

УДК 551.71/.72:550.4(1-924.16)
DOI 10.19110/1994-5655-2019-3-36-46

Ю.В. МИХАЙЛЕНКО

**ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА
И КИСЛОРОДА
В РИФЕЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ
КАРУЯРВИНСКОЙ СВИТЫ
ПОЛУОСТРОВА СРЕДНИЙ
(СЕВЕРНОЕ ОБРАМЛЕНИЕ
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)**

*ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный
технический университет»,
г. Ухта*

yulia-v-m@mail.ru

YU.V. MIKHAILENKO

**ISOTOPIC COMPOSITION OF CARBON
AND OXYGEN IN THE RIPHEAN CARBONATE
ROCKS OF THE KARUYARVIN SUITE
OF THE SREDNY PENINSULA
(NORTH FRAMING OF THE KOLA PENINSULA)**

*Ukhta State Technical University,
Ukhta*

Аннотация

Изучен изотопный состав углерода и кислорода в верхнерифейских доломитах (часто строматолитовых) из разреза каруярвинской свиты, обнажающейся вдоль северо-восточного побережья п-ова Средний на севере Кольского полуострова. Результаты петрографических исследований показали, что осадочные породы не претерпели значительных постседиментационных преобразований, а значит, изотопные данные близки к первичному С-изотопному сигналу. В целом для разреза каруярвинской свиты характерны умеренно низкие значения $\delta^{13}\text{C} = -2,9 \dots -13,7 \text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -4 \text{‰}$) и типичные для морских осадочных пород $\delta^{18}\text{O} = 21,9 \dots 27,8 \text{‰}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26 \text{‰}$). Детальная корреляция разреза каруярвинской свиты с карбонатными верхнедокембрийскими комплексами Тимана и Южного Урала затруднительна ввиду сравнительно слабой амплитуды (1-2‰) экскурсов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Изотопно-углеродные кривые в верхнерифейских отложениях п-ова Средний и Четласского и Цильменского Камней в общих чертах сходны, однако тиманские карбонаты оказались более тяжелыми по углероду ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,2 \text{‰}$). Учитывая умеренно низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в доломитах каруярвинской свиты, она коррелируется с резким отрицательным экскурсом $\delta^{13}\text{C}$ в верхней части миньярской свиты на Южном Урале.

Ключевые слова:

п-ов Средний, верхний рифей, каруярвинская свита, изотопы углерода и кислорода, корреляция

Abstract

The isotopic composition of carbon and oxygen in the Upper Riphean Dolomites (often stromatolite) from the section of the Karuyarvin Suite exposed along the North-Eastern coast of the Sredny Peninsula in the North of the Kola Peninsula was studied. The results of petrographic studies have shown that sedimentary rocks have not undergone significant postsedimentation transformations, which means that the isotope data are close to the primary C-isotope signal. As a whole, for the section of the Karuyarvin Suite characteristic are moderately low values of $\delta^{13}\text{C} = -2,9 \dots -13,7 \text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{average}} = -4 \text{‰}$) and typical for marine sedimentary rocks $\delta^{18}\text{O} = 21,9 \dots 27,8 \text{‰}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{average}} = 26 \text{‰}$). Detailed correlation of the section of the Karuyarvin Suite with the Upper Pre-Cambrian carbonate complexes of the Timan and South Urals is difficult due to the relatively low amplitude (1-2‰) of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ excursions. Isotope-carbon curves in the Upper Riphean sediments of the Sredny Peninsula and Chetlass and Tsilmen Kamens are in general similar, however, the Timan carbonates were heavier in carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{average}} = -1,2 \text{‰}$). Given the moderately low values of $\delta^{13}\text{C}$ in the Dolomites of the Karuyarvin Suite, it correlates with a sharp negative excursus $\delta^{13}\text{C}$ in the upper part of the Minyar Suite in the South Urals.

Keywords:

Sredny Peninsula, Upper Riphean, Karuyarvin Suite, isotopes of carbon and oxygen, correlation

риями Вадсё и Тана п-ова Варангер [4, 7]. Автор проводит корреляцию литокомплексов п-ова Средний с литокомплексами Среднего Тимана (четлаская и аньюгская свиты) [8]. М.Е. Раабен по комплексу верхнерифейских строматолитов коррелирует кильдинскую серию о-ва Кильдин с быстринской серией Тимана, а последнюю – с миньярской свитой стратотипа Южного Урала [9, 10].

В настоящее время для корреляции верхнедокембрийских разрезов наряду с литологическими, палеонтологическими и геохронологическими методами геологи активно используют хемотратиграфические исследования – определение в породе (особенно карбонатной) изотопного состава углерода, кислорода и стронция. Согласно современным данным по эволюции С-изотопного состава в позднедокембрийском океане, переход от значений $\delta^{13}\text{C}$, близких к нулевым, к вариациям от -2 до $2-3\%$ происходит в отложениях, имеющих возраст около 1 млн. 300 тыс. лет. Для верхнерифейских карбонатных пород с возрастом 1000–800 (или 750) млн. лет характерны существенные колебания $\delta^{13}\text{C}$ (от $-2\ldots-3$ до $4-6\%$), а в более молодых рифейских отложениях амплитуда этих вариаций значительно возрастает (от $-5\ldots-10$ до $8-12\%$). В венде (молже 600 млн. лет) эти вариации вновь несколько уменьшаются [6 и ссылки в ней]. Выяснено, что колебания значений $\delta^{13}\text{C}$ контролируются не только глобальными, но и региональными и локальными процессами. Поэтому изотопные исследования сопровождаются анализом специфики развития бассейнов и возможных постседиментационных нарушений первичных изотопных систем.

В данной статье рассматриваются результаты изучения изотопного состава углерода и кислорода в верхнерифейских строматолитовых доломитах каруярвинской свиты, которая является реперным горизонтом в геологическом строении п-ова Средний. Цель работы – дополнить изотопные данные по углероду и кислороду для пород карбостроматолитовой формации в пределах Варангер-Канино-Тиманского региона и определить возможность использования полученных результатов для целей хемотратиграфии.

Геологическое строение района исследования

В настоящей работе будет уделено внимание только п-ову Средний, в пределах которого были выполнены исследования. В геологическом строении п-ова Средний выделено два трансгрессивно-регрессивных цикла осадконакопления (снизу вверх): кильдинская серия (верхний рифей) и волоковская серия (верхний рифей-венд(?)), разделенных угловым несогласием [1, 11] (рис. 1). К настоящему времени в тектоническом плане в пределах изучаемой территории по совокупности седиментационных признаков, характеру строения, интенсивности деформаций, полноты разрезов верхнего докембрия и степени постседиментационных преобразований выделяют две структурно-формационные зоны (СФЗ): Кильдинскую и Рыбачинскую, разделенные глубинным разломом Тролльфиорд-Комагельв [5].

Кильдинская СФЗ включает п-ов Средний, мыс Мотка (п-ов Рыбачий) и о-в Кильдин. Территория характеризуется в целом пологим залеганием пород с падением под углами $10^{\circ}-15^{\circ}$ на северо-восток, иногда на северо-запад. Складчатые деформации на территории п-ова Средний проявлены локально. Стратифицированные отложения практически не содержат эффузивных пород, за исключением сантиметровых слоев туфов и туффитов в разрезе палвинской свиты [12]. Среди интрузивных образований известны измененный габбро-норит в неке на перешейке между полуостровами (обнаружен Н.Ф.Ивановым при проведении полевых работ в 2006 г.) и единичные дайки габбро-долеритов, прорывающие волоковскую серию на северо-западе п-ова Средний [12, 13]. Их K–Ar возраст составляет 600 ± 20 млн. лет [13] или 525 млн. лет [11]. Отложения Кильдинской СФЗ сформировались в условиях перикратонного опускания северо-восточного края Восточно-Европейской платформы в поздне-рифейское время [5, 14].

Объект исследований и методика работ

Карбонатные породы мощностью 0,5–1,5 м в пределах п-ова Средний представлены в составе каруярвинской свиты, которая завершает разрез кильдинской серии (рис. 1). Каруярвинская свита согласно залегает на отложениях землепахтинской свиты со слабо выраженным, частично «тектонизированным» контактом [1]. Для изотопных исследований был выбран разрез каруярвинской свиты вдоль северо-восточного побережья п-ова Средний (губа Большая Волоковская), который отличается полнотой и лучшей сохранностью пород. Здесь она представлена ритмично переслаивающимися пестроцветными (от красных до зеленовато-серых, желтовато-серых) песчаниками, алевролитами, аргиллитами, глинистыми сланцами и темно-серыми строматолитовыми доломитами. По всему разрезу свиты на поверхности наслоения карбонатно-терригенных пород видны симметричные знаки ряби, разномасштабные трещины усыхания и глиптоморфозы каменной соли. Породы рассечены многочисленными тонкими (1–2 см) прожилками пирит-кварц-кальцитового состава. Видимая мощность изученного разреза свиты по полевым наблюдениям – не менее 70 м [15]. На пестроцветах каруярвинской свиты с угловым несогласием залегают куяканские фосфоритоносные конгломерато-брекчии с крупными обломками (0,2–1,0 м) подстилающих пород. Мощность базальной пачки конгломерато-брекчий около 2 м. Формирование отложений каруярвинской свиты происходило преимущественно в обстановке мелкого шельфа, возможно, в лагуне, территория периодически подвергалась осушению, осадконакопление сопровождалось штормовыми волнениями. Седиментация происходила в условиях теплого климата.

По разрезу свиты отобрано 26 проб. Определения изотопного анализа проведены в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Разложение карбонатов в ортофосфорной кислоте и измерение изотопного состава углерода и кислоро-

да методом проточной масс-спектрометрии в режиме постоянного потока гелия (CF-IRMS) производились на аналитическом комплексе фирмы ThermoFisher Scientific (Бремен, Германия), включающем в себя систему подготовки и ввода проб GasBench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage. Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно стандарта PDB, $\delta^{18}\text{O}$ – стандарта SMOW. При калибровке использованы международные стандарты NBS 18 и NBS 19. Ошибка определения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляет $\pm 0,1\%$ (1σ). Для петрографических исследований использовался традиционный метод.

Результаты исследований

Доломиты (часто с примесью терригенного материала) характеризуются умеренно низкими значениями $\delta^{13}\text{C} = -2,9...-6,9\%$ (только в двух пробах значения составили $-9,3$ и $-13,7$, обр. № 508-1, 77-5К соответственно) и типичными для осадочных пород значениями $\delta^{18}\text{O} = 21,9...27,8\%$ (см. таблицу). Отмечается положительная корреляция между этими параметрами, однако иногда она на-

женные значения $\delta^{13}\text{C}$ в доломитах первой группы обусловлены, вероятно, наличием внутри органических строматолитовых слоев сохранившихся углеродистых талломов, состоящих из дихотомизирующих нитей черной окраски в ассоциации с пиритом, а более низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ – повышенным содержанием терригенного материала, который крайне негативно сказывается на сохранности изотопно-кислородной системы в карбонатах.

Многочисленные исследования карбонатных пород показывают, что они способны сохранить близкий к первичному изотопный состав углерода, однако постседиментационные процессы как поверхностные, так и глубинные могут изменить начальные значения $\delta^{13}\text{C}$, обычно в сторону более низких [6; 16–19]. «...Поэтому оценка степени постседиментационных преобразований пород рассматривается как необходимый элемент в структуре стратиграфических изотопно-геохимических исследований» [6, с. 1025].

Корреляцию значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатах нередко рассматривают как однозначное доказательство постседиментационной модификации

Изотопный состав углерода и кислорода в неопротерозойских строматолитовых доломитах каруярвинской свиты п-ова Средний и павьюгской свиты Цильменского Камня Isotopic composition of carbon and oxygen in the Neo-Proterozoic stromatolite dolomites of the Karuyarvin Suite of Sredny Peninsula and Pavyug Suite of Tsilmen Kamen

№ п/п	№ образца	Порода	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}, \%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}, \%$	№ п/п	№ образца	Порода	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}, \%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}, \%$
Каруярвинская свита (кильдинская серия, п-ов Средний)									
1	510-9	ДС	-3.3	27.8	15	166-19	Д+Т	-4.5	26.5
2	126-1	ДС	-5.3	25.7	16	166-14	Д	-4.5	26.2
3	76-14К	ДС+Т+Fe	-3.8	24.7	17	166-12	Д+Т	-3.6	26.0
4	76-8	ДС	-3.2	27.4	18	166-11	ДС+Са	-4.8	25.4
5	508-3	ДС+С+Т+Са	-6.7	24.5	19	166-10	ДС	-4.0	26.5
6	508-1	ДС+С+Т	-9.3	21.9	20	166-8	ДС+Т	-3.6	25.5
7	77-5К	ДС+С+Т+Са	-13.7	21.9	21	166-7	Д+Т+Fe	-3.1	27.0
8	77-4К	ДС+С+Т	-6.9	22.8	22	166-3	ДС+Т+Fe	-4.0	26.4
9	77-1К	ДС+С+Т	-5.0	25.4	23	166-2	Д	-3.8	26.9
10	77-3	Д	-4.4	26.1	24	166-1	Д+Fe	-2.9	26.5
11	77-1	ДС+Т+Са	-5.4	25.3	25	3-1	Д	-4.8	26.3
12	78-3	ДС	-3.9	26.3	26	5-В	ДС+Т+Са	-5.2	25.0
13	79-3	Д+Т	-4.3	25.1	Х _{ср}	-	-	-4.73	25.72
14	79-1	ДС+Т	-3.4	25.3	Sx	-	-	2.12	1.31
Павьюгская свита (быстринская серия, Цильменский Камень, р. Белая)									
1	Б9-21	ДС	0.6	23.9	5	Б9-4	ДС	-0.6	20.0
2	Б9-18	ДС	0.6	22.9	6	Б9-1	ДС+Fe	1.7	21.2
3	Б9-16	ДС	0.3	20.2	Х _{ср}	-	-	0.51	21.48
4	Б9-6	ДС+Fe	0.5	20.7	Sx	-	-	0.73	1.57

Примечание. Д – доломит, ДС – доломит строматолитовый, Т – терригенный материал, С – углеродистое вещество, Са – геоды кальцита, Fe – ожелезнение. Статистические параметры: Х_{ср} – среднее арифметическое, Sx – стандартное отклонение.

Note. Д – dolomite, ДС – stromatolite dolomite, Т – terrigenous material, С – carbon matter, Са – geodes of calcite, Fe – ferrugination. Statistical parameters: Х_{ср} – arithmetic mean, Sx – standard deviation.

рушается (рис. 2). В координатах $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ проявлено два тренда (рис. 3): а) доломиты с повышенным содержанием терригенного материала, где резко снижается величины $\delta^{13}\text{C}$ на $6-7\%$ сопровождается уменьшением величины $\delta^{18}\text{O}$ на $1-2\%$ ($\delta^{13}\text{C} / \delta^{18}\text{O} \sim 2$) (рис. 3, поле 4А) и б) доломиты, слабо загрязненные терригенным материалом, в которых значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ смещаются в пропорции $1 : 1$ ($\delta^{13}\text{C} / \delta^{18}\text{O} \sim 1$) (рис. 3, поле 4Б). Пони-

зотопного состава углерода [19], хотя эту точку зрения разделяют не все исследователи. При оценке степени изменчивости полученных значений $\delta^{13}\text{C}$ также используют геохимические критерии – величины Mn/Sr и Fe/Sr (для известняков Mn/Sr < 5, Fe/Sr < 20, доломитов – Mn/Sr < 10, Fe/Sr < 40) [6]; при постседиментационных изменениях карбонатных пород они обычно обогащаются Mn, Fe, Rb и обедняются Sr [20].

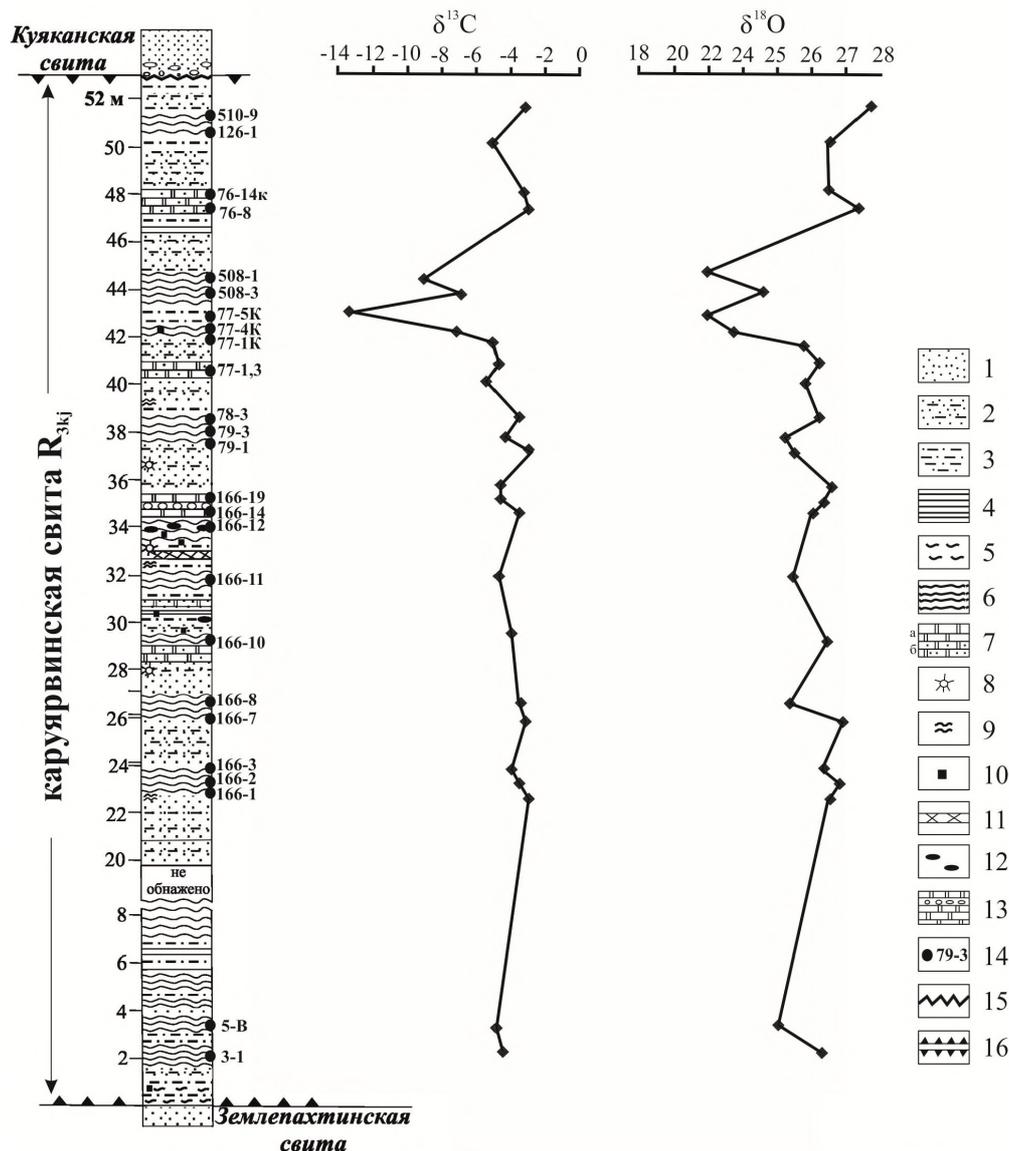


Рис. 2. Литологическое строение разреза карюярвинской свиты и вариации изотопного состава углерода и кислорода в доломитах: 1 – песчаники; 2 – чередование алевролитов и песчаников; 3 – алевролиты; 4 – микросланцы пелитовые аргиллитовидные; 5 – глинистые сланцы; 6 – пластовые строматолиты; 7 – доломит (а), алевритовый доломит (б); 8 – трещины усыхания; 9 – волновая рябь; 10 – пирит; 11 – согласные прожилки кальцита; 12 – нодулы кальцита; 13 – доломит с прослоем гравия; 14 – место взятия и номер пробы; 15 – угловое несогласие; 16 – граница свит.

Fig. 2. The lithological structure of the section of Karuyarvin Suite and variations of isotopic composition of carbon and oxygen in dolomites: 1 – sandstones; 2 – alternation of siltstones and sandstones; 3 – siltstones; 4 – microfolia pelitic argillites, 5 – clay shales; 6 – layer stromatolites; 7 – dolomite (a), siltstone (b); 8 – cracks of drying; 9 – wave ripples; 10 – pyrite; 11 – concordant veinlets of calcite; 12 – nodule calcite; 13 – dolomite with interlayer of gravel; 14 – the place of sampling and number of samples; 15 – angular disagreement; 16 – boundary of suites.

Однако величины Mn/Sr и Fe/Sr в карбонатах зависят от первичного содержания данных элементов в океанической воде [21] и наличия органического вещества. Поэтому для выяснения степени постседиментационных изменений карбонатных пород был использован универсальный петрографический метод.

Породы кильдинской серии п-ова Средний претерпели постдиагенетические преобразования на уровне глубинного катагенеза [1, 5]. Содержание Mn, Sr и Fe было определено только для трех проб

доломитов: образцы № 3-1, 5-В, 126-1. Среднее значение величины Mn/Sr для доломитов карюярвинской свиты составило 43. Это обусловлено повышенным содержанием марганца, г/т: обр. 3-1 – 2407; обр. 5-В – 2303, обр. 126-1 – 3826 при содержании стронция (г/т) 68, 72 и 63 соответственно (метод ICP-MS). Среднее значение величины Fe/Sr для доломитов карюярвинской свиты составило 610. Это обусловлено также повышенным содержанием в породе железа, г/т: обр. 3-1 – 46203; обр. 5-В – 38271, обр. 126-1 – 40204. Петрографические исследова-

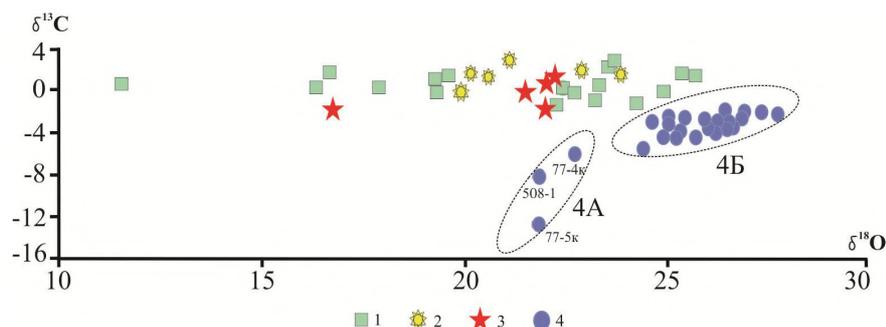


Рис. 3. Соотношение изотопного состава углерода и кислорода в карбонатных породах верхнерифейских комплексов п-ова Средний, о-ва Кильдин и Тимана:

1 – быстринская серия (Четласский Камень, Средний Тиман); 2 – павьюгская свита (Цильменский Камень, р. Белая); 3 – коровинская свита (о-в Кильдин); 4 – каруярвинская свита (кильдинская серия, п-ов Средний); 4А – доломиты строматолитовые с сохраненными углеродистыми талломами и с повышенным содержанием терригенного материала, 4Б – хемогенные и органогенные доломиты, слабо загрязненные терригенным материалом.

Fig. 3. Correlation of the isotopic composition of carbon and oxygen in the carbonate rocks of the Upper Riphean complexes of Sredny Peninsula, Kil'din Island and Timan:

1 – Bystrinsk series (Chetlass Kamen, Middle Timan); 2 – Pavyug Suite (Tsilmen Kamen, Belaya river); 3 – Korovino Suite (Kil'din Island); 4 – Karuyarvin Suite (Kil'din series, Sredny Peninsula); 4A – stromatolite dolomites with preserved carbonaceous thalli and increased content of terrigenous material, 4B – chemogenic and organogenic dolomites, slightly polluted by terrigenous material.

дования показали, что доломиты отличаются повышенной сульфидной вкрапленностью, которая преимущественно связана с органогенными прослоями, что указывает на связь с органическим веществом. Повышенные содержания марганца, очевидно, обусловлены органогенной природой доломитов [22] и не могут в данном случае рассматриваться как показатель постседиментационных изменений.

По результатам петрографических исследований не установлено существенных признаков перекристаллизации доломитов: первичные структурно-текстурные особенности хорошо сохранены, внутри органогенных слоев обнаружены следы былой микробиальной жизни в виде сгустковой (комковатой) структуры тонкозернистого доломита. Кроме этого, в составе органогенных слоев отмечены углеродистые талломы с сульфидной минерализацией. При помощи рамановской спектроскопии в работе [23] приведены результаты исследования углеродистого вещества (УВ) в составе темных органогенных прослоев строматолитовых доломитов каруярвинской свиты. Установлено, что параметры рамановских спектров изученных строматолитов попадают в область УВ, испытывавшего слабые преобразования ($27\text{ }^\circ\text{C} < T < 150\text{ }^\circ\text{C}$). Исходным было УВ сложного состава.

Таким образом, учитывая, что для большинства исследуемых проб показатели $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ изменяются в узком диапазоне ($\delta^{13}\text{C} = -3... -5\text{ }‰$, среднее значение $-4\text{ }‰$; $\delta^{18}\text{O} = 25...28\text{ }‰$, среднее значение $26\text{ }‰$), можно предположить, что влияние постседиментационных процессов не привело к

существенным изменениям первичного изотопного состава доломитов каруярвинской свиты.

Изотопная корреляция с ранее изученными разрезами верхнего рифея Среднего Тимана, Урала и о-ва Кильдин. Рифейские строматолитовые формации обрамляют Восточно-Европейскую эпикарельскую платформу только с востока и северо-востока. Они прослеживаются в виде гигантской по простиранию (более 3600 км), но сравнительно узкой полосы, состоящей из двух прямолинейных отрезков. Один из них проходит вдоль западного склона Урала от южной оконечности Башкирского мегантиклинория до Полюдова Кряжа, а второй – вытянут от Южного и Среднего Тимана до о-ва Кильдин и Северной Норвегии. В пределах этой полосы известны строматолитовые формации, принадлежащие всем трем эратемам рифея,

но ниже – и среднерифейские присутствуют только в южной части восточного отрезка, а верхнерифейские развиты повсеместно [9, с. 35].

Строматолитовая (карбостромовая) формация в пределах Канино-Тиманского региона рассматривается в составе быстринской серии, которая отнесена к верхнему рифею [9, 10, 11, 14, 23, 24]. Карбостромовая формация на Тимане известна под названиями *павьюгской свиты* на Цильменском (950–1000 м) и Четласском (1000 м) Камнях и на Джемимпарме (около 1000 м), *ропчинской свиты* на Очпарме (не менее 920 м) и свиты доломитов мысов Лудоватых (около 700 м) на п-ове Канин. К юго-востоку карбонатная толща прослеживается на Полюдовом Кряже под названием низьвинской свиты (1800–1950 м) [25]. В северо-западном направлении карбостромовая формация прослеживается в объеме коровинской и чернореченской свит (около 115 м) на о-ве Кильдин, строматолитовых доломитов в объеме каруярвинской свиты п-ова Средний (около 70 м) и доломитов со строматолитами формации Грасдаль (около 50 м) на п-ове Варангер (Северная Норвегия) [8].

При корреляции нами использованы опубликованные результаты изотопного состава углерода и кислорода карбонатных пород быстринской серии Среднего Тимана [26–29], деминской и низьвинской свит Полюдова Кряжа [30], каратауской серии Южного Урала [31], коровинской свиты о-ва Кильдин [32]. По данным предшественников, изотопный состав углерода и кислорода в доломитах павьюгской свиты Цильменского Камня изменяется в узких пределах, ‰: $\delta^{13}\text{C} = -2,5...-2,2$; $\delta^{18}\text{O} = 19,4...23,7$

[26]. По данным работы [27], карбонаты в осадочных породах Четласского Камня демонстрируют значительно больший разброс значений, ‰: $\delta^{13}\text{C} = -13,4 \dots -0,4$; $\delta^{18}\text{O} = 8,6 \dots 24,7$. По исследованиям авторов [28, 29] в рочугской и павьюгской свитах быстринской серии на Четласском Камне эти параметры изменяются в следующих пределах, ‰: $\delta^{13}\text{C} = -4,5 \dots 0,5$; $\delta^{18}\text{O} = 18,1 \dots 25,7$. В целом, исследователи делают вывод, что полученные результаты вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ типичны для нормальных морских осадочных пород [29].

Нами дополнительно выполнен изотопный состав углерода и кислорода для строматолитовых доломитов павьюгской свиты (6 образцов, см. таблицу) Цильменского Камня (р. Белая), ‰: $\delta^{13}\text{C} = -0,6 \dots 1,7$; $\delta^{18}\text{O} = 20,0 \dots 23,9$. Полученные результаты хорошо согласуются с данными предшественников [29] по карбонатным породам быстринской серии Тимана (рис. 3). Однако, если сравнивать результаты изотопного состава углерода и кислорода, выполненные для карбонатных пород быстринской серии Тимана с полученными нами значениями по каруярвинской свите п-ова Средний, то обнаруживаются некоторые особенности (рис. 3). Карбонатные породы быстринской серии отличаются более повышенными значениями $\delta^{13}\text{C}$ и пониженными значениями $\delta^{18}\text{O}$, при этом на отдельных интервалах соотношение этих параметров может иметь как положительную, так и отрицательную корреляцию; установлена значительная вариация $\delta^{18}\text{O}$ в пределах изученного разреза. Интересным является факт, что для строматолитовых доломитов (обр. №1438, 1441, 1444 в работе [28]) характерны более пониженные значения $\delta^{13}\text{C}$ ($-4,5$, $-3,7$, $-2,2$ ‰) относительно других карбонатов, что сближает эти породы с доломитами каруярвинской свиты. Породы быстринской серии прослеживаются узкой полосой вдоль Центрально-Тиманского глубинного разлома и претерпели постдиагенетические изменения на уровне зеленосланцевой фации метаморфизма. Скорее всего, значительные вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ обусловлены эпигенезом карбонатных пород быстринской серии.

По данным работы [30], в карбонатах деминской и низьвинской свит общий разброс величин $\delta^{13}\text{C}$ находится в пределах $-1,1 \dots 3,2$ ‰ и $\delta^{18}\text{O}$ $20,8 \dots 29,2$ ‰. Наиболее выраженный положительный пик $\delta^{13}\text{C}$ установлен в верхней части разреза низьвинской свиты, а наиболее заметный отрицательный – в ее нижней части. Для деминской свиты отмечены только положительные значения $\delta^{13}\text{C}$. На фоне характерных для большей части изученного разреза сравнительно однообразных значений $\delta^{18}\text{O} \sim 25 \pm 1$ ‰, в верхней части низьвинской свиты (4-й «связке» из 6-ти) выделен резкий положительный пик, в котором величины $\delta^{18}\text{O}$ на отрезке около 30 м лежат в пределах $28,4 \dots 29,2$ ‰. Этот положительный экскурс авторы коррелируют с экскурсом в нижней части миньярской свиты на Южном Урале. В свете вышесказанного, корреляция с разрезом каруярвинской свиты в настоящее время затруднительна.

В работе [31] для разреза верхнего рифея Башкирского мегантиклинория на фоне преимуще-

ственно положительных значений $\delta^{13}\text{C}$ ($-1 \dots 4$ ‰) установлен четкий отрицательный экскурс $\delta^{13}\text{C}$ (-2 ‰) для карбонатных пород верхнеминьярской подсвиты при относительно высоком значении $\delta^{18}\text{O}$ (27 ‰). Эта часть разреза может быть условно сопоставлена с каруярвинской свитой кильдинской серии п-ова Средний. Более детальная корреляция разреза каруярвинской свиты с карбонатными верхнедокембрийскими комплексами Тимана и Южного Урала затруднительна ввиду сравнительно слабой амплитуды (1–2 ‰) экскурсов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ и незначительной мощности разреза каруярвинской свиты.

По немногочисленным данным (5 образцов), в карбонатных породах коровинской свиты о-ва Кильдин (наиболее близкой территории к п-ову Средний) величина $\delta^{13}\text{C}$ изменяется от $-0,2$ до $-2,8$ ‰ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ср}} = -1,38$ ‰) и $\delta^{18}\text{O}$ от $16,8$ до $22,4$ ‰ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ср}} = 21,0$ ‰) [32]. Эти значения хорошо согласуются с изотопными данными карбонатных пород быстринской серии Четласского и Цильменского Камней (рис. 3). Этому не противоречат палеонтологические данные (прежде всего, по строматолитам), где кильдинская серия о-ва Кильдин хорошо сопоставима с павьюгской свитой быстринской серии Тимана [9]. По мнению М.Е.Раабен, комплекс строматолитов павьюгской свиты соответствует III комплексу строматолитов миньярского уровня Башкирского мегантиклинория [9]. При сравнении изотопных характеристик углерода и кислорода карбонатных пород коровинской и каруярвинской свит обнаруживается ряд особенностей. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в породах коровинской свиты в среднем на 3 ‰ выше, чем в разрезе каруярвинской свиты, а $\delta^{18}\text{O}$ ниже на 5 ‰. Факторами, влияющими на вариации изотопного состава углерода и кислорода, могут являться батиметрические и температурные условия среды формирования карбонатов [21]. Карбонатные породы коровинской свиты на о-ве Кильдин залегают в нижней части разреза кильдинской серии, а каруярвинская свита завершает разрез этой серии (рис. 1). В коровинской свите преобладают столбчатые строматолиты, тогда как в каруярвинской – установлены только пластовые формы. Петрографические исследования доломитов каруярвинской свиты показали, что терригенный материал (кварц, полевые шпаты, слюды) является постоянной составляющей строматолитов, который усложнял их слоистую микроструктуру. Каждый из органогенных слоев в прошлом представлял собой цианобактериальное сообщество, существование которого каждый раз приостанавливалось в связи с наступлением активного гидродинамического режима, поступлением очередной порции терригенного материала, неравномерным увлажнением или высушиванием. Эти и другие признаки (волновая рябь, знаки усыхания, глиптоморфозы каменной соли) указывают, что в каруярвинское время осадконакопление происходило в условиях крайнего мелководья. Таким образом, нельзя исключить, что условия осадконакопления в коровинское и каруярвинское время были различны, что и повлияло на вариации изотопного состава углерода и кислорода.

Заключение

Результаты изучения С- и О-изотопного состава верхнерифейских отложений кильдинской серии п-ова Средний служат дополнительным инструментом при корреляции со смежными карбонатными формациями в пределах Варангер-Канино-Тиманского региона. Достоверность полученных изотопных значений базируется на петрографических исследованиях, которые показывают, что карбонатные породы, из которых взяты образцы, не испытали существенных постседиментационных нарушений С-изотопных систем и могут быть использованы для целей хемостратиграфии. В целом, в разрезе каруярвинской свиты для большинства исследуемых проб характерны умеренно низкие значения $\delta^{13}\text{C} = -2,9 \dots -6,9 \text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -4 \text{‰}$) и типичные для осадочных пород значения $\delta^{18}\text{O} = 21,9 \dots 27,8 \text{‰}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26 \text{‰}$).

Изотопно-углеродная кривая в верхнерифейских породах п-ова Средний отличается по конфигурации и амплитуде от данной кривой для верхнедокембрийских отложений Среднего Тимана, Северного и Южного Урала. Эти отклонения могут быть обусловлены разными обстановками осадкообразования, которые контролировали поступление терригенного материала с суши, и степенью постдиагенетических преобразований пород. Следует отметить, что большая часть разреза каруярвинской свиты была размыва в предкуяканское время и оставшиеся 60 м затруднительно коррелировать с изученными километровыми верхнедокембрийскими толщами соседних регионов.

Строматолитовые доломиты каруярвинской свиты по изотопному составу углерода и кислорода могут быть условно сопоставлены с карбонатными породами верхнемильярской подсвиты Южного Урала. По изотопному составу углерода и кислорода доломиты коровинской свиты о-ва Кильдин хорошо согласуются с изотопными данными карбонатных пород быстринской серии Четласского и Цильменского Камней. Этому не противоречат корреляции между этими разрезами, сделанные ранее по строматолитам [9, 10].

Автор выражает признательность В.Л.Андреичеву и И.В.Смолевой за помощь в определении изотопного состава углерода и кислорода.

Литература

1. *Негруца В.З., Басалаев А.А., Чикирев И.В.* Баренцевоморский фосфоритовый бассейн. Апатиты: Изд-во КНИЦ РАН, 1994. 119 с.
2. *Митрофанов Ф.П., Предовский А.А., Любцов В.В., Чикирев И.В.* Структурная зональность прибрежной области Кольского полуострова в связи с перспективами ее нефтегазоносности // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. №1. С. 151–160.
3. *Любцов В.В., Михайлова Н.С., Предовский А.А.* Литостратиграфия и микрофоссилии позднего докембрия Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КНИЦ РАН, 1989. 130 с.
4. *Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В.* Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера. 2002. № 2. С. 54–95.
5. *Сорохтин Н.О., Козлов Н.Е., Куликов Н.В. и др.* Эволюция северо-западной части Тимано-Варангерского нефтегазоносного бассейна // Вестник КНИЦ РАН. 2011. № 6. С. 3–20.
6. *Хабаров Е.М., Пономарчук В.А.* Изотопы углерода в верхнерифейских отложениях байкальской серии Западного Прибайкалья: стратиграфические следствия // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 10. С. 1019–1037.
7. *Roberts D., Siedlecka A.* Provenance and sediment routing of Neoproterozoic formations on the Varanger, Nordkinn, Rybachi and Sredni peninsulas, North Norway and Northwest Russia: a review // Norges geologiske undersokelse Bulletin. 2012. Vol. 452. P. 1–19.
8. *Михайленко Ю.В., Кочетков О.С., Иванов Н.Ф. и др.* Особенности строения и состава каруярвинской свиты рифея п-ова Средний (северное побережье Кольского полуострова) // Литосфера. 2015. № 4. С. 21–42.
9. *Раабен М.Е.* Строматолитовые формации рифея в обрамлении Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15. № 1. С. 35–46.
10. *Raaben M.E., Lyubtsov V.V.* Stromatolites of Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and in the Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // 1st Intern. Varents Symp. Kirkenes, Norway. 1993. P. 28.
11. *Любцов В.В., Предовский А.А.* К стратиграфии верхнепротерозойских отложений Кольского побережья (Баренцевоморский регион) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6. № 3. С. 17–28.
12. *Любцов В.В., Негруца В.З., Предовский А.А.* Верхнедокембрийские отложения Кольского побережья Баренцева моря. Апатиты: Изд-во КНИЦ РАН, 1990. 100 с.
13. *Беккер Ю.Р., Негруца В.З., Полевая Н.И.* Возраст глауконитовых горизонтов и верхней границы гиперборей восточной части Балтийского щита // Докл. АН СССР. 1970. Т. 193. № 5. С. 1123–1126.
14. *Оловянишников В.Г.* Геологическое развитие полуострова Канин и Северного Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.
15. *Михайленко Ю.В.* Особенности геологического строения каруярвинской свиты рифея полуострова Средний // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 89–94.
16. *Veiser J.* Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates // Carbonates: mineralogy and geochemistry. Rev. Miner. 1983. Vol. 11. P. 265–300.
17. *Покровский Б.Г., Герцев Д.О.* Верхнедокембрийские карбонаты с аномально легким изотопным составом углерода (юг Средней

- Сибири) // Литология и полезные ископаемые. 1993. № 1. С. 64–80.
18. *Горохов И.М., Семихатов М.А., Баскаков А.В. и др.* Изотопный состав стронция в карбонатных породах рифея, венда и нижнего кембрия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т. 3. № 1. С. 3–33.
 19. *Виноградов В.И., Корж М.В., Сорокина И.Э и др.* Изотопные признаки эпигенетических преобразований довендских отложений осадочного чехла Байкитского поднятия. Сибирская платформа // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 3. С. 268–279.
 20. *Покровский Б.Г., Буякайте М.И., Кокин О.В.* Геохимия изотопов С, О, Sr и хемотратиграфия неопротерозойских отложений севера Енисейского края // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 2. С. 197–220.
 21. *Изох О.П., Изох Н.Г., Пономарчук В.А. и др.* Изотопы углерода и кислорода в отложениях фран-фаменского разреза Кузнецкого бассейна (юг Западной Сибири) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 7. С. 786–795.
 22. *Кулешов В.Н., Жегалло Е.А., Школьник Э.Л.* Эволюция рудогенеза марганца в геологической истории Земли и роль биосферы // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441. № 4. С. 504–509.
 23. *Медведев П.В., Войтеховский Ю.Л., Чаженгина С.Ю. и др.* О возрасте пластовых строматолитов кильдинской серии п-ова Средний // Уникальные геологические объекты Кольского полуострова: строматолиты полуострова Средний: Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. Апатиты: Институт геологии КНЦ РАН, 2014. С. 9–20.
 24. *Крылов И.Н.* Строматолиты рифея и фанерозоя СССР. М.: Наука, 1975. 244 с.
 25. *Оловянишников В.Г.* Модель строения верхнерифейской рифогенной формации Тимана / Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 1997. 40 с.
 26. *Оловянишников В.Г., Штейнер В.Л.* Изотопный состав углерода и кислорода протерозойских карбонатных пород Тимана и Приполярного Урала // ДАН СССР. 1993. Т. 329. № 3. С. 347–351.
 27. *Макеев А.Б., Брянцианова Н.И., Патова В.А.* Минералогия гипабиссальных вулканитов и метасоматитов Четласского Камня (Средний Тиман) // Спектроскопия, рентгенография и кристаллохимия минералов: Тез. докл. Межд. конф. Казань, 2005. С. 158–161.
 28. *Удоротина О.В., Недосекова И.Л., Смолева И.В.* Изотопия кислорода и углерода осадочных карбонатных пород быстринской серии (Средний Тиман) // XX симпозиум по геохимии изотопов им. академика А. П. Виноградова: Тез. докл. ГЕОХИ РАН. М.: Акварель, 2013. С. 334–337.
 29. *Удоротина О.В., Смолева И.В., Недосекова И.Л.* Изотопный состав кислорода и углерода в магматических и осадочных карбонатных породах Среднего Тимана // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 7. С. 3–5.
 30. *Покровский Б.Г., Чумаков Н.М.* Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатных породах деминской и низьвинской свит, верхний рифей Северного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2009. Т. 17. № 6. С. 105–108.
 31. *Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б. и др.* Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6. № 4. С. 3–19.
 32. *Samuelsson J.* Carbon and oxygen isotope geochemistry of Early Neoproterozoic successions on the Kola Peninsula, northwest Russia. Norsk Geologisk Tidsskrift. Oslo, 1998. Vol. 78. P. 291–303.

References

1. *Negrutsa V.Z., Basalaeв А.А., Chikirev I.V.* Barentsevomorskij fosforitovыj bassejn [Barents sea phosphorite basin]. Apatity: Kola Sci. Centre, RAS, Publ., 1994. 119 p.
2. *Mitrofanov F.P., Predovskiy А.А., Lyubtsov V.V., Chikirev I.V.* Strukturnaya zonal'nost' pribrezhnoj oblasti Kol'skogo poluoostrova v svyazi s perspektivami ee neftegazonosnosti [Structural zoning of the coastal area of the Kola Peninsula in connection with the prospects of its oil and gas potential] // Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]. 2004. Vol. 45. № 1. P. 151–160.
3. *Lyubtsov V.V., Mikhailova N.S., Predovskiy А.А.* Litostratigrafiya i mikrofosilii pozdnego dokembriya Kol'skogo poluoostrova [The lithostratigraphy and microfossils of the Late Precambrian of the Kola Peninsula.]. Apatity: Kola Sci. Centre, RAS, Publ., 1989. 130 p.
4. *Maslov A.V., Olovyanishnikov V.G., Isherskaya M.V.* Rifej vostochnoj, severo-vostochnoj i severnoj periferii Russkoj platformy i zapadnoj megazonы Urala: litostratigrafiya, usloviya formirovaniya i tipy osadochnyh posledovatel'nostej [The Riphean of the Eastern, North-Eastern and Northern periphery of the Russian platform and Western megazone of the Urals: lithostratigraphy and conditions of formation and types of sedimentary sequences] // Litosfera [Lithosphere]. 2002. № 2. P. 54–95.
5. *Sorokhtin N.O., Kozlov N.E., Kulikov N.V. et al.* Evolyuciya severo-zapadnoj chasti Timano-Varangerskogo neftegazonosnogo bassejna [Evolution of the North-Western part of the Timan-Varangian oil and gas basin] // Bull. of Kola Sci. Centre, RAS. 2011. № 6. P. 3–20.
6. *Khabarov E.M., Ponomarchuk V.A.* Izotopy ugleroda v verhnerrifejskih otlozheniyah bajkalskoj serii Zapadnogo Pribajkal'ya: stratigraficheskie sledstviya [Carbon isotopes in the Upper Riphean sediments of the Baikal series of the Western Baikal region: stratigraphic consequences] // Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]. 2005. Vol. 46. № 10. P. 1019–1037.
7. *Roberts D., Siedlecka A.* Provenance and sediment routing of Neoproterozoic formations on the Varanger, Nordkinn, Rybachi and Sredni

- peninsulas, North Norway and Northwest Russia: a review // *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*. 2012. Vol. 452. P. 1–19.
8. *Mikhailenko Yu.V., Kochetkov O.S., Ivanov N.F. et al.* Osobennosti stroeniya i sostava karuyarvinskoj svity rifeya p-ova Srednij (severnoe poberezh'e Kol'skogo poluostrova) [Features of the structure and composition of the Karuyarvin Suite of the Riphean of the Kola Peninsula (Northern coast of the Kola Peninsula)] // *Litosfera [Lithosphere]*. 2015. № 4. P. 21–42.
 9. *Raaben M.E.* Stromatolitovye formacii rifeya v obramlenii Vostochno-Evropskoj platformy [Stromatolite formations of the Riphean in the framing of the East European platform] // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya [Stratigraphy. Geological correlation]*. 2007. Vol. 15. № 1. P. 35–46.
 10. *Raaben M.E., Lyubtsov V.V.* Stromatolites of Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and in the Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // *Ist Intern. Barents Symp. Kirkenes, Norway*. 1993. P. 28.
 11. *Lyubtsov V.V., Predovsky A.A.* K stratigrafii verhneproterozojских otlozhenij Kol'skogo poberezh'ya (Barentsevomorskij region) [On the stratigraphy of the Upper Proterozoic sediments of the Kola coast (Barents sea region)] // *Stratigrafiya. Geol. korrelyaciya [Stratigraphy. Geological correlation]*. 1998. Vol. 6. № 3. P. 17–28.
 12. *Lyubtsov V.V., Negrutsa V.Z., Predovsky A.A.* Verhnedokebrijskie otlozheniya Kol'skogo poberezh'ya Barentseva morya [Upper Pre-Cambrian deposits of the Kola coast of the Barents sea]. Apatity: Kola Sci. Centre, RAS, Publ., 1990. 100 p.
 13. *Bekker Yu.R., Negrutsa V.Z., Polevaya N.I.* Vozrast glaukonitovyh gorizontov i verhnej granicy giperboreya vostochnoj chasti Baltijskogo shchita [Age of glauconite horizons and upper Hyperborean boundary of the Eastern part of the Baltic shield] // *Doklady Earth Sciences*. 1970. Vol. 193. № 5. P. 1123–1126.
 14. *Olovyanishnikov V.G.* Geologicheskoe razvitie poluostrova Kanin i Severnogo Timana [Geological development of the Kanin Peninsula and North Timan]. Syktывkar: Geoprint, 2004. 80 p.
 15. *Mikhailenko Yu.V.* Osobennosti geologicheskogo stroeniya karuyarvinskoj svity rifeya poluostrova Srednij [Features of geological structure of the Karuyarvin Suite of the Riphean of Sredny Peninsula] // *Structure, matter, history of the lithosphere of the Timan-North Urals segment*. Syktывkar: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2014. P. 89–94.
 16. *Veiser J.* Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates // *Carbonates: mineralogy and geochemistry. Rev. Miner.* 1983. Vol. 11. P. 265–300.
 17. *Pokrovsky B.G., Gertsev D.O.* Verhnedokebrijskie karbonaty s anomal'no legkim izotopnym sostavom ugleroda (yug Srednej Sibiri) [Upper Pre-Cambrian carbonates with abnormally light isotopic composition of carbon (South of Central Siberia)] // *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and mineral resources]*. 1993. № 1. P. 64–80.
 18. *Gorokhov I.M., Semikhatov M.A., Baskakov A.V. et al.* Izotopnyj sostav stronciya v karbonatnyh porodah rifeya, venda i nizhnego kembriya [Isotopic composition of strontium in carbonate rocks of the Riphean, Vendian and Lower Cambrian] // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya [Stratigraphy. Geological correlation]*. 1995. Vol. 3. №1. P. 3–33.
 19. *Vinogradov V.I., Korzh M.V., Sorokina I.E. et al.* Izotopnye priznaki ehpigeneticheskij preobrazovanij dovendskih otlozhenij osadochnogo chekhla Bajkitskogo podnyatiya. Sibirskaya platforma [Isotopic signs of epigenetic transformations of the pre-Vendian sediments of the sedimentary cover of the Baikal uplift. Siberian platform] // *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and mineral resources]*. 1998. № 3. P. 268–279.
 20. *Pokrovsky B.G., Buyakaite M.I., Kokin O.V.* Geohimiya izotopov S, O, Sr i hemostratigrafiya neoproterozojских otlozhenij severa Enisejskogo kryazha [Geochemistry of isotopes C, O, Sr and chemostratigraphy of Neo-Proterozoic deposits of the North of Yenisei ridge] // *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and mineral resources]*. 2012. № 2. P. 197–220.
 21. *Izokh O.P., Izokh N.G., Ponomarchuk V.A. et al.* Izotopy ugleroda i kisloroda v otlozheniyah fran-famenskogo razreza Kuznetskogo bassejna (yug Zapadnoj Sibiri) [Isotopes of carbon and oxygen in the deposits of the Fran-Famensky section of the Kuznetsk basin (South of Western Siberia)] // *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*. 2009. Vol. 50. № 7. P. 786–795.
 22. *Kuleshov V.N., Zhegallo E.A., Shkol'nik E.L.* Evolyuciya rudogeneza marganca v geologicheskij istorii zemli i rol' biosfery [Evolution of manganese ore genesis in the Earth's geological history and the role of the biosphere] // *Doklady Earth Sciences*. 2011. Vol. 441. № 4. P. 504–509.
 23. *Medvedev P.V., Voitekhovskij Yu.L., Chazhenkina S.Yu. et al.* O vozraste plastovyh stromatolitov kil'dinskoj serii p-ova Srednij [About the age of formation of stromatolites of the Kil'din series of the Sredny Peninsula] // *Unikal'nye geologicheskie ob'ekty Kol'skogo p-ova: stromatolity p-ova Srednij [Unique geological objects of the Kola Peninsula: stromatolites of the Sredny Peninsula]*; *Materials of All-Russia sci.-pract. Conf. (with intern. partic.)*. Apatity: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, RAS, 2004. P. 9–20.
 24. *Krylov I.N.* Stromatolity rifeya i fanerozoja SSSR [Stromatolites of the Riphean and Phanerozoic of the USSR]. Moscow: Nauka, 1975. 244 p.
 25. *Olovyanishnikov V.G.* Model' stroeniya verhnereifejskoj rifogennoj formacii Timana [Model of the structure of the Upper-Riphean reef formation of the Timan] / *Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Syktывkar*, 1997. 40 p.

26. *Olovyanishnikov V.G., Shteiner V.L.* Izotopnyj sostav ugleroda i kisloroda proterozojskih karbonatnyh porod Timana i Pripolyarnogo Urala [Isotopic composition of carbon and oxygen of the Proterozoic carbonate rocks of the Timan and Polar Urals] // *Doklady Earth Sciences*. 1993. Vol. 329. № 3. P. 347–351.
27. *Makeev A.B., Bryanchaninova N.I., Patova V.A.* Mineralogiya gipabissl'nyh vulkanitov i metasomatitov CHetlasskogo Kamnya (Srednij Timan) [Mineralogy of hypabyssal volcanites and metasomatites of the Chetlass Kamen (Middle Timan)] // *Spektroskopiya, rentgenografiya i kristallohimiya mineralov* [Spectroscopy, x-raying and crystal chemistry of minerals]: Abstracts of Intern. Conf. Kazan, 2005. P. 158–161.
28. *Udoratina O.V., Nedosekova I.L., Smoleva I.V.* Izotopiya kisloroda i ugleroda osadochnyh karbonatnyh porod bystrinskoj serii (Srednij Timan) [Isotopy of oxygen and carbon of sedimentary carbonate rocks of Bystrinsk series (Middle Timan)] // XX Symposium on isotope geochemistry named after academician A.P. Vinogradov: Abstracts. Inst. of Geochemistry, RAS. Moscow: Akvarel', 2013. P. 334–337.
29. *Udoratina O.V., Smoleva I.V., Nedosekova I.L.* Izotopnyj sostav kisloroda i ugleroda v magmaticheskikh i osadochnyh karbonatnyh porodah Srednego Timmana [Isotopy of oxygen and carbon of magmatic and sedimentary carbonate rocks of the Middle Timan] // *Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS*. 2014. № 7. P. 3–5.
30. *Pokrovsky B.G., Chumakov N.M.* Izotopnyj sostav ugleroda i kisloroda v karbonatnyh porodah deminiskoj i niz'vinskoj svit, verhnij rifej Severnogo Urala [Isotopic composition of carbon and oxygen in carbonate rocks of the Deminian and Nizva suites, upper Riphean of the Northern Urals] // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya* [Stratigraphy. Geological correlation]. 2009. Vol. 17. № 6. P. 105–108.
31. *Podkovyrov V.N., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B. et al.* Izotopnyj sostav karbonatnogo ugleroda v stratotipe verhnego rifeya (karatavskaya seriya Yuzhnogo Urala) [The isotopic composition of carbonate carbon in the Upper Riphean stratotype (Karatavian series of the South Urals)] // *Stratigrafiya. Geol. Korrelyaciya* [Stratigraphy. Geological correlation.]. 1998. Vol. 6. № 4. P. 3–19.
32. *Samuelsson J.* Carbon and oxygen isotope geochemistry of Early Neoproterozoic successions on the Kola Peninsula, northwest Russia. *Norsk Geologisk Tidsskrift*. Oslo, 1998. Vol. 78. P. 291–303.

Статья поступила в редакцию 08.04.2019.