УДК 551.762.2:551.86

ИЗОТОПЫ С, О И Sr В РОСТРАХ БЕЛЕМНИТОВ ИЗ БАЙОСА—БАТА АРКТИЧЕСКОЙ СИБИРИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

О.С. Дзюба^{1,2}, Б.Н. Шурыгин^{1,2}, О.П. Изох^{2,3}, А.Б. Кузнецов⁴, И.Н. Косенко^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

³Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

⁴Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2, Россия

Среднеюрские отложения Сибири практически не изучены хемостратиграфическим методом. На основе исследования карбонатного материала ростров белемнитов, происходящих с п-ова Юрюнг-Тумус и низовьев р. Лена, впервые получена комплексная С-, О- и Sr-изотопная характеристика большей части байоса и нижнего бата севера Сибири. В работе также обобщены δ^{13} С и δ^{18} О характеристики и новые ⁸⁷Sr/86Sr данные, которые стали хемостратиграфической основой нижнего бата в разрезе Сокур (Центральная Россия). Вкупе с имеющимися биостратиграфическими данными хемостратиграфия, несмотря на ограниченное количество материала, позволила надежно сопоставить бореальные разрезы с северозападно-европейским первичным стандартом, что недостижимо в исследуемом интервале при использовании только одного из этих методов. Охарактеризованы взаимосвязи между изменениями δ^{13} C, δ^{18} O, 87 Sr/ 86 Sr, эвстатики, климата, тектоническими и палеогеографическими событиями. По δ^{18} О данным и рассчитанным по ним палеотемпературам для двух временных интервалов (конец раннего байоса, рубеж байос/бат) регистрируются кратковременные значительные повышения температуры морской воды у арктического побережья Сибири, что приходится на эпизоды глобального подъема уровня моря. С эвстатическими событиями предположительно связывается двукратное открытие на территории Русской плиты меридионального морского пролива Коми (наименование дано впервые), временно соединявшего северные и южные моря, меняя схему циркуляции водных масс. Как предполагается, раскрытие пролива могло приводить к периодическому поступлению теплого течения, идущего с юга на север, которое достигало северосибирских акваторий, неся тепло и влияя на изотопный состав кислорода в рострах белемнитов.

Средняя юра, хемостратиграфия, биостратиграфия, бореально-тетическая корреляция, палеотемпературы, морские течения, проливы, Северная Евразия

C, O, AND SR ISOTOPE COMPOSITIONS OF BELEMNITES FROM THE BAJOCIAN–BATHONIAN OF ARCTIC SIBERIA: IMPLICATIONS FOR GLOBAL CORRELATIONS AND PALEOGEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS

O.S. Dzyuba, B.N. Shurygin, O.P. Izokh, A.B. Kuznetsov, I.N. Kosenko

The Middle Jurassic sedimentary strata of Siberia remain poorly studied chemostratigraphically. We contribute to the knowledge with pioneering C, O, and Sr isotopic data for carbonate material of belemnites from the Yuryung-Tumus Peninsula and the lower reaches of the Lena River, as a basis for comprehensive description of the north Siberian Bajocian and lower Bathonian. The obtained chemostratigraphic constraints, with new 87 Sr/ 86 Sr ratios and previous δ^{13} C and δ^{18} O estimates, also include data for the lower Bathonian in the Sokur section (Central Russia). Despite the limited amount of material, chemostratigraphy, along with the available biostratigraphic data, allows reliable correlation of the Boreal sections with the primary standard of Northwest Europe, which is impossible for these strata with any of the two methods alone. The δ^{13} C, δ^{18} O, and 87 Sr/ 86 Sr patterns correlate with the records of eustatic, climatic, tectonic, and paleogeographic events. The new δ^{18} O data and the inferred paleotemperatures for the latest early Bajocian and the Bajocian/Bathonian boundary reveal two excursions of notable seawater warming near the Siberian Arctic coast, which were synchronous with episodes of global sealevel rise. It was presumably during the eustatic events that the N–S Komi Strait (first naming) opened twice in the territory of the Russian Plate. The strait connected the Boreal and Tethyan seas and thus changed the oceanic circulation patterns. Specifically, it opened a gateway for a warm current from the south to northern Siberia responsible for the high seawater temperatures recorded in the δ^{18} O patterns of belemnites.

Middle Jurassic, chemostratigraphy, biostratigraphy, Boreal–Tethyan correlation, paleotemperatures, sea current, strait, Northern Eurasia

© Дзюба О.С.[∞], Шурыгин Б.Н., Изох О.П., Кузнецов А.Б., Косенко И.Н. [∞]e-mail: dzyubaos@ipgg.sbras.ru

введение

Несмотря на то, что первичный международный зональный стандарт средней юры разработан на разрезах Северо-Западной Европы и нередко именуется как «суббореальный» [Callomon, 2003; Callomon et al., 2015; Morton et al., 2020; Vickers et al., 2022; и др.], в интервале аалена—бата он основан на аммонитах сугубо тетического происхождения. Развитие тетического типа фауны в северо-западно-европейских морях этого времени связано со значительным ограничением норвежско-гренландского морского пути — коридора Викинг [Меледина и др., 2005; Шурыгин, 2005; Dera et al., 2015; Korte et al., 2015; и др.]. Считается, что обмен водными массами между северным и южным морскими бассейнами заблокировало Североморское сводово-купольное поднятие, сформированное астеносферным плюмом [Korte et al., 2015]. По имеющимся палеонтологическим данным, в позднем байосе—среднем бате оказался закрытым также миграционный морской путь между западной окраиной Тетис и Восточной Пацификой — Испанский коридор, за исключением, как предполагается, позднебайосского хрона Parkinsoni [Fernandez-Lopez, Chong Diaz, 2011, 2014]. Все это сильно усложняет прослеживание биохроностратиграфических подразделений большей части средней юры в Арктических и Тихоокеанских регионах, а соответственно, и корреляцию событий разной природы, одновременно обусловливая повышенный интерес к использованию непалеонтологических методов решения стратиграфических задач.

Исследованию вариаций изотопов углерода, кислорода и стронция в среднеюрских отложениях в мировой литературе посвящено немало работ. В интервале байоса-бата для ряда европейских тетических разрезов на основе исследования матрикса карбонатных пород или карбонатного материала ростров белемнитов построены кривые вариаций изотопов этих элементов [Jones et al., 1994; Jenkyns et al., 2002; Hesselbo et al., 2003; O'Dogherty et al., 2006; Wierzbowski, Joachimski, 2007; Brigaud et al., 2009; Gómez et al., 2009; Price, 2010; Dera et al., 2011; Wierzbowski et al., 2012, 2017; Korte et al., 2015; Price et al., 2018]. Первые С- и О-хемостратиграфические характеристики недавно получены и для суббореального нижнего бата европейской части России [Дзюба и др., 2017]. Опубликованы также данные по изотопам углерода, кислорода и стронция в рострах белемнитов из среднеюрских отложений Западной Канады, однако сопоставление этих отложений со стандартной шкалой было выполнено гипотетически ввиду редкости в них аммонитов и слабой таксономической изученности представителей других групп фоссилий, включая белемнитов [Hall et al., 2004]. Довольно многочисленные δ^{13} С и δ^{18} О данные недавно получены по средневерхнеюрским бореальным белемнитам Восточной Гренландии [Vickers et al., 2022], однако эти данные имеют привязку с точностью лишь до аммонитовой зоны, исключая тем самым возможность наблюдения изменений изотопных характеристик внутри биостратиграфических зон. Для реконструкций палеоклимата высоких палеоширот данные по δ^{18} О в раковинах морских моллюсков привлекаются давно, однако для байоса—бата имеются лишь единичные определения [Берлин и др., 1966; Тейс и др., 1968; Берлин, Хабаков, 1970], полученные до ужесточения требований к пробоотбору и проверке качества материала. Для решения стратиграфических задач средней юры Сибири изотопногеохимический метод не привлекался.

В отношении закономерностей изменения δ¹³C, δ¹⁸O и ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в течение байоса—бата больше всего ясности с глобальными изотопно-углеродными экскурсами и рубежными событиями, которые к настоящему времени проиндексированы — EBjE (раннебайосский экскурс, позитивный), BjBaBE (байос-батское рубежное событие), LBaE (позднебатский экскурс, негативный) [Geologic..., 2020], хотя природа этих изменений по-прежнему дискутируется [Dera et al., 2011; Suchéras-Marx et al., 2012; Price et al., 2018; Bodin et al., 2020]. По изотопам кислорода и стронция в рассматриваемом интервале имеется определенный дефицит данных, отмечаемый многими исследователями. В первом случае это по большей мере связано с недостатком работ по разным регионам для палеоклиматических реконструкций, во втором — с недостатком данных по отдельным стратиграфическим интервалам, особенно по пограничному интервалу нижнего и верхнего байоса. Настоящая работа отчасти заполняет имеющиеся пробелы в исследованиях.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ И МАТЕРИАЛА

Разрез Юрюнг-Тумус (обн. 17, 19, 20, по [Меледина и др., 1987]) (рис. 1, 2, *a*). Морские осадочные отложения байос-батского возраста на п-ове Юрюнг-Тумус обнажаются преимущественно на восточном его берегу, выходя на поверхность на протяжении порядка 2.8 км в серии блоков, ограниченных разломами. Хорошо опознаваемые маркирующие горизонты с характерными литологическими, тафономическими и палеонтологическими признаками позволяют достаточно уверенно сопоставлять обнажения отдельных блоков и определять их место в сводном разрезе [Меледина и др., 1987]. Общая мощность байос-батских отложений (пачки XV—XXI) здесь составляет порядка 190 м, из которых нижние 31.5 м приходятся на верхнюю часть преимущественно песчаной арангастахской свиты, тогда как в остальной части разреза вскрывается юрюнг-тумусская свита, представленная преимущественно алев-



Рис. 1. Местонахождение изученных разрезов.

ролитами разной степени зернистости, аргиллитами и редкими прослоями песчаников, которые как правило не превышают 1 м по мощности. Результаты таксономических исследований разреза Юрюнг-Тумус отражены в монографических работах по аммонитам [Воронец, 1962; Меледина, 1973, 1994; Шамонин и др., 2023], белемнитам [Сакс, Нальняева, 1964, 1966, 1975; de Lagausie, Dzyuba, 2017; Dzyuba, de Lagausie, 2018], двустворкам [Захаров, Шурыгин, 1978; Шурыгин, 2005; Урман и др., 2022], фораминиферам и остракодам [Никитенко, 2009]. Довольно часто в разрезе встречаются криноидеи, редко — гастроподы, брахиоподы, серпулиды [Меледина и др., 1987].

Раковины головоногих моллюсков обнаружены практически исключительно в пачках XVII-XXI, седиментация которых происходила в умеренно мелководных обстановках в условиях средней сублиторали-внешней части верхней сублиторали [Никитенко и др., 2013]. Соответственно по аммонитам и белемнитам предложено расчленение верхней половины байоса-бата (см. рис. 2, а). В непрерывной последовательности здесь установлены типично бореальные аммонитовые зоны (а-зоны) Boreiocephalites borealis, Cranocephalites gracilis, Arctocephalites arcticus, A. greenlandicus (бывшая «зона A. aff. greenlandicus») и Arcticoceras ishmae¹. При этом ввиду недостаточности палеонтологических данных разделение а-зон Arctocephalites greenlandicus и Arcticoceras ishmae в изученном разрезе по-прежнему остается недостижимым. Выше с биостратиграфическим пропуском (соответствует a-зоне Arcticoceras cranocephaloide—нижней части a-зоны Paracadoceras variabile бореальной шкалы) и отчасти со стратиграфическим перерывом залегают слои с *Catacadoceras* sp., приблизительно отвечающие верхней части базальной для верхнего бата a-зоны P. variabile [Шамонин и др., 2023]. Примечательно обособление подзоны Охуcerites jugatus в нижней части a-зоны Arctocephalites arcticus, поскольку эта подзона основана на викарном виде из широко распространенного в Северном полушарии рода Oxycerites [Imlay, 1980; Меледина, 1994, 2014; Schweigert et al., 2007]. По белемнитам (bl) установлены пять биостратиграфических зон [de Lagausie, Dzyuba, 2017], включая bl-зону Paramegateuthis subishmensis, используемую для бореальнотетической корреляции, и bl-зону P. ishmensis, основание которой в стратотипическом разрезе в бассейне р. Ижма (бассейн р. Печора, север европейской части России) установлено вблизи подошвы а-зоны Arcticoceras ishmae, проблемной для обособления на п-ове Юрюнг-Тумус [Mitta et al., 2015]. В отличие от головоногих, двустворчатые моллюски (b), фораминиферы (f) и остракоды (o) характерны для всех байос-батских пачек разреза Юрюнг-Тумус [Меледина и др., 1987; Никитенко и др., 2013; Урман и др., 2022]. По двустворкам в рассматриваемом интервале разреза ныне установлена практически полная последовательность ретроцерамовых зон бореального стандарта байоса-бата, обеспечивающая широкие межрегиональные корреляции [Меледина и др., 1987; Урман и др., 2022]. Выделены зоны по фораминиферам и остракодам [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013].

¹ В целях унификации бореальных аммонитовых шкал а-зона Arcticoceras ishmae принимается в объеме двух ранее выделяемых на севере Сибири а-зон A. harlandi и A. ishmae, учитывая также существующее мнение, что названия видовиндексов являются синонимами [Киселев, 2022].



Рис. 2. Литологическая, биостратиграфическая и изотопная (δ^{18} O, δ^{13} C, 87 Sr/ 86 Sr) характеристики байоса и бата в разрезах Юрюнг-Тумус (*a*) и Северная Чекуровка (*б*).

1 — аргиллиты; 2 — глинистые алевролиты; 3 — алевролиты; 4 — песчаные алевролиты; 5 — песчаники; 6 — известковые алевролиты (*a*), известковые песчаники (*б*); 7 — известковые конкреции; 8 — прослои ракушняка; 9 — глендониты; 10 — галька (*a*), ископаемая древесина (*б*); 11 — глауконит (*a*), пирит (*б*). Кел. — келимярская свита, Ст. — стан-юряхская свита.

Разрез Северная Чекуровка (обн. 2, по [Меледина и др., 1991]) (см. рис. 1, 2, б). В низовьях Лены на левом берегу реки в 10 км ниже по течению от пос. Чекуровка выходят на поверхность среднеюрские отложения, которые начинаются с верхов байоса и на протяжении следующих почти 8 км вдоль реки постепенно, хотя и не без стратиграфических перерывов, наращиваются до низов келловея. По результатам полевых работ 2019 г. мощности ранее выделенных в разрезе пачек І—ІХ [Меледина и др., 1991] были пересчитаны [Шамонин, Князев, 2020; Шамонин и др., 2020] и в настоящей работе приводятся с учетом пересчета. Расчленение разреза на свиты также принимается с учетом внесенных коррекций [Шамонин и др., 2020, 2023]. Общая мощность наблюдаемых среднеюрских отложений составила 171.8 м, из которых нижние 11.3 м приходятся на верхнюю часть существенно глинистой келимярской свиты, большая часть разреза отвечает алевритопесчаной чекуровской свите, а верхние 9.8 м сложены преимущественно глинисто-алевритовыми породами нижней части стан-юряхской свиты (см. рис. 2, б). Палеонтологические данные обобщены в ряде работ [Меледина и др., 1991; Шурыгин, 2005; Никитенко, 2009; Шамонин, Князев, 2020; Шамонин и др., 2020, 2023]. В целом фоссилии в разрезе довольно редки, хотя и разнообразны. Среди макрофауны преобладают двустворчатые преимущественно рода Retro*ceramus*, реже встречаются аммониты, белемниты, гастроподы, брахиоподы и скафоподы. Микрофауна (фораминиферы) выделена только из образцов, собранных в самых низах разреза. Микрофитофоссилии установлены по всему разрезу: в палинологических спектрах преобладают споры и пыльца наземных растений; микрофитопланктон (акритархи и единичные диноцисты) обнаружен исключительно в нижних трех пачках.

Седиментация чекуровской свиты пришлась на регрессивный этап развития сибирских бассейнов и происходила в изученном районе в крайне мелководных обстановках в условиях авандельты литорали и верхней сублиторали [Каплан и др., 1979; Шурыгин и др., 2000]. Вероятно, с этим связаны размывы, особенно заметные в верхних горизонтах рассматриваемой толщи, а также выпадение из разреза а-зоны Arcticoceras cranocephaloide среднего бата (полностью либо частично), нижней части a-зоны Paracadoceras variabile и целиком a-зон Catacadoceras calvx и Cadoceras apertum верхнего бата бореальной шкалы [Шамонин и др., 2023]. В целом в докелловейском интервале разреза Северная Чекуровка по аммонитам установлены (прослежены) a-зоны Arctocephalites arcticus, A. greenlandicus, Arcticoceras ishmae и после биостратиграфического перерыва — слои с *Catacadoceras barnstoni* [Меледина и др., 1991; Шамонин, Князев, 2020; Шамонин и др., 2023]. При этом точное положение границ всех этих подразделений остается неизвестным ввиду малочисленности находок аммонитов. Весьма информативна для расчленения и корреляции этого разреза зональная последовательность, установленная по ретроцерамам: b-зоны Retroceramus retrorsus², R. polaris, R. bulunensis и R. vagt [Меледина и др., 1991; Шамонин и др., 2020]. Судя по комплексам амммонитов и ретроцерамов, разрез Северная Чекуровка, наиболее вероятно, начинается с интервала, соответствующего a-зоне A. arcticus практически в ее полном объеме. О том же, судя по имеющимся данным [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013], свидетельствует и положение в разрезе f-зоны Riyadhella sibirica — единственной распознаваемой здесь зоны по фораминиферам. По белемнитам установлены две биостратиграфические зоны — bl-зоны Cylindroteuthis spathi и Paramegateuthis ishmensis [Меледина и др., 1991; Шамонин и др., 2020]. Также в этом разрезе выделены два слоя со спорами и пыльцой [Меледина и др., 1991]. Вместе с тем положение границы байоса—бата определить возможно здесь лишь с определенной долей условности (см. рис. 2, б).

Материал. Белемниты в изученных разрезах представлены главным образом видами рода Paramegateuthis (Megateuthididae), наряду с которыми, начиная с а-зоны Cranocephalites gracilis, встречаются единичные Cylindroteuthis и Pachyteuthis (Cylindroteuthididae), полностью сменяющие мегатеутидид лишь в верхнем бате [Dzyuba, de Lagausie, 2018; Шамонин и др., 2020]. В целом ростры белемнитов довольно редки, что типично для байоса—бата высокоширотных арктических районов и несколько ограничивает возможности использования хемостратиграфического метода. Для изотопно-геохимического исследования были привлечены преимущественно Paramegateuthis spp. (табл. S1, S2, дополнительные материалы: https://sibran.ru/journals/Suppl Dzuba.pdf). Представители этого рода обладали сжатым с боков ростром небольшого или среднего размера с хорошо развитыми спинно-боковыми привершинными бороздами, конической, реже цилиндроконической формы. Ареал рода Paramegateuthis, помимо арктических морей, для которых он наиболее характерен, временами охватывал также суббореальные и перитетические бассейны [Dzyuba, de Lagausie, 2018]. Наиболее длинноростровые формы, в частности вид Paramegateuthis nescia, известны не только в относительно мелководных обстановках, но также из области открытого моря [Сакс, Нальняева, 1979]. Все это позволяет предполагать наличие среди Paramegateuthis довольно активных пловцов и, соответственно, по аналогии с представителями Cylindroteuthis и Pachyteuthis [Zakharov et al., 2014; Дзюба и др., 2018; и др.], некоторую вероятность влияния мигриру-

² Выделяется в настоящей работе с учетом находок *Retroceramus* cf. *retrorsus* на разных уровнях в пачке I [Меледина и др., 1991].

ющего образа жизни этих белемнитов на изотопный состав кислорода в их рострах. Единичные экземпляры *Cylindroteuthis* (разрез Юрюнг-Тумус) и *Pachyteuthis* (разрез Северная Чекуровка), вовлеченные в анализ, как будет показано ниже, оказались преобразованными в ходе диагенеза и потому отбракованы. Всего изучено 11 образцов с десяти различных уровней разреза Юрюнг-Тумус и семь образцов с семи уровней разреза Северная Чекуровка. По совокупности материала, происходящего из этих двух сибирских разрезов, был опробован интервал от а-зоны Boreiocephalites borealis до а-слоев с *Catacadoceras barnstoni* (или их аналогов — слоев с *Catacadoceras* sp. в разрезе Юрюнг-Тумус) включительно.

Дополнительно на изотопный состав стронция изучены белемниты с 18 различных уровней нижнего бата суббореального разреза Сокур (окрестности г. Саратов, Центральная Россия) — 18 проб, по которым ранее были получены данные по δ^{13} С и δ^{18} О, а также результаты ИСП-МС анализа содержания элементов-примесей в кальците ростров и доказано отсутствие постседиментационного преобразования карбонатного вещества [Дзюба и др., 2017]. В этом разрезе белемниты относительно более многочисленны [Mitta et al., 2014; Ипполитов, 2018а, 2018б]. Изученные на стабильные изотопы и геохимию элементов экземпляры принадлежат видам *Pachyteuthis optima* и *P. bodylevskii* (Cylindroteuthididae) арктического происхождения, собраны в интервале а-зон Oraniceras besnosovi (суббореальный аналог а-зоны Arctocephalites greenlandicus, по [Mitta et al., 2014]) — Arcticoceras ishmae, включая отнесенные к последней отложения, соответствующие верхней части bl-слоев с *Pachyteuthis optima* в пределах b-зоны Retroceramus vagt, не содержащие аммониты (см. доп. мат., табл. S1). Раннебатский возраст кровли blслоев с *P. optima* не противоречит результатам комплексного магнито- и хемостратиграфического исследования разреза Сокур [Дзюба и др., 2017]. Кроме того, достоверные находки вида *P. optima* выше обозначенной границы не известны за пределами Центральной России, в частности в Арктике [Dzyuba, de Lagausie, 2018].

методы

Анализ элементного (Ca, Mg, Al, Mn, Fe, Sr) и изотопного (C, O и Sr) состава проводился с использованием карбонатного вещества ростров белемнитов. Не имеющие видимых признаков постседиментационных изменений, в том числе и в поперечном сечении, ростры зачищались с внешней стороны с помощью микродрели. При необходимости дополнительно изготавливались шлифы, которые изучались на сканирующем электронном микроскопе с катодолюминесцентным детектором с целью исключения из дальнейшего анализа ростров с микротрещинами и связанными с ними диагенетически преобразованными зонами, которые характеризуются люминесценцией. В дальнейшем ростры раскалывали на кусочки, из них выбирали наиболее удаленные от альвеолярной части, вершины, осевой линии и внешней поверхности ростра, которые наиболее подвержены диагенетическим изменениям [Rosales et al., 2001; Wierzbowski, Joachimski, 2009; Armendáriz et al., 2012]. Далее следовал анализ сохранности микроструктуры кусочков ростров на микроскопе Stemi 508. Из образцов, не имеющих признаков нарушения микроструктуры ростров (следов перекристаллизации, заполнения осадками, а также микротрещин), вымытых в дистиллированной воде и высушенных, изготавливалась карбонатная пудра путем измельчения в агатовой ступке до гомогенного состояния. Контролировалась окраска пудры — чистый белый цвет без оттенков. В случаях, когда ростр трудно было извлечь из породы, не разрушив его, отбор материала для анализа производился путем высверливания.

Изотопно-геохимический анализ проб производился в соответствии с протоколами, предусматривающими получение надежных и качественных данных [Rosales et al., 2001; Кузнецов и др., 2012; Ullmann, Korte, 2015], чему авторы неизменно следуют, учитывая развитие методологий [Dzyuba et al., 2013; Дзюба и др., 2017; Кузнецов и др., 2017]. Для оценки сохранности карбонатного вещества и его геохимических характеристик использовались также такие критерии, как величина отношения Mg/Ca в качестве показателя степени доломитизации карбонатного вещества, величины отношений Fe/Sr и Mn/ Sr — как показатели постседиментационного воздействия метеорных вод. Определение содержания Al в растворимой части карбонатного вещества выполнялось для оценки вклада терригенной составляющей в полученные величины концентраций Fe и Mn. Кроме того, проводился анализ отсутствия/наличия корреляции в изменениях изотопного состава углерода и кислорода и содержаниями Fe, Mn, Sr в образцах.

Анализ элементного состава проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Element II (Finnigan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) в кислотной вытяжке карбонатных пород, полученной путем растворения карбонатного порошка в 1N соляной кислоте в течение 48 ч. По окончании реакции раствор отделяли от терригенного осадка путем центрифугирования при 5000 оборотах в течение 40 мин с использованием центрифуги ROTINA 800 Hettich. Аналитическая погрешность составляет менее 10 % при концентрации не менее чем в три раза выше предела обнаружения. Анализ изотопного состава углерода и кислорода проводился на комплексе IRMS Finnigan MAT-253 с приставкой он-лайн пробоподготовки GasBench-II. Точность измерений δ^{13} С и δ^{18} О карбо-

натного вещества контролировалась международными стандартами NBS-18 и NBS-19 и составляла не менее 0.1 ‰ для δ¹³С и не менее 0.2 ‰ для δ¹⁸О. Многоэлементный (ICP-MS) и С- и О-изотопный анализы выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Адаптация методов пробоподготовки и измерений, а также подходов к интерпретации данных производилась в рамках работ по государственному заданию ИГМ СО РАН 122041400171-5.

На основе δ^{18} О данных, полученных по диагенетически неизмененным белемнитам, произведен расчет палеотемператур по формуле T (°C) = 16.0 – 4.14·($\delta_c - \delta_w$) + 0.13·($\delta_c - \delta_w$)² [Anderson, Arthur, 1983], где δ_c — изотопный состав кислорода в кальците (поставлен в соответствие стандарту V-PDB), δ_w — изотопный состав кислорода морской воды, в которой отлагался кальцит, поставленный в соответствие стандарту SMOW (принято равным –1 ‰). Произведенные расчеты имеют, скорее, информационный характер о данных в соответствии с одной из широко принятых для юры методик определения палеотемператур, отчасти отражая проблемы имеющихся подходов, не учитывающих весьма вероятные различия изотопного состава кислорода в морской воде между высокими и низкими широтами [Roche et al., 2006; и др.].

Для исследования методом SIS (стронциевой изотопной стратиграфии) химическая обработка образцов белемнитов включала предварительную ультразвуковую отмывку в очищенной воде и последующее растворение в 1N HCl [Кузнецов и др., 2012, 2018]. Измерение изотопного состава стронция проводилось на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в режиме одновременной регистрации ионных токов всех изотопов. Воспроизводимость параллельных измерений изотопных стандартов SRM-987 и EN-1 составила $\pm 0.006\%$ (2SD). Расхождение отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в образцах по результатам повторных опытов не превышало 0.000006. Все значения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в изученных образцах приведены к единому значению в стандарте SRM-987 = 0.710250. Исследования выполнены в ЦКП «АИРИЗ» — высокотехнологичном лабораторном комплексе на базе Института геологии и геохронологии докембрия PAH [Кузнецов и др., 2022].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка сохранности карбонатного вещества. Все значения Mg/Ca в карбонатном веществе ростров белемнитов разрезов Юрюнг-Тумус и Северная Чекуровка не превышают 0.007, в среднем составляя 0.004, что свидетельствует об отсутствии доломитизации, нередко сопровождающей процессы постседиментационного преобразования карбонатного вещества [Veizer, 1983]. Зачастую со стадией диагенеза связан также привнос в карбонатную систему таких элементов, как Fe и Mn, с одновременным выносом Sr [Brand, Veizer, 1980]. Ростры белемнитов, которые сложены низкомагнезиальным кальцитом, обладают наибольшей устойчивостью к постседиментационной перекристаллизации по сравнению с раковинами других ископаемых организмов, например, аммонитов и брахиопод [Rosales et al., 2001; Metodiev, Koleva-Rekalova, 2008; Wierzbowski, Joachimski, 2009; Wierzbowski et al., 2017; Рудько и др., 2017; Zakharov et al., 2021, 2022]. Большинство изученных образцов сибирских белемнитов обладают высоким содержанием Sr (>1000 г/т) и довольно низким содержанием Mn (<50 г/т), однако лишь 50 % образцов характеризуется низкими значениями Fe (<150 г/т), т. е. показателями, удовлетворяющими строгим критериям сохранности карбонатного вещества либо по одному—двум из этих параметров, даже превосходящих принятые в ряде публикаций [Price, 2010; Armendáriz et al., 2012; Wierzbowski et al., 2012, 2017; и др.]. Две пробы, полученные путем сверления ростров белемнитов из а-слоев с Catacadoceras sp. разреза Юрюнг-Тумус и отличающиеся наиболее низким содержанием Sr (892 и 970 г/т), одновременно имеют повышенное содержание Fe (350 и 990 г/т соответственно), что может указывать на загрязнение этих проб материалом из перекристаллизованных участков ростров [Veizer, 1983]. Ростр из а-зоны Arcticoceras ishmae разреза Северная Чекуровка, характеризующийся повышенным содержанием Mn (123 г/т) наряду с повышенным содержанием Fe (486 г/т), также исключен из анализа (см. табл. S2). Остальные образцы с повышенным содержанием Fe (218—967 г/т) имеют низкое содержание Mn (20—51 г/т) при высоком содержании Sr (1032—1514 г/т). При этом практически все из них характеризуются ненулевым содержанием Al, что указывает на контаминацию анализируемого раствора железом терригенной компоненты, в связи с чем содержание Fe и Fe/Sr критерий необходимо рассматривать в совокупности с содержанием терригенной примеси [Izokh et al., 2015], а решающую роль для оценки сохранности этих образцов имеют содержание Mn и Mn/Sr критерий.

На бинарных диаграммах видна лишь слабая корреляция ($R^2 = 0.3618$) между содержаниями Fe и Mn, тогда как зависимости между содержаниями Sr и Mn, Sr и Fe и вовсе отсутствуют (рис. 3), что является показателем хорошей сохранности карбонатного вещества по крайней мере у большинства ростров белемнитов. В этом утверждении мы исходим из того, что при наличии диагенетических изменений наблюдается положительная корреляция между содержаниями Fe и Mn и отрицательная корреляция между содержания между содержания между в между содержания между в между

существенного изменения исследованного карбонатного материала и на остальных диаграммах: наблюдается слабая корреляция ($R^2 = 0.289$) между δ^{18} О и δ^{13} С, а между δ^{18} О и Fe, δ^{18} O и Mn зависимости отсутствуют.

В целом изученное карбонатное вещество ростров сибирских белемнитов характеризуется невысоким содержанием Mn, которое составляет 5—59 г/т, с единичным отклонением до 123 г/т, тогда как концентрации Fe варьируют в широких пределах — от 29 до 990 г/т. Восемь образцов характеризуются ненулевым содержанием Al, хотя в норме содержание этого элемента должно быть практически нулевым, так как его концентрации в морской воде крайне малы [Bruland et al., 2014], и он не входит в структуру кальцита. Увеличение содержания Fe и одновременное присутствие Al рассматривается как свидетельство попадания в раствор терригенной компоненты образца [Izokh et al., 2015]. Вклад терригенной примеси в кислотную вытяжку породы напрямую зависит от размерности глинистых частиц: чем меньше частицы, тем существенней для Al и Fe вклад терригенной примеси [Горохов и др., 2007]. Кроме того, при использовании для измельчения образцов сверла из сплава, содержащего железо, может происходить загрязнение карбонатного материала продуктами их разрушения, которые при дальнейшей реакции с HCl частично переходят в раствор. Так, образцы YT-1, YT-3, YT-18, Ch-101/6 и Ch-55/2, порошок которых высверливался при помощи стального сверла, характеризуются повышенным содержанием Fe (218–350 г/т; у обр. YT-1 — 900 г/т). Соответственно содержание в них Mn может быть в большей степени информативным показателем степени сохранности С- и О-изотопных систем.

Пороговые уровни концентраций Fe, Mn и Sr для определения хорошо сохранившихся ростров белемнитов варьируют в работах различных авторов от < 25 до < 500 г/т для Fe (обычно < 200 или < 250 г/т), от < 5 до < 100 г/т для Mn (обычно < 50 или < 100 г/т) и от > 800 до > 1200 г/т для Sr [Rosales



Рис. 3. Бинарные диаграммы $\delta^{18}O - \delta^{13}C$, Fe—Mn, $\delta^{18}O$ —Fe, $\delta^{18}O$ —Mn, Sr—Fe и Sr—Mn, по данным из разрезов Юрюнг-Тумус (кружки) и Северная Чекуровка (треугольники).

Белемниты: 1 — неизмененные, 2 — диагенетически измененные.

et al., 2001; Metodiev, Koleva-Rekalova, 2008; Wierzbowski, Joachimski, 2009; Price, 2010; Armendáriz et al., 2012; Wierzbowski et al., 2012, 2017]. Авторами настоящей работы низкими значениями содержания Fe и Mn считаются < 150 и < 100 г/т соответственно, при содержании Sr в тех же пробах > 1000 г/т [Dzyuba et al., 2013; Дзюба и др., 2017; Кузнецов и др., 2017]. В настоящей работе принимаются те же пороговые значения для Mn и Sr, тогда как по Fe они повышены (до 280 г/т) для проб, в которых присутствует Al, а также для проб, подготовленных путем высверливания (см. табл. S1). Полученные по этим пробам результаты интерпретируются с позиции отражения в раковинном веществе моллюсков изотопного состава морской воды с сохранением до наших дней первичных изотопных характеристик. Остальные образцы, в том числе обр. YT-18 (*Cylindroteuthis*) и Ch-70/1 (*Pachyteuthis*), рассматриваются нами как диагенетически преобразованные и исключены из дальнейшего анализа (см. табл. S2).

Вариации δ^{13} С, δ^{18} О и ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr. По результатам исследования карбонатного материала байосских и батских ростров белемнитов, не имеющих признаков постседиментационных преобразований, разрез Юрюнг-Тумус охарактеризован С-, О- и Sr-изотопными данными в интервале а-зон Boreiocephalites borealis—Arctocephalites greenlandicus и предположительно в низах а-зоны Arcticoceras ishmae (условно маркируются низами bl-зоны Paramegateuthis ishmensis), разрез Северная Чекуровка — в интервале а-зон Arctocephalites arcticus—A. greenlandicus (см. рис. 2).

Величины δ^{13} С в разрезе Юрюнг-Тумус заключены в диапазоне от 1.4 до 4.3 ‰, в разрезе Северная Чекуровка — от 1.1 до 2.5 ‰. Наиболее высокие значения этого параметра установлены в а-зоне Boreiocephalites borealis (от 2.9 до 3.7 ‰) и в низах bl-зоны Paramegateuthis ishmensis (от 2.7 до 4.3 ‰), минимальные значения — в а-зоне Cranocephalites gracilis (1.4 ‰) и в верхней части а-зоны Arctocephalites greenlandicus (1.1 ‰). Для а-зоны A. arcticus, судя по надежно привязанным к этой зоне образцам Ch-2 и YT-7, характерны в целом промежуточные значения — от 2.4 до 3.0 ‰ (см. табл. S1; рис. 2). Наиболее вероятно, что и образцы Ch-55/2 и Ch-55, отобранные в безаммонитовой части разреза Северная Чекуровка в интервале b-зоны Retroceramus polaris, приурочены к а-зоне A. arcticus, к самым ее верхам. В бореальном стандарте b-зона R. polaris охватывает пограничный интервал а-зон A. arcticus—A. greenlandicus, однако большей своей частью соотносится с первой из них [Шурыгин и др., 2000, 2011; Никитенко и др., 2013]. По этим двум образцам получены значения δ^{13} C 2.3 и 2.5 ‰ соответственно.

Величины δ^{18} О в разрезе Юрюнг-Тумус варьируют от -3.7 до 0.8 ‰, в разрезе Северная Чекуровка — от -1.8 до -0.2 ‰. Судя по данным с п-ова Юрюнг-Тумус, максимальные значения приходятся на а-зону Cranocephalites gracilis (0.8 ‰) и подзону Охусегіtes jugatus а-зоны Arctocephalites arcticus (0.7 ‰), минимальные значения — на а-зону Boreiocephalites borealis (от -2.5 до -3.7 ‰) и низы bl-зоны Paramegateuthis ishmensis (от -1.2 до -3.5 ‰). В низовьях р. Лена единичным определением охарактеризованы низы а-зоны Arctocephalites arcticus, где получены максимальные для разреза значения δ^{18} O (-0.2 ‰). Для условной верхней части а-зоны A. arcticus, а также для а-зоны Arctocephalites greenlandicus здесь получены значения (от -0.8 до -1.8 ‰), являющиеся переходными между установленными на севере Сибири для подстилающих и перекрывающих отложений. Наблюдаемые ковариации изотопного состава углерода и кислорода в обсуждаемых разрезах не могут служить свидетельством наличия значимых постседиментационных изменений карбонатного материала ростров, так как в таких случаях обычно происходит синхронное смещение величин δ^{13} С и δ^{18} O в сторону снижения значений [Ullmann, Korte, 2015]. В изученных сибирских разрезах снижение δ^{13} С сопровождается увеличением δ^{18} O либо сохранением значений последнего параметра. Рассчитанные по δ^{18} O палеотемпературы колеблются в диапазоне от 9 до 28.1°С (см. табл. S1).

Отношение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в белемнитах в самых древних из изученных отложений, отвечающих а-зоне Boreiocephalites borealis, составляет 0.707073—0.707079 и планомерно, без резких скачков понижается вверх по разрезу байоса—бата севера Сибири до 0.707047—0.707052 в низах bl-зоны Paramegateuthis ishmensis (см. рис. 2). В белемнитах а-зоны Cranocephalites gracilis отношение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr составляет 0.707063, в нижней части а-зоны Arctocephalites arcticus — 0.707061—0.707074, в верхней части той же а-зоны — 0.707050—0.707062, в а-зоне Arctocephalites greenlandicus — 0.707055. В изученных в дополнение к этому белемнитах из суббореального разреза нижнего бата Сокур (окрестности г. Саратов, Центральная Россия) отношение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr заключено в пределах 0.707027—0.707059 (см. табл. S1). Наблюдается постепенное уменьшение значений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr снизу вверх по разрезу: для верхов b-зоны Retroceramus polaris нами получены значения 0.07058—0.707059, для b-зоны R. bulunensis — 0.707038—0.707050, для b-зоны R. vagt — 0.707027—0.707036. При этом в белемнитах а-зоны Oraniceras besnosovi, залегающей в основании суббореального нижнего бата, полученные значения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr составили 0.707050—0.707059. Сравнительно большим количеством Sr-изотопных данных (на основе десяти измерений) охарактеризована в этом разрезе а-зона Arcticoceras ishmae: полученные значения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr меняются в диапазоне 0.707027—0.707049.

КОМПЛЕКСНАЯ БИО- И ХЕМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ БОРЕАЛЬНО-ТЕТИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Биостратиграфические критерии. Поскольку прямая корреляция бореальных биостратиграфических зон с первичным международным стандартом, разработанным в интервале байоса—бата на разрезах Северо-Западной Европы, не представляется возможной, исторически особое внимание уделяется изучению разрезов со смешанным типом палеобиоты, характеризующих экотонные зоны на стыке бореальных и тетических биохорем. Анализ разрозненной в литературе информации позволяет суммировать имеющиеся данные по биостратиграфическим критериям бореально-тетической корреляции (рис. 4).

1. Возраст а-зон Pseudolioceras fastigatum и Arkelloceras tozeri в зональной шкале байоса Сибири определяется по данным из Южной Аляски и Западной Канады, где оба вида-индекса известны в совместном нахождении как с северо-восточно-тихоокеанскими эндемичными формами, так и с пантетическими таксонами аммонитов [The Jurassic..., 1992; и др.]. Следует отметить, что присутствие а-зоны А. tozeri в Сибирской зональной шкале обосновано лишь находками *Arkelloceras*(?) в осыпи на побережье Анабарской губы [Шурыгин и др., 2000]. Тем не менее положение кровли этой зоны в сибирских разрезах можно считать вполне определенным, учитывая многочисленные находки двустворок *Retroceramus lucifer* [Шурыгин, 2005; Урман и др., 2022; и др.], сопровождающих *A. tozeri* в североамериканских и дальневосточных разрезах [Frebold, 1964; Сей и др., 2004]. Ранее уже предполагалось, что b-зона R. lucifer отвечает только верхней части а-зоны А. tozeri [Шурыгин и др., 2000]. Проведенный недавно анализ взаимоотношения находок аммонитов, двустворок и белемнитов в разрезах нижнего байоса Северной Америки подтверждает эти предположения [Dzyuba et al., 2019].

Залегающие выше а-слои с *Chondroceras marshalli*, хотя и выделены на основе представителя космополитного рода аммонитов, в сибирскую зональную аммонитовую последовательность включены с оговоркой, что установлены лишь на северо-востоке России [Меледина и др., 2011]. В-зона Retroceramus clinatus, сменяющая в сибирских и дальневосточных разрезах b-зону R. lucifer и условно сопоставляемая со слоями с *Ch. marshalli*, стратиграфически важных аммонитов не содержит [Сей и др., 2004; Шурыгин, 2005; и др.].

2. Возраст а-зоны Boreiocephalites borealis (или Cranocephalites borealis) трактуется в работах разных авторов неоднозначно. Вслед за Дж. Калломоном [Callomon, 1984] долгое время считалось, что эта зона не может быть древнее позднебайосского возраста, что продолжает находить отражение во многих современных публикациях [Callomon et al., 2015; Kelly et al., 2015; Рогов и др., 2018; Alsen et al., 2020; Митта, 2021; Surlyk et al., 2021]. С.В. Меледина [2014] предполагала раннебайосский возраст как для этой зоны, так и для перекрывающей ее в сибирских разрезах а-зоны Cranocephalites gracilis. В качестве основного аргумента указано морфологическое сходство представителей Arctocephalites в залегающей выше по разрезу подзоне Oxycerites jugatus a-зоны Arctocephalites arcticus с тихоокеанским Megasphaeroceras rotundum — видом-индексом южно-аляскинской аммонитовой зоны, принимаемой одновозрастной базальной для верхнего байоса хронозоне Niortense («Subfurcatum»). Также обрашалось внимание на сходство сибирских Oxycerites и аляскинских Liroxyites, близких к L. kellumi, в аммонитовых комплексах а-подзоны O. jugatus и а-зоны M. rotundum. Таким образом, последовательность а-зон B. borealis, С. gracilis как бы «оттеснялась» в хронозону Humphriesianum нижнего байоса. Приведенные положения не были бесспорными, поскольку опирались на субъективное переосмысление прежней оценки сходства форм. В дальнейшем важными находками в а-зонах B. borealis и C. gracilis стали ростры белемнитов на п-ове Юрюнг-Тумус, по которым определен вид Paramegateuthis subishmensis, прежде известный только из нижнебайосской a-зоны Stephanoceras humphriesianum Болгарии [de Lagausie, Dzyuba, 2017]. Эти находки рассматривались как свидетельство в пользу предложенной С.В. Мелединой [2014] корреляции a-зон B. borealis и C. gracilis с хронозоной Humphriesianum [de Lagausie, Dzyuba, 2017; Dzyuba, de Lagausie, 2018]. Безусловно, время существования вида в разных регионах может несколько расходиться, например, в силу нетождественности среды обитания, тем более в весьма отдаленных друг от друга регионах. Однако необходимость удревнения по крайней мере части рассматриваемого интервала бореальных шкал оказалась прорисованной более отчетливо.

Благодаря проведенным недавно исследованиям ретроцерам Южной Аляски [Blodgett et al., 2015; Шурыгин и др., 2020], обоснован возраст большей части b-зоны Retroceramus porrectus, которая в сибирской шкале полностью соответствует a-зоне Boreiocephalites borealis. В местонахождении Fossil Point установлены b-слои с *R. porrectus* и *R. tongusensis*, отвечающие региональной a-подзоне Zemistephanus richardsoni, которая сопоставляется с подзоной Romani (или с ее верхней частью), залегающей в основании хронозоны Humphriesianum нижнего байоса [The Jurassic..., 1992; и др.]. В районе Боулдер-Крик гор Талкитна установлены слои с *R. tongusensis* и *R. electus* — возрастной аналог верхней части сибирской b-зоны R. porrectus. В региональной аммонитовой шкале южной Аляски эти слои соответствуют а-зоне Megasphaeroceras rotundum—нижней части a-зоны «Cranocephalites» costidensus. При этом для а-зоны М. rotundum характерны аммониты Leptosphinctes, Spiroceras, Sphaeroceras s. str. и поздние





Биостратиграфические критерии корреляции (1-5 см. текст). Приведены изотопные данные, полученные по рострам белемнитов, за исключением особо отмеченных д¹³С данных по матриксу карбонатных пород (с обобщением 813С кривых по Испании, Франции и Португалии [O'Dogherty et al., 2006; Suchéras-Marx et al., 2012, 2013]). Глобальные 813С экскурсы и рупозднебатский экскурс [Geologic..., 2020]. — раннебайосский экскурс, BjBaBE — байос-батское рубежное событие, LBaE. бежные события: EBjE

Stephanoceratinae, которые являются индикаторами хронозоны Niortense верхнего байоса [Callomon, 1984; Westermann, 1992; и др.].

3. Большой корреляционный потенциал всегда отмечался для сибирской а-подзоны Oxycerites jugatus, выделенной в основании а-зоны Arctocephalites arcticus. Сибирские представители космополитного рода Oxvcerites, близкие широко распространенному и важному для биостратиграфии виду O. aspidoides, установлены в бассейнах рек Анабар, Оленек, Лена, п-ове Юрюнг-Тумус — это О. јиgatus, O. undatus, O. cf. aspidoides и O. ex gr. aspidoides [Ершова, Меледина, 1968; Меледина, 1994]. Возрастная трактовка подзоны О. jugatus менялась в соответствии с уточнениями стратиграфической приуроченности вида O. aspidoides в его типовом местонахождении на территории Юго-Западной Германии [Меледина, 2014]. Согласно последним данным [Dietze, Dietl, 2006], фаунистический горизонт О. aspidoides в Юго-Западной Герприурочен к мании подзоне Bomfordi (верхней подзоне в последовательности Subarietis («Acris») -Truellei-Bomfordi) хронозоны Parkinsoni верхнего байоса, однако первые Oxvcerites, включая O. aspidoides, появляются в подзоне Truellei той же хронозоны. Примечательны также находки O. cf. aspidoides совместно с Strigoceras septicarinatum в районе Боулдер-Крик гор Талкитна Южной Аляски, как предполагается, в верхней части а-зоны «Cranocephalites» costidensus [Schweigert et al., 2007]. Как было недавно установлено, на эту часть а-зоны «С.» costidensus в том же районе приходятся b-слои с Retroceramus retrorsus [Шурыгин и др., 2020], в сибирских разрезах (в ранге b-зоны) охватывающие а-зону Cranocephalites gracilis и а-подзону Oxycerites jugatus [Шурыгин, 2005]. Исходя из наибольшей представительности Oxycerites в западно-тетических разрезах, закономерно предполагать наиболее близкое расположение этих разрезов к центру происхождения рода. Об открытии в хрон Parkinsoni Испанского коридора, вновь соединившего на короткое время Тетис и Пацифику, свидетельствует проникновение западно-тетических аммонитов *Dimorphinites defrancei* и *S. septicarinatum* в бассейн Тагараса, расположенный в юго-восточной части Пацифики (территория Чили) [Fernandez-Lopez, Chong-Diaz, 2011, 2014]. Учитывая первое появление *O. aspidoides* в хрон Truellei [Dietze, Dietl, 2006], наиболее массовое распространение *D. defrancei* в хрон Truellei [Fernandez-Lopez, Chong-Diaz, 2011] и предполагаемое происхождение *Strigoceras truellei* от *S. septicarinatum* [Schweigert et al., 2007; Fernandez-Lopez, Chong-Diaz, 2014], наиболее вероятное время миграции всех этих видов на восточные окраины Пацифики — рубеж хронов Subarietis и Truellei позднего байоса. Именно этому рубежу соответствует положение подошвы а-подзоны Охусегites jugatus на предлагаемой схеме бореально-тетической корреляции (см. рис. 4), учитывая также, что в это же время произошло временное открытие на территории Русской плиты меридионального морского пролива [Mitta et al., 2014], через который в арктический бассейн могли проникнуть *Охуcerites*.

4. Возраст бореальных а-зон Arctocephalites greenlandicus и Arcticoceras ishmae определяется по данным из Центральной России, где в окрестностях Саратова в суббореальном разрезе Сокур обнаружен интервал перекрытия в распространении перитетических Oraniceras и бореальных Arcticoceras [Митта, Сельцер, 2002; Mitta et al., 2014]. Аммонитов рода Oraniceras в разрезе сопровождают двустворки рода Retroceramus (R. polaris, R. bulunensis), бореальные белемниты и фораминиферы [Mitta et al., 2014]. Принимая во внимание отсутствие противоречий между биостратиграфическими данными и результатами комплексного магнито- и хемостратиграфического исследования этого разреза [Дзюба и др., 2017], можно считать доказанной корреляцию суббореальной а-зоны Oraniceras besnosovi (возрастной аналог бореальной а-зоны Arcticocephalites greenlandicus) и нижней части бореальной а-зоны A. ishmae с хронозоной Zigzag, а также предполагать корреляцию верхней части а-зоны A. ishmae с хронозоной Tenuiplicatus.

5. Возраст а-зоны Cadoceras apertum, венчающей бат в разрезах Восточной Гренландии и Среднего Поволжья и выпадающей из сибирской зональной аммонитовой последовательности, определен по находкам общих видов аммонитов из рода *Kepplerites* как в составе бореальных аммонитовых комплексов (указанные выше разрезы), так и в составе смешанных бореально-тетических аммонитовых комплексов (разрезы Германии и отчасти Франции и Северного Кавказа) [Митта, 2008; Mönnig, Dietl, 2017]. Доказано соответствие зоны С. apertum верхней части хронозоны Orbis—хронозоне Discus [Mönnig, Dietl, 2017]. Последовательность биостратиграфических подразделений по аммонитам среднего—верхнего бата Сибири недавно подверглась коренному пересмотру и более тщательной увязке с эталонной для бореальных аммонитов верхнего байоса—бата восточно-гренландской последовательностью [Шамонин и др., 2023]. Вместе с тем, несмотря на постоянное поступление нового материала, представители рода *Kepplerites* по-прежнему достоверно здесь не установлены.

Хемостратиграфические критерии. Полученные по сибирским белемнитам значения δ¹³С и δ¹⁸О сопоставлены с результатами аналогичных исследований западно-тетических белемнитов из разрезов байоса-бата Шотландии, Англии, Франции, Португалии, Испании, Южной Германии, Центральной Польши и Болгарии [Jenkyns et al., 2002; Wierzbowski, Joachimski, 2007; Metodiev, Koleva-Rekalova, 2008; Brigaud et al., 2009; Gomez et al., 2009; Price, 2010; Dera et al., 2011; Korte et al., 2015], бореальных белемнитов Центральной России [Дзюба и др., 2017] и Восточной Гренландии [Vickers et al., 2022], а также с вариационными С-изотопными кривыми, построенными на основе анализа матрикса карбонатных пород в хорошо биостратиграфически датированных западно-тетических разрезах Франции [Suchéras-Marx et al., 2012], Испании [O'Dogherty et al., 2006] и Португалии [Suchéras-Marx et al., 2013]. Как можно видеть, при использовании оговоренных выше биостратиграфических критериев бореально-тетической корреляции, несмотря на разную степень условности этих критериев, δ^{13} С данные по Сибири в целом гармонично вписываются в ранее установленные тренды (см. рис. 4). Вариации δ^{18} О, полученные по раковинам обитателей шельфовых палеоморей, обычно не обсуждаются в контексте детальной хемостратиграфии, поскольку δ^{18} О в морской воде может варьировать локально и усложнять стратиграфические и палеоклиматические реконструкции [Geologic..., 2020]. Однако установленные в настоящей работе величины δ^{18} О сигналов на отдельных временных отрезках, как нам представляется, являются отражением масштабных (глобальных в конце раннего байоса и полирегиональных в конце байоса—начале бата) событий и поэтому не менее интересны с точки зрения взаимной увязки этих событий (см. ниже).

Сравнительно высокие значения δ^{13} С, полученные для а-зоны Boreiocephalites borealis, укладываются в ранее описанный раннебайосский позитивный экскурс (EBjE), соответствуя пику, который в западно-тетических районах приходится на хронозоны Propinquans—Humphriesianum [O'Dogherty et al., 2006; Suchéras-Marx et al., 2015; Price et al., 2018; Bodin et al., 2020]. В хронозонах Niortense—Garantiana верхнего байоса значения δ^{13} С существенно снижаются. Единичное определение δ^{13} С из средней части а-зоны Cranocephalites gracilis разреза Юрюнг-Тумус, регистрирующее значительное уменьшение изотопно-тяжелого углерода по сравнению с данными по а-зоне В. borealis в том же разрезе (негативный

 δ^{13} С сдвиг в среднем на 2 ‰), явно соответствует позднебайосскому тренду. По данным из разрезов Кордильера-Бетика на юге Испании [O'Dogherty et al., 2006], негативный δ^{13} С сдвиг особенно сильно проявился в хронозону Niortense, тогда как по материалам из разрезов Англии [Jenkyns et al., 2002] и Саудовской Аравии [Al-Mojel et al., 2018], минимальные значения δ^{13} С приходятся на хронозону Garantiana. При этом для субэкваториально-тетических разрезов Аравийской платформы характерно отставание от западно-тетических районов по времени начала позднебайосского снижения значений δ^{13} С на одну аммонитовую зону (Niortense), что связывается с региональной спецификой тектонических и соответственно трансгрессивно-регрессивных событий, в свою очередь влиявших на количество выносимого реками 12 С _{орг} в морской бассейн [Al-Mojel et al., 2018]. Таким образом, исходя из хемостратиграфических данных, очевидна позднебайосская составляющая возраста а-зоны С. gracilis, чему не противоречат многочисленные δ^{13} С определения по Восточной Гренландии, обобщенные для а-зоны Cranocephalites pompeckji [Vickers et al., 2022], которая сопоставляется с выводом С.В. Мелединой [2014] о соответствии а-зоны С. gracilis верхней части хронозоны Humphriesianum нижнего байоса.

Рубежное байос-батское событие (BjBaBE) на севере Сибири характеризуется повышением значений δ^{13} С к а-зоне Arctocephalites arcticus по сравнению с а-зоной Cranocephalites gracilis и последующим достижением максимальных значений в низах а-зоны Arcticoceras ishmae (позитивный δ^{13} C сдвиг в среднем на 1.4 ‰). Весьма вероятно, что наблюдаемое при этом кратковременное падение значений δ^{13} С в пределах а-зоны Arctocephalites greenlandicus лишь кажущееся: информация получена по единичному образцу, происходящему из разреза Северная Чекуровка, и может быть отражением крайнего случая осцилляции (скрытой ввиду недостатка данных). В частности, в Восточной Гренландии средние значения δ^{13} С при переходе от a-зоны Arctocephalites arcticus к a-зоне A. greenlandicus едва заметно увеличиваются [Vickers et al., 2022]. С другой стороны, судя по материалам исследований ряда тетических разрезов, обобщенным [Al-Mojel et al., 2018, fig. 10], как будто бы имеются свидетельства непродолжительного, относительно слабо выраженного негативного δ¹³С экскурса вблизи границы байоса и бата. На δ^{13} С вариационной кривой, полученной по нижнебатским белемнитам в суббореальном разрезе Сокур в Центральной России [Дзюба и др., 2017], наблюдается увеличение значений δ^{13} С от а-зоны Oraniceras besnosovi к нижней части a-зоны Arcticoceras ishmae с последующим снижением значений в верхней ее части (см. рис. 4). При этом наиболее резкие вариации δ¹³С отмечались для нижней части а-зоны А. ishmae, что вполне согласуется с данными по Восточной Гренландии [Vickers et al., 2022]. В целом описанная тенденция соответствует росту δ^{13} С, наблюдаемому в тетическом домене с конца позднего байоса и особенно в начале бата с последующей сменой тренда в конце хронозоны Zigzag на снижение значений δ¹³С.

Имеющаяся в литературе Sr-изотопная характеристика байос-батских отложений опирается на данные из европейских разрезов, представляющих палеобассейны Шотландии, Англии, Португалии, Германии, Польши и Словакии [Jones et al., 1994; Callomon, Dietl, 2000; Jenkyns et al., 2002; Wierzbowski et al., 2012, 2017]. При этом пограничный интервал нижнего и верхнего байоса, как и большая часть верхнего бата, до сих пор изотопами стронция практически не охарактеризованы. В целом хорошо известно, что в байосе и бате происходило глобальное снижение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в океане, обусловленное смещением баланса континентального выветривания и гидротермальных потоков стронция в сторону нерадиогенного гидротермального стронция [Dera et al., 2011; Wierzbowski et al., 2012, 2017; Geologic..., 2020]. Имеются свидетельства одновременного уменьшения отношений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr и Sr/Ca в морской воде в течение геттанга—плинсбаха и байоса—келловея, что объясняется продолжением фундаментальной реорганизации тектонических плит, начавшейся еще в конце триаса, в связи с чем в периоды повышенной активности в зоне срединно-океанических хребтов океанический поток Sr перевешивал поступление речного Sr [Ullmann et al., 2013].

Полученные данные по изотопам стронция в рострах сибирских белемнитов из а-зон Boreiocephalites borealis (0.707073—0.707079) и Cranocephalites gracilis (0.707063) приходятся на интервал, в котором практически не было качественных определений в мировой литературе (см. рис. 4). Ранее отмечалось быстрое уменьшение отношения 87 Sr/ 86 Sr в океане в течение байоса [Jenkyns et al., 2002; Wierzbowski et al., 2017]. Новые 87 Sr/ 86 Sr данные свидетельствуют, что наиболее резко падение соотношения изотопов стронция выражено в раннем байосе: с учетом всех известных данных, изменение отношения 87 Sr/ 86 Sr за 1 млн лет составило 0.00021. Это хорошо согласуется со «сценарием раннего открытия Центрального Атлантического океана», обоснованным совокупным анализом геофизических данных и топографических изменений [Labails et al., 2010]. Согласно авторам предложенного сценария, вслед за начальным распадом Пангеи в течение ранней и средней юры (с позднего синемюра по самое начало байоса) океаническая аккреция была крайне медленной (~0.8 см/год), тогда как в раннем байосе произошло резкое изменение как направления относительного движения плит, так и скорости спрединга (увеличение до ~1.7 см/год). Наиболее близкий по скорости изменения отношения 87 Sr/ 86 Sr временной интервал в средней юре — переходное бат-келловейское время. По некоторым данным [Wierzbowski et al., 2017], в это время величина падения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr за 1 млн лет составила 0.00009.

Изотопными данными по стронцию впервые на севере Сибири охарактеризованы а-зоны Arctocephalites arcticus, Arctocephalites greenlandicus и низы а-зоны Arcticoceras ishmae, а также аналоги двух последних в Центральной России. Установленное в интервале а-зон Arctocephalites arcticus–Arcticoceras ishmae снижение значений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr снизу вверх по разрезу от 0.707061—0.707074 до 0.707027—0.707052 совпадает с общим уменьшением этого отношения в океане в переходное байос-батское время.

Безусловно, обращает на себя внимание резкий перелом кривой отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, пришедшийся на переходный интервал между нижним и верхним байосом (см. рис. 4). Более полному анализу уникальной, как представляется, комбинации событий, произошедших на исходе раннего байоса, внимание уделено в следующем разделе.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ «АНОМАЛИИ» ПО БЕЛЕМНИТАМ КАК ОТРАЖЕНИЕ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПЕРЕСТРОЕК

К настоящему времени на основании исследования изотопов кислорода в белемнитах средних палеоширот установлено, что среднеюрская эпоха в целом была временем существенного охлаждения морей, за исключением эпизодов кратковременного возвращения к тепловодным условиям, в частности в хрон Humphriesianum раннего байоса и переходное бат-келловейское время [Jenkyns et al., 2002; Wierzbowski, Joachimski, 2007; Price, 2010; Dera et al., 2011; Korte et al., 2015; Vickers et al., 2022]. Kpome того, сообщалось об относительно высоких температурах, полученных по раннебатским белемнитам Среднерусского морского бассейна [Дзюба и др., 2017], чему не противоречат б¹⁸О данные на а-фазу Arcticoceras ishmae по коридору Викинг (Восточная Гренландия), также располагавшемуся в юре в средних палеоширотах [Vickers et al., 2022]. Значения δ^{18} О, полученные по белемнитам Франции, Южной Германии, Испании и Португалии, совокупно характеризуют низкоширотные бассейны западно-тетической окраины в раннем байосе [Jenkyns et al., 2002; Metodiev, Koleva-Rekalova, 2008; Brigaud et al., 2009; Gomez et al., 2009; Korte et al., 2015]. Поскольку в данном случае снижение значений δ^{18} О к концу раннего байоса не наблюдается, соответственно, и эпизод потепления в хрон Humphriesianum по низкоширотным белемнитам не просматривается (рис. 5). Вряд ли это означает, что потепление в конце раннего байоса не коснулось низких широт. Наиболее вероятно, что причина отсутствия здесь отрицательной δ^{18} О динамики связана с подвижным образом жизни белемнитов (нектонный, нектобентосный), позволявшим им более или менее активно перемещаться в толще воды, следуя экологическим предпочтениям.

Сравнительный анализ δ^{18} О данных по белемнитам байоса—бата бореальных, суббореальных и ряда тетических разрезов, включая новые данные и рассчитанные на их основе палеотемпературы (см. табл. S1), позволяет утверждать следующее: 1) при переходе от нижнего к верхнему байосу содержание тяжелого изотопа ¹⁸О в рострах сибирских белемнитов увеличивается более резко по сравнению со среднеширотными западно-тетическими белемнитами (позитивный сдвиг в значениях δ^{18} O, снижение палеотемператур), тогда как в белемнитах Восточной Гренландии этот показатель в среднем уменьшается (повышение палеотемператур); 2) в переходном байос-батском интервале в бореальных разрезах (Восточная Гренландии, Северная Сибирь) наблюдаются тренды на снижение значений δ^{18} О (повышение палеотемператур) с достижением в а-зоне Arcticoceras ishmae значений, сопоставимых с таковыми по суббореальным белемнитам (Центральная Россия), тогда как, по данным из тетического палеобассейна Центральной Польши, тенденция на какие-либо изменения в значениях δ^{18} O не выражена; 3) ожидаемые широтные отличия сибирских палеотемператур от западно-тетических для изученного временного интервала (конец раннего байоса — ранний бат) проявлены только в позднем байосе; 4) на севере Сибири устойчиво регистрируются два эпизода существенного падения δ^{18} О (ниже значений, установленных по тетическим белемнитам) и, соответственно, аномально высоких температур — в конце раннего байоса в a-фазу Boreiocephalites borealis (22.5—28.1 °C) и в переходное байос-батское время с кульминацией в раннем бате (16.8—27.2 °С в а-фазу Arcticoceras ishmae).

Если в случае первых двух утверждений имеющиеся региональные различия в О-изотопных и температурных характеристиках байоса—бата практически не вызывают вопросов, поскольку легко объяснимы возможным влиянием локальных факторов палеосреды и/или поведенческой стратегией головоногих, то последние два пункта, с точки зрения имеющихся палеогеографических реконструкций, вносят диссонанс в отражение естественно-исторического процесса. Однако крайне сомнительно, что отмеченные выше эпизоды повышенных значений палеотемператур на сибирской арктической окраине могут быть обусловлены опреснением мест обитания белемнитов, учитывая, что это группа головоногих, т. е. стеногалинных моллюсков, обитавших в морских бассейнах с нормальной соленостью. Заметное потепление в «арктоцефалитовое—арктикоцерасовое» время (вблизи байос-батского рубежа) на севере Сибири устанавливается по палинологическим данным [Ильина, 1985]. Полученные нами дан-



Рис. 5. Сопоставление основных С-, О- и Sr-изотопных событий (обобщено на основе рис. 4), эвстатической модели [Haq, 2018] и скоростей спрединга [Labails et al., 2010] с дополнением (предполагаемое временное снижение скорости спрединга показано пунктирной линией). BSMA — магнитная аномалия Blake Spur.

ные согласуются с максимумом похолодания на севере Сибири в позднем байосе, фиксируемым для интервала тоара—бата на основе обобщения единичных определений 1966—1970-х гг. как по изотопному составу кислорода, так и по соотношению Са/Мд в рострах белемнитов [Сакс, Нальняева, 1975]³. Довольно многочисленные в средней юре севера Сибири находки глендонитов (псевдоморфозы кальцита по икаиту), массовые скопления которых считаются индикаторами моментов похолодания [Каплан, 1978; Рогов и др., 2019; и др.], вряд ли следует рассматривать в качестве контраргумента возможности эпизодов потеплений. Во-первых, наиболее массово глендониты встречаются в верхнем байосе, где так же, как и в других интервалах разреза, обычно приурочены к отдельным прослоям, практически не охарактеризованным фоссилиями [Меледина и др., 1987; Рогов и др., 2018], что подразумевает возможность чередования благоприятных и неблагоприятных для образования икаита обстановок. Во-вторых, экспериментальным путем установлено, что икаит может образовываться при температуре до 15 °C [Purgstaller et al., 2017; Stockmann et al., 2018], что значительно превышает близкую к нулевой температуру воды, обычно считавшуюся необходимым условием для образования этого минерала. Наконец, по сравнению с данными, полученными на сибирском материале, известны примеры более низких значений δ^{18} O в карбонатных раковинах беспозвоночных, которые происходят из тех же толщ, что и глендониты. Так, например, в раковинах пермских брахиопод из глендонитоносных толщ Сиднейского бассейна Австралии значения δ^{18} О составили от -5 до 1 ‰ [Selleck et al., 2007].

Судя по палеотектоническим реконструкциям и палеогеографической карте на байосское время [Blakey, 2021], основной район исследований располагался в средней юре приблизительно между 74 и 80° северной палеошироты. Бореальные моря большей части докелловейского этапа средней юры характеризуются усиленным провинциализмом биоты, пониженными таксономическим разнообразием и численностью головоногих. В байосе бореальные сообщества морских беспозвоночных основательно перестроились и до конца бата развивались в существенной мере автохтонно [Меледина и др., 2005; Шурыгин, 2005; Никитенко, 2009; Dzyuba, de Lagausie, 2018; Morton et al., 2020]. Палеонтологические, тектонические, О- и Nd-изотопные данные свидетельствуют, что это было обусловлено значительным ограничением сообщения арктического бассейна с тетическими морями в аалене—бате через коридор

³ Здесь и далее с учетом принятой в настоящей работе схемы сопоставления бореального (сибирского) зонального стандарта с северо-западно-европейским первичным стандартом.

Викинг, что привело к смене температурного режима и системы циркуляции вод, изменению направлений миграций и т.д. [Меледина и др., 2005; Шурыгин, 2005; Dera et al., 2015; Korte et al., 2015].

С учетом выше сказанного, кратковременные значительные повышения температуры морской воды у арктического побережья Сибири в конце раннего байоса и на рубеже байос/бат становятся объяснимыми, если допустить двукратное временное открытие на территории Русской плиты меридионального морского пролива, соединявшего северные и южные моря, меняя схему циркуляции водных масс (рис. 6). Событие такого рода могло привести к возникновению теплого течения, идущего с юга на север через открывшийся пролив, которое достигало Северосибирского палеобассейна, неся тепло и влияя на соотношения изотопов кислорода в рострах белемнитов. В этой связи следует отметить, что даже самые высокие температуры, полученные по сибирским рострам, сопоставимы с температурой многих современных теплых течений, а как хорошо известно, в мезозое климатическая зональность в ее современном виде отсутствовала, и климат был в целом теплее.

Существование такого пролива в конце позднего байоса—раннем бате (хроны Parkinsoni—Zigzag) вследствие морской трансгрессии на территории Русской плиты является доказанным по результатам палеонтологических и седиментологических исследований [Mitta et al., 2014]. В настоящей работе этому проливу дано название Коми (по названию республики, субъекта РФ, на территории которой, наиболее вероятно, открывался пролив). Временное открытие пролива Коми способствовало проникновению на юг, как минимум до саратовского участка Среднерусского моря, сначала бореальных фораминифер (в конце позднего байоса), а следом за ними (в раннем бате) — бореальных белемнитов, двустворок и аммонитов (см. рис. 6). Имеются также основания для предположения, что в переходное байос-батское время между Печорским и Среднерусским морскими бассейнами по проливу произошел взаимный обмен таксонами. Так, не исключено, что именно этим миграционным путем воспользовались аммониты



Рис. 6. Палеогеография исследуемых районов на конец раннего байоса, а-фазу Boreiocephalites borealis (a), поздний байос, а-фазу Cranocephalites gracilis (δ), ранний бат, а-фазы Arctocephalites greenlandicus–Arcticoceras ishmae (s).

Палеогеографическая основа, по [Blakey, 2021] с изменениями. *1* — суша, *2* — море, *3* — изученные на изотопы местонахождения, *4* — палеотемпературы, *5* — направления предполагаемых поверхностных теплых (*a*) и придонных холодных (*б*) течений, *6*, *7* — эмигранты (аммониты, белемниты, двустворки, фораминиферы): *6* — с юга, *7* — с севера. рода Oxycerites, появившиеся на севере Сибири в начале a-фазы Arctocephalites arcticus позднего байоса [Меледина, 1994], хотя в это время (момент Oxycerites jugatus a-фазы A. arcticus), судя по палеотемпературам (9.3—12.9 °C), теплое течение возможно, еще не приблизилось к исследуемому участку Арктического бассейна. В фауне двустворчатых к наиболее вероятным таксонам-пришельцам из южных европейских морей на севере Сибири относятся Meleagrinella, Gresslya, Protocardia, Goniomya, в Печорском бассейне — Meleagrinella, Gresslya, Goniomya и, возможно, Liostrea, находки которых хорошо известны в пограничном байос-батском интервале [Шурыгин, 2005; Mitta et al., 2015].

Заметим, что рассчитанные по высокоширотным белемнитам раннебатские температуры, изменяющиеся в диапазоне от 15 до 27.2 °С (среднее значение 19.9 °С), несколько ниже установленных ранее для среднеширотного Среднерусского морского бассейна (см. табл. S1; рис. 6). Полученные по белемнитам из окрестностей Саратова (Центральная Россия) раннебатские температуры колеблются в диапазоне от 19.4 до 28.8 °С (среднее значение 24.2 °С) и, в свою очередь, рассматривались сравнительно высокими для средних широт [Дзюба и др., 2017]. Ранее это объяснялось умеренными (среднесублиторальными) глубинами саратовского участка Среднерусского моря, бо́льшим влиянием на этот участок тетических, а не бореальных водных масс, а также нектонным, без тесной связи с конкретными придонными биотопами, образом жизни вовлеченных в анализ белемнитов (род *Pachyteuthis* семейства Cylindroteuthididae) [Дзюба и др., 2017]. К перечню благоприятных для высоких температур факторов, пожалуй, следует добавить весьма вероятное существование теплого течения в самом Среднерусском море, идущего из океана Тетис через его Крымско-Кавказскую акваторию.

В связи с находками в байосских а-зонах Boreiocephalites borealis и Cranocephalites gracilis на севере Сибири белемнита Paramegateuthis subishmensis, до этого известного только из a-зоны Stephanoceras humphriesianum Болгарии, была выдвинута гипотеза, согласно которой пролив на территории Русской плиты мог временно открыться в хрон Humphriesianum раннего байоса [Dzyuba, de Lagausie, 2018]. Заметим, что в а-зоне B. borealis на севере Сибири отмечается появление и европейских таксонов двустворок — родов Musculus, Mclearnia, Isognomon [Шурыгин, 2005]. Свидетельством присутствия пограничных слоев морского нижнего и верхнего байоса на севере европейской части России являются недавние находки ретроцерам на р. Ижма (обн. 24) в бассейне р. Печора [Захаров и др., 2020, табл. 1], которых можно отнести к группе Retroceramus porrectus—R. retrorsus. Однако в Центральной России прямых геологических доказательств существования пролива Коми в хрон Humphriesianum пока не найдено. Впрочем, и о существовании пролива на рубеже байоса и бата стало известно сравнительно недавно [Мита и др., 2004; Mitta et al., 2014], за чем последовало обнаружение новых местонахождений белемнитов байос-батского возраста [Ипполитов, 2018а, 20186, 2018в]. В частности, по комплексу белемнитов было впервые обосновано присутствие нижнебайосских отложений в Нижнем Поволжье [Ипполитов, 2018в], однако бореальных представителей белемнитов среди них не найдено. Не исключено, что в конце раннего байоса миграция моллюсков (или расселение личинок) через пролив Коми с помощью теплого течения происходила только в направлении с юга на север.

Как уже отмечалось выше, считается, что в раннем байосе, но не с самого его начала, произошло резкое ускорение океанической аккреции, сопровождавшей открытие Центрального Атлантического океана с разделением Северной Америки и Северо-Западной Африки [Labails et al., 2010]. Связанные с распадом Пангеи события оказывали влияние на Испанский коридор, инициировали субдукционный магматизм, а также палеотектонические события в альпийской части Тетис [Bill et al., 2001; Dera et al., 2011; Price et al., 2018]. Ускоренный спрединг и реорганизация океанического дна хорошо согласуются с повышенными скоростями падения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в хроны Laeviuscula—Humphriesianum (см. рис. 5). Поскольку на вторую половину раннего байоса приходится высокоамплитудный (порядка 100 м) глобальный подъем уровня моря 3-го порядка [Haq, 2018], то его тектоноэвстатическая природа представляется очевидной. С этим эвстатическим событием и могло быть связано первое кратковременное открытие пролива Коми. При этом, исходя из полученных нами результатов, свидетельствующих о резком изменении баланса между континентальным и гидротермальным потоками стронция к началу позднего байоса, можно предположить, что на рубеже раннего и позднего байоса темпы океанической аккреции на некоторое время замедлились (см. рис. 5). При этом наиболее значительное влияние на содержание изотопов стронция в морской воде по-прежнему оказывала скорость поступления нерадиогенного гидротермального стронция. В позднем бате, вероятно, тектонические события в значительной мере усилились вновь, что нашло отражение в очередном повышении скоростей падения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, а также в хорошо известном крупном эвстатическом подъеме, в частности, приведшем к бореальной «кадоцерасовой» трансгрессии [Шурыгин и др., 2000]. На рубеже байоса-бата (время доказанного существования пролива Коми), начиная с хрона Parkinsoni, наблюдается среднеамплитудный (порядка 70 м) эвстатический подъем 3-го порядка, хотя в целом уровень моря в это время был самым низким за всю байос-батскую историю [Haq, 2018].

Следует отметить, что эвстатическому подъему уровня моря во второй половине раннего байоса, в конце позднего байоса—раннем бате и позднем бате отвечает более или менее отчетливо выраженное снижение значений $\delta^{18}O$ (рост палеотемператур): в раннем байосе это хорошо видно по данным исследований среднеширотных западно-тетических белемнитов, а в остальные периоды — по бореальным белемнитам (см. рис. 5). О более теплом и влажном климате в раннем байосе Европы по сравнению с поздним ааленом, помимо геохимических данных, свидетельствуют также минералогические и палеонтологические данные [Hesselbo et al., 2003; Raucsik, Varga, 2008; Brigaud et al., 2009; Suchéras-Marx et al., 2015; Aguado et al., 2017; Philippe et al., 2017]. Повышенные температуры в среднеширотном суббореальном Среднерусском морском бассейне и на сибирской арктической окраине в периоды потеплений, по нашему мнению, во многом связаны с циркуляцией теплых течений. Примечательно, что со всеми этими событиями коррелирует повышение значений δ^{13} С (см. рис. 5). Для объяснения природы роста δ^{13} С в рассматриваемые промежутки времени выдвигались различные гипотезы. Вслед за [Sandoval et al., 2008; Suchéras-Marx et al., 2012] мы склонны полагать, что наиболее вероятной причиной является увеличение стока и потоков биогенных веществ в океаны на фоне потепления и повышения уровня моря, с последующим повышением биопродуктивности поверхностных вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщена имеющаяся в литературе информация по биостратиграфическим критериям корреляции зональных бореальных (и сибирского в частности) стандартов байоса—бата с северо-западно-европейским первичным стандартом. На основе исследования материала ростров белемнитов п-ова Юрюнг-Тумус и низовьев р. Лена близ пос. Чекуровка впервые получена комплексная С-, О- и Sr-изотопная характеристика большей части байоса и нижнего бата севера Сибири. Степень сохранности карбонатного вещества в рострах белемнитов оценена с помощью комплекса оптических и геохимических методов, включая анализ содержаний Al, Ca, Mg, Fe, Mn и Sr. В итоге из 18 изученных на сибирском материале образцов только 12 оказались пригодными для целей стратиграфии. В частности, для a-зон Cranocephalites gracilis и Arctocephalites greenlandicus получены единичные значения изотопного состава C. O и Sr. тогда как каждая из a-зон Boreiocephalites borealis, Arctocephalites arcticus и Arcticoceras ishmae охарактеризована по трем-четырем значениям. В связи с редкой встречаемостью белемнитов в сибирских разрезах, а также постседиментационным преобразованием большинства изученных батских ростров дополнительно приведена хемостратиграфическая характеристика нижнего бата в разрезе Сокур (Центральная Россия), которая включает как ранее полученные δ^{13} С и δ^{18} О данные, так и новые 87 Sr/ 86 Sr данные. Проведенные исследования позволяют надежно сопоставить бореальные разрезы с северо-западно-европейским первичным стандартом.

Полученные значения δ^{13} С укладываются в тренды, выраженные на европейских и восточно-гренландских изотопных вариационных кривых, включая позитивный экскурс ЕВјЕ и рубежное событие BjBaBE. Новые данные по изотопному составу Sr в белемнитах из a-зон Boreiocephalites borealis (0.707073—0.707079) и Cranocephalites gracilis (0.707063, по единичному определению) севера Сибири приходятся на хронозону Humphriesianum нижнего байоса и хронозону Niortense/Garantiana верхнего байоса соответственно, т. е. на интервал, по которому практически не было качественных определений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в мировой литературе. Эти данные свидетельствуют, что наиболее резко падение отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в океане было выражено в раннем байосе (величина падения 0.00021 за 1 млн лет), после чего темпы падения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr замедлились (резкий перелом кривой отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, приходящийся на переходный интервал между нижним и верхним байосом). Снижение значений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr от 0.707061-0.707074 до 0.707027—0.707052, установленное по белемнитам Сибири и Центральной России в интервале a-зон Arctocephalites arcticus—Arcticoceras ishmae, совпадает с общим уменьшением этого отношения в океане в переходное байос-батское время. Полученные значения пополняют глобальную базу ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr данных и являются важной характеристикой изученных интервалов бореальных и суббореальных разрезов. Повышенные скорости падения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в хроны Laeviuscula—Humphriesianum хорошо согласуются с ускоренным спредингом и реорганизацией океанического дна в раннем байосе, связанным с распадом Пангеи и сопровождавшим открытие Центрального Атлантического океана, а также с высокоамплитудным глобальным подъемом уровня моря. Предположено, что на рубеже раннего и позднего байоса темпы океанической аккреции на некоторое время замедлились и значительно увеличились вновь в позднем бате, что находит отражение как в изменении темпов падения 87 Sr/ 86 Sr, так и в эвстатических колебаниях.

По δ^{18} О данным и рассчитанным по ним палеотемпературам для конца раннего байоса и байосбатского рубежа регистрируются кратковременные значительные повышения температуры морской воды у арктического побережья Сибири на фоне эпизодов глобального подъема уровня моря разной интенсивности. Предположено, что в обоих случаях эвстатические события привели к открытию на территории Русской плиты меридионального морского пролива, получившего в настоящей работе название Коми, который временно соединял северные и южные моря. Значительный рост палеотемператур, фиксируемый по δ^{18} О в рострах белемнитов, гипотетически связывается с появлением теплого течения, идущего с юга на север через открывшийся пролив, которое достигало Северосибирских акваторий. Для объяснения повышенных раннебатских температур в среднеширотном суббореальном Среднерусском бассейне также закономерно предположить циркуляцию в нем теплого течения. Повышению значений δ^{13} С в те же интервалы времени, как нам представляется, способствовало увеличение стока и потоков биогенных веществ в океаны на фоне потепления и повышения уровня моря, а также повышение биопродуктивности поверхностных вод.

Авторы признательны Л.А. Глинских (ИНГГ СО РАН) и В.В. Митта (ПИН РАН) за консультации и рекомендации по улучшению рукописи, О.С. Урман, Е.К. Метелкину, Е.С. Шамонину и П.А. Яну (ИНГГ СО РАН), принявшим участие в совместном исследовании обсуждаемых в статье разрезов, а также сотрудникам ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН И.В. Николаевой, С.В. Палесскому, А.Н. Пыряеву и руководителю ЦКП «АИРИЗ» Т.С. Зайцевой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00228, https://rscf. ru/project/22-17-00228/, на базе Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Полевые работы проведены в 2009–2019 гг. в рамках выполнения госзадания ИНГГ СО РАН, благодаря чему сформировны детальные представления о строении изученных разрезов (проект FWZZ-2022-0004).

Дополнительные материалы: https://sibran.ru/journals/Suppl Dzuba.pdf

ЛИТЕРАТУРА

Берлин Т.С., Хабаков А.В. Результаты сравнения Са/Мg отношений и температур по изотопам О¹⁸/О¹⁶ в рострах юрских и раннемеловых белемнитов // Геохимия, 1970, № 8, с. 971—978.

Берлин Т.С., Найдин Д.П., Сакс В.Н., Тейс Р.В., Хабаков А.В. Климаты в юрском и меловом периодах на севере СССР по палеотемпературным определениям // Геология и геофизика, 1966 (10), с. 17—31.

Воронец Н.С. Стратиграфия и головоногие моллюски юрских и нижнемеловых отложений Лено-Анабарского района. Л., Госгеолтехиздат, 1962, 236 с.

Горохов И.М., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. SM-ND систематика тонкозернистых фракций нижнекембрийских «синих глин» Северной Эстонии // Литология и полезные ископаемые, 2007, № 5, с. 536—551.

Дзюба О.С., Гужиков А.Ю., Маникин А.Г., Шурыгин Б.Н., Грищенко В.А., Косенко И.Н., Суринский А.М., Сельцер В.Б., Урман О.С. Магнито- и углеродно-изотопная стратиграфия нижнего среднего бата разреза Сокурский тракт (Центральная Россия): значение для глобальной корреляции // Геология и геофизика, 2017, т. 58 (2), с. 250—272, doi: 10.15372/GiG20170206.

Дзюба О.С., Пещевицкая Е.Б., Урман О.С., Шурыгин Б.Н., Алифиров А.С., Игольников А.Е., Косенко И.Н. Разрез Маурынья как ключевой для приграничных юрско-меловых отложений мелководно-морского генезиса в Западной Сибири // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (7), с. 1075—1105, doi: 10.15372/GiG20180710.

Ершова Е.С., Меледина С.В. Позднебатские оппелиды севера Сибири // Труды ИГиГ СО АН СССР, 1968, вып. 48, с. 42—50.

Захаров В.А., Шурыгин Б.Н. Биогеография, фации и стратиграфия средней юры Советской Арктики. Новосибирск, Наука, 1978, 225 с.

Захаров В.А., Ипполитов А.П., Зверьков Н.Г., Безносов П.А., Киселев Д.Н. Ретроцерамы и униониды из байоса и нижнего бата (средняя юра) бассейна р. Ижма, север Европейской России // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2020, т. 28, № 4, с. 73—95, doi: 10.31857/S0869592X20040110.

Ильина В.И. Палинология юры Сибири. М., Наука, 1985, 237 с.

Ипполитов А.П. Белемниты и биостратиграфия нижнего бата центра и юга Восточно-Европейской платформы. Ч. 1. Megateuthididae // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2018а, т. 26, № 2, с. 59—86, doi: 10.7868/S0869592X18020047.

Ипполитов А.П. Белемниты и биостратиграфия нижнего бата центра и юга Восточно-Европейской платформы. Ч. 2. Cylindroteuthididae и Belemnotheutididae // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2018б, т. 26, № 4, с. 58—85, doi: 10.7868/S0869592X1804004X.

Ипполитов А.П. Морские раннебайосские отложения Нижнего Поволжья (Волгоградская область) и их стратиграфия по белемнитам // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2018в, т. 26, № 3, с. 62—98, doi: 10.7868/S0869592X18030055.

Каплан М.Е. Кальцитовые псевдоморфозы в юрских и нижнемеловых отложениях севера Восточной Сибири // Геология и геофизика, 1978 (12), с. 62—70.

Каплан М.Е., Меледина С.В., Шурыгин Б.Н. Келловейские моря Северной Сибири (условия осадконакопления и существования фауны). Новосибирск, Наука, 1979, 78 с.

Киселев Д.Н. Аммониты и инфразональная стратиграфия бореального и суббореального бата и келловея. М., ГЕОС, 2022, 667 с., doi: 10.54896/00023272 2021 628 1.

Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Изотопный состав Sr в водах Мирового океана, окраинных и внутренних морях: возможности и ограничения Sr-изотопной хемостратиграфии // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2012, т. 20, № 6, с. 3—19.

Кузнецов А.Б., Изох О.П., Дзюба О.С., Шурыгин Б.Н. Изотопный состав Sr в белемнитах из пограничных отложений юры и мела (р. Маурынья, Западная Сибирь) // ДАН, 2017, т. 477, № 4, с. 455—460, doi: 10.7868/S086956521734014X.

Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемостратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2018, т. 26, № 4, с. 3—23, doi: 10.7868/S0869592X18040014.

Кузнецов А.Б., Зайцева Т. С., Сальникова Е.Б. Центр коллективного пользования «АИРИЗ» (ИГГД РАН, Санкт-Петербург): научное оборудование, основные направления исследований и результаты // Геодинамика и тектонофизика, 2022, т. 13, № 2, 0584, doi: 10.5800/GT-2022-13-2-0584.

Меледина С.В. Аммониты и зональная стратиграфия байоса—бата Сибири. Новосибирск, Наука, 1973, 176 с.

Меледина С.В. Бореальная средняя юра России (аммониты и зональная стратиграфия байоса, бата и келловея). Новосибирск, Наука, 1994, 182 с.

Меледина С.В. О корреляции зон байоса и бата Сибири в свете новых палеонтологических данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2014, т. 22, № 6, с. 45—56, doi: 10.7868/S0869592X14060040.

Меледина С.В., Нальняева Т.И., Шурыгин Б.Н. Юра Енисей-Хатангского прогиба. Нордвикская зона, типовой разрез. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1987, 127 с.

Меледина С.В., Шурыгин Б.Н., Злобина О.Н., Левчук М.А., Нальняева Т.И., Никитенко Б.Л. Чекуровская свита (бат—келловей) в стратотипе // Труды ИГиГ СО АН СССР, 1991, вып. 769, с. 78—106.

Меледина С.В., Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. Палеобиогеография и зональная стратиграфия нижней и средней юры Сибири на основе стадийности в развитии моллюсков // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (3), с. 239—255.

Меледина С.В., Никитенко Б.Л., Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С., Князев В.Г. Современная комплексная зональная шкала юры Сибири и бореальный стандарт // Новости палеонтологии и стратиграфии, вып. 16—17: Прил. к журналу «Геология и геофизика», 2011, т. 52, с. 17—40.

Митта В.В. Род *Kepplerites* Neumayr et Uhlig (Kosmoceratidae, Ammonoidea) в пограничных отложениях бата и келловея (средняя юра) Русской платформы // Палеонтологический журнал, 2008, № 1, с. 7—14.

Митта В.В. О стратиграфии пограничных отложений байоса и бата (средняя юра) бассейна р. Ижма (европейский север России) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2021, т. 29, № 5, с. 113—120, doi: 10.31857/S0869592X21050069.

Митта В.В., Сельцер В.Б. Первые находки Arctocephalitinae (Ammonoidea) в юре юго-востока Русской платформы и корреляция батского яруса со стандартной шкалой // Труды НИИГеологии СГУ, нов. сер., 2002, т. 10, с. 12—36.

Митта В.В., Барсков И.С., Грюндель Й., Захаров В.А., Сельцер В.Б., Иванов А.В., Ростовцева Ю.А., Тарасова Л.О. Верхний байос и нижний бат в окрестностях Саратова // VM-Novitates, 2004, 12, с. 1—39.

Никитенко Б.Л. Стратиграфия, палеобиогеография и биофации юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды). Новосибирск, Параллель, 2009, 680 с.

Никитенко Б.Л., Шурыгин Б.Н., Князев В.Г., Меледина С.В., Дзюба О.С., Лебедева Н.К., Пещевицкая Е.Б., Глинских Л.А., Горячева А.А., Хафаева С.Н. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1047—1082.

Рогов М.А., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. Изотопный состав стронция в глендонитах средней юры Северной Сибири // ДАН, 2018, т. 482, № 1, с. 75—79, doi: 10.31857/ S086956520003142-9.

Рогов М.А., Зверьков Н.Г., Захаров В.А., Архангельский М.С. Морские рептилии и климат юры и мела Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2019, т. 27, № 4, с. 13—39, doi: 10.31857/ S0869-592X27413-39.

Рудько С.В., Кузнецов А.Б., Покровский Б.Г. Sr и С-хемостратиграфия отложений карбонатной платформы в задуговом бассейне северной окраины Тетиса (поздняя юра Горного Крыма) // Литология и полезные ископаемые, 2017, № 6, с. 58—77, doi: 10.7868/S0024497X17060064.

Сакс В.Н., Нальняева Т.И. Верхнеюрские и нижнемеловые белемниты севера СССР. Роды *Cylindroteuthis* и *Lagonibelus*. М., Л., Наука, 1964, 166 с.

Сакс В.Н., Нальняева Т.И. Верхнеюрские и нижнемеловые белемниты севера СССР. Роды *Pachyteuthis* и *Acroteuthis*. М., Наука, 1966, 260 с.

Сакс В.Н., Нальняева Т.И. Ранне- и среднеюрские белемниты севера СССР. Megateuthinae и Pseudodicoelitinae. М., Наука, 1975, 192 с.

Сакс В.Н., Нальняева Т.И. Особенности расселения бореальных белемноидей // Труды ИГиГ СО АН СССР, 1979, вып. 411, с. 9—23.

Сей И.И., Окунева Т.М., Зонова Т.Д., Калачева Е.Д., Языкова Е.А. Атлас мезозойской морской фауны Дальнего Востока России. СПб, ВСЕГЕИ, 2004, 234 с.

Тейс Р.В., Найдин Д.П., Сакс В.Н. Определение позднеюрских и раннемеловых палеотемператур по изотопному составу кислорода в рострах белемнитов // Труды ИГиГ СО АН СССР, 1968, вып. 48, с. 51—71.

Урман О.С., Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. Стратиграфические диапазоны ретроцерамовых зон байоса—бата п-ова Юрюнг-Тумус (север Сибири) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2022, № 11с, с. 21—28, doi: 10.20403/2078-0575-2022-11с-21-28.

Шамонин Е.С., Князев В.Г. Последовательность верхнебайосских—нижнеоксфордских аммонитов в низовьях р. Лена (Чекуровский разрез) // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Материалы VIII Всерос. совещания с международным участием. Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020, с. 239—242.

Шамонин Е.С., Дзюба О.С., Князев В.Г., Урман О.С., Шурыгин Б.Н., Метелкин Е.К., Ян П.А. Верхняя граница чекуровской свиты в стратотипе (низовье р. Лена): лито- и биостратиграфические критерии // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: Материалы XVI Международной научной конференции. Ново-сибирск, 2020, с. 269—279, doi: 10.18303/В978-5-4262-0102-6-2020-027.

Шамонин Е.С., Князев В.Г., Дзюба О.С. Слои с *Catacadoceras barnstoni* и проблема разграничения среднего и верхнего подъярусов батского яруса на севере Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2023, т. 31, № 4, с. 61—86, doi: 10.31857/S0869592X23040038.

Шурыгин Б.Н. Биогеография, фации и стратиграфия нижней и средней юры Сибири по двустворчатым моллюскам. Новосибирск, Акад. изд-во «Гео», 2005, 154 с.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятов В.П., Ильина В.И., Меледина С.В., Гайдебурова Е.А., Дзюба О.С., Казаков А.М., Могучева Н.К. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск, Акад. изд-во «Гео», 2000, 480 с.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Меледина С.В., Дзюба О.С., Князев В.Г. Комплексные зональные шкалы юры Сибири и их значение для циркумарктических корреляций // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (8), с. 1051—1074.

Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С., Шраер С.Д., Шраер Д.Дж. Моллюски средней юры проблематичного местонахождения фоссилий в районе Боулдер-Крик гор Талкитна (Южная Аляска) // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Материалы VIII Всеросийского совещания с международным участием. Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020, с. 251—254.

Aguado R., O'Dogherty L., Sandoval J. Calcareous nannofossil assemblage turnover in response to the Early Bajocian (Middle Jurassic) palaeoenvironmental changes in the Subbetic Basin // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2017, v. 472, p. 128—145, doi: 10.1016/j.palaeo.2017.01.044.

Al-Mojel A., Dera G., Razin P., Le Nindre Y.M. Carbon and oxygen isotope stratigraphy of Jurassic platform carbonates from Saudi Arabia: Implications for diagenesis, correlations and global paleoenvironmental changes // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2018, v. 511, p. 388—402, doi: 10.1016/j.palaeo.2018.09.005.

Alsen P., Hovikoski J., Svennevig K. Middle Jurassic sandstone deposition in the Wandel Sea Basin: evidence from cardioceratid and kosmoceratid ammonites in the Mågensfjeld Formation in Kilen, North Greenland // GEUS Bull., 2020, v. 44, 5342, doi: 10.34194/geusb.v44.5342.

Anderson T.F., Arthur M.A. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems // SEPM Short Course, 1983, v. 10, p. 1—151.

Armendáriz M., Rosales I., Bádenas B., Aurell M., García-Ramos J.C., Piñuela L. High-resolution chemostratigraphic records from Lower Pliensbachian belemnites: Palaeoclimatic perturbations, organic facies and water mass exchange (Asturian basin, northern Spain) // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2012, v. 333—334, p. 178—191, doi: 10.1016/j.palaeo.2012.03.029.

Bill M., O'Dogherty L., Guex J., Baumgartner P.O., Masson H. Radiolarite ages in Alpine-Mediterranean ophiolites: Constraints on the oceanic spreading and the Tethys-Atlantic connection // GSA Bull., 2001, v. 113 (1), p. 129—143, doi: 10.1130/0016-7606(2001)113<0129:RAIAMO>2.0.CO;2.

Blakey R. Paleotectonic and paleogeographic history of the Arctic region // Atl. Geol., 2021, v. 57, p. 7–39, doi: 10.4138/atlgeol.2021.002.

Blodgett R.B., Hults C.P., Stromquist L., Santucci V.L., Tweet J.S. An inventory of Middle Jurassic fossils and their stratigraphic setting at Fossil Point, Tuxedni Bay, Lake Clark National Park and Preserve, Alaska // Nat. Resour. Rep., NPS/LACL/NRR—2015/932. Colorado, National Park Service, Fort Collins, 2015, 26 p.

Bodin S., Mau M., Sadki D., Danisch J., Nutz A., Krencker F.-N., Kabiri L. Transient and secular changes in global carbon cycling during the early Bajocian event: Evidence for Jurassic cool climate episodes // Global Planet. Change, 2020, v. 194, 103287, doi: 10.1016/j.gloplacha.2020.103287.

Brand U., Veiser J. Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system — 1. Trace element // J. Sediment. Petrol., 1980, v. 50, p. 1219—1236.

Brigaud B., Durlet C., Deconinck J.-F., Vincent B., Pucéat E., Thierry J., Trouiller A. Facies and climate/environmental changes recorded on a carbonate ramp: A sedimentological and geochemical approach on Middle Jurassic carbonates (Paris Basin, France) // Sediment. Geol., 2009, v. 222, p. 181—206, doi: 10.1016/j. sedgeo.2009.09.005.

Bruland K.W., Middag R., Lohan M.C. Controls of trace metals in seawater // Treatise on Geochemistry. 2nd ed., 2014, v. 8, p. 19–51, doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00602-1.

Callomon J.H. A review of the biostratigraphy of the post-Lower Bajocian Jurassic ammonites of the western and northern North America // Geol. Assoc. Can. Spec. Pap. 27, 1984, p. 143—174.

Callomon J.H. The Middle Jurassic of western and northern Europe: its subdivisions, geochronology and correlations // Geol. Surv. Den. Greenl. Bull., 2003, v. 1, p. 61—73, doi: 10.34194/geusb.v1.4648.

Callomon J.H., Dietl G. On the proposed basal boundary stratotype (GSSP) of the Middle Jurassic Callovian Stage // GeoResearch Forum, 2000, v. 6, p. 41—54.

Callomon J.H., Alsen P., Surlyk F. The ammonites of the Middle Jurassic *Cranocephalites* beds of East Greenland // Geol. Surv. Den. Greenl. Bull., 2015, v. 34, p. 1–145, doi: 10.34194/geusb.v34.4488.

de Lagausie B., Dzyuba O.S. Biostratigraphy of the Bajocian–Bathonian boundary interval in northern Siberia: new data on belemnites from the Yuryung-Tumus peninsula // Bull. Soc. Géol. Fr., 2017, v. 188 (1–2), p. 1–9, doi: 10.1051/bsgf/2017004.

Dera G., Brigaud B., Monna F., Laffont R., Pucéat E., Deconinck J.-F., Pellenard P., Joachimski M.M., Durlet C. Climatic ups and downs in a disturbed Jurassic world // Geology, 2011, v. 39 (3), p. 215— 218, doi: 10.1130/G31579.1.

Dera G., Prunier J., Smith P.L., Haggart J.W., Popov E., Guzhov A., Rogov M., Delsate D., Thies D., Cuny G., Pucéat E., Charbonnier G., Bayon G. Nd isotope constraints on ocean circulation, paleoclimate, and continental drainage during the Jurassic breakup of Pangea // Gondwana Res., 2015, v. 27 (4), p. 1599—1615, doi: 10.1016/j.gr.2014.02.006.

Dietze V., Dietl G. Feinstratigraphie und Ammoniten-Faunen-horizonte im Ober-Bajocium und Bathonium des Ipf-Gebietes (Schwäbische Alb, Südwestdeutschland) // Stuttgart. Beitr. Naturkd., Ser. B, 2006, v. 360, p. 1–51.

Dzyuba O.S., de Lagausie B. New belemnites (Megateuthididae, Cylindroteuthididae) from the Bajocian and Bathonian of the Yuryung-Tumus Peninsula, northern Siberia, Russia and their palaeobiogeographic implications // Paläontolog. Z., 2018, v. 92, p. 87—105, doi: 10.1007/s12542-017-0380-6.

Dzyuba O.S., Izokh O.P., Shurygin B.N. Carbon isotope excursions in Boreal Jurassic–Cretaceous boundary sections and their correlation potential // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2013, v. 381—382, p. 33—46, doi: 10.1016/j.palaeo.2013.04.013.

Dzyuba O.S., Schraer C.D., Hults C.P., Blodgett R.B., Schraer D.J. Early Bajocian belemnites of Southcentral Alaska: new data and new perspectives on mid-Middle Jurassic Megateuthididae and Belemnop-seidae biogeography // J. Syst. Paleontol., 2019, v. 17 (11), p. 911—935, doi: 10.1080/14772019.2018.1486335.

Fernandez-Lopez S.R., Chong-Diaz G.B. *Dimorphinites* (Ammonoidea, Jurassic, Upper Bajocian) in the Precordillera of northern Chile // J. Paleontol., 2011, v. 85, p. 395—405, doi: 10.2307/23020178.

Fernandez-Lopez S.R., Chong-Diaz G.B. *Strigoceras septicarinatum* (Jurassic Ammonoidea) in the Precordillera of North Chile: Paleobiogeographical and paleoenvironmental implications // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2014, v. 409, p. 290—300, doi: 10.1016/j.palaeo.2014.05.022.

Frebold H. Illustrations of Canadian Fossils. Jurassic of Western and Arctic Canada // Geol. Surv. Can., Pap. 63-4, 1964, p. 1–107.

Geologic Time Scale 2020 / Eds. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Elsevier, 2020, v. 1, p. 1–562.

Gómez J.J., Canales M.L., Ureta S., Goy A. Palaeoclimatic and biotic changes during the Aalenian (Middle Jurassic) at the southern Laurasian Seaway (Basque–Cantabrian Basin, northern Spain) // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2009, v. 275, p. 14—27, doi: 10.1016/j.palaeo.2009.01.009.

Hall R., McNicoll V., Gröcke D.R., Craig J., Johnston K. Integrated stratigraphy of the lower and middle Fernie Formation in Alberta and British Columbia, western Canada // Riv. Ital. Paleontol. Stratigr., 2004, v. 110 (1), p. 61–68, doi: 10.13130/2039-4942/6264.

Haq B.U. Jurassic sea-level variations: a reappraisal // GSA Today, 2018, v. 28 (1), p. 4—10, doi: 10.1130/GSATG359A.1.

Hesselbo S.P., Morgans-Bell H.S., McElwain J.C., Rees P.M., Robinson S.A., Ross C.E. Carbon-cycle perturbation in the Middle Jurassic and accompanying changes in the terrestrial paleoenvironment // J. Geol., 2003, v. 111 (3), p. 259—276, doi: 10.1086/373968.

Imlay R.W. Middle Jurassic (Bathonian) ammonites from southern Alaska // USGS Prof. Pap. 1091, 1980, p. 1–42.

Izokh O.P., Izokh N.G., Saraev S.V., Dokukina G.A. C isotopic variations in the lower-middle Frasnian (lower Upper Devonian) of the Rudny Altai // Geol. Mag., 2015, v. 152 (3), p. 565—571, doi: 10.1017/ S0016756814000703.

Jenkyns H.C., Jones C.E., Gröcke D.R., Hesselbo S.P., Parkinson D.N. Chemostratigraphy of the Jurassic System: applications, limitations and implications for palaeoceanography // J. Geol. Soc. London, 2002, v. 159, p. 351—378, doi: 10.1144/0016-764901-130.

Jones C.E., Jenkyns H.C., Coe A.L., Hesselbo S.P. Strontium isotopic variations in Jurassic and Cretaceous seawater // Geochim. Cosmochim. Acta, 1994, v. 58 (14), p. 3061—3074.

Kelly S.R.A., Gregory F.J., Braham W., Strogen D.P., Whitham A.G. Towards an integrated Jurassic biostratigraphy for eastern Greenland//Vol. Jurassica, 2015, v. 13 (1), p. 43—64, doi: 10.5604/17313708.1148657.

Korte C., Hesselbo S.P., Ullmann C.V., Dietl G., Ruhl M., Schweigert G., Thibault N. Jurassic climate mode governed by ocean gateway // Nat. Commun., 2015, v. 6, 10015, doi: 10.1038/ncomms10015.

Labails C., Olivet J.-L., Aslanian D., Roest W.R. An alternative early opening scenario for the Central Atlantic Ocean // Earth Planet. Sci. Lett., 2010, v. 297, p. 355—368, doi: 10.1016/j.epsl.2010.06.024.

Metodiev L., Koleva-Rekalova E. Stable isotope records (δ^{18} O and δ^{13} C) of Lower-Middle Jurassic belemnites from the Western Balkan mountains (Bulgaria): Palaeoenvironmental application // Appl. Geochem., 2008, v. 23, p. 2845—2856, doi: 10.1016/j.apgeochem.2008.04.010.

Mitta V., Kostyleva V., Dzyuba O., Glinskikh L., Shurygin B., Seltzer V., Ivanov A., Urman O. Biostratigraphy and sedimentary settings of the Upper Bajocian-Lower Bathonian in the vicinity of Saratov (Central Russia) // Neues Jb. Geol. Paläontol. Abh., 2014, v. 271 (1), p. 95—121, doi: 10.1127/0077-7749/2014/0380.

Mitta V., Glinskikh L., Kostyleva V., Dzyuba O., Shurygin B., Nikitenko B. Biostratigraphy and sedimentary settings of the Bajocian-Bathonian beds of the Izhma River basin (European North of Russia) // Neues Jb. Geol. Paläontol. Abh., 2015, v. 277 (3), p. 307—335, doi: 10.1127/njgpa/2015/0507.

Mönnig E., Dietl G. The systematics of the ammonite genus *Kepplerites* (upper Bathonian and basal Callovian, Middle Jurassic) and the proposed basal boundary stratotype (GSSP) of the Callovian Stage // Neues Jb. Geol. Paläontol. Abh., 2017, v. 286, p. 235–287, doi: 10.1127/njgpa/2017/0697.

Morton N., Mitta V.V., Underhill J.R. Ammonite occurrences in North Sea cores: implications for Jurassic Arctic–Mediterranean marine seaway connectivity // Scott. J. Geol., 2020, v. 56, p. 175—195, doi: 10.1144/sjg2019-030.

O'Dogherty L., Sandoval J., Bartolini A., Bruchez S., Bill M., Guex J. Carbon-isotope stratigraphy and ammonite faunal turnover for the Middle Jurassic in the Southern Iberian palaeomargin // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2006, v. 239, p. 311–333, doi: 10.1016/j.palaeo.2006.01.018.

Philippe M., Puijalon S., Suan G., Mousset S., Thévenard F., Mattioli E. The palaeolatitudinal distribution of fossil wood genera as a proxy for European Jurassic terrestrial climate // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2017, v. 466, p. 373—381, doi: 10.1016/j.palaeo.2016.11.029.

Price G.D. Carbon-isotope stratigraphy and temperature change during the Early–Middle Jurassic (Toarcian–Aalenian), Raasay, Scotland, UK // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2010, v. 285, p. 255–263, doi: 10.1016/j.palaeo.2009.11.018.

Price G.D., Főzy I., Galácz A. Carbon cycle history through the Middle Jurassic (Aalenian–Bathonian) of the Mecsek Mountains, Southern Hungary // Geol. Carpathica, 2018, v. 69 (2), p. 117–127, doi: 10.1515/geoca-2018-0007.

Purgstaller B., Dietzel M., Baldermann A., Mavromatis V. Control of temperature and aqueous Mg^{2+/} Ca²⁺ ratio on the (trans-)formation of ikaite // Geochim. Cosmochim. Acta, 2017, v. 217, p. 128—143, doi: 10.1016/j.gca.2017.08.016.

Raucsik B., Varga A. Climato-environmental controls on clay mineralogy of the Hettangian–Bajocian successions of the Mecsek Mountains, Hungary: An evidence for extreme continental weathering during the early Toarcian oceanic anoxic event // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2008, v. 265, p. 1–13, doi: 10.1016/j.palaeo.2008.02.004.

Roche D.M., Donnadieu Y., Pucéat E., Paillard D. Effect of changes in δ^{18} O content of the surface ocean on estimated sea surface temperatures in past warm climate // Paleoceanogr. Paleoclimatol., 2006, v. 21, PA2023, doi: 10.1029/2005PA001220.

Rosales I., Quesada S., Robles S. Primary and diagenetic isotopic signals in fossils and hemipelagic carbonates: the Lower Jurassic of northern Spain // Sedimentology, 2001, v. 48, p. 1149—1169, doi: 10.1046/j.1365-3091.2001.00412.x.

Sandoval J., O'Dogherty L., Aguado R., Bartolini A., Bruchez S., Bill M. Aalenian carbon-isotope stratigraphy: Calibration with ammonite, radiolarian and nannofossil events in the Western Tethys // Palaeo-geogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2008, v. 267, p. 115—137, doi: 10.1016/j.palaeo.2008.06.013.

Schweigert G., Dietze V., Chandler R.B., Mitta V. Revision of the Middle Jurassic dimorphic ammonite genera *Strigoceras/Cadomoceras* (Strigoceratidae) and related forms // Stuttgart. Beitr. Naturkd., Ser. B, 2007, v. 373, p. 1—74.

Selleck B.W., Carr P.F., Jones B.G. A review and synthesis of glendonites (pseudomorphs after ikaite) with new data: Assessing applicability as recorders of ancient coldwater conditions // J. Sediment. Res., 2007, v. 77, p. 980—991, doi: 10.2110/jsr.2007.087.

Stockmann G., Tollefsen E., Skelton A., Brüchert V., Balic-Zunic T., Langhof J., Skogby H., Karlsson A. Control of a calcite inhibitor (phosphate) and temperature on ikaite precipitation in Ikka Fjord, southwest Greenland // Appl. Geochem., 2018, v. 89, p. 11–22, doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.11.005.

Suchéras-Marx B., Guihou A., Giraud F., Lécuyer C., Allemand P., Pittet B., Mattioli E. Impact of the Middle Jurassic diversification of *Watznaueria* (coccolith-bearing algae) on the carbon cycle and δ^{13} C of bulk marine carbonates // Global Planet. Change, 2012, v. 86–87, p. 92–100, doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.02.007.

Suchéras-Marx B., Giraud F., Fernandez V., Pittet B., Lécuyer C., Olivero D., Mattioli E. Duration of the early Bajocian and the associated δ^{13} C positive excursion based on cyclostratigraphy // J. Geol. Soc. London, 2013, v. 170, p. 107—118, doi: 10.1144/jgs2011-133.

Suchéras-Marx B., Mattioli E., Giraud F., Escarguel G. Paleoenvironmental and paleobiological origins of coccolithophorid genus *Watznaueria* emergence during the late Aalenian–early Bajocian // Paleobiology, 2015, v. 41 (3), p. 415–435, doi: 10.1017/pab.2015.8.

Surlyk F., Alsen P., Bjerager M., Dam G., Engkilde M., Hansen C.F., Larsen M., Noe-Nygaard N., Piasecki S., Therkelsen J., Vosgerau H. Jurassic stratigraphy of East Greenland // GEUS Bull., 2021, v. 46, 6521, doi: 10.34194/geusb.v46.6521.

The Jurassic of the Circum-Pacific / Ed. G.E.G. Westermann. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1992, 676 p.

Ullmann C.V., Korte C. Diagenetic alteration in low-Mg calcite from macrofossils: a review // Geol. Q., 2015, v. 59 (1), p. 3—20, doi: 10.7306/gq.1217.

Ullmann C.V., Hesselbo S.P., Korte C. Tectonic forcing of Early to Middle Jurassic seawater Sr/Ca // Geology, 2013, v. 41 (12), p. 1211—1214, doi: 10.1130/G34817.1.

Veizer J. Chemical diagenesis of carbonates: Theory and application of trace element technique // SEPM Short Course, 1983, v. 10, p. 3—100.

Vickers M.L., Hougård I.W., Alsen P., Ullmann C.V., Jelby M.E., Bedington M., Korte C. Middle to Late Jurassic palaeoclimatic and palaeoceanographic trends in the Euro-Boreal region: Geochemical insights from East Greenland belemnites // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2022, v. 597, 111014, doi: 10.1016/j.palaeo.2022.111014.

Wierzbowski H., Joachimski M. Reconstruction of late Bajocian—Bathonian marine palaeoenvironments using carbon and oxygen isotope ratios of calcareous fossils from the Polish Jura Chain (central Poland) // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2007, v. 254, p. 523—540, doi: 10.1016/j.palaeo.2007.07.010.

Wierzbowski H., Joachimski M.M. Stable isotopes, elemental distribution, and growth rings of belemnopsid belemnite rostra: proxies for belemnite life habitat // Palaios, 2009, v. 24, p. 377—386, doi: 10.2110/palo.2008.p08-101r.

Wierzbowski H., Anczkiewicz R., Bazarnik J., Pawlak J. Strontium isotope variations in Middle Jurassic (Late Bajocian–Callovian) seawater: Implications for Earth's tectonic activity and marine environments // Chem. Geol., 2012, v. 334, p. 171–181, doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.10.019.

Wierzbowski H., Anczkiewicz R., Pawlak J., Rogov M.A., Kuznetsov A.B. Revised Middle–Upper Jurassic strontium isotope stratigraphy // Chem. Geol., 2017, v. 466, p. 239—255, doi: 10.1016/j.chemgeo.2017.06.015.

Zakharov V.A., Rogov M.A., Dzyuba O.S., Žák K., Košťák M., Pruner P., Skupien P., Chadima M., Mazuch M., Nikitenko B.L. Palaeoenvironments and palaeoceanography changes across the Jurassic/Cretaceous boundary in the Arctic realm: case study of the Nordvik section (north Siberia, Russia) // Polar Res., 2014, v. 33, 19714, doi: 10.3402/polar.v33.19714.

Zakharov Yu.D., Kuznetsov A.B., Kakabadze M.V., Sharikadze M.Z., Gavrilova A.A., Kramchaninov A.Yu. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr record of Early Cretaceous (Barremian—Albian) marine invertebrates: First evidence from the Caucasus - palaeoenvironmental implications // Cretaceous Res., 2021, v. 124, 104834, doi: 10.1016/j. cretres.2021.104834.

Zakharov Yu.D., Kuznetsov A.B., Gavrilova A.A., Stativko V.S. A new ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr record of Cretaceous marine invertebrates from the palaeo-Pacific and its implication for stratigraphic and palaeoenvironmental reconstructions // Cretaceous Res., 2022, v. 139, 105298, doi: 10.1016/j.cretres.2022.105298.