

Оригинальная статья / Original article

УДК 551.25 (571.51)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-54-64>

ГЕОХИМИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИЗВЕСТНЯКАХ ТОРГАШИНСКОЙ СВИТЫ И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НИХ ФЛЮИДОЛИТАХ, АРГИЛЛИЗИТАХ И КАЛЬЦИТОВЫХ ОНИКСАХ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

© С.С. Бондина^а, С.А. Ананьев^б, Т.А. Ананьева^с

^{а-с}Сибирский федеральный университет,

660041, Российская федерация, г. Красноярск, Свободный проспект, 79.

^сКрасноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева,

660049, Российская федерация, г. Красноярск, ул. Лебедевой, 89.

РЕЗЮМЕ. Цель. Исследование особенностей геохимии редкоземельных элементов (РЗЭ) в известняках и постседиментационных продуктах – флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых онисках карбонатной толщи Торгашинского месторождения известняка. Методы. Для изучения поведения редкоземельных элементов был использован метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS). Определения проводились в центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета. Результаты. Рассмотрены особенности геохимии РЗЭ в известняках торгашинской свиты и содержащихся в них флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых онисках. Изучены спектры распределения РЗЭ, Eu (Eu/Eu*), Ce (Ce/Ce*), ЛРЗЭ/ТРЗЭ и др. Выводы. Аргиллизиты, пронизывающие карбонатные толщи, характеризуются привносом в них всех РЗЭ, в то время как известняки и низкотемпературные гидротермальные образования в виде кальцитового ониска формировались на фоне выноса как лантаноидов, так и тяжелых РЗЭ. Анализ распределения РЗЭ позволяет сделать вывод о различной природе аргиллизитов, являющихся продуктом флюидизатно-эксплозивного процесса, и известняков торгашинской свиты, на которые были наложены эти процессы.

Ключевые слова: Торгашинское месторождение, флюидолиты, аргиллизиты, кальцитовые ониски, геохимия, редкоземельные элементы, европиевая, цериевая, эрбиевая аномалии.

Информация о статье. Дата поступления 22 декабря 2017 г.; дата принятия к печати 21 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А. Геохимия редкоземельных элементов в известняках торгашинской свиты и содержащихся в них флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых онисках (Восточный Саян) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 54–64. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-54-64

^аБондина Светлана Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий, e-mail: svetlana.bondina@gmail.com

Svetlana S. Bondina, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Lecturer of the Geology, Mineralogy and Petrography Department of the Institute for Mining, Geology and Geotechnologies, e-mail: svetlana.bondina@gmail.com

^бАнаньев Сергей Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий, e-mail: sananiev@mail.ru

Sergey A. Ananiev, Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Geology, Mineralogy and Petrography Department of the Institute for Mining, Geology and Geotechnologies, e-mail: sananiev@mail.ru

^сАнаньева Татьяна Алексеевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, профессор кафедры географии и методики обучения географии Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева, e-mail: tananeva@mail.ru

Tatiana A. Ananieva, Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Geology, Mineralogy and Petrography Department of the Institute for Mining, Geology and Geotechnologies of the Siberian Federal University, Professor of the Department for Geography and Geography Training Methodology of the Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev, e-mail: tananeva@mail.ru

GEOCHEMISTRY OF RARE-EARTH ELEMENTS IN TORGASHINO SUITE LIMESTONES AND FLUIDOLITES, ARGILLISITES AND CALCITE ONYXES CONTAINED IN THEM (EASTERN SAYANS)

© S.S. Bondina, S.A. Ananiev, T.A. Ananieva

Siberian Federal University,
79 Svobodny pr., Krasnoyarsk 660041, Russian Federation
Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev,
89 Lebedeva St., Krasnoyarsk 660049, Russian Federation

ABSTRACT. The **Purpose** of the paper is to study the features of rare-earth element (REE) geochemistry in limestones and post-sedimentation products including fluidolites, argillisites and calcite onyxes of the carbonate stratum of the Torgashino limestone deposit. **Methods.** The mass-spectrometry method with inductively coupled plasma is used for studying the REE behavior. The tests have been carried out in the multiple-access center "Analytical Center for Natural Systems Geochemistry" of the Tomsk State University. **Results.** The features of REE geochemistry are considered in the Torgashino suite limestones and fluidolites, argillisites and calcite onyxes contained in them. The distribution spectra of REE, Eu (Eu/Eu*), Ce (Ce/Ce*), light REE / heavy REE and other have been studied. **Conclusions.** Argillisites penetrating carbonate strata are characterized by the input of all REE while limestones and low-temperature hydrothermal formations in the form of calcite onyx have been formed in the presence of removal of both lanthanides and heavy REE. The analysis of REE distribution allows to make a conclusion on the different nature of argillisites which are the product of the fluidization explosive process and Torgashino suite limestones, which these processes were imposed on.

Keywords: Torgashino deposit, fluidolites, argillisites, calcite onyxes, geochemistry, rare earth elements, europium, ceric, erbium anomalies.

Article info. Received 22 December 2017; accepted for publication 21 May 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Bondina S.S., Ananiev S.A., Ananieva T.A. Geochemistry of rare-earth elements in Torgashino suite limestones and fluidolites, argillisites and calcite onyxes contained in them (Eastern Sayans). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 54–64. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-54-64. (In Russian).

Введение

Объектом исследований является карбонатная толща торгашинской свиты (€*itr*), вскрытая карьерами с вертикальным размахом 200 м в пределах Торгашинского месторождения известняка, расположенного в окрестностях г. Красноярска и используемого для цементного и химического производства. Изучение особенностей геологического строения позволило проследить ход постседиментационных процессов, наложенных на известняки, и изучить новообразованные продукты. С этими процессами связано формирование жильных и трещинных пород – гидротермалитов, таких как крупнокристаллические и друзовидные кальциты, кальцитовые ониксы. Кроме того,

были обнаружены новые для этой толщи типы горных пород, продукты флюидизационно-эксплозивного процесса – флюидолиты, представленные известняковыми псефитами и аргиллизитами.

В данной работе впервые рассмотрены вопросы геохимии редкоземельных элементов в процессе формирования постседиментационных продуктов в пределах карбонатной толщи Торгашинского месторождения известняка.

Методы исследований и полученные материалы

Материалы, использованные в статье, получены в ходе геологических исследований в пределах карбонатной толщи торгашинской свиты в рамках выполнения гранта Минобрнауки 2013–2014

гг. (№ 14.В37.21.062). Комплекс исследований базировался на опробовании органогенных известняков, жильных флюидолитов и гидротермалитов – кальцитовых ониксов, по которым было выполнено 25 анализов на 37 элементов. Определения проводились в центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent7500сх.

Результаты исследования и их обсуждение

В геологическом строении площади принимают участие органогенные известняки торгашинской свиты (ϵ_{1tr}), полого погружающейся на северо-восток, и перекрывающая ее шахматовская свита среднего кембрия (ϵ_{2sh}) (слоистые известняки). Большая часть площади Тор-

гашинского хребта сложена образованиями торгашинской свиты, а отложения шахматовской свиты фрагментарно развиты на его северных склонах. Карбонатные толщи разбиты разрывными нарушениями северо-восточной ориентировки. Известняки локально доломитизированы и содержат тела разнообразных гидротермальных и гидротермально-метасоматических образований, местами – дайки измененных базальтов. У северо-восточного подножья Торгашинского хребта нижнекембрийские образования со структурным несогласием перекрыты терригенными отложениями нижнего девона (рис. 1).

Торгашинская свита сложена серыми и светло-серыми массивными органогенными известняками. Подчиненную роль играют слоистые известняки. В верхней части разреза присутствуют прослои доломитов. По мнению

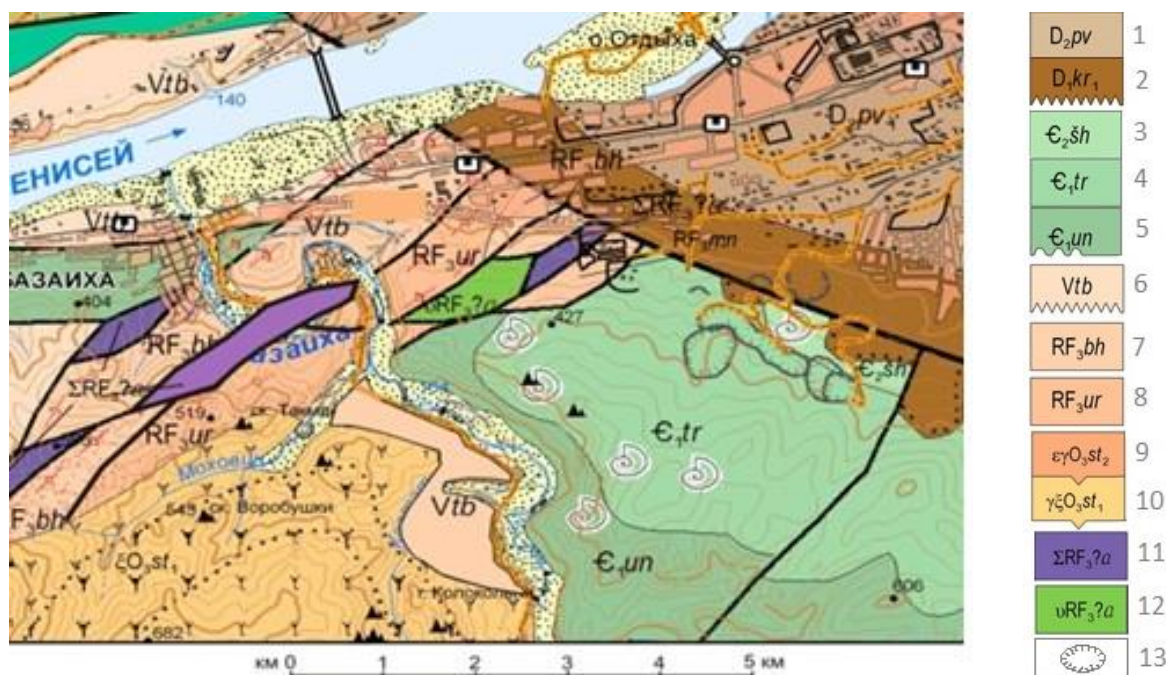


Рис. 1. Фрагмент геологической карты окрестностей г. Красноярск

1–8 – свиты (подсвиты): 1 – павловская, 2 – нижекарымовская, 3 – шахматовская, 4 – торгашинская, 5 – унгутская, 6 – тюбильская, 7 – бахтинская, 8 – урманская; 9–13 – магматические комплексы: 9, 10 – столбовский, 11, 12 – акшепский; 13 – карьеры

Fig. 1. Fragment of the geological map of Krasnoyarsk vicinities

1–8 – suites (subsuites): 1 – Pavlov, 2 – Nizhnekarymov, 3 – Shakhmatov, 4 – Torgashino, 5 – Ungut, 6 – Tyubil, 7 – Bakhtin, 8 – Uрман; 9–13 – magmatic complexes: 9, 10 – Stolby, 11, 12 – Akshep; 13 – pits

Н.М. Задорожной [1], известняки торгашинской свиты образуют сложно построенное органогенное сооружение, которое может рассматриваться как рифовый комплекс, состоящий из более мелких элементарных органогенных построек (биогермов и биостромов) и сопутствующих им брекчиевых и слоистых известняков.

Одной из особенностей торгашинских известняков является большое разнообразие присутствующих в них гидротермально-метасоматических образований. К ним относятся аргиллизиты, жилы друзовых и массивных крупнокристаллических кальцитов, а также присутствует еще один тип пород, имеющий промышленное значение – кальцитовые ониксы. Типичными продуктами флюидизатно-эксплозивного процесса явились гематито-глинисто-кварцевые аргиллизиты и известняковые псефиты. Аргиллизиты заполняют практически все трещины в известняках, придавая породам красно-коричневый цвет. Они служат цементирующим матриксом для псефитовых флюидолитов (рис. 2).

Ряд исследователей [2] причислял аргиллизиты к коьматационным образованиям, продуктам выветривания вышележащей красноцветной песчано-глинистой толщи, относимой к карымовской

свите (D_{1kr}). Нами установлено, что аргиллизация в торгашинских известняках носит наложенный характер, а также обосновано их флюидизатно-эксплозивное происхождение [3]. Изучение обнажений показало, что известняк импрегнирован ожелезненным аргиллизитом, заполняющим все проницаемые пути – от тончайших трещин до жильных тел, часть которых может содержать кальцитовые ониксы, и зоны дробления. Сами же известняки окрашены в серый цвет с оттенками от обычного светло-серого до более редкого темно-серого.

В некоторых случаях в трещинных структурах, заполненных аргиллизитовыми массами, шло формирование жильных тел кальцитовых ониксов. Ритмичное чередование красноцветных глинистых продуктов и белого кальцита обусловило формирование тонкополосчатого рисунка данного поделочного камня. Аргиллизиты длительное время могли сохранять пластическое состояние, и при последующих деформациях обломки кальцитовых ониксов вновь цементировались ими (рис. 3).

Минералогический анализ аргиллизитов (18 проб) по результатам количественного рентгенофлуоресцентного анализа выявляет следующий состав в вес. % ($n/X_{min}-X_{max}/X_{сред.}$): кварц (18/43,7–



Рис. 2. Псефитовые флюидолиты (псевдоконгломератобрекчии) с аргиллизитовым цементом
Фрагмент глыбы (ширина поля 1 м)

Fig. 2. Psephitic fluidolites (pseudoconglomerate breccia) with argillite cement
Block fragment (field width is 1 m)



Рис. 3. Пример дробления пород с поглощением аргиллизитовой массой обломков оникса, кристаллов кальцита и известняка
Fig. 3. Example of rock crushing with the absorption of onyx fragments, calcite crystals and limestone by the argillite mass

71,1/58,2), каолинит (18/9,9–47,2/29,5), мусковит (17/1,44–8,13/4,16), иллит (15/1,14–9,22/4,65), гематит (18/0,54–4,65/2,55), анатаз (18/0,38–1,06/0,71), сидерит (11/0,34–1,85/0,65), кальцит (5/0,18–1,26/0,74), рутил (4/1,23–2,32/1,59), лизардит (2/1,20–1,52/1,36), магнетит (2/0,28–0,59/0,44).

Более детальное изучение минерального состава контрастных по цвету

зон кальцитового оникса выполнялось с помощью электронно-зондового анализа в лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. Аргиллизитовый прослой в кальцитовом агрегате оникса просматривался в сканирующем микроскопе CamScan-4D с энергодисперсионным спектрометром Link с системой управления ISIS при увеличениях от 18^x до 4000^x (рис. 4).

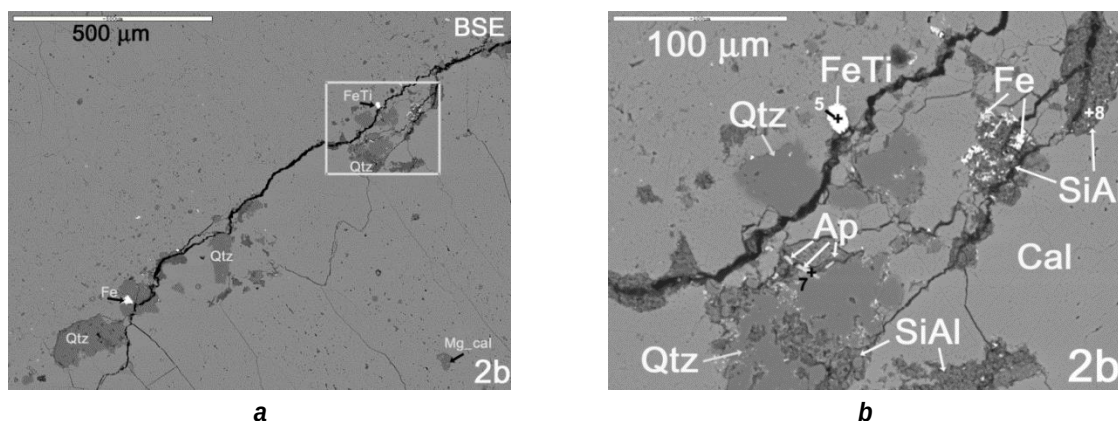


Рис. 4. Электронно-зондовый анализ аргиллизитового прослоя в кальцитовом ониксе:

a – увеличенное изображение в режиме BSE (обратно отраженных электронов) аргиллизитового прослоя в ониксе; **b** – увеличенное изображение выделенного участка в режиме BSE: Qtz – кварц, SiAl минерал – каолинит с соотношением

Al/Si ~ 1; Fe минерал – гематит; FeTi – титансодержащий магнетит (?);

Mg_cal – магнезиальный кальцит; Ap – минерал группы апатита

Крестиками отмечены точки энергодисперсионного анализа

Fig. 4. Electronic-probe analysis of the argillite interlayer in calcite onyx:

a – zoomed image in the BSE mode (backscattered electrons) of the onyx argillite interlayer;

b – zoomed image of the selected area in the BSE mode: Qtz – quartz, SiAl mineral – kaolinite with Al/Si ~ 1 ratio; Fe mineral – hematite; FeTi – titanium-containing magnetite (?);

Mg_cal – magnesian calcite; Ap – apatite-group mineral

Crosses indicate the points of energy-dispersive analysis

Изотопное датирование аргиллизитов показывает соответствие времени их формирования возрасту сиенит-граносиенитового комплекса (ξO_3st) – 458,1±5,8 млн лет, находящегося в непосредственной близости к изучаемому объекту (геохронологические определения абсолютного возраста $40Ar/39Ar$ методом проведены в лаборатории Изотопно-аналитических методов Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН) [4].

Геохимические особенности редкоземельных элементов служат показателем физико-химических условий осадкообразования и дальнейших процессов изменения сформированных отложений. Для исследования поведения редкоземельных элементов в изучаемых образованиях был использован метод масс-

спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS) (25 анализов) (таблица).

Для оценки поведения редкоземельных элементов применялось нормирование по хондриту (рис. 5) [5]. Аномалии Eu (Eu/Eu^*) и Ce (Ce/Ce^*) рассчитывались по формулам $Eu/Eu^* = Eu_n/(Sm_n+Gdn)1/2$, $Ce/Ce^* = 2Ce_n/(Lan+Prn)$.

Выводы

Изучение особенностей распределения РЗЭ в толщах карбонатной формации позволило сделать следующие выводы.

Все выделенные типы пород характеризуются преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми, причем содержание их в аргиллизитах превышает содержание в известняках и кальцитовых ониксах. Наклоны кривых легкой части

Содержание редкоземельных элементов в различных породных образованиях торгашинской карбонатной толщи, г/т Content of REE in different rock formations of the Torgashino carbonate stratum, g/t

Редкоземельные элементы / Rare-earth elements	Кальцитовые ониксы ($n = 15$) / Calcite onyxes ($n = 15$)	Известняки и известняковые псефиты ($n = 5$) / Limestones and calcareous psephites ($n = 5$)	Аргиллизиты ($n = 5$) / Argillisites ($n = 5$)
La	0,377	0,419	18,029
Ce	0,539	0,682	41,509
Pr	0,077	0,095	3,479
Nd	0,313	0,402	12,043
Sm	0,067	0,074	1,876
Eu	0,021	0,019	0,332
Gd	0,085	0,095	1,328
Tb	0,012	0,013	0,216
Dy	0,076	0,078	1,422
Ho	0,017	0,019	0,341
Er	0,07	0,054	1,147
Tm	0,007	0,008	0,198
Yb	0,042	0,045	1,361
Lu	0,006	0,005	0,219

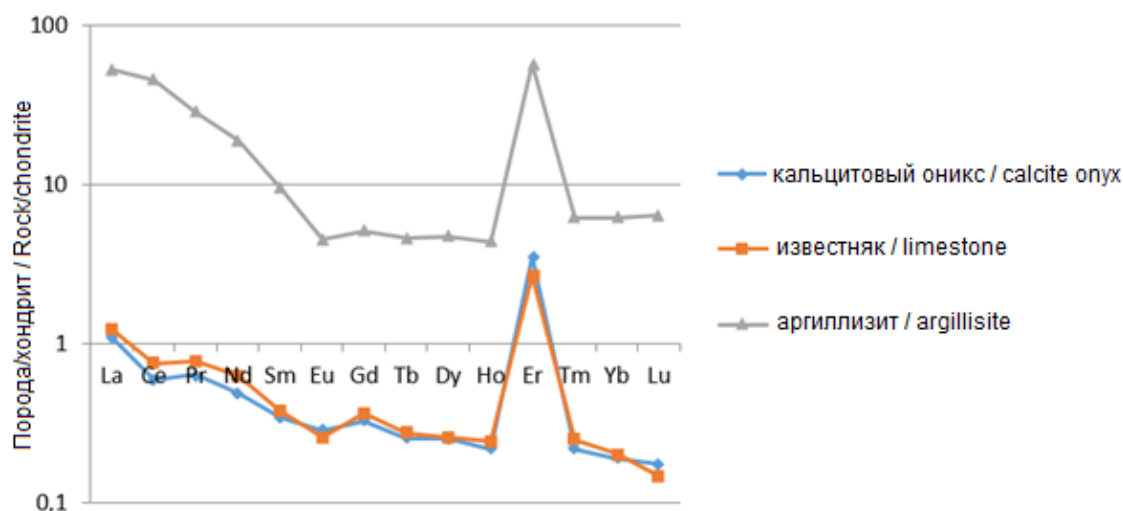


Рис. 5. Спайдер-диаграммы распределения редкоземельных элементов в карбонатной толще и постседиментационных продуктах
Fig. 5. Spider diagram of REE distribution in carbonate stratum and postsedimentation products

спектра для известняков и постседиментационных образований заметно больше (La_n/Sm_n для кальцитовых онисов – 3,2; для известняков – 3,3; для аргиллизитов – 5,5), чем тяжелой (Gd_n/Yb_n – 1,7; 1,8 и 0,8 соответственно). Спадающий спектр достаточно ярко проявлен для легких РЗЭ. После слабо выраженной европиевой аномалии «хвост» тяжелых РЗЭ колеблется примерно на одном уровне, а в случае известняков и кальцитовых онисов он опускается на фоне ярко выраженной положительной эрбиевой аномалии. В аргиллизитах вслед за этой же аномалией наблюдается некоторое возрастание тяжелых РЗЭ. Значение $LPЗЭ/TPЗЭ$, рассчитанное по формуле $[(La+Pr+Nd)/(Er+Tm+Yb+Lu)]_{обр}/[(La+Pr+Nd)/(Er+Tm+Yb+Lu)]_{хондр.}$, закономерно убывает в ряду аргиллизит – известняк – кальцитовый онис как 8,7 – 8,2 – 6,3.

Низкие концентрации лантаноидов в известняках могут быть связаны с высокой скоростью осадконакопления и крайне низким содержанием железа [6] (для наших образований – в среднем 0,36 мас. %). В атдабанском веке раннего кембрия на рассматриваемой территории в условиях мелководной части морского

бассейна происходил быстрый рост биогермов, приведший к формированию органических известняков. Как отмечено А.А. Чистяковым и Ф.А. Щербаковым [7], скорости седиментационных процессов при образовании рифов, в том числе и биогермов, достаточно высоки и колеблются от 20–30 до 4000 см/тыс. лет. Известно, что биогенный карбонат не накапливает РЗЭ, а поэтому карбонатные отложения характеризуются их дефицитом и появлением отрицательных цериевых аномалий [8].

Аргиллизиты в сравнении со слабоизмененными известняками и кальцитовыми онисами характеризуются более высокими содержаниями железа и марганца. Содержание марганца от известняков к аргиллизитам увеличивается от 0,008 до 0,02 %.

По данным рентгеноспектрального элементного анализа аргиллизиты содержат железа в среднем до 2,59 мас. %, известняки и кальцитовые онисы – в среднем 0,36 мас. %. Минералогический анализ выборки из 18 проб аргиллизитов по результатам рентгенофазового анализа показал содержания гематита – 2,55; магнетита – 0,44; сидерита – 0,65 вес. %.

Относительная концентрация церия в породах отражает окислительно-восстановительную обстановку в процессе осадконакопления на дне морских бассейнов [9], и, как отмечают Г.А. Мизенс и другие [6] со ссылкой на источник [10], восстановительная обстановка приводит к растворению некоторой части церия и образованию отрицательных аномалий. Учитывая приведенные данные, а также факт накопления (сорбции) церия на взвеси оксигидроксидов железа и марганца, являющихся частью флюидизатно-эксплозивных систем, наложенных на карбонатные толщи, находит объяснение изменение значения цериевой аномалии от кальцитовых ониксов, известняков к аргиллизитам от 0,7 до 0,8 и 1,1 соответственно.

При изучении геохимии редкоземельных элементов важным показателем, отражающим редокс-условия, является величина европиевой аномалии. Геохимическое своеобразие европия проявляется в его переменной валентности (так же, как и церия): при высоком потенциале кислорода он, как и все РЗЭ, является трехвалентным, а при его дефиците – двухвалентным. При этом он становится более подвижным и переходит в раствор. Подобное изменение валентности европия может происходить и в условиях восстановительного диагенеза осадков по мере его накопления в формирующихся там новообразованиях [11].

Спектры РЗЭ в изучаемых объектах осложнены слабо выраженными европиевыми аномалиями. Их величина (Eu/Eu^*) хоть и близка к 1, но закономерно меняется от 0,6 в аргиллизитах до

0,7 и 0,9 в известняках и кальцитовых ониксах соответственно, что свидетельствует о слабой относительной окисленности процесса аргиллизации и такой же относительной восстановленности условий формирования известковых толщ.

Особенностью изучаемого процесса и характера поведения РЗЭ является резко положительная аномалия во всех выделенных породах эрбия на фоне положительной гадолиниевой аномалии. Данный факт был отмечен для пластовых вод нефтегазоносных районов и глубинных рассолов [12].

Общее сопоставление кривых распределения редкоземельных элементов показывает резкое геохимическое (концентрационное) различие глинистых (аргиллизитов) и карбонатных (известняки и кальцитовые ониксы) пород. Обращает на себя внимание практически полное сходство кривых распределения РЗЭ в известняках и кальцитовых ониксах.

Анализ геохимических особенностей РЗЭ в изучаемых толщах позволяет сделать вывод о различной природе аргиллизитов и известняков торгошинской свиты, на которые были наложены флюидизатно-эксплозивные процессы. Аргиллизация торгошинских известняков связана с этапом среднепалеозойской (O_1-S_2) тектономагматической активизации региона и имеет стадийный характер. Тектоническая деформация и дробление карбонатной толщи сопровождалась внедрением напорных низкотемпературных гидротерм, содержащих аргиллизитовую массу, уже обогащенную РЗЭ. Этот процесс носил флюидизатно-эксплозивный характер и привел к появлению флюидолитов [3].

Библиографический список

1. Задорожная Н.М. Раннекембрийские органогенные постройки восточной части Алтае-Саянской складчатой области // Среда и жизнь в геологическом

прошлом (палеоэкологические проблемы). Новосибирск: Наука, 1974. С. 159–186.

2. Задисенский Ю.А., Миронюк Г.В. [и др.]. Отчет по теме «Ревизионно-оценочные работы на выделение участков недр, содержащих коллекционный геологический материал (Красноярский край)». Красноярск: Музей геологии Центральной Сибири, 2008. 221 с.
3. Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А., Цыкин Р.А. Аргиллизиты Торгашинского месторождения известняка // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2013. № 3 (25). С. 250–255.
4. Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А., Цыкин Р.А. Кальцитовые ониксы и другие гидротермалиты и флюидолиты Торгашинского месторождения известняка: монография. Красноярск: Изд-во КГПУ им. В.П. Астафьева, 2014. 134 с.
5. Wakita H., Rey P., Scmitt R.A. Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils // Proceedings of the 2nd Lunar Sciences Conference. Oxford: Pergamon Press, 1971. P. 1319–1329.
6. Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Сапурин С.А. Геохимические особенности известняков и условия осадконакопления на изолированной карбонатной платформе в позднем девоне и начале карбона на восточной окраине Урала // Литосфера. 2014. № 6. С. 53–76.
7. Чистяков А.А., Щербаков Ф.А. Лавинное осадконакопление в седиментационных ловушках континентальных окраин // Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. М.: Наука, 1985. С. 11–20.
8. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане / отв. ред. И.И. Волков. М.: Наука, 2006. 360 с.
9. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
10. Murray R.W., Buchholzten 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 // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1991. Vol. 55. P. 2453–2466.
11. Анисимов М.А., Иванова В.В., Пушина З.В., Питулько В.В. Лагунные отложения острова Жохова: возраст, условия формирования и значение для палеогеографических реконструкций региона Новосибирских островов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2009. № 5. С. 107–119.
12. Абакумова О.Е., Бизяев Н.А. Гадолиниевая и эрбиевая аномалии в глубинных рассолах // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам»: сб. докл. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 19–20.

References

1. Zadorozhnaya N.M. *Rannekembriiskie organogennye postroiki vostochnoi chasti Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti* [Early Cambrian organogenic structures of the eastern part of the Altay Sayan folded belt]. *Sreda i zhizn' v geologicheskoy proshlom (paleo-ekologicheskie problemy)* [Environment and life in the geological past (paleoecological problems)]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1974, pp. 159–186. (In Russian).
2. Zadisenskii Yu.A., Mironyuk G.V. *Otchet po teme "Revizionno-otsenochnye raboty na vydelenie uchastkov neдр, soderzhashchikh kollektсионnyi геологический материал (Krasnoyarskii Krai)"* [Report on the topic "Revision and appraisal works directed at identification of subsurface sites containing collection geological material (Krasnoyarsk Territory)"]. Krasnoyarsk: Museum of Central Siberian Geology Publ., 2008, 221 p. (In Russian).

3. Bondina S.S., Anan`ev S.A., Anan`eva T.A., Tsykin R.A. Argillizites of the Torgashino limestone deposit. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.P. Astaf`eva* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Pedagogic University], 2013, no. 3 (25), pp. 250–255. (In Russian).

4. Bondina S.S., Anan`ev S.A., Anan`eva T.A., Tsykin R.A. *Kal'tsitovye oniksy i drugie gidrotermal'nykh i flyudolity Torgashinskogo mestorozhdeniya izvestnyaka* [Calcite onyxes and other hydrothermalites and fluidolites of the Torgashino limestone deposit]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Pedagogic University named after V.P. Astaf`ev Publ., 2014, 134 p. (In Russian).

5. Wakita H., Rey P., Scmitt R.A. Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils. *Proceedings of the 2nd Lunar Sciences Conference*. Oxford: Pergamon Press, 1971, pp. 1319–1329.

6. Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A., Sapurin S.A. Geochemical features of limestones and depositional environment on the isolated carbonate platform on the eastern Urals margin during Late Devonian and Early Carboniferous. *Litosfera* [Lithosphere], 2014, no. 6, pp. 53–76. (In Russian).

7. Chistyakov A.A., Shcherbakov F.A. *Lavinnoe osadkonakoplenie v sedimentatsionnykh lovushkakh kontinental'nykh okrain* [Avalanche deposition in sedimentation traps of continental margins]. *Geologiya i geomorfologiya shelf'ov i materikovyykh sklonov* [Geology and Geomorphology of

Continental Slope Shelves]. Moscow: Nauka Publ., 1985, pp. 11–20. (In Russian).

8. Dubinin A.V. *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov v okeane* [Geochemistry of rare-earth elements in the ocean]. Moscow: Nauka Publ., 2006, 360 p. (In Russian).

9. Balashov Yu.A. *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov* [Geochemistry of rare-earth elements]. Moscow: Nauka Publ., 1976, 267 p. (In Russian).

10. Murray R.W., Buchholzten 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, vol. 55, pp. 2453–2466.

11. Anisimov M.A., Ivanova V.V., Pushina Z.V., Pitul'ko V.V. Lagoon Sediments of Jokhov Island: Age, Conditions of Formation and Meanings for Paleogeographical Reconstructions of the Region of Novosibirsk Islands. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya RAN (Akad. Nauk SSSR). Seriya Geograficheskaya], 2009, no. 5, pp. 107–119. (In Russian).

12. Abakumova O.E., Bizyaev N.A. *Gadolinievaya i erbievaya anomalii v glubinnykh rassolakh* [Gadolinium and erbium anomalies in deep brines]. *Mezhdunarodnyi nauchno-promyshlennyy simpozium "Ural'skaya gornaya shkola – regionam"* [International scientific and industrial symposium "Ural Mining School for regions"]. Ekaterinburg: Ural State Mining University Publ., 2009, pp. 19–20. (In Russian).

Критерии авторства

Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Bondina S.S., Ananiev S.A., Ananieva T.A. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.