

**РАННЕКАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ЗАПАДНОЙ
ЧУКОТКИ (АЛЯРМАУТСКОЕ ПОДНЯТИЕ)****В.Э. Загоскина-Белошей***Геологический институт РАН, Москва, Россия; e-mail: ms.beloshey@mail.ru*

Поступила в редакцию 28 апреля 2023 г.

Представлены результаты литолого-петрографического, геохимического, в том числе изотопного ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$), анализов каменноугольных карбонатных пород Алярмаутского поднятия. Выделено три типа турнейско-визейских терригенно-карбонатных пород: 1) темно-серые карбонатные сланцы с повышенным содержанием РЗЭ и органического вещества; 2) светло-серые мраморизованные известняки; 3) белые толстоплитчатые известняки. Содержание РЗЭ и органического вещества постепенно снижается снизу вверх по разрезу – от первого к третьему типам. Накопление всех трех типов происходило на открытой карбонатной платформе, питающей провинцией которой являлись преимущественно породы кислого состава при вероятном подчиненном участии пород основного-ультраосновного состава.

Ключевые слова: мраморизованные известняки, редкоземельные элементы, изотопы углерода и кислорода, условия осадконакопления, вернитикайвеемская свита, Алярмаутское поднятие, Западная Чукотка.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение палеозойских отложений Западной Чукотки началось в середине прошлого века, когда на территории региона проводили разномасштабное картирование. Регион труднодоступен, палеозойские отложения характеризуются плохой обнаженностью и наблюдаются в виде отдельных выходов в пределах поднятий и представлены разрозненными фрагментами разреза, к тому же интенсивно деформированными. В 1951 г. девон-каменноугольная толща была ошибочно отнесена к докембрию, однако позднее, на основании находок фаунистических остатков Г.М. Соуновым в 1956 г. возраст толщ был пересмотрен (отчет Долинина, Евстафьева, 1962). Длительное время результаты картирования были единственным источником для характеристики палеозойских образований Чукотки, пока в 2001 г. И.В. Тибилыным и И.Ю. Черепановой материалы по региональной геологии Чукотки не были обобщены в небольшой монографии [25]. В этой работе были отмечены проблемы корреляции толщи Алярмаутского поднятия с другими каменноугольными образованиями Чукотки, что связано с их интенсивными деформациями и недостатком палеонтологических данных. Позднее в статье М.И. Тучковой было отмечено формирование палеозойских

пород Алярмаутского поднятия на краю карбонатной платформы при постепенном понижении поступления терригенного материала с суши [44]. В связи с недавними находками девонско-каменноугольных отложений на арктическом шельфе [7, 32], интерес к палеозойским образованиям Восточной Арктики опять возрос. Для надежной корреляции образований других регионов с палеозойскими карбонатными породами этой части Чукотки необходимо использование современных методов исследования, которое ранее было ограниченным или отсутствовало.

Целью настоящих исследований является уточнение обстановок осадконакопления на территории современного Алярмаутского поднятия в каменноугольное время с использованием литогеохимических и изотопных ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) характеристик карбонатных пород каменноугольной толщи.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Алярмаутское поднятие относится к Анюйскому субтеррейну Анюйско-Чукотской складчатой системы [23], палеозойские осадочные отложения в обрамлении поднятия обнажаются на правом берегу р. Погынден (рис. 1). Алярмаутское поднятие ориентировано в субмеридиональном направлении вкострости простирания структур Анюйской складчатой системы

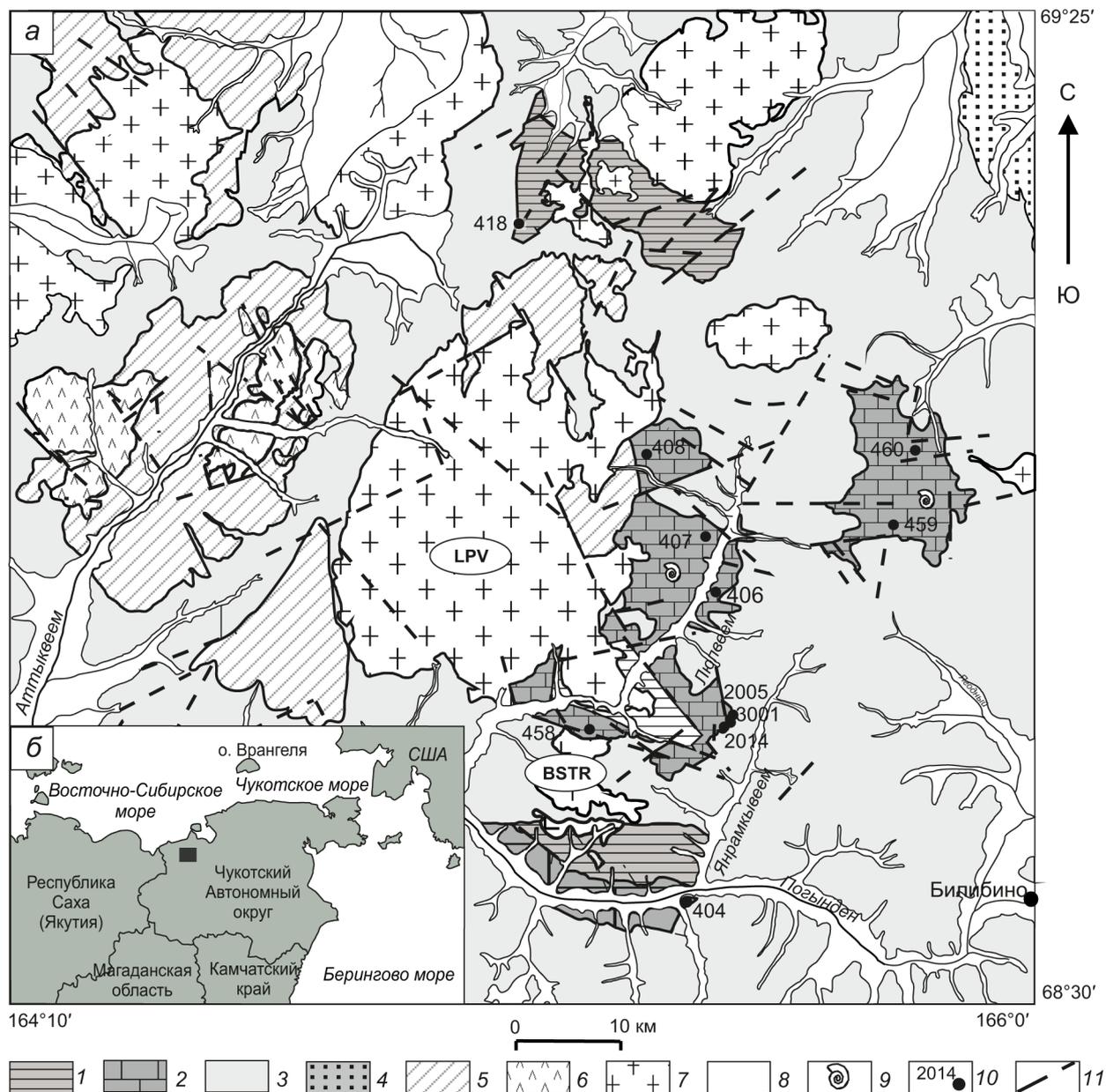


Рис. 1. Исследуемый район Алярмаутского поднятия с выделенными точками наблюдения.

a – фрагмент геологической карты региона, лист R-58-XXVII-XXVIII масштаба 1:200 000 (по [19], с изменениями); *b* – схема расположения района изучения.

1 – люпвеевская толща (D_3-C_1lp). Кварциты; 2 – верникайвеевская свита (C_1vr). Мраморизованные известняки с прослоями кварцитов; 3 – отложения триасовой системы (Т). Турбидиты; 4 – отложения юрской системы (J). Песчаники и алевролиты; 5–7 – раннемеловые образования (К); 5 – монодиориты, 6 – вулканогенные образования, 7 – гранодиориты; 8 – четвертичные образования (Q). Аллювий; 9 – фаунистические остатки; 10 – точки наблюдения; 11 – разломы.

LPV – Люпвеевский гранитный массив; BSTR – Быстринский гранитный массив.

и граничит с юрско-меловыми впадинами: на западе–северо-западе с Кытепвеевской, на юге–юго-западе – с Мырговаамской, на востоке – с Раучуанской [4]. Центральную часть поднятия занимает крупный Люпвеевский гранитный массив раннемелового возраста [8, 10, 19].

Палеозойские и мезозойские комплексы в этой части региона участвуют в покровной структуре северо-западной вергентности, которая была сформирована в неокоме [21]. При этом в палеозойских породах по структурным наблюдениям и геохронологическим данным выявлено несколько этапов мезозойских де-

формаций [3, 5, 6, 9, 22], затушевывающих проявление более ранних, произошедших в начале каменноугольного времени [15, 33]. Эти деформации привели к метаморфизму отложений палеозойского комплекса Алярмаутского поднятия до зеленосланцевой фации, а вблизи интрузивов – до эпидот-амфиболитовой фации [5, 14].

Палеозойский комплекс Алярмаутского поднятия представлен образованиями позднедевонско-раннекаменноугольного возраста, подразделенными на терригенную *лювеемскую толщу* (D_3-C_1lp) и карбонатную *вернитакайвеемскую свиту* (C_1vr) [19, 21, 25]. Общая мощность палеозойского комплекса оценивается по данным разных исследователей более чем в 1000 м [19, 25, 44]. Выше девонско-каменноугольных образований с угловым несогласием залегают отложения триаса, представленные турбидитами кэпервеемской свиты (T_1kr) [26].

Контакт вернитакайвеемской свиты с подстилающими отложениями, согласно полевым наблюдениям, постепенный, без видимого несогласия. Но в некоторых разрезах отмечается тектонический контакт с мелкоасштабными складками, маломощными зонами тектонических брекчий и элементами, свидетельствующими о пологих северо-восточных сбросах [9, 10].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы карбонатных и терригенно-карбонатных пород вернитакайвеемской свиты (C_1vr) отбирались в течение нескольких полевых сезонов М.И. Тучковой и В.Э. Загоскиной-Белошей на разные виды анализов, при этом на литологические исследования выбирались образцы из наименее деформированных фрагментов разреза, без наложенной прожилковой минерализации (49 штук). После просмотра шлифов с использованием микроскопа Olympus VX-51 в эталонной коллекции осталось 29 образцов, пригодных для литолого-петрографических исследований. Петрографические исследования заключались в установлении и определении органогенных остатков (там, где была такая возможность), установлении количества и состава терригенной примеси и новообразованных минералов, а также состава минералов, слагающих карбонатные породы. Для описания пород были использованы две классификации: для кристаллических карбонатов, первичная структура которых затушевана, использовалась классификация В.Н. Киркинской [11], для метаморфических структур мраморизованных известняков – классификация Ю.И. Половинкиной и др. [18].

Для геохимических и изотопных аналитических исследований были выбраны образцы с незначительным количеством или отсутствием терригенной при-

меси. Содержания главных породообразующих оксидов определялись методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с помощью спектрометра S4 Pioneer фирмы «Bruker» (Германия). Обработка данных проводилась программным обеспечением «SPECTRA-plus» с использованием α -коэффициентов для коррекции матричных эффектов образцов. Пределом отбора проб для дальнейших геохимических исследований являлась концентрация $CaO > 47\%$, под эту выборку подошли только 3 пробы. Исследования проводились в Геологическом институте РАН (ГИН РАН, г. Москва) в лаборатории химико-аналитических исследований, аналитик – главный специалист Б.В. Ермолаев.

Элементный анализ (ID-ICP-MS) проводился с использованием двух методик кислотного разложения: в открытой системе для карбонатных пород и в автоклавах для силикатно-карбонатных пород. Исследования проведены в аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН, Черноголовка) под руководством В.К. Карандашева. При анализе редкоземельных элементов иттрий (Y) вставлен между Ho и Dy в схеме P3Э по одинаковому заряду и близкому радиусу [29]. Все содержания P3Э и отношения, используемые в этой статье, были нормированы на PAAS (постаршейский австралийский сланец) и на C1ch (хондрит). Ce- и Eu-аномалии, нормированные на хондрит, рассчитывались по формулам: $Ce/Ce_{C1ch}^* = 2Ce_n/(La_n + Pr_n)$; $Eu/Eu_{C1ch}^* = 2Eu_n/(Sm_n + Gd_n)$ [24]. Для спектров P3Э, нормированных на PAAS, характерны положительные аномалии La и Gd, в связи с этим данные элементы не учитывались при вычислении Ce- и Eu- аномалий [36, 43, 46]. Аномалии рассчитывались по формулам: $Ce/Ce_{PAAS}^* = Ce_n/(Pr^2/Nd_n)$, $Eu/Eu_{PAAS}^* = Eu_n/(Sm^2*Tb_n)^{1/3}$ [34].

Литолого-петрографические исследования были дополнены изучением состава силикатной примеси в карбонатах на сканирующем электронном микроскопе Phenom XL с энергодисперсионной приставкой Inca Energy 350 (Великобритания, 2005) (ГИН РАН, Москва). Также были предприняты попытки обнаружить реликты органогенных остатков и первичных структурно-текстурных признаков породы.

Изотопные исследования карбонатов ($\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$) были произведены в лаборатории изотопии и геохронологии Геологического института (ГИН РАН, Москва) под руководством Б.Г. Покровского. Для определения изотопного состава C и O в карбонатах был использован комплекс аппаратуры корпорации Thermoelectron, включающий масс-спектрометр Delta V Advantage и установку Gas-Bench-II. Разложение карбонатов проводилось в 100 % ортофосфорной кис-

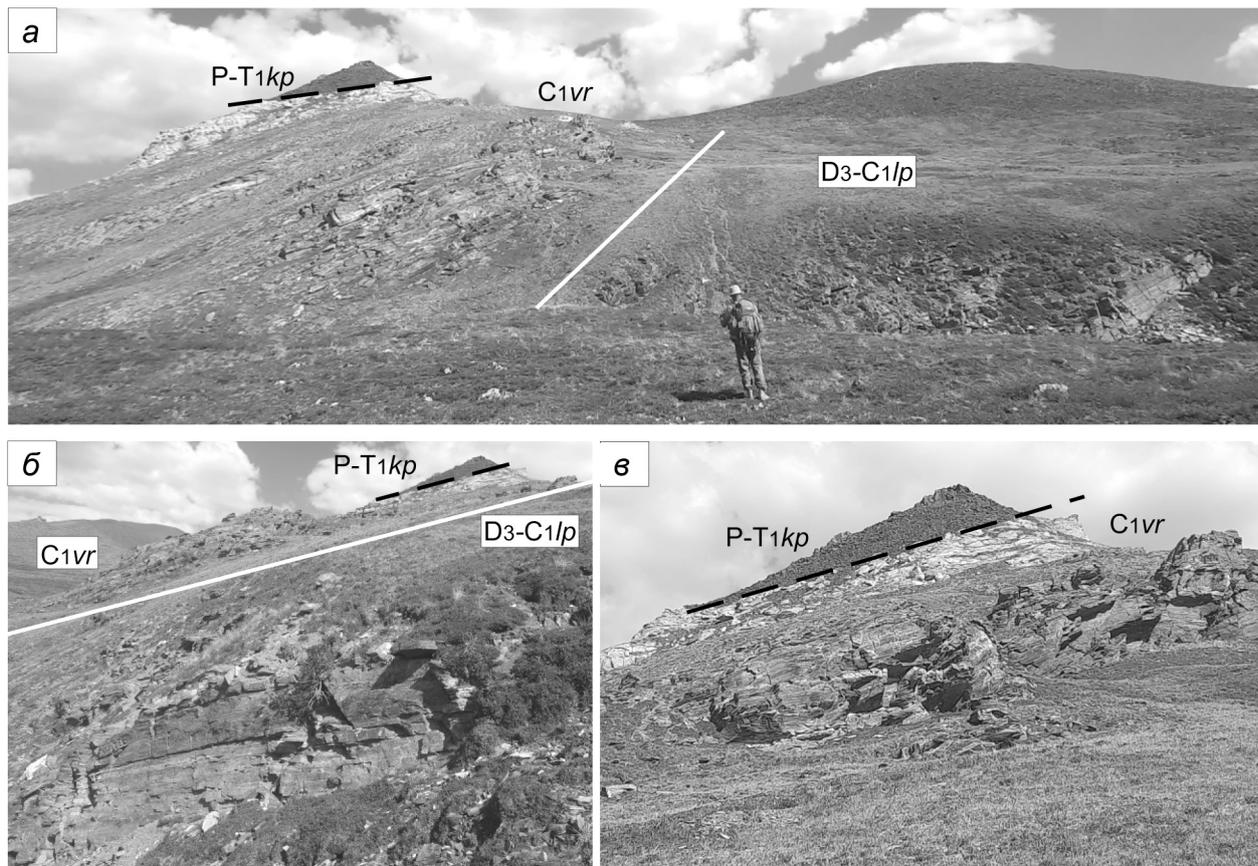


Рис. 2. Разрез палеозойского терригенно-карбонатного комплекса пород в правом борту руч. Медвежий.

a, б – согласный постепенный переход люпвеевской толщи (D_3-C_1/p) и вернитакайвеевской свиты (C_{1vr}) (фото Загоскиной-Белошей, 2023); *в* – коренной выход карбонатных пород вернитакайвеевской свиты (фото Загоскиной-Белошей, 2023).

лоте при 50 °С. Значения $\delta^{13}C$ приводятся в промилле (‰) относительно стандарта V-PDB, значения $\delta^{18}O$ – в промилле относительно стандарта V-SMOW.

ЛИТОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ ВЕРНИТАКАЙВЕЕВСКОЙ СВИТЫ

Вернитакайвеевская свита (C_{1vr}) залегает на терригенной *люпвеевской толще* (D_3-C_1/p) либо согласно с постепенным переходом, либо с тектоническим контактом [3, 9, 10]. Зеленоватые кварциты люпвеевской толщи перекрываются темно-серыми, иногда почти черными, тонкослоистыми и мелкозернистыми известковыми песчаниками и карбонатными сланцами вернитакайвеевской свиты (рис. 2). Темная окраска пород связана с наличием битумного и глинистого материала. Карбонатные сланцы постепенно сменяются серыми мраморизованными полосчатыми известняками, которые выше по разрезу становятся светло-серыми. Завершают разрез массивные сахаровидные мраморизованные известняки с прослоями и линзами кварцитов, толщина которых составляет от

0.5 до 7 см, при этом мощность прослоев увеличивается в верхней части свиты (рис. 2, 3). Общая мощность свиты составляет 110–180 м.

Единичные фаунистические остатки плохой сохранности обнаружены при картировании и только в нижней части вернитакайвеевской свиты – в темно-серых карбонатных сланцах. Они представлены брахиоподами (*Spirifer* sp.) и кораллами (*Syringopora* sp., *Favosites* sp., *Zaphrentis* sp., *Lonsdaleia (Actinocyathus) floriformis* Mart., *Chaetetes (Boswellia) septentrionalis* Gorsky) (из отчетов: Л.В. Долинина, Ю.И. Евстафьева, 1962 г.; Л.В. Долинина, Е.И. Хайкина, Г.В. Афоной, 1971 г.). Приведенная фауна свидетельствует о турнейско-визейском возрасте вмещающих ее карбонатных отложений [19]. На основе данных по остаткам кораллов *Siphonodendron irregulare* и *S. martini* возраст свиты определяется как поздневизейский (определение О.Л. Коссовой, ВСЕГЕИ, [44]), что позволяет датировать возраст свиты как турне-поздневизейский.

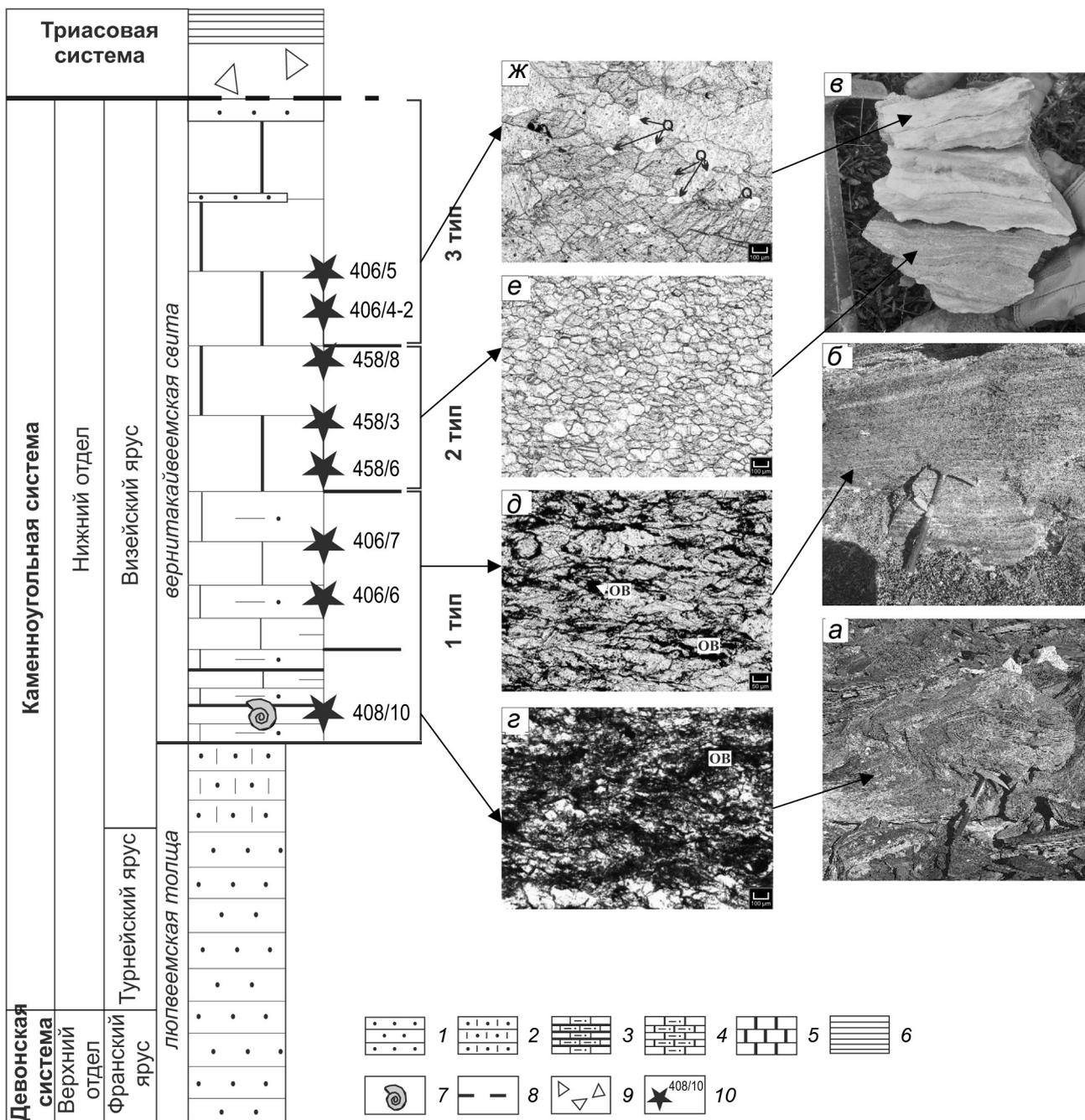


Рис. 3. Стратиграфическая колонка девон-каменноугольного осадочного комплекса Алярмутского поднятия.

1 – кварциты, 2 – известковые кварциты, 3 – алевритистые мраморизованные известняки с прослоями битумизированного ОБ, 4 – алевритистый мраморизованный известняк, 5 – мрамор, 6 – аргиллиты, 7 – органогенные остатки, 8 – тектоническое несогласие, 9 – тектоническая брекчия, 10 – точка отбора и номер образца.

Фотографии (Загоскиной-Белошей, 2023): а, б – темно-серые (почти черные) деформированные карбонатные сланцы 1 типа нижней части разреза; в – образец светло-серых мраморизованных известняков 2 типа средней части разреза и образец белых, мраморизованных известняков 3 типа верхней части разреза свиты. Q – кварц.

Фотографии шлифов: г – алевритистый мелко-среднезернистый известковый сланец с битумизированным ОБ, д – среднезернистый известковый сланец с алевритовой примесью и обугленным ОБ, е – мраморизованный крупно-среднезернистый известняк, ж – крупнокристаллический мраморизованный известняк с алевритовой примесью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Литолого-петрографический анализ

В строении *вернитакайвеемской* свиты выделено 3 типа пород, закономерно сменяющих друг друга снизу вверх по разрезу (рис. 3):

Первый тип представлен темно-серыми (почти черными) карбонатными сланцами с редкими кораллами в нижней части разреза;

Второй тип – тонко- и среднеплитчатые светло-серые мраморизованные известняки (в средней части разреза);

Третий тип – толстоплитчатые белые мраморизованные известняки, слагающие верхнюю часть разреза свиты.

Каждый из выделенных типов известняков *вернитакайвеемской* свиты обладает определенным набором петрографических характеристик.

Карбонатные сланцы **первого типа** представляют собой алевритистые мелко-среднезернистые известковые сланцы с битуминизированным органическим веществом (ОВ). Порода состоит из кальцита (55 %), кварца (25 %), битуминизированного ОВ (до 20 %) и редких обломков кораллов (до 5 %). Эти обломки образуют органогенно-реликтовую структуру. Битуминизированное ОВ представлено реликтами водорослевых сгустков неясного (?) систематического происхождения, обладает мелкогустково-кристаллической структурой и образует линейно вытянутые скопления вдоль кливажа. Чередование полос мраморизованного известняка с прослоями, содержащими битуминизированное ОВ и кварц, обуславливает тонкослоистую микротекстуру.

Выше с постепенным переходом залегают среднезернистые известковые сланцы с алевритовой примесью и битуминизированным ОВ. Сланцы сложены преимущественно кальцитом, содержание которого может достигать 65 %, и кварцем в количестве не более 10 %, присутствует битуминизированное органическое вещество не более 25 %. Микроструктура мелкогустковая, полосчатая, обусловленная чередованием примесей кварца и органического вещества.

Вторичные изменения сланцев первого типа связаны главным образом с влиянием метаморфизма. Новообразованные слюдистые минералы ориентированы вдоль кливажных трещин. Перекристаллизация кальцита сопровождается формированием его удлиненных кристаллов также вдоль кливажных трещин. Под действием стресса они плотно соприкасаются друг с другом, образуя лепидогранобластовую структуру и сланцеватую текстуру. Первичного цемента нет, присутствует регенерационный.

Второй тип пород представлен крупно-среднезернистыми мраморизованными известняками с неравномернозернистой микроструктурой и беспорядочной микротекстурой. Известняки сложены крупно-среднезернистым (70 %) и крупнозернистым (20 %) кальцитом.

Вторичные изменения выражены в образовании гранобластовой микроструктуры с инкорпорацией одних зерен в другие. Цемента нет, наблюдаются веерообразные скопления (10 %) крупных агрегатов метаморфических слюд размером 0.1–0.4 мм.

Белые мраморизованные известняки **третьего типа** представлены крупнокристаллическими мраморизованными известняками с беспорядочной микротекстурой, сложены преимущественно кальцитом (90–95 %) с примесью окатанных зерен кварца алевритовой размерности в количестве около 5 %.

Вторичные изменения обусловлены сланцеватостью – параллельной ориентировкой бластических зерен, структура основной ткани гранобластовая, с инкорпорацией зерен, цемент отсутствует. Первичный кальцит перекристаллизован с формированием полисинтетических двойников кристаллов кальцита.

Геохимические исследования

В публикациях, использующих геохимические данные для анализа известняков, применяется ряд соотношений и концентраций, которые помогают определить палеогеографические характеристики формирования карбонатов. Одной из важных характеристик является суммарное содержание РЗЭ, низкое (1.31–30 г/т [48]) значение которых характерно для морских обстановок [29, 30, 39]. В образцах *вернитакайвеемской* свиты суммарная концентрация РЗЭ уменьшается снизу вверх по разрезу от 18.6 до 6.0 г/т (табл. 1).

Для большей достоверности результатов образцы *вернитакайвеемской* свиты нормированы на разные константы – на C_1 хондрит (C_1ch , по методу [28]) и на постархейский сланец (РААС [47]). Спектры распределения РЗЭ, нормированных на хондрит (C_1ch), субпараллельны, кривые ЛРЗЭ полого наклонены в сторону ТРЗЭ. Во всех образцах отмечаются отрицательные Eu-аномалии (0.5–0.6), отрицательные Се-аномалии (0.8) отмечены для верхней части разреза, в нижней части разреза Се-аномалии отсутствуют или слабо выражены (1–0.9) (табл. 1, рис. 4, а). Нормированные на постархейский сланец (РААС) спектры распределения РЗЭ в целом субпараллельны. Отрицательные Се-аномалии слабо выражены, отрицательная Eu-аномалия отмечена только в известняках **первого** типа (обр.408/10), вверх по разрезу она исчезает (табл. 1, рис. 4, б).

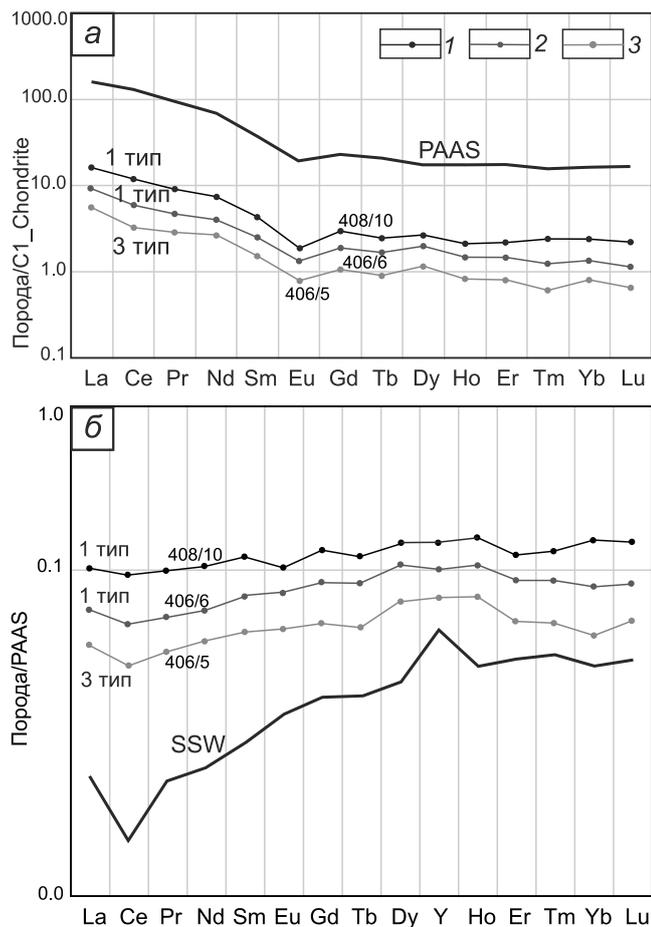


Рис. 4. Диаграммы распределения РЗЭ в карбонатных и терригенно-карбонатных породах вернитакайвеевской свиты.

a – нормированные на C1ch; *б* – спектры распределения РЗЭ + Y, нормированные на PAAS.

1 – алевроитистые мелко-среднезернистые известковые сланцы с битуминизированным ОБ 1 типа, 2 – среднезернистые известковые сланцы с алевроитовой примесью и битуминизированным ОБ 1 типа, 3 – крупнокристаллические мраморизованные известняки с алевроитовой примесью 4 типа.

Примечание. SSW (морская вода) по [35].

Распределение основных типоморфных элементов (Ti, Mn, Zr, Sr, Ba) имеет одноподобный характер (рис. 5, *a*). Содержания Ti, Mn, Zr, Sr ниже кларковых (табл. 2), при этом вверх по разрезу содержания этих элементов еще более понижаются (табл. 2, рис. 5, *a*). В целом карбонатные породы свиты характеризуются вышекларковыми содержаниями Ba (табл. 2, рис. 5, *a*), которые имеют, скорее всего, седиментационную природу, так как бариеносных прожилков в шлифах не было обнаружено.

Элементы-примеси (Cr, Ni, Co, V, Cu, Pb, Sn, Zn, Be, Nb, Rb, Y, Sc) также имеют одноподобное распределение с наибольшей концентрацией в алевроитистых

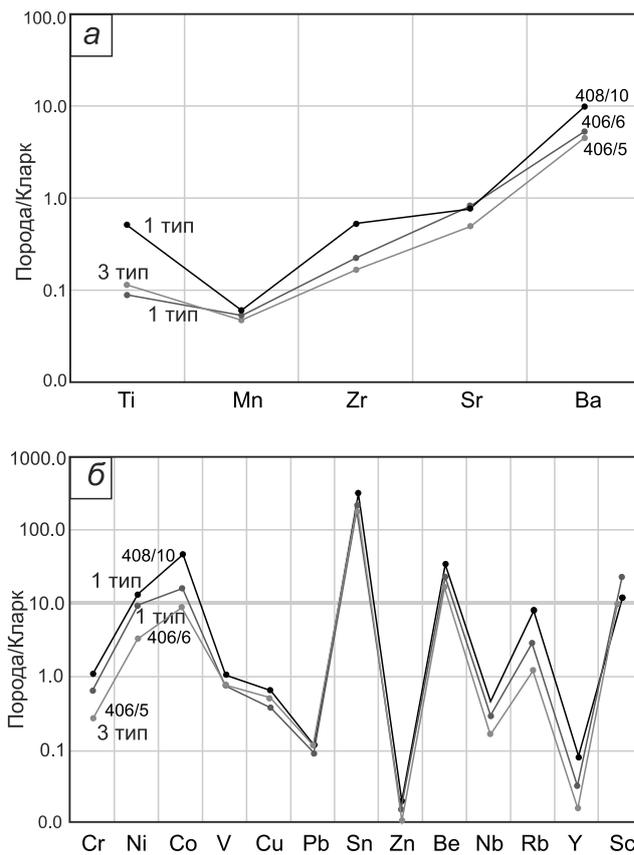


Рис. 5. Диаграммы распределения основных типоморфных элементов (*a*) и элементов примесей (*б*) в отложениях вернитакайвеевской свиты.

Условные обозначения см. рис. 4.

известковых сланцах первого типа (табл. 2, рис. 5, *б*). Как и для остальных элементов, для них характерно снижение концентраций вверх по разрезу.

С- и O-изотопный состав известняков

Для изотопных исследований были использованы образцы с наименьшими изменениями слагающих породы минералов и с наименьшим количеством терригенной примеси. Кроме того, перед анализом изотопных данных оценивалось влияние постседиментационных преобразований на изотопный состав изученных отложений. Для этого были использованы соотношения Mn/Sr и Fe/Sr. Концентрации Mn, Fe и Sr в отложениях вернитакайвеевской свиты составляют: Mn от 18.8 до 24.0 г/т, Fe от 77.7 до 101.1 г/т, Sr от 300.1 до 501.4 г/т, при этом отмечается закономерное уменьшение содержаний этих элементов и их соотношений вверх по разрезу (табл. 3, 4).

Соотношения Mn/Sr и Fe/Sr для образцов вернитакайвеевской свиты составляют: Mn/Sr = 0.4–0.6, Fe/Sr = 0.2–0.3 (табл. 4), что соответствует накоплению

Таблица 1. Содержание редкоземельных (г/т) элементов и значения некоторых геохимических индексов карбонатных пород вернитакайвеемской свиты.

Тип	1	1	3
№ обр.	408/10	406/6	406/5
La	3.8	2.1	1.3
Ce	7.3	3.6	2.0
Pr	0.9	0.4	0.3
Nd	3.5	1.9	1.2
Sm	0.7	0.4	0.2
Eu	0.1	0.1	0.05
Gd	0.6	0.4	0.2
Tb	0.1	0.1	0.03
Dy	0.7	0.5	0.3
Ho	0.1	0.1	0.05
Er	0.4	0.2	0.1
Tm	0.1	0.03	0.02
Yb	0.4	0.2	0.1
Lu	0.1	0.03	0.0
ΣРЗЭ	18.6	10.1	6.0
Y	3.7	2.5	1.8
(ЛРЗЭ/ТРЗЭ) _{Clch}	2.6	2.2	2.4
Ce/Ce _{PAAS} *	1.1	1.1	1.0
Eu/Eu _{PAAS} *	0.8	1.0	1.0
Ce/Ce _{Clch} *	1.0	0.9	0.8
Eu/Eu _{Clch} *	0.5	0.6	0.6

карбонатов в морском бассейне. Известно, что метеорные и элизионные флюиды, обогащенные Mn и Fe и обедненные Sr и $\delta^{18}\text{O}$, могут нарушить изотопную систему карбонатов, что приводит к росту отношений Mn/Sr и Fe/Sr и уменьшению $\delta^{18}\text{O}$ [17, 20]. Поэтому для известняков морского бассейна считаются следующие пределы отношений: Mn/Sr ≤ 4 , Fe/Sr ≤ 10 и значения $\delta^{18}\text{OSMOW} > 20 \text{ ‰}$ [17, 20].

Значения изотопного состава углерода вернитакайвеемской свиты изменяются в пределах от 1.9 до 3.7 ‰ (табл. 4, рис. 6). Такие значения характерны для морских условий осадконакопления, где $\delta^{13}\text{C}$ составляют $0 \pm 2\text{--}3 \text{ ‰}$ [40, 41, 45]. Также области морского карбонатонакопления (ОМК) соответствуют значения изотопного состава кислорода $\delta^{18}\text{OSMOW}$ в известняках свиты – значения от 20.5 до 24.4 ‰, за исключением одного образца (обр. 406/5) **третьего** типа пород свиты со значением $\delta^{18}\text{OSMOW} = 13.4 \text{ ‰}$.

Корреляция изотопного состава углерода и кислорода отсутствует, как и корреляция изотопного состава углерода с содержанием кремнезема (табл. 3, 4).

Однако можно отметить, что карбонатные сланцы и известняки **первого** и **третьего** типа характеризуются положительными значениями $\delta^{13}\text{C}$, а **второго** типа – отрицательными (табл. 4).

При нанесении данных величины $\delta^{13}\text{C}$ образцов Алярмаутского поднятия на кривые обобщенных трендов мировой шкалы [42] в целом отмечается совпадение с поздневизейско-серпуховским интервалом (рис. 7). Эти данные противоречат стратиграфическому возрасту свиты, установленному по фауне (турне-поздний визе). В связи с этим, можно предположить более продолжительный этап карбонатонакопления в Алярмаутском палеобассейне, продолжающийся от турнейского до серпуховского века.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Карбонатное осадконакопление на территории Восточной Арктики в полной мере проявилось с началом каменноугольного периода. Изменение характера осадконакопления связано с началом элмирской орогении, широко распространенной на территории Восточной Чукотки. В разрезах палеозоя Западной Чукотки проявление этого тектонического этапа фиксируется севернее, в основании карбонатных образований девонско-каменноугольной толщи м. Кибера, представленных конгломератами [15, 33].

В Алярмаутском палеобассейне карбонатное осадконакопление продолжалось от турнейского до визейского времени, о чем свидетельствуют находки фаунистических остатков этих стратиграфических интервалов. Но, возможно, карбонатонакопление продолжалось и в серпуховское время, что отмечается по корреляции изотопных соотношений ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) вернитакайвеемской свиты с мировым трендом величины $\delta^{13}\text{C}$ (рис. 7).

В вернитакайвеемской свите установлено три типа пород, сменяющих друг друга вверх по разрезу – от карбонатных сланцев темно-серого цвета **первого** типа в основании разреза до завершающих разрез белых мраморизованных известняков **третьего** типа. Высокое содержание терригенной примеси и органического вещества, отмеченное в известняках **первого** типа, постепенно снижаются вверх по разрезу. Поэтому промежуточный **второй** тип имеет переходные литологические характеристики, свойственные **первому** и **третьему** типам (рис. 2, 3).

Анализ литологических данных, позволивший выделить три типа пород, разрешает считать, что исходным осадком для известковых сланцев **первого** типа служили водорослевые известняки, образованные в морском бассейне с ограниченной циркуляцией, возможно лагуне (рис. 8). Мраморизованные извест-

Таблица 2. Содержание ряда химических элементов (г/т) и значения некоторых геохимических индексов карбонатных и терригенно-карбонатных пород вернитакайвеемской свиты.

№ обр	Ti	Mn	Zr	Sr	Ba	Cr	Ni	Co	V	Cu	Pb	Sn	Zn
408/10	617.5	24.0	10.3	471	97.5	12.2	28.9	4.9	21.3	12.6	2.8	1.1	34.1
406/6	106.1	21.1	4.5	501	52.3	7.3	20.5	1.7	15.6	12.0	1.6	0.9	23.5
406/5	137.9	18.8	3.3	300	44.5	3.1	7.0	0.94	16.0	24.2	2.2	1.1	15.2
кларк	1200	400	20	610	10	11	2	0.1	20	4	9	0.1	20
№ обр	Be	Y	Nb	Rb	Sc	U	Th	Mo	Li	La/Co	Th/Co	Th/Cr	Th/Sc
408/10	0.45	3.7	0.92	25.5	2.4	2.0	1.3	2.8	11.5	0.8	0.3	0.1	0.5
406/6	0.21	2.5	0.65	10.0	1.0	2.4	0.54	4.0	8.9	1.3	0.3	0.1	0.5
406/5	0.25	1.8	0.36	3.8	0.56	4.2	0.27	18.8	5.0	1.4	0.3	0.1	0.5
кларк	0.1	30	2	3	1	2.2	1.7	0.4	5	-	-	-	-

Примечание. Темно-серым выделены вышекларковые содержания, белым – содержания близкие к кларку, светло-серым – нижекларковые. Кларк (г/т) для карбонатных пород приведен по [2].

Таблица 3. Содержание петрогенных (мас. %) элементов карбонатных и терригенно-карбонатных пород вернитакайвеемской свиты.

№ обр	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	Сумма
408/10	21.58	0.10	2.01	0.99	0.13	0.03	2.54	47.50	0.08	0.45	0.10	24.48	99.98
406/6	5.94	0.02	1.02	0.67	0.13	0.03	2.03	47.84	0.05	0.13	0.13	41.96	99.95
406/5	1.95	0.02	0.51	0.21	0.10	0.02	0.72	54.58	0.05	0.07	0.03	41.84	100.10

Таблица 4. Изотопные и геохимические характеристики карбонатных пород вернитакайвеемской свиты.

№ обр	тип	Mn, г/т	Fe, г/т	Sr, г/т	Fe/Sr	Mn/Sr	$\delta^{13}\text{CPDB}$, ‰	$\delta^{18}\text{OSMOW}$, ‰
408/10	1	24.0	101.1	471.2	0.2	0.05	0.8	23.4
406/6		24.1	101.1	501.4	0.2	0.04	-1.9	24.4
458/6	2						3.7	20.5
458/8							2.7	24.4
406/4	3						3.7	21.1
406/5		18.8	77.7	300.1	0.3	0.04	1.5	13.4

Примечание. Пустые ячейки – измерения содержаний не проводились.

няки **второго типа**, вероятно, представляли собой известковистые и известковые песчаники карбонатных отмелей. Белые мраморизованные известняки **третьего типа** накапливались, скорее всего, в условиях открытого морского бассейна. Завершают разрез белые мраморизованные известняки с линзовидными прослоями кварцевых песчаников, что может свидетельствовать об обмелении бассейна во время начавшейся регрессии.

Для детализации построений на основании литологических данных были привлечены геохимические и изотопные характеристики. Способность к осаждению и распределение основных типоморфных элементов (Ti, Mn, Zr, Sr, Ba) дает представление о физико-химических и тектонических особенностях

обстановок осадконакопления. Наиболее обогащенными элементами Ti, Mn, Zr являются мелководные отложения, по мере углубления бассейна отмечается уменьшение их содержания [13]. В отложениях вернитакайвеемской свиты отмечаются нижекларковые (фоновые) содержания Ti, Mn, Zr и Sr. Содержания этих элементов еще более понижаются вверх по разрезу, что связано с уменьшением количества терригенной примеси или с углублением дна бассейна (рис. 5, а, табл. 2). Из литературных данных известно, что суммарная концентрация РЗЭ в карбонатных породах, образовавшихся в океанах, достигает значений от 1.31 г/т и до 10–30 г/т – вдоль континентальных окраин и во внутренних морях [48]. Для карбонатных пород вернитакайвеемской свиты сумма РЗЭ соответ-

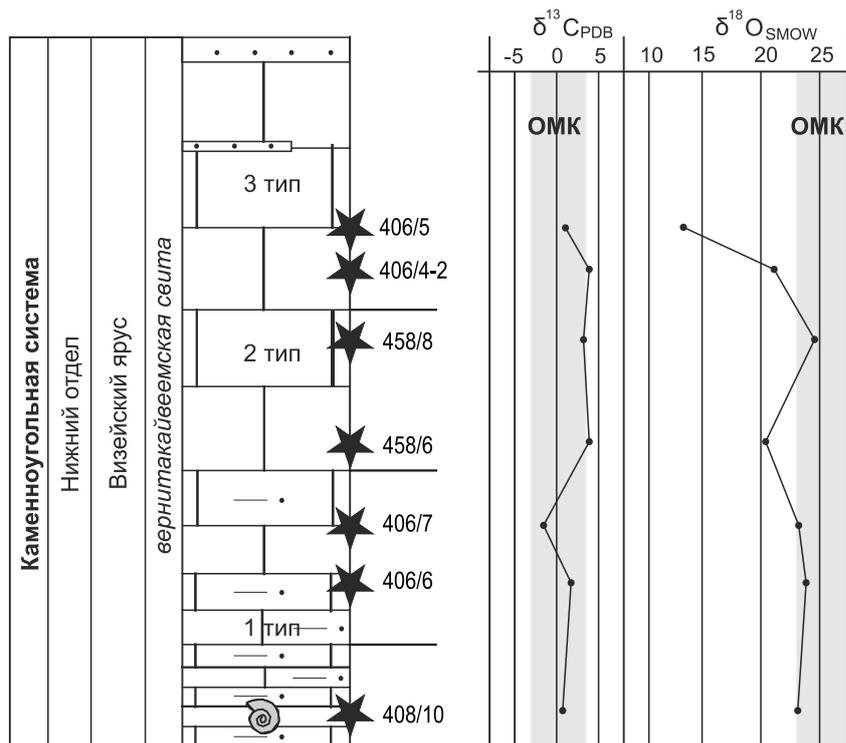


Рис. 6. Кривые распределения значений изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатных и терригенно-карбонатных породах вернитакайвеемской свиты.

Условные обозначения к колонке см. на рис. 3.

ствует внутренним морям или обрамлению континентальных окраин, так как составляет от 18.6 до 6.0 г/т (табл. 1, рис. 4, а, б).

В спектре распределения РЗЭ известняков вернитакайвеемской свиты, нормированном на PAAS, нет Ce-аномалии (1.0–1.1), Eu-аномалии отсутствуют либо слабо выражены (0.8–1.0) (табл. 1), что указывает на преобладание окислительных обстановок осадконакопления. При нормировании спектров РЗЭ на C1ch, значения Ce/Ce* в первом типе выделенных в разрезе пород составляют от 1.0 до 0.9, в третьем – понижаются до 0.8, значения Eu/Eu* составляют от 0.5 до 0.6 по всему разрезу. Подобные значения, вероятно, указывают, что в начале каменноугольного периода накопление отложений основания вернитакайвеемской свиты происходило в окислительных обстановках, которые выше сменились на обстановки, обедненные кислородом. Это предположение подтверждается и характером распределения в разрезе остатков бентосной фауны.

Ce-аномалия является одним из наиболее надежных редокс-индикаторов условий седиментогенеза [1, 38 и др.]. Связано это с тем, что спектр РЗЭ в нормально-морских карбонатах характеризуется уна-

следованным от морской воды дефицитом Ce и Eu ($\text{Ce}/\text{Ce}^* < 1$; $\text{Eu}/\text{Eu}^* < 1$) [24, 27]. Расчет Ce-аномалий, нормированных на C1ch, для пород вернитакайвеемской свиты свидетельствует о постепенной трансгрессии моря. Однако завершающие разрез свиты белые мраморизованные известняки с линзовидными прослоями кварцевых песчаников могут свидетельствовать об обмелении бассейна.

Значения изотопных составов ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) известняков вернитакайвеемской свиты, несмотря на небольшое количество сделанных анализов, позволяют проверить или уточнить приведенные выше палеогеографические построения. Изотопные соотношения кислорода ($\delta^{13}\text{C}$) демонстрируют определенные закономерности распределения по разрезу. В основании разреза вернитакайвеемской свиты, в породах первого типа, определены низкие значения $\delta^{13}\text{C}$: от -1.9 до 0.8 ‰, что, вероятнее всего, указывает на восстановительные обстановки морского осадконакопления. Это согласуется с нашим предположением о формировании известняков этого типа в бассейне с ограниченной циркуляцией. Выше по разрезу в породах второго и третьего типов изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ утяжеляется до 2.7–3.7 ‰, что позволяет предполагать их накопле-

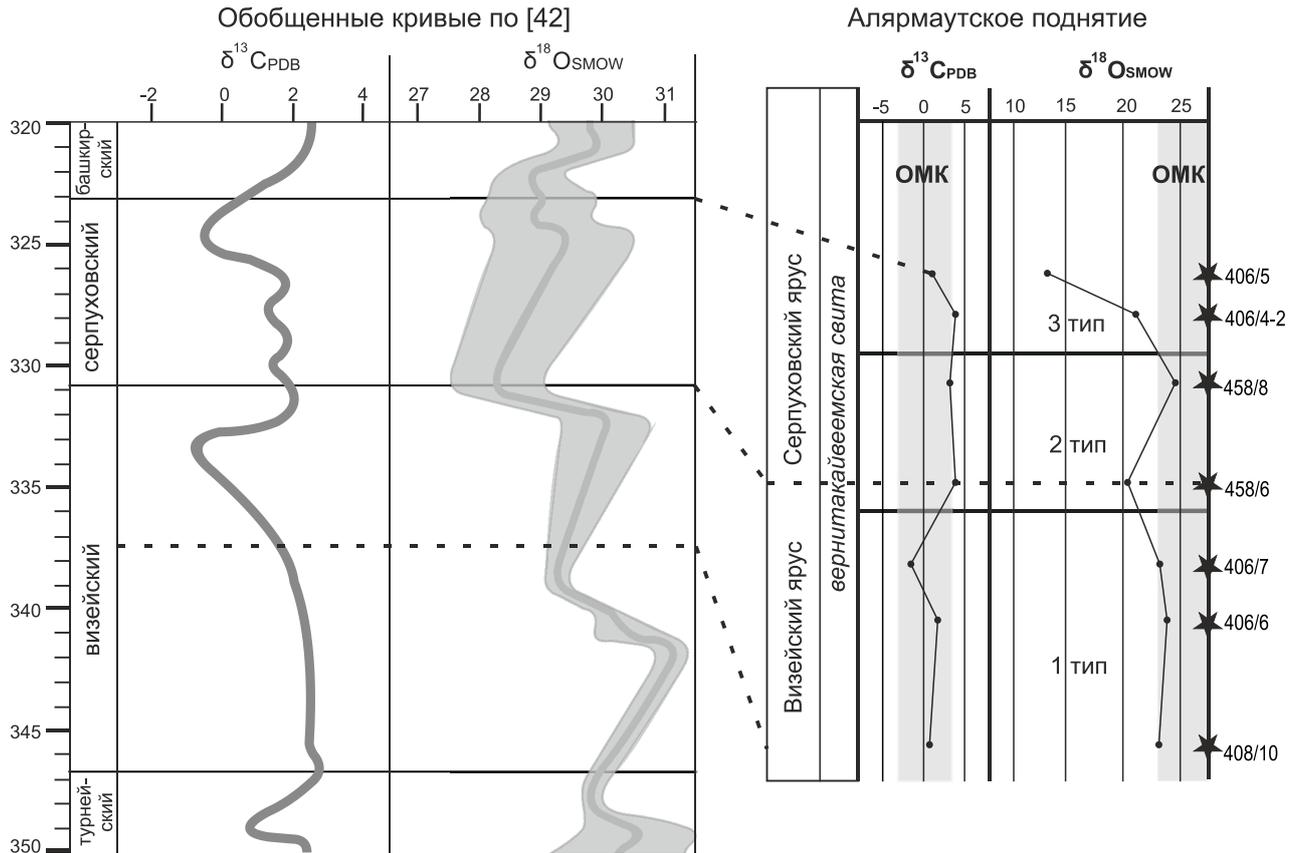


Рис. 7. С- и О- изотопные стратиграфические корреляции Алярмаутского поднятия с обобщенными кривыми вариаций изотопов в раннекаменноугольный период, по [42].

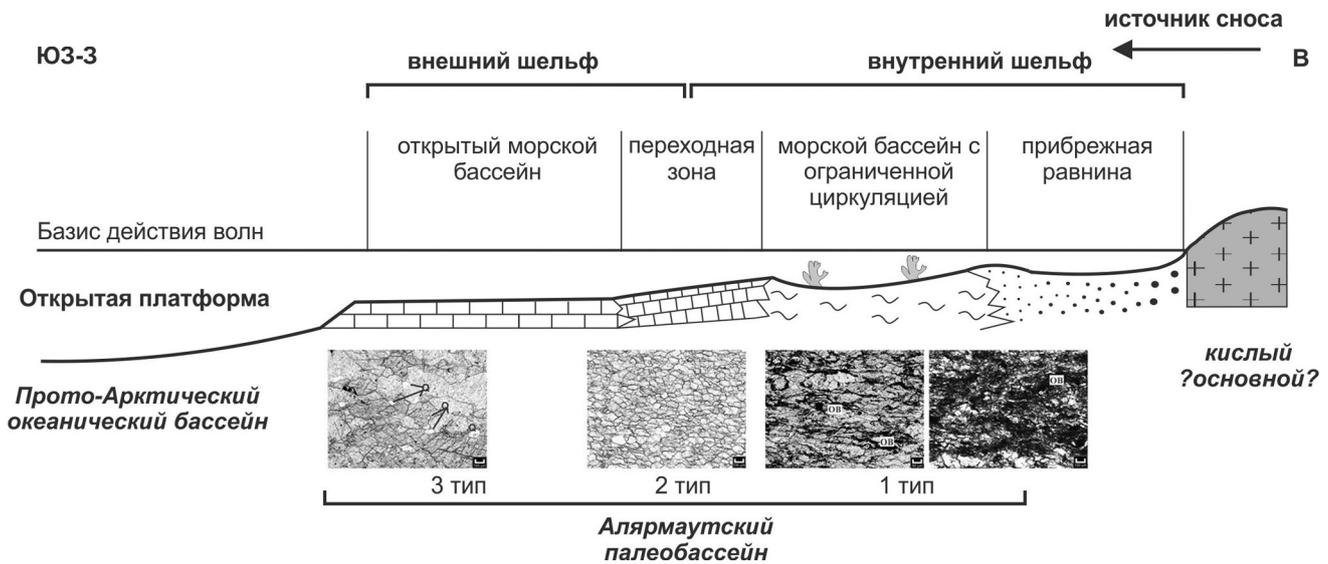


Рис. 8. Схематическая седиментологическая модель образования раннекаменноугольных отложений вернитакэйвемской свиты с выделенными фациальными поясами.

ние в мелководных окислительных обстановках. Этот вывод также согласуется с предположением об их формировании в условиях карбонатных отмелей и обмелении открытого бассейна. В самой верхней части разреза, представленной известняками с прослоями кварцевых песчаников, значения изотопов углерода вновь уменьшаются до 1.5 ‰.

Диапазон изотопных значений $\delta^{18}\text{O} > 23$ ‰ также свидетельствует о морских обстановках накопления карбонатов. В образцах вернитакайвеемской свиты величины $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от 13.4 до 24.4 ‰. На рис. 6 отчетливо прослеживается, что к этой области можно отнести известняки **первого** и частично **второго** типа (табл. 4, рис. 6). В известняках **третьего** типа значения $\delta^{18}\text{O}$ понижаются вверх по разрезу от 21.1 до 13.4 ‰, что может указывать на опреснение морского бассейна во время регрессивного этапа и обмеления, предполагаемого по значениям $\delta^{13}\text{C}$.

Изотопные составы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ позволили получить дополнительную информацию о стратиграфическом интервале накопления известняков вернитакайвеемской свиты. Корреляция кривых $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ Алярмаутского палеобассейна с обобщенными трендами распределения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ Мировой шкалы [42] удлинняет время накопления вернитакайвеемской свиты и может указывать на то, что ее формирование происходило в поздневизейско-серпуховское время, а не в турнейско-визейское, что противоречит определенному по остаткам фауны возрасту (рис. 7).

Наличие в известняках терригенной примеси позволило использовать геохимические характеристики для установления состава источников примеси. Средние содержания элементов: Rb = 13.1, Li = 8.4, Zr = 6.0, $\Sigma\text{REE} = 11.6$ г/т и значения отношений: La/Co = 1.1, Th/Co = 0.3, Th/Cr = 0.1, Th/Sc = 0.5 (табл. 1, 2) свидетельствуют о размыве пород кислого состава – вероятнее всего, метаморфического или гранитоидного ряда [31]. Такой же вывод получен на основании распределения Eu-аномалии (0.5–0.6). С другой стороны, отношение $(\text{LP3Э/TP3Э})_{\text{Clch}}$ от 2.2 до 2.6 свидетельствует о наличии магматических пород основного состава [16, 37].

График распределения содержаний элементов-примесей, нормированных на кларк карбонатных пород [2, 13], указывает, что основной питающей провинцией являлись породы кислой специализации, при подчиненном участии пород основной и ультраосновной. Но при петрографическом описании и изучении пород с использованием сканирующего микроскопа следов пород основного состава не было обнаружено. Тем не менее, противоречивые результаты расчетов позволяют предполагать наличие двух источников

сноса: кислого (Киберский гранитный массив?) [15, 33] и основного (врангелевский комплекс? о. Врангеля) [12] состава. Возможно, дополнительные исследования помогут разрешить данное противоречие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходным осадком для известковых сланцев первого типа служили водорослевые известняки, образованные в морском бассейне с ограниченной циркуляцией вод. Известняки второго типа представляли зернистые карбонаты переходной зоны, разделявшей обстановки внутреннего шельфа. Известняки третьего типа накапливались в открытом морском бассейне внешнего шельфа.

Изотопно-геохимические характеристики пород в совокупности с литологическими данными позволяют выделить в раннем карбоне трансгрессивно-регрессивный цикл на территории Алярмаутского палеобассейна.

Интерпретация литогеохимических данных указывает, что основной питающей провинцией являлись породы кислой специализации при вероятном подчиненном участии основных и ультраосновных пород.

Анализ органогенных остатков, литолого-петрографических и изотопных ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) данных позволил уточнить, что карбонатонакопление вернитакайвеемской свиты приурочено к турне-поздневизейско-серпуховскому интервалу раннего карбона. Постепенная трансгрессия, приведшая к углублению бассейна к концу позднего визе и снижению терригенной примеси в составе осадков, к концу серпуховского периода сменяется на регрессию.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарен д.г.-м.н. М.И. Тучковой (Геологический институт РАН) за замечания и пожелания при написании статьи. Автор чрезвычайно признательна анонимным рецензентам, замечания и пожелания которых помогли существенно улучшить текст статьи. Данная работа выполнена в рамках и при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-27-00314.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
2. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 280 с.
3. Бондаренко Г.Е. Тектоника и геодинамическая эволюция мезозойд северного обрамления Тихого океана. М.: МГУ, 2004. 46 с.
4. Ватрушкина Е.В., Тучкова М.И. Литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений восточной части Мырговаам-

- ской и Раучуанской впадин, Западная Чукотка // *Вестн. СПбГУ. Науки о Земле*. 2020. Т. 6, № 4. С. 717–739.
5. Гельман М.Л. Фанерозойские гранитно-метаморфические купола на северо-востоке Сибири. Статья 1. Геологическая история палеозойских и мезозойских куполов // *Тихоокеан. геология*. 1995. Т. 14, № 4. С. 102–115.
 6. Голионко Б.Г., Ватрушкина Е.В., Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И. Деформации и этапы структурной эволюции мезозойских комплексов Западной Чукотки // *Геотектоника*. 2018. № 1. С. 63–78.
 7. Исакова Т.Н. Комплекс позднедевонских примитивных паратурамминид (*Fogaminifera*) из карбонатных отложений поднятия Менделеева, Восточная Арктика // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2021. Т. 29, № 2. С. 37–52.
 8. Катков С.М., Стрикленд А., Миллер Э.Л., Торо Дж. О возрасте гранитных интрузий Аноийско-Чукотской складчатой системы // *Докл. АН*. 2007. Т. 414, № 2. С. 1–4.
 9. Катков С.М., Миллер Э.Л., Торо Дж. Структурные парагенезы и возраст деформаций Аноийско-Чукотской складчатой системы (Северо-Восток Азии) // *Геотектоника*. 2010. № 5. С. 61–80.
 10. Катков С.М., Лучицкая М.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З. Позднепалеозойские гранитоиды центральной Чукотки: структурное положение и обоснование возраста // *Докл. АН*. 2013. Т. 450, № 2. С. 193–198.
 11. Киркинская В.Н., Смехов Е.М. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. Л.: Недра, 1981. 255 с.
 12. Косьюк М.К., Авдунин В.В., Ганелин В.Г., Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сесил М.П., Смирнов А.Н., Ушаков В.И., Хандожко Н.В., Харрисон Дж.К., Шульга Ю.Д. Остров Врангеля: геологическое строение, минералогия, геоэкология. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2003. 137 с.
 13. Летникова Е.Ф. Геохимическая специфика карбонатных отложений различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана // *Литосфера*. 2005. № 1. С. 70–81.
 14. Лучицкая М.В., Соколов С.Д., Бондаренко Г.Е., Катков С.М. Состав и геодинамическая обстановка гранитоидного магматизма Алярмаутского поднятия (Западная Чукотка) // *Геохимия*. 2010. № 9. С. 946–971.
 15. Лучицкая М.В., Соколов С.Д., Котов А.Б., Натапов Л.М., Белоусова Е.А., Катков С.М. Позднепалеозойские гранитоиды Чукотки: особенности состава и положение в структуре арктического региона России // *Геотектоника*. 2015. Т. 49, № 4. С. 1–27.
 16. Мизенс Г.А., Дуб С.А. Геохимия известняков пограничного интервала нижнего-среднего карбона на Южном и Среднем Урале // *Литосфера*. 2022. Т. 22, № 3. С. 300–326.
 17. Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Виноградов Д.П., Козлов В.И., Кислова И.В. Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала) // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 1998. Т. 6, № 4. С. 3–19.
 18. Половинкина Ю.И., Аникеева Н.Ф., Комарова А.Е. Структуры горных пород. Метаморфические породы. М.-Л.: Гос. изд-во геологической литературы министерства геологии СССР, 1948. Т. 3. 308 с.
 19. Садовский А.И. Объясн. записка к геологической карте СССР 1:200 000 масштаба Лист R-58-XXVII, XXVIII. Л.: ВСЕГЕИ, 1970. 75 с.
 20. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Подковыров В.Н., Бартли Дж., Давыдов Ю.В. Юдомский комплекс стратотипической местности: С-изотопные хемотратиграфические корреляции и соотношение с вендом // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2004. Т. 12, № 5. С. 3–28.
 21. Сизых В.И., Игнатьев В.А., Школьный Л.Д., Берлибле Д.Г., Фомин В.П., Редюк Р.С., Сухонина Р.С. Новые данные по стратиграфии и тектонике левобережья Малого Аноя: Материалы по геологии и полез. ископаемым Северо-востока СССР. Магадан: Магадан. книжн. изд-во, 1977. № 23. Кн. 1. С. 29–34.
 22. Соколов С.Д., Бондаренко Т.Е., Морозов О.Л. и др. Покровная тектоника Южно-Аноийской сутуры (Западная Чукотка) // *Докл. АН*. 2001. Т. 376, № 1. С. 80–84.
 23. Соколов С.Д. Очерк тектоники Северо-Востока Азии // *Геотектоника*. 2010.
 24. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
 25. Тибилов И.В., Черепанова И.Ю. Геология севера Чукотки – современное состояние и проблемы. М.: ГЕОС, 2001. 94 с.
 26. Тучкова М.И., Катков С.М., Галускина И.О., Симанович И.М. Постседиментационные преобразования терригенных пород триаса Западной Чукотки, как показатель условий складчатости // *Геотектоника*. 2011. № 3. С. 64–78.
 27. Юдович Э.Я., Кетрис М.П. Основы литохимии, СПб.: Наука, 2000. 479 с.
 28. Anders E., Grevesse N. Abundance of the elements: Meteoritic and solar // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. V. 53. P. 197–214.
 29. Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1996. V. 123. P. 323–333.
 30. Bellanca A., Masetti D., Neri R. Rare earth elements in limestone/marlstone couplets from the Albian-Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): assessing REE sensitivity to environmental changes // *Chem. Geol.* 1997. V. 141. P. 141–152.
 31. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // *Chem. Geol.* 1993. V. 104. P. 1–37.
 32. Kossavaya O.L., Tolmacheva T.Yu., Petrov O.V., Isakova T.N., Ivanova R.M., Mirolyubova E.S., Rekant P.V., Gusev E.A. Palaeozoic carbonates and fossils of the Mendeleev Rise (eastern Arctic): A study of dredged seafloor material // *J. Geodynamic*. 2018. V. 120. P. 23–44.
 33. Lane L.S., Cecile M.P., Gehrels G.E., Kos'ko M.K., Layer P.W., Parrish R.R. Geochronology and structural setting of Latest Devonian – Early Carboniferous magmatic rocks, Cape Kiber, northeast Russia // *Can. J. Earth Sci.* 2015. V. 52. P. 147–60.
 34. Lawrence M.G., Greig A., Collerson K.D., Kamber B.S. Rare earth element and yttrium variability in South East Queensland waterways // *Aquat. Geochem.* 2006. V. 12. P. 39–72.
 35. Li F., Webb G.E., Algeo T.J., Kershaw S., Lu C., Oehlert A.M., Gong Q., Pourmand A., Tan X. Modern carbonate ooids preserve ambient aqueous REE signatures // *Chem. Geol.* 2019. V. 509. P. 163–177.
 36. Ling H.-F., Chen X., Li D., Wang D., Shields-Zhou G.A., Zhu M. Cerium anomaly variations in Ediacaran – earliest

- Cambrian carbonates from the Yangtze Gorges area, South China: implications for oxygenation of coeval shallow seawater // *Prec. Res.* 2013. V. 225. P. 110–127.
37. McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // *J. Geol.* 1991. V. 99. P. 1–21.
38. Murray R.W., Buchholz ten Brink M.R., Brumsack H.J., Gerlach D.C., Russ G.P. Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behavior of Ce/Ce*: results from ODP leg 127 // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1991. V. 55. P. 2453–2466.
39. Piper D.Z. Rare earth elements in sedimentary cycle: a summary // *Chem. Geol.* 1974. V. 14. P. 285–304.
40. Schidlowski M., Hayes J.M., Kaplan I.R. Isotopic inferences of ancient biochemistries: Carbon, sulfur, hydrogen, and nitrogen. Earth's earliest biosphere. Its origin and evolution / Ed. J.W. Schopf Princeton University Press. 1983. P. 149–187.
41. Schidlowski M. Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of Earth history: evolution of a concept // *Precambrian Res.* 2001. V. 106. P. 117–134.
42. The Geologic Time Scale. Ed. Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark D. Schmitz and Gabi M. Ogg. 2012. V. 2. 1114 p.
43. Tostevin R., Shields G.A., Tarbuck G.M., He T., Clarkson M.O., Wood R.A. Effective use of cerium anomalies as a redox proxy in carbonate-dominated marine settings // *Chem. Geol.* 2016. V. 438. P. 146–162.
44. Tuchkova M.I., Sokolov S.D., Isakova T.N., Kossovaya O.L., Filimonova T.V., Verzhbitsky V.E., Petrov O.L., Vatrushkina E.V., Moiseev A.V. Carboniferous carbonate rocks of the Chukotka fold belt: Tectonostratigraphy, depositional environments and paleogeography // *J. Geod.* 2018. V. 120. P. 77–107.
45. Veizer J., Ala D., Azmy K., Bruckschen P., Buhi D., Carden G.A.F., Diener A., Ebner S., Godderis Y., Jasper T., Korte C., Pawellek F., Podlaha O.G., Strauss H. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ evolution of Phanerozoic seawater // *Chem. Geol.* 1999. V. 161, N 1. P. 59–88.
46. Webb G.E., Kamber B.S. Rare earth elements in Holocene reefal microbialites: a new shallow seawater proxy // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2000. V. 64. P. 1557–1565.
47. Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa; cratonic evolution during the early Proterozoic // *GCA.* 1990. V. 54. P. 343–354.
48. Zhang K-J., Li Q-H, Yan L-L, Zeng L., Lu L., Zhang Y-X., Hui J., Jin X., Tang X-C. Geochemistry of limestones deposited in various plate tectonic settings // *Eart-Science Reviews.* 2017. V. 27. P. 27–46.

Рекомендована к печати Л.И. Попеко

после доработки 10.09.2024 г.

принята к печати 12.09.2024 г.

EARLY CARBONIFEROUS DEPOSITION ENVIRONMENT OF WESTERN CHUKOTKA (ALYARMAUT UPLIFT)

V.E. Zagoskina-Beloshei

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: ms.beloshey@mail.ru

The results of sedimentologic, petrographic, geochemical, and isotopic ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) analyses of Carboniferous carbonate rocks of the Alyarmaut uplift are presented. Three types of Tournaisian-Viséan terrigenous-carbonate rocks are distinguished: 1) dark gray carbonate shales with a high content of REE and organic matter; 2) light gray marmorized limestones; and 3) white thick flaggy limestones. The content of REE and organic matter gradually decreases upward in the section – from the first to the third type. All three types of terrigenous-carbonate rocks were mainly derived from the felsic source rocks with subordinate mafic-ultramafic rocks, and deposited on an open carbonate platform.

Key words: marmorized limestones, rare earth elements, carbon and oxygen isotopes, deposition environment, Vernitakaiveem Formation, Alyarmaut Uplift, Western Chukotka.