., Erofeevsky A.V. (2023) Late Mississippian (early Serpukhovian) carbon isotope record of northern Laurussia: A proposal for the Viséan/Serpukhovian boundary. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, **40**(1), 35-43.
- Kabanov P.B., Alekseev A.S., Gibshman N.B., Gabdul-lin R.R., Bershov A.V. (2016) The upper Viséan-Serpukhovian in the type area for the Serpukhovian Stage (Moscow Basin, Russia). Pt 1. Sequences, disconformities, and biostratigraphic summary. *Geol. J.*, **51**, 163-194.
- Makhlina M.H., Vdovenko M.V., Alekseev A.S., Byvsheva T.V., Donakova L.M., Zhulitova V.E., Kononova L.I., Umnova N.I., Shik E.M. (1993) Lower Carboniferous of the Moscow Syncline and Voronezh Anticline. Moscow, Nauka Publ., 221 p. (In Russ.)
- Stratigraphic Code of Russia. (2019) 3rd ed., corr. and suppl. St.Petersburg, Izdatel'stvo VSEGEI, 96 p. (In Russ.)
- Vevel Y.A., Shishlov S.B., Zhuravlev A.V. (2007) Facies and biostratigraphy of Viséan-Serpukhovian deposits in the Polotnyanyi Zavod section (south-west of the Moscow Syncline). *Upper Paleozoic of Russia: Stratigraphy and Paleogeography*. Proc. of the All-Rus. Conf. Kazan, Kazanskii Gosudarstvennyi Universitet Publ., 51-54. (In Russ.)
- Vorotnikova G.V., Gavryushova E.A., Drutskoi S.V., Zhuravlev A.V., Kirikov V.P., Lavrovitch O.N., Lavrovitch N.N., Myazina N.V., Osipova L.T., Papin M.G., Petrov B.V., Rusetskaya G.A., Ryborak M.V., Shokurova V.P. (2011) State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (3rd gener.). Central European series. Sheet N-36(M-36) – Smolensk. Explan. note. St.Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 267 p. (In Russ.)
- Zhuravlev A.V. (2023) Carbon isotope study of conodont elements: Applications and limitations. *Mar. Micropaleontol.*, **178**, 102200.
- Zhuravlev A.V. (2025) First data on the carbon isotope composition of conodont elements from the Middle Permian (Kazanian Stage) of the Tchimbulat section (Vyatka Dislocations, Volga-Ural Anticline). *Lithosphere (Russia)*, **25**(3), 438-450. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-3-438-450>. EDN: DQTPYJ
- Zhuravlev A.V., Vevel Y.A., Gruzdev D.A., Erofeevskii A.V. (2023) Late Mississippian (early Serpukhovian) carbon isotope record of northern Laurussia: A proposal for the Viséan/Serpukhovian boundary. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, **40**(1), 35-43.

REFERENCES