

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНЫЕ (Sr, C, O) ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ВЕНД-КЕМБРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ХР. АЗЫР-ТАЛ  
(Кузнецкий Алатау): ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ И ОБСТАНОВКИ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА**

**Е.Ф. Летникова, А.Б. Кузнецов\*, И.А. Вишневецкая, А.А. Терлеев\*\*, Г.В. Константинова\***

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

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

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

Приведены результаты изотопных (Sr, C и O) и геохимических исследований карбонатных отложений енисейской серии хр. Азыр-Тал (Кузнецкий Алатау). С помощью методов Sr и C изотопной хемотратиграфии установлены возрастные ограничения на время формирования карбонатных отложений енисейской серии. На основе этого показано, что осадки чарыштагской, биджинской, мартюхинской и нижней части сорнинской свит накапливались в позднем венде и раннем кембрии, в возрастном интервале 580—530 млн лет, а верхней части сорнинской свиты — 525—517 млн лет. При этом последовательное накопление их в едином осадочном бассейне не подтверждается проведенными геохимическими исследованиями. Отложения верхней части (пачки 2 и 3) сорнинской свиты накапливались в осадочном бассейне иного типа, чем все остальные нижележащие отложения енисейской серии. Так, в поздневендское время в пределах Кузнецкого Алатау можно выделить, как минимум, два типа мелководных морских бассейнов — шельфовый в пределах блока с пассивным тектоническим режимом (чарыштагская, биджинская, мартюхинская и нижняя часть сорнинской свит) и океанический, где накопление происходило в пределах океанических островов при активной подводной гидротермальной деятельности (верхняя часть сорнинской свиты).

*Карбонатные отложения, изотопные и геохимические характеристики.*

**THE GEOCHEMICAL AND ISOTOPE (Sr, C, O) CHARACTERISTICS OF THE VENDIAN-CAMBRIAN  
CARBONATE DEPOSITS OF THE AZYR-TAL RIDGE (Kuznetsk Alatau):  
CHEMOSTRATIGRAPHY AND SEDIMENTOGENESIS ENVIRONMENTS**

**E.F. Letnikova, A.B. Kuznetsov, I.A. Vishnevskaya, A.A. Terleev, and G.V. Konstantinova**

Results of isotope (Sr, C, and O) and geochemical studies of the carbonate deposits of the Yenisei Group of the Azyr-Tal Ridge (Kuznetsk Alatau) are presented. Using the Sr and C isotope chemostratigraphy, the age restrictions for these deposits have been made. It is shown that the sediments of the Charyshtag, Bidzha, and Martyukhina Formations and the lower part of the Sorna Formation accumulated in the Late Vendian and Early Cambrian, at 580–530 Ma, and those of the upper part of the Sorna Formation, at 525–517 Ma. Their successive accumulation in the same sedimentary basin is not confirmed by the performed geochemical studies. The deposits of the upper part (members 2 and 3) of the Sorna Formation accumulated in a sedimentary basin of other type as compared with the rest underlying deposits of the Yenisei Group. For example, at least two types of shallow-water sea basins are recognized within Kuznetsk Alatau in the Late Vendian: shelf, localized within a block with a passive tectonic regime (Charyshtag, Bidzha, and Martyukhina Formations and lower part of the Sorna Formation), and oceanic, where accumulation proceeded within oceanic islands with underwater hydrothermal activity (upper part of the Sorna Formation).

*Carbonate deposits, isotopic and geochemical characteristics*

**ВВЕДЕНИЕ**

В стратиграфии верхнего докембрия разрезы енисейской серии хр. Азыр-Тал восточного склона Кузнецкого Алатау являются эталонными для всей Алтае-Саянской складчатой области (АССО) [Решения..., 1983]. Это определяется наличием мощного комплекса карбонатных пород с большим количеством находок органических остатков (микрофитолиты, строматолиты, эдиакарская фауна, невландиевая проблематика, водоросли, спикулы губок и др.) и прекрасной обнаженностью. Однако, несмотря на то, что этот регион в стратиграфическом и палеонтологическом отношении изучается более 100 лет, четких и однозначных представлений о его строении и возрасте нет. Остановимся более подробно на существующих схемах стратиграфического строения енисейской серии в этом регионе и обосновании их правотности.

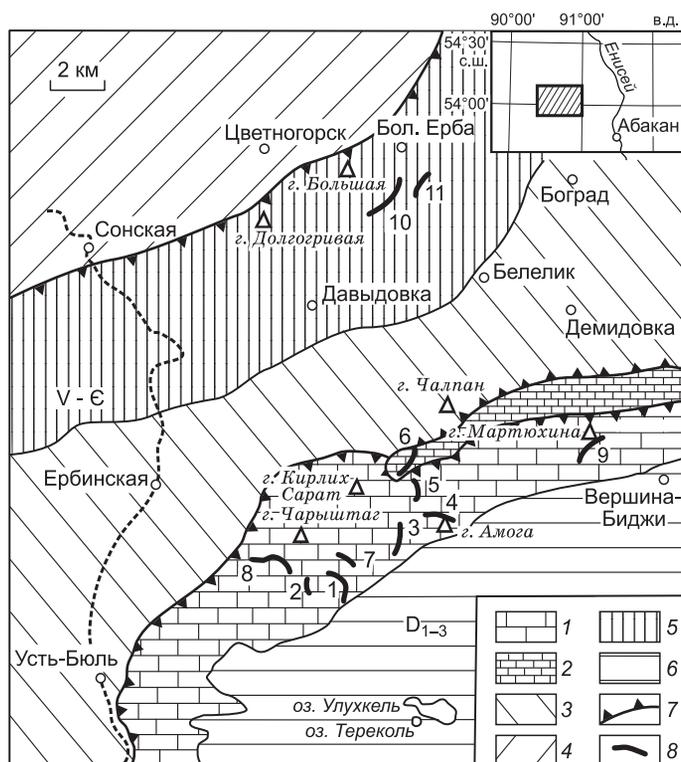
Первая стратиграфическая схема для данного района была предложена А.Н. Чураковым [1916], который первоначально объединил все карбонатные породы в енисейскую свиту, а туфогенно-сланцевые породы в кутень-булукскую свиту и отнес их к протерозою. В дальнейшем енисейская свита была обособлена в качестве серии и стала расчленяться на две свиты: нижнюю известняковую — биджинскую (синий) и верхнюю существенно доломитовую — мартюхинскую (нижний кембрий) [Ярошевич, 1962]. А.Б. Гинцингер с соавторами [1969] верхнюю часть последней выделили в сорнинскую свиту. По данным этих авторов, вся енисейская серия была отнесена к рифею и перекрывалась кутень-булукской свитой нижнего кембрия. Б.Г. Краевским и В.А. Шипициным [1981] было показано, что биджинская свита согласно залегает на чарыштагской свите кремнисто-доломитового состава, а весь комплекс отложений хр. Азыр-Тал составляет единую серию осадков, лишенную заметных перерывов, и соответствует верхнему рифею—венду.

В таком виде эта последовательность отложений была принята на Всесоюзном стратиграфическом совещании по разработке унифицированных схем верхнего протерозоя АССО [Решения..., 1983]. Так, в этой схеме возраст чарыштагской свиты соответствовал среднему рифею, биджинской — среднему и верхнему рифею, мартюхинской — верхнему рифею, сорнинской — венду. Достоверные обоснования рифейского и вендского возрастов для этих отложений отсутствовали, определение возрастного уровня карбонатакопления проводилось на основе субъективных методов региональной корреляции. При этом название «енисейская серия», объединяющая всю последовательность карбонатных осадков этого района, не было зафиксировано.

В последующие годы обсуждение велось преимущественно о возрасте выделенных стратиграфических подразделений и их взаимоотношениях. Так, К.Л. Пак [1986], основываясь на данных геологического картирования, приходит к выводу о вендском возрасте биджинской свиты и раннекембрийском — мартюхинской и сорнинской свит. В последние годы одним из авторов данной статьи получены новые палеонтологические материалы (известковые водоросли, мелкораквинная фауна и др.), позволяющие считать возраст биджинской, мартюхинской и нижней части сорнинской свит вендом [Терлеев и др., 2002, 2004; Постников, Терлеев, 2004]. Граница между вендом и кембрием была проведена в этом районе в основании фосфатонесной баритосодержащей пачки 2 сорнинской свиты, по смене комплексов фауны и флоры. Чарыштагская свита условно отнесена ими к верхнему рифею. Таким образом, приведенный обзор показывает, что практически всеми исследователями последовательность и характер соотношений вышеуказанных свит верхнедокембрийских-раннекембрийских отложений разреза хр. Азыр-Тал понимается практически одинаково. В этой связи крайне противоположной выглядит точка зрения С.Л. Тарновского [Тарновский, 2000, 2001]. В его стратиграфической схеме весь карбонатный комплекс енисейской серии, от чарыштагской до сорнинской свиты включительно, помещен в средний рифей. При этом нельзя не учитывать работ Т.Н. Херасковой с соавторами [1996] и Д.Г. Козьмина [2000], где показано покровное строение восточного склона Кузнецкого Алатау (рис. 1)

**Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов карбонатных отложений енисейской серии (хр. Азыр-Тал) (тектонические пластины, по [Хераскова, Гаврилова, 1996; Козьмин, 2000]).**

1—5 — тектонические пластины: 1 — мартюхинская, 2 — сорнинская, 3 — боградская, 4 — обладжанская, 5 — давидовская; 6 — девонские отложения, 7 — границы надвигов; 8 — изученные разрезы енисейской серии и боградской и бродовской свит. Геохимическое и изотопное опробование (разрезы 1—9), только геохимическое (разрезы 10—11). Разрезы: 1 — 4, 5 пачки чарыштагской и 1—3 пачки биджинской свит; 2 — 5 пачка биджинской свиты; 3 — контакт биджинской и мартюхинской свит; 4 — 1—2 пачки мартюхинской свиты; 5 — 3 пачка мартюхинской и нижняя часть сорнинской свит; 6 — верхняя баритонесная часть (пачки 2 и 3) сорнинской свиты; 7 — 3—4 пачки биджинской свиты; 8 — 4—5 пачки биджинской и 1 пачка мартюхинской свит; 9 — мартюхинская свита; 10, 11 — бродовская и боградская свиты.



и часть разреза сорнинской свиты, которая имеет тектонический контакт со всеми нижележащими карбонатными отложениями енисейской серии. Однако стоит отметить, что в этих двух работах движения покровов имеют противоположные направления.

Такая диаметрально противоположная точка зрения на возраст и строение одних и тех же толщ требует, по-видимому, и иных методов решения.

Среди таких методов на первый план выходит метод Sr-изотопной хемотратиграфии, в основе которого лежат знания о вариациях изотопного состава Sr в морской воде в течение геологического времени [McArthur, 1994]. Этот метод обеспечивает независимую корреляцию морских карбонатных осадков посредством сопоставления Sr-изотопной характеристики пород со стандартной («эталонной») кривой вариации отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Современные модели кривой вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в докембрийском океане построены на основе ряда разобобщенных геохронологически датированных осадочных последовательностей [Asmerom et al., 1991; Derry et al., 1992; Kaufman et al., 1993; Горохов и др., 1995; Shields, 1999; Walter et al., 2000; Melezhik et al., 2001; Кузнецов и др., 2003]. С помощью Sr-изотопной хемотратиграфии была получена информация о времени формирования карбонатных осадков в неопротерозойских разрезах Африки [Kaufman et al., 1993; Melezhik et al., 2006], Австралии [Walter et al., 2000], Северной Норвегии [Melezhik et al., 2002], Шотландии [Thomas et al., 2004], Южной Америки [Galindo et al., 2004; Azmy et al., 2006] и Сибири [Derry et al., 1994; Kaufman et al., 1996; Летникова и др., 2006]. Анализ геохимических параметров и изотопного состава Sr в образцах из коллекции пород енисейской серии хр. Азыр-Тал показал, что многие породы сохранили первичные изотопно-геохимические характеристики и имеют очень хорошие перспективы для корреляции с помощью Sr-изотопной хемотратиграфии [Кузнецов и др., 2009]. Другим действенным методом корреляции и реконструкции обстановок седиментогенеза для карбонатных пород является их геохимическое изучение [Летникова, 2003, 2005].

В данной статье представлены сведения об отношении  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и значениях  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатных породах хр. Азар-Тал Кузнецкого Алатау, и на основе этого получена новая информация о времени накопления отложений енисейской серии. Впервые рассматриваются геохимические особенности карбонатных отложений енисейской серии и проводится реконструкция источников поступления осадочного материала и геодинамических обстановок седиментогенеза. Для неопротерозоя Алтае-Саянской складчатой области (АССО) изотопно-геохимические исследования являются пионерными.

## СТРАТИГРАФИЯ ПОЗДНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ХР. АЗЫР-ТАЛ

В настоящее время принята схема четырехчленного строения енисейской серии (снизу вверх): чарыштагская, биджинская, мартюхинская и сорнинская свиты (рис. 2). Ниже мы дадим краткое описание состава и строения этой серии, а также проанализируем биостратиграфические данные, свидетельствующие о ее возрасте.

Чарыштагская свита выделена Б.Г. Краевским в 1979 г. в окрестностях гор Колергит, Чарыштаг [Краевский, Шипицын, 1981] и имеет здесь следующее строение (снизу вверх):

	Мощность, м
Темно-серые доломиты, известковистые доломиты с многочисленными линзами и прослоями кремней .....	760
Темно-серые известняки с прослоями доломитов .....	370
Черные и серые известняки и доломиты с линзами и прослоями кремней .....	380
Интенсивно окремненные доломиты, массивные и слоистые, строматолитовые, разнообразной окраски, прослой кремней .....	800
Темно-серые доломиты и кремнистые доломиты с прослоями и гнездами кремней .....	200
Тонкопереслаивающиеся кремни и черные известняки .....	250
Окремненные доломиты, известняки .....	150

Суммарная мощность чарыштагской свиты более 2000 м. Контакт с перекрывающей биджинской свитой четкий, согласный.

Органические остатки обнаружены в верхней части свиты и представлены строматолитами *Inzeria tjomusi*; микрофитолитами *Osagia grandis*, *Vesicularites bothrydiophormis*, *Vermiculites irregularis*, *V. angularis*, окремненными водорослями *Obruchevella delicata*, *O. sibirica*, *O. ditissima*, *Oscillatoriopis tomica* [Якшин, Лучинина, 1981].

Биджинская свита в стратотипе (гора Чарыштаг между падью Тунтугес и логом Широкий) имеет в строении пять четко обособленных пачек [Краевский, Шипицын, 1981] (снизу вверх):

Пестроцветные глинистые известняки, присутствуют слои лиловых алевролитов и мергелей, в нерастворимом остатке которых содержатся магнетит, ильменит, кварц, слюда. В известняках определены водоросли <i>Gemma</i> sp., спикулы губок, проблематика <i>Archaesphaera</i> и <i>Vicosphaera</i> [Терлеев и др., 2002, 2004] .....	15—150
Светло-серые и желтоватые массивные и слоистые доломиты. В пачке встречены микрофитолиды <i>Vesicularites bothrydiophormis</i> , <i>Vermiculites angularis</i> , <i>Osagia composita</i> и строматолиты <i>Conophyton garganicum</i> , <i>Sacculia ovata</i> .....	280
Черные и серые плитчатые и массивные известняки со столбчатыми строматолитами <i>Conophyton garganicum</i> Korol (высотой до 30 см) .....	270
Темно-серые массивные и слоистые доломиты с горизонтами известняков .....	220
Темно-серые до черных, нередко антраконитовые, мелкокристаллические с отчетливым запахом сероводорода известняки. На разных уровнях в этой пачке встречены микрофитолиды <i>Vesicularites bothrydiophormis</i> , <i>V. lobatus</i> , <i>Vermiculites irregularis</i> , <i>V. angularis</i> , <i>Osagia tenuilamellata</i> , <i>O. minuta</i> , <i>Nubecularites uniformis</i> и известковые водоросли <i>Girvanella</i> sp., губки? <i>Archaespongia</i> sp. ....	1200

Общая мощность биджинской свиты 2020 м.

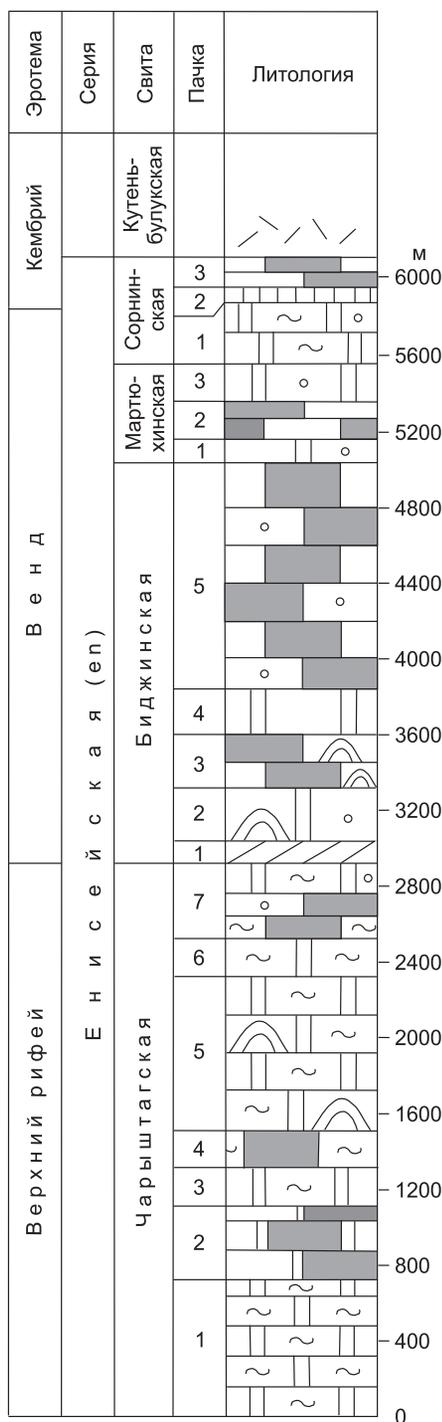
Мартюхинская свита выделена В.М. Ярошевичем [1962] в окрестностях горы Мартюхина. Отложения свиты залегают на породах биджинской свиты согласно. По данным [Пак, 1986], мартюхинская свита имеет трехчленное строение:

Серые доломиты, от массивных до тонковолнисто-полосчатых, нередко с инкрустационными текстурами. Подобные породы формируются в результате развития и последующей литификации микробиальных матов .....	120
Темно-серые, с запахом сероводорода известняки с текстурами, аналогичными пачке 1. Местами породы пятнисто окремнены и содержат прослой (до 15 см) черных полосчатых кремней ...	180—185
Доломиты, аналогичные вышеописанным в пачке 1, отличаются наличием узорчатых стяжений кварцитов .....	215
Мощность мартюхинской свиты 520 м.	

По всему разрезу свиты определены микрофитолиды *Osagia tenuilamellata*, *O.columnata*, *O.undosa*, *O.columnata* var.*baicalica*, *O.columnata* var.*ovsianica*, *O.lamellosa*, *O.donatella*, *O.grandis*, *Nubecularites uniformis*, *Vesicularites pussilus*, *V. bothrydiophormis*, *Volvatella* sp.

Сорнинская свита выделена из состава мартюхинской [Гинцингер и др., 1969]. Стратотип расположен в верховьях пади Сорной, район горы Красивые горки. По литологическому составу свита расчленяется на три пачки [Пак, 1986]. Стоит отметить, что стратотипический разрез этой свиты, в отличие от нижележащих, имеет прерывистый характер. Так, пачка 1 согласно надстраивает разрез мартюхинской свиты, далее отмечается более 800 м перерыва в наблюдениях, и отложения пачек 2 и 3, имея отличный от нижележащих отложений азимут простирания и угол падения, гипотетически надстраивают самую верхнюю часть енисейской серии. Достоверного последовательного напластования пачек 1 и 2 сорнинской свиты ни предыдущими исследователями, ни авторами данной статьи обнаружено не было. При этом на тектонических схемах, приведенных в работах Т.Н. Херасковой с соавторами [1996] и Д.Г. Козьмина [2000], контакт пачки 1 с пачками 2 и 3 показан как тектонический (см. рис. 1). Проведенные в дальнейшем авторами данной работы изотопно-геохимические исследования позволили решить вопрос о природе контакта этих пачек более обоснованно.

**Пачка 1** представлена темно-серыми, плитчатыми, тонковолнисто-полосчатыми известняками с прослоями и линзами кремней (300 м). В верхней части пачки описана эдиакарская фауна *Ediakaria flindersi* [Задорожная, 1985], проблематика *Archaesphaera cambrica*, *Calcisphaera* sp., SSF (мелкораконинная фауна): *Cloudina* sp., *Sinotabulites* sp., микрофитолиды *Osagia tenuilamellata* [Терлеев и др., 2004]. Ранее Н.М. Задорожная [1985] слои, содержащие эти органические остатки, относила к мартюхинской свите. После перерыва в наблюдениях **пачка 2** состоит из фосфатоносных кремнисто-карбонатно-терригенных слоев с большим количеством кристаллов барита. Наблюдается переслаивание пестроцветных кремней, глинистых сланцев, алевролитов, песчаников, гравелитов и доломитов (40 м). В пачке обнаружены известковые водоросли *Korilophyton* sp., *Epiphyton scapulum*, *E.frondosum*; SSF: *Anabarites cf. tripartitus*, *Cambrotubulus* sp.; спикулы губок и отпечатки микробных колоний [Терлеев и др., 2004; Постников, Терлеев, 2004]. **Пачка 3** в своем строении имеет темно-серые слоистые известняки с редкими прослоями силицилитов и бурых алевролитов и сланцев (150 м). В известняках развиты микрофитолиды *Osagia* sp., *Vesicularites* sp.; строматолиты *Stratifera* sp.; спикулы губок [Гинцингер и др., 1969]. Общая мощность свиты 490 м. Сорнинская свита согласно перекрывается туфогенно-терригенной кутень-булукской свитой нижнего кембрия [Решение..., 1983].



**Рис. 2. Стратиграфическая колонка енисейской серии (хр. Азыр-Тал), принятая на Всесоюзном стратиграфическом совещании по разработке унифицированных схем верхнего протерозоя АССО [Решения..., 1983].**

1 — доломиты и известняки с линзами кремней; 2 — окремненные доломиты; 3 — темно-серые известняки и доломиты; 4 — строматолиты; 5 — микрофитолитовые карбонатные породы; 6 — пачка лиловых глинисто-карбонатных отложений; 7 — баритонесная пачка; 8 — серые известняки; 9 — туфогенно-вулканомиктовые отложения.

Как указывалось выше, по поводу возраста свит енисейской серии хр. Азыр-Тал существуют различные мнения. Рассмотрим имеющиеся палеонтологические данные. Микрофитолиты, обнаруженные в отложениях енисейской серии, имеют широкий возрастной диапазон распространения от верхов верхнего рифея до нижнего кембрия включительно [Терлеев, 1984, 2005]. Окремненные водоросли в верхней части чарыштагской свиты известны в верхнем рифее — венде. Наибольший интерес здесь представляет находка строматолита *Inzeria tjomusi*, характерного для верхнего рифея. Находки известковых водорослей *Gemma* sp., спикул губок и строматолитов *Sacculia ovata* из нижней части биджинской свиты свидетельствуют о вендском возрасте. *Ediacaria flindersi*, обнаруженная в верхах мартюхинской свиты, также характерна для вендских отложений. Нижняя граница кембрия достаточно уверенно проводится в основании пачки 2 сорнинской свиты по появлению представителей рода *Epiphyton* [Терлеев и др., 2004]. Палеонтологические свидетельства и данные по корреляции с другими разрезами АССО [Постников, Терлеев, 2004; Терлеев и др., 2004] позволяют сделать заключение о примерном соответствии чарыштагской свиты верхнему рифею, биджинской, мартюхинской и пачки 1 сорнинской свиты — венду, пачки 2—3 сорнинской свиты — нижнему кембрию.

Проведенные авторами этой статьи исследования изотопного состава Sr и C в пилотной коллекции карбонатных пород енисейской серии показали, что отложения изученной части этой серии накапливались в позднем венде и раннем кембрии [Кузнецов и др., 2009].

### ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ ВЕНД-КЕМБРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ХР. АЗЫР-ТАЛ

Объектом Sr- и C-изотопного исследования стали карбонатные породы енисейской серии хр. Азыр-Тал (см. рис. 1). Необходимыми условиями для получения корректной Sr хемотратиграфической характеристики карбонатных отложений являются: геохимическая оценка степени сохранности Rb-Sr системы карбонатных пород и селективное растворение анализируемых образцов для частичного удаления эпигенетических карбонатных фаз. Главными агентами, нарушавшими первичный изотопный сигнал, являлись эпигенетические растворы и метеорные воды. Как правило, они были обеднены Sr,  $^{18}\text{O}$  и обогащены Mn и Fe по сравнению с морской водой. В результате отношения Mn/Sr и Fe/Sr, величина  $\delta^{18}\text{O}$ , а также ковариации между этими величинами, с одной стороны, и величинами  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ , с другой, могут являться геохимическими критериями выбора наименее измененных карбонатных образцов [Brand, Veizer, 1980; Горохов и др., 1995; Кузнецов и др., 2003, 2006]. Эмпирические данные, получен-

Таблица 1. Rb-Sr и геохимическая характеристика карбонатных пород енисейской серии хр. Азыр-Тал

Номер образца	Положение образца <sup>1</sup>	Порода <sup>2</sup>	Доля СП <sup>3</sup> , %	Mg/Ca	Mn/Sr	Fe/Sr	Rb	Sr	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr измер.	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr перв.
							мкг/г				
<i>Сорнинская свита</i>											
V3-114	470	И	0.1	0.006	0.002	0.01	0.05	3140	0.0001	0.70852	0.70852
V3-111	430	»	0.1	0.010	0.001	0.01	0.04	3390	0.0001	0.70848	0.70848
V3-110	410	»	0.3	0.004	0.002	0.01	0.07	2530	0.0001	0.70852	0.70852
V3-109	350	Д	26.4	0.588	0.19	7.8	0.03	96.5	0.0009	0.70828	0.70827
V3-108	210	»	3.5	0.421	0.49	0.73	0.03	98.0	0.0009	0.70813	0.70812
V3-103	160	»	0.4	0.437	0.40	0.53	0.02	105	0.0006	0.70819	0.70819
V3-101	80	И	0.7	0.041	0.16	0.34	0.03	232	0.0004	0.70822	0.70822
V3-100	50	»	9.8	0.032	0.10	0.19	0.04	325	0.0004	0.70810	0.70810
<i>Мартохинская свита</i>											
V3-99	320	И	1.3	0.007	0.34	0.23	0.03	1210	0.0001	0.70806	0.70806
V3-86	120	»	0.6	0.005	0.19	0.63	0.04	390	0.0003	0.70804	0.70804
V3-85	90	»	0.2	0.005	0.17	0.38	0.02	426	0.0001	0.70814	0.70814
V3-84	50	»	1.8	0.003	0.10	0.23	0.04	465	0.0003	0.70815	0.70815
<i>Биджинская свита, пачка 5</i>											
V3-69	1940	И	0.3	0.010	0.06	0.17	0.02	590	0.0001	0.70827	0.70827
V3-65	1670	»	0.4	0.009	0.19	0.17	0.02	405	0.0001	0.70831	0.70831
V3-63	1550	»	1.4	0.006	0.20	0.16	0.02	540	0.0001	0.70834	0.70834
V3-60	1220	»	0.4	0.009	0.06	0.09	0.05	636	0.0002	0.70853	0.70853
V3-56	980	»	0.4	0.006	0.02	0.09	0.02	1630	0.0001	0.70824	0.70824
<i>Биджинская свита, пачка 3</i>											
V3-37	490	И	0.4	0.002	0.04	0.12	0.06	525	0.0003	0.70851	0.70851
V3-32	435	»	0.3	0.010	0.01	0.04	0.04	1130	0.0001	0.70853	0.70853
V3-26	350	»	0.3	0.009	0.01	0.05	0.03	1090	0.0001	0.70851	0.70851
V3-24	320	»	0.3	0.007	0.01	0.09	0.04	1170	0.0001	0.70858	0.70858
<i>Биджинская свита, пачка 2</i>											
V3-22	285	Д	0.6	0.592	0.24	1.7	0.02	96.2	0.0006	0.70802	0.70802
V3-20	220	»	0.2	0.361	0.60	1.1	0.05	108	0.0014	0.70778	0.70777
V3-16	90	»	0.2	0.374	0.89	1.7	0.07	88.0	0.0023	0.70744	0.70742
V3-15	60	»	0.2	0.541	0.87	3.3	0.05	72.4	0.0020	0.70772	0.70770
V3-14	48	»	0.2	0.566	0.47	4.0	0.06	78.2	0.0022	0.70830	0.70828
<i>Биджинская свита, пачка 1 (пестроцветный горизонт)</i>											
V3-11	15	И	6.0	0.037	0.49	4.6	0.11	325	0.0009	0.70862	0.70861
V3-10	9	»	6.7	0.016	0.44	1.9	0.12	390	0.0009	0.70849	0.70848
<i>Чарыштагская свита, верхняя часть</i>											
V3-8	-25	И	0.1	0.015	0.01	0.05	0.06	910	0.0002	0.70796	0.70796
V3-7	-30	»	3.8	0.017	0.01	0.03	0.05	1530	0.0001	0.70790	0.70790
V3-5	-90	Д	0.8	0.599	0.40	2.0	0.04	59.6	0.0020	0.70805	0.70803
V3-4	-105	»	0.1	0.485	0.12	0.51	0.04	138	0.0008	0.70800	0.70799
V3-2	-150	»	0.1	0.586	0.26	0.65	0.04	70.3	0.0017	0.70778	0.70777

Примечание. <sup>1</sup> Положение образца указано в метрах от основания свиты вверх по разрезу, а для чарыштагской свиты от основания пачки 1 биджинской свиты вниз. <sup>2</sup> Тип породы: И — известняк, Д — доломит. <sup>3</sup> СП — силикокластическая примесь. При вычислении первичных отношений <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr возраст пород принимался равным 550 млн лет.

ные при изучении карбонатных пород в докембрийских разрезах Урала и Сибири, позволили установить жесткие значения геохимических критериев для выбора наименее измененных образцов [Горохов и др., 1995; Семихатов и др., 2002, 2003; Кузнецов и др., 2003, 2006]. В настоящее время при изучении Rb-Sr систематики известняков отношение <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr в них считается пригодным для хемостратиграфических построений, если образцы удовлетворяют следующим параметрам: Mn/Sr ≤ 0.2, Fe/Sr ≤ 5.0, Mg/

Таблица 2. Углеродная и кислородная изотопные характеристики карбонатных пород енисейской серии хр. Азыр-Тал

Номер образца	Порода	Доля СП, %	Ca/Mg	$\delta^{13}\text{C}$ , PDB	$\delta^{18}\text{O}$ , SMOW	Положение образца <sup>1</sup>
<i>Чарыштагская свита</i>						
V3-1	Д	0.2	1.7	0.31	25.25	-160
V3-2	»	0.1	1.7	1.91	24.63	-150
V3-4	»	0.1	2.1	1.08	25.39	-105
V3-5	»	0.8	1.7	1.65	25.28	-90
V3-7	И	3.8	59.6	3.27	21.84	-30
V3-8	»	0.1	68.5	5.87	22.08	-25
<i>Биджинская свита, пачка 1</i>						
V3-9	И	8.6	48.5	-7.30	23.07	5
V3-10	»	6.7	63.5	-5.80	24.11	9
V3-11	»	6.0	27.3	-7.20	22.97	15
V3-12	Д	3.6	2.1	-1.40	30.85	21
V3-14	»	0.2	1.8	-0.80	27.54	60
<i>Биджинская свита, пачка 2</i>						
V3-16	Д	0.2	2.7	-0.45	26.50	90
V3-18	»	0.2	1.7	-0.80	26.50	140
V3-20	»	0.2	2.8	0.40	27.22	220
V3-22	»	0.6	1.7	0.59	24.18	285
V3-23	»	0.6	1.8	-1.80	28.06	300
<i>Биджинская свита, пачка 3</i>						
V3-24	И	0.3	138	5.40	27.12	320
V3-25	»	0.8	102.6	4.50	28.89	350
V3-27	»	0.7	254.6	6.10	29.61	370
V3-29	»	0.3	150.7	3.40	28.47	410
V3-32	»	0.3	103.5	4.40	27.12	435
V3-33	»	0.2	178.4	4.30	29.30	450
V3-35	»	0.5	332.2	3.75	30.03	470
V3-37	»	0.4	665.3	4.00	24.42	490
V3-38	Д	0.1	1.8	2.80	27.12	510
<i>Биджинская свита, пачка 4</i>						
V3-40	И	0.1	174.6	4.70	26.91	520
V3-42	»	0.3	663.1	4.10	23.90	610
V3-44	»	0.4	165.5	3.00	25.67	670
V3-45A	»	0.2	102.7	4.40	23.28	715
V3-47	»	0.3	668.8	1.20	28.06	760
V3-49	»	0.2	137.7	2.60	27.54	820
V3-51	»	0.2	129.7	2.80	27.54	870
V3-53	»	0.3	188.6	2.75	25.98	910
<i>Биджинская свита, пачка 5</i>						
V3-56	И	0.4	164.2	5.90	26.60	980
V3-58	»	0.5	172.7	2.40	24.63	1100
V3-60	»	0.4	112.6	3.00	25.98	1220
V3-62	»	0.7	661.9	1.90	22.55	1350
V3-63	»	1.4	175	3.50	26.50	1550
V3-65	»	0.4	109.5	4.50	27.33	1670

Номер образца	Порода	Доля СП, %	Ca/Mg	$\delta^{13}\text{C}$ , PDB	$\delta^{18}\text{O}$ , SMOW	Положение образца <sup>1</sup>
V3-66	И	0.4	146.2	4.30	25.67	1720
V3-66A	»	0.4	78.4	4.80	26.81	1770
V3-67	»	1.0	122.6	3.70	23.59	1810
V3-68	»	0.4	83.6	3.10	28.37	1880
V3-69	»	0.3	97.5	3.40	28.26	1940
<i>Мартюхинская свита (лог Широкий)</i>						
V3-70	Д	0.4	2.2	1.31	24.57	5
V3-71	»	3.1	1.7	1.15	22.74	15
V3-72	»	63.5	1.8	0.28	19.87	20
V3-73	»	21.5	2.7	1.07	21.01	25
V3-74	»	6.0	2.2	1.29	24.78	30
V3-81	»	0.4	2	0.68	19.30	32
V3-82	»	0.5	1.8	0.67	18.36	40
V3-84	И	1.8	323.9	1.39	23.57	50
<i>Мартюхинская свита (гора Амога)</i>						
V3-86	И	0.6	191.9	3.59	20.27	120
V3-87	Д	0.3	2.2	1.65	21.65	150
V3-88	»	0.1	2	1.86	22.63	190
V3-89	»	79.6	2.2	-0.22	18.62	205
V3-96	»	0.6	1.6	1.29	21.81	220
V3-97	И	60.9	10.8	1.93	17.77	260
V3-98	Д	0.3	2	1.97	23.91	300
V3-99	И	1.3	145.9	3.53	20.37	320
<i>Сорнинская свита, 1 пачка</i>						
V3-101	И	0.7	24.6	-0.54	23.03	80
V3-102	Д	8.1	3.8	-0.10	24.87	140
V3-103	»	0.4	2.3	-0.45	24.03	160
V3-105	»	8.3	2	-1.62	22.43	170
V3-106	И	8.0	10.2	-2.58	23.02	190
V3-108	Д	3.5	2.4	-0.88	24.14	210
<i>Сорнинская свита, 2—3 пачки</i>						
V3-110	И	0.3	230.9	0.54	23.89	410
V3-111	»	0.1	97.4	2.33	26.41	430
V3-112	»	0.2	68.3	3.71	25.94	450
V3-113	»	0.1	337.2	3.45	25.70	460
V3-114	»	0.1	155.1	3.34	25.95	470
V3-115	»	0.2	95.9	2.94	25.66	490

$\text{Ca} \leq 0.024$ ,  $\delta^{18}\text{O} > 20$  ‰. Для доломитов значения этих параметров устанавливаются для каждой литостратиграфической единицы индивидуально. Так, для доломитов стратотипа верхнего рифея Урала принимались следующие критические значения  $\text{Mn/Sr} \leq 1.2$  и  $\text{Fe/Sr} \leq 3.0$  [Кузнецов и др., 2003].

Процедура селективного растворения для частичного удаления эпигенетических карбонатных фаз и обогащение образцов первичным карбонатным материалом проводилась согласно разработанной в ИГГД РАН методике [Горохов и др., 1995; Кузнецов и др., 2003]. Содержания Rb и Sr в карбонатной фракции определялись масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления с применением смешанного индикатора  $^{87}\text{Rb}+^{84}\text{Sr}$ . Изотопный анализ при определении концентраций Rb и Sr выполнялся на одноколлекторном масс-спектрометре МИ 1320. Изотопный состав Sr измерялся на многоколлектор-



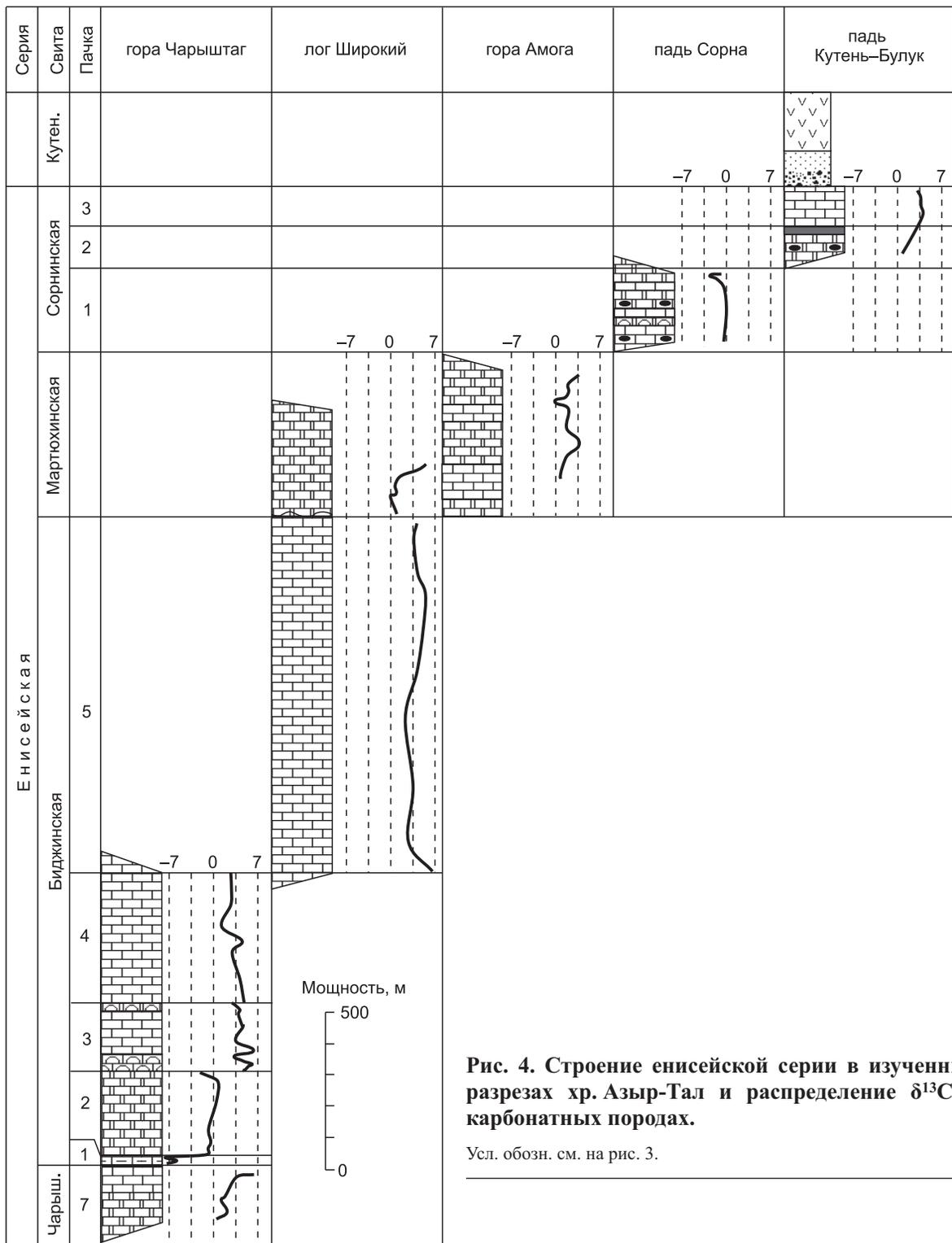
**Рис. 3. Строение енисейской серии в изученных разрезах хр. Азыр-Тал и отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в образцах карбонатных пород.**

1—3 — известняки: 1 — массивные битуминозные, 2 — пестроцветные глинистые, 3 — строматолитовые; 4—6 — доломиты: 4 — массивные, 5 — строматолитовые, 6 — с линзами кремней; 7 — баритсодержащие глинисто-карбонатные отложения; 8 — вулканомиктовые песчаники; 9 — основные вулканы; 10—12 — образцы пород: 10 — известняки, удовлетворяющие геохимическим критериям  $\text{Mn}/\text{Sr} < 0.2$ ,  $\text{Fe}/\text{Sr} < 5$  и  $\text{Mg}/\text{Ca} < 0.024$ ; 11 — известняки, не удовлетворяющие геохимическим критериям, 12 — доломиты. Чарыш. — чарыштагская свита; Кутен. — кутень-булукская свита.

ном масс-спектретре Triton TI в режиме одновременной регистрации ионных токов всех изотопов. Средние значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в стандартных образцах NIST SRM 987 и EN-1, нормализованные к отношению  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ , составляли в период работы соответственно  $0.71026 \pm 0.00001$  ( $2\sigma_{\text{средн.}}, n = 14$ ) и  $0.70920 \pm 0.00001$  ( $2\sigma_{\text{средн.}}, n = 9$ ).

Содержания Ca и Mg в карбонатной составляющей определялись весовым, а Mn и Fe — атомно-абсорбционным методом в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН после растворения образца в 1N HCl при комнатной температуре.

В результате проведенных исследований величина  $\delta^{18}\text{O}$  во всех изученных образцах больше 20 ‰, что свидетельствует о хорошей сохранности первичного изотопного состава.



**Рис. 4. Строение енисейской серии в изученных разрезах хр. Азыр-Тал и распределение  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатных породах.**

Усл. обозн. см. на рис. 3.

Доломиты и известняки чарыштагской свиты содержат небольшое количество нерастворимого остатка (0.1—3.8 %), мало Mn (13—80 мкг/г) и Fe (46—120 мкг/г). Карбонатная фракция (кислотная вытяжка) породы характеризуются высокими концентрациями Sr: 59.6—138 мкг/г в доломитах и 910—1530 мкг/г в известняках. Первичное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в обогащенной карбонатной фракции чарыштагских известняков заключено в пределах 0.70790—0.70796. Первичное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в обогащенных фракциях доломитов варьирует шире, но эти вариации согласуются со Sr изотопной характеристикой известняков 0.70777—0.70803 (табл. 1).

В основании биджинской свиты пестроцветные глинистые известняки содержат большое количество (6—9 %) нерастворимого остатка и обогащены Mn (160—190 мкг/г) и Fe (720—1480 мкг/г). В

отличие от этого, вышележащие доломиты и битуминозные известняки этой свиты лишены терригенной примеси (< 1 %) и обеднены Mn (5—110 мкг/г) и Fe (40—350 мкг/г). Концентрация Sr в карбонатной фракции битуминозных известняков значительно выше, чем в глинистых известняках пестроцветной пачки 405—1630 мкг/г против 290—390 мкг/г. Повышенное содержание Sr в доломитах (72.4—108 мкг/г) обусловлено примесью кальцита ( $Mg/Ca = 0.36—0.59$ ). Отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в пестроцветных известняках варьирует от 0.70848 до 0.70861, в битуминозных известняках — от 0.70824 до 0.70858, а в доломитах опускается до 0.70742—0.70828 (рис. 3).

Мартюхинская свита представлена чередованием светло-серых известковистых доломитов ( $Mg/Ca = 0.45—0.54$ ) и темно-серых доломитистых известняков ( $Mg/Ca < 0.09$ ). Количество терригенной примеси в карбонатных породах не превышает 2 %. Изученные известняки в карбонатной фракции характеризуются изменчивыми концентрациями Mn (50—415 мкг/г), высокими содержаниями Sr (390—1210 мкг/г) и низкими Fe (105—280 мкг/г). Отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в этих известняках заключено в узких пределах 0.70804—0.70815.

Сорнинская свита в нижней части (300 м) сложена доломитистыми известняками ( $Mg/Ca = 0.03—0.04$ ) и известковистыми ( $Mg/Ca = 0.42—0.59$ ) доломитами, которые содержат многочисленные мелкие (1—2 мм) кремнистые стяжения. Содержания Mn и Fe в породах обычно не превышают 50 и 105 мкг/г соответственно. Доломиты и известняки нижней части свиты (пачка 1) характеризуются умеренными концентрациями Sr (соответственно 96.5—98.0 и 232—325 мкг/г), а вариации  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в них очень близки, соответственно 0.70810—0.70827 и 0.70810—0.70822. Карбонатные отложения пачки 2 сорнинской свиты не отвечают геохимическим требованиям и не могут быть использованы при хемотратиграфических исследованиях. Карбонатная фракция известняков пачки 3 (верхней надбаритовой части свиты) исключительно обогащена Sr (2530—3390 мкг/г), содержания которого максимальны среди карбонатных пород енисейской серии. Отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в известняках пачки 3 сорнинской свиты не выходят за пределы 0.70848—0.70852 и значимо выше, чем в карбонатных породах пачки 1 сорнинской свиты и всей енисейской серии в целом.

Изучение изотопного состава углерода в карбонатах биджинской свиты показало, что в известняках базальной пачки 1 преобладают очень низкие отрицательные значения  $\delta^{13}C$  (–7.2...–7.3 ‰), которые повышаются до –1.8...–0.4 ‰ в доломитах пачки 2, затем сменяются положительными +2.4...+4.5 ‰ в известняках вышележащих пачек и достигают максимума (+6.1 ‰) в низах пачки 3 (табл. 2). Значения  $\delta^{13}C$  в нижней части мартюхинской свиты колеблются от +1.1 ‰ до +2.0 ‰ (рис. 4). Значения  $\delta^{13}C$  в нижней части сорнинской свиты изменяются от –0.1 ‰ до –2.58 ‰, и вверх по разрезу в пачке 3 значения смещаются от +0.5 ‰ до +3.7 ‰.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОЙ СЕРИИ ХР. АЗЫР-ТАЛ

Восполняя пробел в изучении вещественного состава отложений енисейской серии и их стратиграфических аналогов в пределах восточного склона Кузнецкого Алатау — богградской и бродовской свит [Козьмин, 2000], было проведено изучение распределения ряда редких, рассеянных и редкоземельных элементов в карбонатных породах.

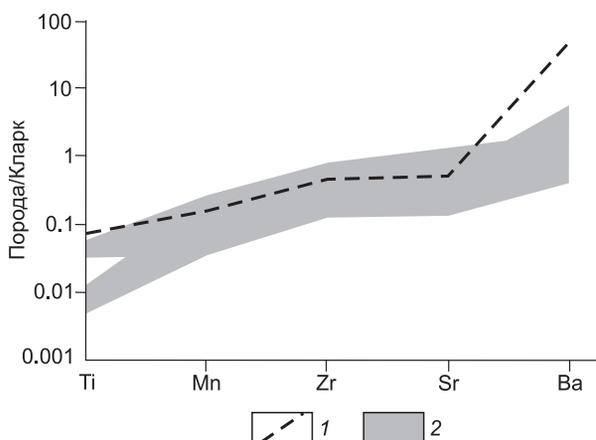
Основой для этого исследования стали результаты химических анализов карбонатных пород енисейской серии методами РФА (235 проб) и ICP-mass (12 проб). В Аналитическом центре Института земной коры СО РАН (г. Иркутск) было проведено на рентгеновском спектрометре S4 EXPLORER количественное определение методом РФА содержаний  $TiO_2$ , V, Cr, MnO, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb, позволяющее измерять низкие концентрации [Ревенко и др., 2002; Cherkashina et al., 2009]. Редкоземельный состав изученных карбонатных пород был получен в Центре коллективного пользования ИЦ СО РАН на приборе VG Elemental PlasmaQuad PQ2+«Turbo» методом ICP-mass стандартным способом.

Карбонатные отложения енисейской серии, за исключением пород верхней части сорнинской свиты, содержат минимальное количество терригенной примеси, не превышающей 1 %. Чаще всего это кварц, слюды, хлорит.

Содержания Ti и Zr в карбонатных отложениях енисейской серии значительно ниже кларка для карбонатных пород (по А.А. Беусу [Перельман, 1989]) (рис. 5). Столь незначительное количество этих элементов в осадке и достаточно равномерное распределение по разрезу может свидетельствовать о формировании этих отложений на значительном удалении от суши ниже волнового базиса в бассейне с пассивным тектоническим режимом. К подобным выводам на основе седиментологических исследований приходят Т.Н. Хераскова с соавторами [1996]. Следует отметить, что в подстилающих и вышележащих карбонатных отложениях относительно пестроцветного, существенно глинистого горизонта в основании биджинской свиты изменений в содержании Ti и Zr нет, в верхней части чарыштагской свиты это в среднем 10 г/т, а в первой пачке биджинской свиты — 9 г/т (табл. 3). Это указывает на то, что после

**Рис. 5. Распределение редких и рассеянных элементов в карбонатных отложениях енисейской серии.**

1 — верхняя часть сорнинской свиты (баритсодержащая);  
2 — чарыштагская, биджинская, мартюхинская и нижняя часть сорнинской свиты.



перерыва в карбонатонакоплении, маркируемого пестроцветным существенно глинистым горизонтом, не произошло резкой смены обстановок седиментогенеза и источников сноса. Содержания Ti в отложениях боградской и бродовской свит, являющихся стратиграфическими аналогами мартюхинской и сорнинской свит, имеют несколько более высокие значения, но все равно крайне низкие (см. табл. 3).

Содержания Mn в карбонатных отложениях енисейской серии, включая бродовскую и боградскую свиты, ниже кларка более чем в 4 раза (см. табл. 3). Наиболее высокие концентрации Mn в этой серии характерны для отложений верхней части чарыштагской и мартюхинской свит.

Таблица 3. Средние содержания (г/т) редких и рассеянных элементов в карбонатных отложениях енисейской серии

Свита	Ti	Mn	Zr	Sr	Ba	n
Чарыштагская	10 (0—18)	96 (65—147)	9 (5—16)	140 (80—185)	15 (10—20)	24
Биджинская, пачка 1	9.6 (0—36)	62 (22—108)	8.5 (0—14)	81 (47—400)	11 (0—21)	26
Биджинская, пачка 2	40 (10—156)	14 (0—101)	13 (9—22)	794 (120—1700)	22 (12—69)	19
Биджинская, пачка 4	7 (0—23)	36 (20—85)	16 (10—24)	620 (540—860)	4 (0—18)	18
Биджинская, пачка 5	16 (10—341)	86 (20—341)	15 (5—27)	537 (130—960)	8 (0—23)	42
Мартюхинская	15 (10—79)	104 (20—186)	13 (0—38)	418 (140—1800)	14 (0—29)	67
Сорнинская, пачка 1	14.7 (10—72)	44 (20—147)	2.5 (0—5)	342 (90—730)	55 (10—86)	21
Боградская	71 (18—186)	45 (20—77)	10 (0—32)	350 (230—440)	18 (12—23)	21
Бродовская	56 (10—138)	33 (20—61)	5.2 (0—19)	205 (70—360)	16 (12—39)	21
Сорнинская баритсодержащая, пачки 2 и 3	89 (10—258)	62 (20—124)	9 (0—21)	307 (90—450)	458 (110—800)	24
Кларк	1200	400	20	610	10	—
Предел обн.	10	20	5	5	10	—

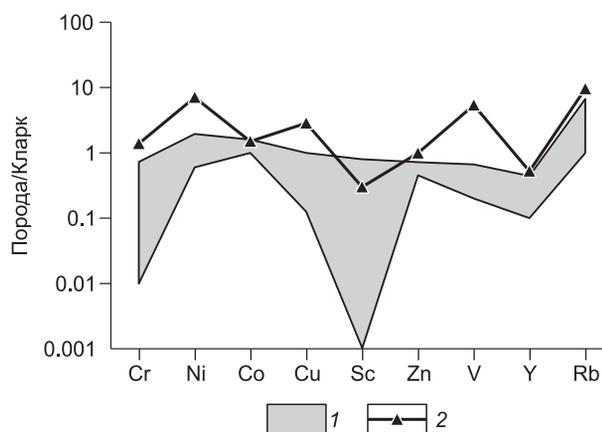
Примечание. Кларк — кларковые содержания элементов для карбонатных пород, по А.А. Беусу [Перельман, 1989]; n — количество проб. В скобках указаны пределы колебаний содержаний элементов.

Концентрации элементов определены рентгенофлуоресцентным методом в Аналитическом центре ИЗК СО РАН (аналитики Е.В. Худоногова, Т.М. Черкашина).

Достаточно неравномерное распределение Sr по разрезу связано с вариациями в составе карбонатных пород — кальцита и доломита. Как известно, кальцит, в силу своих кристаллохимических особенностей, более чем в 10 раз лучше накапливает этот элемент, чем доломит [Карбонаты..., 1987]. Эта закономерность хорошо прослеживается по разрезу енисейской серии, где чарыштагская свита и пачка 1 биджинской свиты сложены доломитами, а, начиная со второй по пятую пачки биджинской свиты, преобладают известняки, что отражается в увеличении Sr в последних более чем в 5—6 раз (см. табл. 3). В мартюхинской, сорнинской, богградской и бродовской свитах преобладают доломиты, чем обуславливается уменьшение концентраций Sr в 1.5—3 раза. Следует отметить, что в верхней части сорнинской свиты, начиная с фосфоритоносной пачки, среди карбонатных пород преобладают известняки, но значения Sr здесь также невелики и ниже кларка более чем в 2 раза. Это связано с тем, что эти отложения представляют собой органогенные образования, для которых характерен вынос этого элемента вследствие длительного контакта с морской водой [Юдович, 1981; Летникова, 2005].

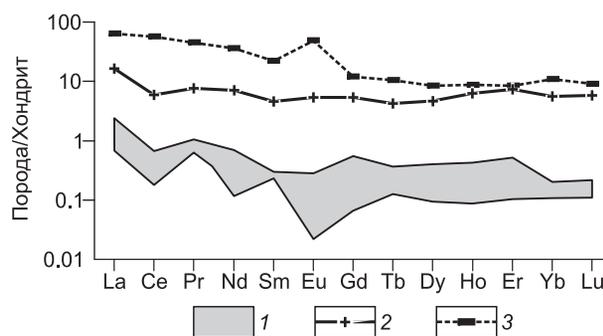
Содержания Ba в карбонатных отложениях енисейской серии в среднем незначительно превышают кларк (см. табл. 3). Исключение составляют отложения верхней части сорнинской свиты, где содержания Ba значительно выше фоновых значений более чем в 50—80 раз, вплоть до образования рудопроявлений и месторождения бария. Вторичные бариеносные прожилки для этих отложений не отмечены. Барий образует собственный минерал, представленный кристаллами барита, достигающими 2 см по длинной оси. Поступление Ba в воды бассейна седиментации и дальнейшее его осаждение в органогенных известняках верхней части сорнинской свиты можно объяснить активной гидротермальной деятельностью в пределах бассейна, по аналогии с современными океаническими баритоносными осадками [Гурвич, 1998].

Переходя к реконструкции петрогенетических типов пород питающих провинций, послуживших источниками некарбонатного вещества при формировании известняков и доломитов енисейской серии, в первую очередь следует отметить практически полное отсутствие среди источников сноса пород кислого состава, что определяется как близкими к нулю концентрациями таких элементов-примесей как Be (предел обнаружения 0.6 г/т) и Sn (предел обнаружения 1 г/т), так и низкими концентрациями Zr [Летникова, 2005]. Основными источниками сноса в данном случае являлись породы основного состава. На это указывают содержания Ni и Nb выше кларка, близкие к кларку Cr, Co и несколько ниже кларка концентрации V и Zn (табл. 4). Следует отметить достаточно ровный характер распределения элементов, характеризующих петрогенетический тип источников сноса. Это является свидетельством постоянства питающих провинций и пассивности тектонического режима при седиментогенезе карбонатных отложений енисейской серии, включая богградскую и бродовскую свиты (рис. 6). Исключение составляют карбонатные отложения верхней части сорнинской свиты (пачки 2 и 3). Для них характерен иной тип распределения этих элементов (см. рис. 6). Столь высокие содержания элементов-примесей (Cr, Ni, Cu, Co, V, Rb, Nb), существенно превышающих кларк, в карбонатных отложениях верхней части сорнинской свиты свидетельствуют, во-первых, о близости источников сноса основного и, в меньшей мере, ультраосновного состава, во-вторых, о влиянии на состав осадков подводных гидротерм [Гурвич, 1998].



**Рис. 6. Распределение элементов-примесей в карбонатных отложениях енисейской серии.**

1 — чарыштагская, биджинская, мартюхинская и нижняя часть сорнинской свиты; 2 — верхняя часть сорнинской свиты (баритсодержащая).



**Рис. 7. Распределение РЗЭ в карбонатных отложениях енисейской серии.**

1 — чарыштагская, биджинская, мартюхинская и нижняя часть сорнинской свиты; 2 — карбонатные породы верхней части сорнинской свиты; 3 — баритсодержащие карбонатные породы верхней части сорнинской свиты.

Таблица 4. Средние содержания (г/т) элементов-примесей в карбонатных отложениях енисейской серии

Свита	Cr	Ni	Co	Cu	Sc	Zn	V	Y	Rb	Nb	Pb	Sn	Be	n
Чарытагская	3 (0—7)	3.4 (1.4—6.5)	1.2 (0—3)	1.8 (0—6)	0.8 (0—6.6)	11.8 (8—15)	7.2 (5—8.9)	3 (0—6)	3 (0—6)	2 (0—4)	He обн. He обн.	He обн. He обн.	He обн.	24
Биджинская, пачка 1	2.5 (0—17)	2 (1—3.3)	1.2 (0—3)	1.1 (0—2.4)	He обн.	10.8 (5—20)	4 (0—12)	7 (3—13)	9.5 (3—18)	5 (0—14)	»	»	»	26
Биджинская, пачка 2	He обн.	1.2 (0—1.7)	1 (0—3)	0.5 (0—6)	»	14 (5—25)	1.8 (0—3)	10 (7—12)	21 (3—34)	2	»	»	»	19
Биджинская, пачка 4	4 (0—7.6)	2.5 (1—3.9)	1.5 (0—3.3)	4 (0—6)	»	9 (0—15)	5 (3—8.7)	7.6 (3—13)	12.5 (9—25)	6.8 (2—10)	»	»	»	18
Биджинская, пачка 5	4 (0—26)	3.2 (1—4.7)	2 (0—4.7)	0.9 (0—6.6)	»	14.4 (0—36)	10.6 (3—33)	13.3 (6—12)	16 (3—27)	4.3 (0—9)	»	»	»	42
Марпохинская	2.2 (0—15)	2.4 (1—4.1)	1.4 (0—3.7)	1.9 (0—10)	»	10.3 (0—29)	8.3 (3—26)	9.5 (5—16)	20 (3—39)	3 (0—10)	»	»	»	67
Сорнинская, пачка 1	1.6 (0—7.8)	3.6 (1.6—4.5)	1.4 (0—3.6)	1.1 (0—6)	0.26 (0—4.4)	9.6	13.3 (5—23)	6.4 (3—14)	0.45 (0—3)	1.5 (0—3)	»	»	»	21
Боградская	5 (0—13)	3.9 (0—6.4)	1.6 (0—3.8)	2 (0—9.8)	0.3 (0—3.7)	5.8 (0—15)	14.5 (5—36)	11.4 (7—16)	20 (0—40)	1.9 (0—6)	»	»	»	21
Бродовская	8 (0—21)	2.8 (0—4.1)	3.2 (0—3.7)	1.7 (0—3)	He обн.	17.5 (0—49)	14 (0—36)	6.1 (3—11)	2.1 (0—3)	1.5 (0—5)	»	»	»	21
Сорнинская барит- содерж., пачки 2 и 3	15.2 (0—36)	14 (2—38)	1.5 (0—9.1)	11.4 (0—32)	0.3 (0—3)	20 (0—85)	108 (11—290)	15.8 (11—22)	29 (14—39)	7.4 (0—14)	»	»	»	24
Кларк	11	2	1	4	1	20	20	30	3	0.3	9	0.11	0.11	—
Предел обн.	2	1	3	1	3	4	3	3	3	2	5	1	0.6	—

Примечание см. табл. 3. Концентрации V, Cu, Nb, Y, Rb определены рентгенофлуоресцентным методом в Аналитическом центре ИЭК СО РАН (аналитики Е.В. Худогова, Т.М. Черкашина). Остальные элементы спектральным методом в Аналитическом центре ИЭК СО РАН (аналитики В.В. Щербань, Н.Н. Володина).

Для карбонатных отложений биджинской, мартюхинской и нижней части сорнинской свит характерен слабонаклонный тренд распределения РЗЭ с обогащением LREE относительно HREE с типичными отрицательными Eu ( $Eu/Eu^* = 0.2-0.6$ ) и Ce ( $Ce/Ce^* = 0.2-0.4$ ) аномалиями (рис. 7). Для карбонатных пород верхней части сорнинской свиты (пачки 2 и 3) характерна положительная Eu-аномалия ( $Eu/Eu^* = 1.1$ ) и плоский тренд распределения РЗЭ ( $LREE/HREE = 1.87$ ), типичный для карбонатных осадков вулканических островов [Летникова, 2003]. В этих отложениях выявлены рудопроявления и месторождение Ва, карбонатные породы которых по распределению РЗЭ отличаются от вмещающих известняков обогащением легких лантаноидов относительно тяжелых ( $LREE/HREE = 3.28$ ) и более выраженной положительной Eu-аномалией (см. рис. 7). Подобная картина в поведении европия в современных осадочных бассейнах типична для металлоносных осадков Мирового океана [Гурвич, 1998; Дубинин, 2006].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что однотипность распределения редких и редкоземельных элементов в карбонатных отложениях енисейской серии, а также богградской и бродовских свит свидетельствует о том, что их накопление происходило субсинхронно в едином осадочном бассейне при пассивном тектоническом режиме. Значительные геохимические отличия верхних горизонтов сорнинской свиты (пачки 2 и 3) указывают на то, что формирование отложений с подобной геохимической спецификой могло происходить при существенном влиянии на состав осадков подводных гидротерм в пределах вулканических островов при активном тектоническом режиме.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геохимические характеристики большинства изученных образцов свидетельствуют об отсутствии постседиментационных нарушений Rb-Sr систем в карбонатных породах енисейской серии. Из 22 образцов известняков 17 в полной мере удовлетворяют геохимическим критериям сохранности ( $Mn/Sr < 0.2$ ,  $Fe/Sr < 5.0$  и  $Mg/Ca < 0.024$ ). Первичное отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в них колеблется от 0.70790 до 0.70858 и отражает это отношение в среде седиментации карбонатных осадков. Два образца доломитистых известняков в пачке 1 сорнинской свиты удовлетворяют строгим значениям отношений  $Mn/Sr$  (0.10—0.16) и  $Fe/Sr$  (0.19—0.34), но отношение  $Mg/Ca$  (0.031—0.042) в них незначительно превышает установленный предел. Вероятно, обогащение этих известняков небольшим количеством Mg (до 1.5 %) было связано с раннедиагенетической доломитизацией. Два образца глинистых известняков из пачки 1 в основании биджинской свиты характеризуются невысоким отношением  $Fe/Sr$  (1.9—4.6), но отношение  $Mn/Sr$  (0.44—0.49) в них превышает критическое значение, отделяющее неизмененные образцы. Последнее предполагает, что Rb-Sr системы этих известняков могли быть нарушены в ходе частичного обмена радиогенным  $^{87}Sr$  между карбонатной и глинистой составляющими. Это обстоятельство не позволяет использовать Sr-изотопные характеристики глинистых известняков пачки 1 биджинской свиты для хемотратиграфических построений. Один образец (обр. В3-99) в средней части мартюхинской свиты обогащен Mn (до 420 мкг/г), но отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в нем не отличается от вариаций этого отношения в трех неизмененных известняках из нижней части: 0.70806 и 0.70804—0.70815.

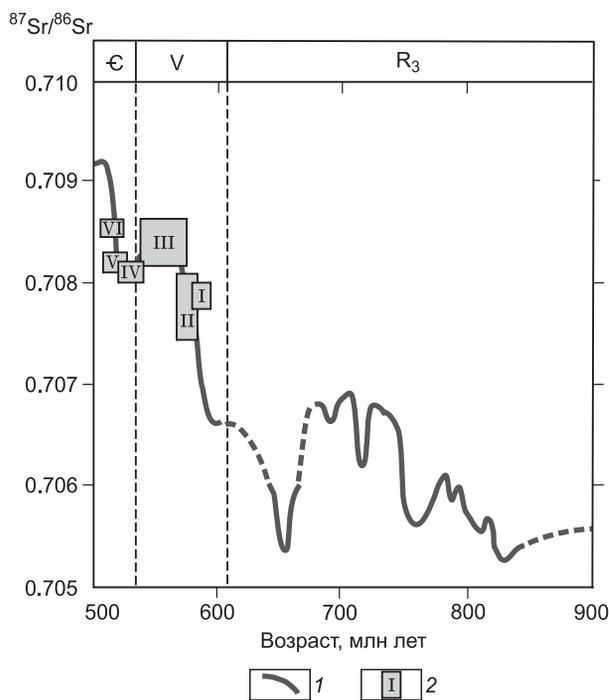
Отсутствие определенных зависимостей между геохимическими характеристиками доломитов не позволяет установить для этих пород критические значения сохранности Rb-Sr систем. Однако геохимические характеристики большинства (9 из 10 образцов) доломитов ( $Mn/Sr < 0.5$  и  $Fe/Sr < 4.0$ ) похожи на таковые в наименее измененных доломитах верхнего рифея [Кузнецов и др., 2003]. Кроме того, вариации  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в доломитах чарыштагской, биджинской и сорнинской свит согласуются с вариациями этого отношения в известняках соответствующих свит (см. рис. 3). Это предполагает, что раннедиагенетическая доломитизация карбонатного осадка проходила в среде, которая по изотопным характеристикам была близка к морской воде того времени. Таким образом, отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в изученных доломитах и двух известняках пачки 1 сорнинской свиты может быть использовано для оценки максимального предела этого отношения в среде формирования карбонатного осадка.

Обобщение Sr-изотопных данных по наименее измененным образцам известняков и доломитов определяет Sr-хемотратиграфическую характеристику карбонатных отложений енисейской серии. Верхняя часть чарыштагской свиты (пачки 6 и 7) содержит образцы с отношением  $^{87}Sr/^{86}Sr$  0.70777—0.70796, нижняя часть биджинской свиты (пачка 2) — 0.70742—0.70802, верхняя часть биджинской свиты (пачки 3 и 5) — 0.70824—0.70858, мартюхинская свита — 0.70804—0.70815, нижняя часть сорнинской свиты (пачка 1) — 0.70810—0.70822 и верхняя надбритовая часть (пачка 3) сорнинской свиты — 0.70848—0.70852. Сравнение установленной Sr-изотопной характеристики со стандартными кривыми вариаций отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в морской воде позднего рифея, венда и кембрия показывает, что карбонатные отложения изученной части енисейской серии накапливались в позднем венде и раннем кембрии (рис. 8).

Карбонатные отложения верхней части чарыштагской свиты и нижней части биджинской свиты (пачки 2) с  $^{87}Sr/^{86}Sr$  0.70742—0.70802 могут быть коррелированы с отложениями средней части цаганов-

**Рис. 8. Вариации изотопного состава Sr в неопротерозойской и кембрийской морской воде и сравнение с отношением  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в карбонатных отложениях енисейской серии.**

1 — кривая вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в палеокеане (поздний рифей [Кузнецов и др., 2003], венд [Kaufman et al., 1993; Brasier et al., 1996; Shields, 1999; Семихатов и др., 2003], ранний кембрий [Derry et al., 1994; Kaufman et al., 1996]); 2 — отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в наименее измененных образцах карбонатных пород: I — пачек 8 и 9 чарыштагской свиты; II — пачки 2 биджинской свиты, III — пачек 3 и 5 биджинской свиты, IV — мартюхинской свиты, V — нижней части сорнинской свиты, VI — верхней (надбаритовой) части сорнинской свиты.



ломской свиты Монголии [Brasier et al., 1996]. Проведенное Г. Шилдсом [Shields, 1999] обобщение показывает, что карбонатные осадки с  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.7072—0.7080 отлагались в интервале 580—560 млн лет назад (см. рис. 8). Отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в битуминозных известняках биджинской свиты (0.70824—0.70858) согласуется с этим отношением в известняках нижней (донемакит-далдынской) части усть-юдомской свиты Учуро-Майского региона (0.70829—0.70844 [Семихатов и др., 2003]) и донемакит-далдынской части серии Нама Намибии (0.70840—0.70858 [Kaufman et al., 1993]). Pb-Pb возраст усть-юдомских известняков составляет  $550 \pm 23$  млн лет [Семихатов и др., 2003], а отложения серии Нама содержат горизонты туфов с U-Pb возрастом цирконов  $548.8 \pm 1$  и  $545.1 \pm 1$  млн лет [Saylor et al., 1998]. Таким образом, возраст известняков пачек 3, 4 и 5 биджинской свиты может быть заключен в интервале 560—540 млн лет тому назад. Sr-изотопные характеристики карбонатных пород мартюхинской свиты и пачки 1 сорнинской свиты (0.70804—0.70822) позволяют коррелировать эти отложения с карбонатными осадками немакит-далдынского и томмотского веков. Отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в карбонатных осадках этого времени в отложениях Оленекского и Анабарского поднятий составляло 0.70806—0.70825 [Derry et al., 1994; Kaufman et al., 1996]. Отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в известняках верхней части сорнинской свиты (пачки 2 и 3) значительно отличаются от этого отношения в нижележащей части свиты (пачка 1). Такие величины (0.70848—0.70852) были характерны для морской воды второй половины раннего кембрия (см. рис. 8).

C-изотопная характеристика карбонатных пород в енисейской серии хр. Азыр-Гал демонстрирует пять интервалов: 1) верхняя пачка чарыштагской свиты — положительные значения  $\delta^{13}\text{C}$  (около +2 ‰) с одним максимумом до +6 ‰, 2) базальная пачка I (пестроцветный горизонт) биджинской свиты — очень низкие отрицательные  $\delta^{13}\text{C}$  до -7.5 ‰, 3) большая часть верхних горизонтов биджинской свиты — преобладают устойчиво высокие  $\delta^{13}\text{C}$  +4...+6 ‰ с незначительным понижением до +2...+3 ‰, 4) мартюхинская свита и нижняя часть сорнинской свиты (пачка 1), общее понижение от +1...+2 ‰ и достижение негативных значений  $\delta^{13}\text{C}$  до -3...-2 ‰, и, наконец, 5) верхние пачки 2 и 3 сорнинской свиты — возврат в область устойчиво положительных значений  $\delta^{13}\text{C}$  +3...+4 ‰ (см. рис. 4). Обобщая особенности вариации  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатных породах енисейской серии, отметим два обстоятельства. Первое — это экскурс в область негативных значений в пестроцветном горизонте пачки I между интервалами с устойчиво высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$  чарыштагской и биджинской свит, а второе — это принципиальное различие C-изотопной характеристики нижней пачки I и верхних пачек 2 и 3 сорнинской свиты. Оба имеют важные стратиграфические следствия.

Резкое понижение  $\delta^{13}\text{C}$  в пачке I биджинской свиты (до -6...-7.3 ‰) может указывать на масштабное изменение в характеристике среды седиментации как в региональном, так и в глобальном масштабе. Вероятно, этот экскурс имел сугубо локальное значение и был связан с опреснением бассейна при его изоляции во время регионального перерыва или эвстатического понижения уровня моря. Однако такие низкие значения  $\delta^{13}\text{C}$  обнаружены в карбонатных осадках донемакит-далдынского возраста — это формация Шурам надсерии Хакф [Burns et al., 1994], токурская свита нижнеюдомской серии [Семихатов и др., 2004] и торгинская свита Патомского нагорья [Melezhik et al., 2009]. Формирование карбонатных осадков с такими низкими значениями  $\delta^{13}\text{C}$  пока остается дискуссионным. Однако многие исследователи сходятся во мнении, что это было очень кратковременным эпизодом, который произошел вскоре пос-

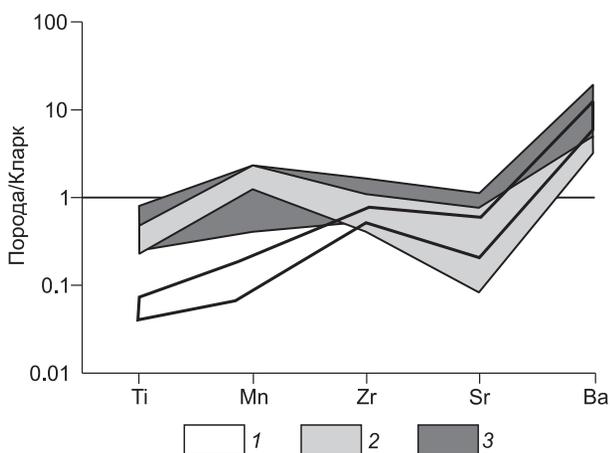
ле одного из глобальных оледенений около 580 млн лет назад [Shields, 1999; Melezhik et al., 2009]. Положительные значения  $\delta^{13}\text{C}$  (+4...+6 ‰), зафиксированные в пачках 3 и 4 биджинской свиты, свидетельствуют, что эти карбонаты накапливались позже доломитов последнего докембрийского надледникового уровня [Brasier et al., 1996; Walter et al., 2000; Halverson et al., 2007]. Среди позднекембрийских отложений моложе 580 млн лет значения  $\delta^{13}\text{C}$  в интервале +4...+6 ‰ обнаружены в донемакитдалдынских отложениях формации Зарис серии Нама Намибии [Kaufman et al., 1993], формации Буа надсерии Хакф Омана [Burns et al., 1994], верхневендских маастахской и хатыспытских свитах Оленекского поднятия [Kaufman et al., 1996] серии. Важно отметить, что С-изотопные корреляции согласуются с выполненными нами ранее Sr хемотратиграфическими корреляциями [Летникова и др., 2006; Кузнецов и др., 2009]. Совместное рассмотрение Sr- и С-изотопных характеристик карбонатных пород биджинской свиты позволяет сопоставлять пачки 3 и 4 этой свиты с карбонатными породами формации Зарис, которая содержит туфы с U-Pb возрастом цирконов  $548.8 \pm 1$  млн лет [Saylor et al., 1998]. Это предполагает поздневендский возраст для большей части биджинских отложений.

Второе обстоятельство, вытекающее из анализа С-изотопной характеристики карбонатных пород сорнинской свиты, — это принципиальное различие  $\delta^{13}\text{C}$  нижней пачки 1 и верхних пачек 2 и 3 свиты. Оно вместе с различиями геохимической и Sr-изотопной характеристик указывает на то, что осадки рассматриваемых пачек отлагались в разных палеобассейнах, которые были разнесены в пространстве и были сближены в результате более поздних тектонических движений.

Проведенные независимо био- и хемотратиграфические исследования показали, что карбонатные отложения енисейской серии (от чарыштагской до сорнинской свит) накапливались в достаточно узком интервале времени — поздний венд—ранний кембрий. Если возрастной интервал седиментации этих отложений не вызывает сомнений, то последовательное накопление их в едином бассейне не подтверждается проведенными геохимическими исследованиями. Так, действительно, карбонатные отложения чарыштагской, биджинской, мартюхинской и нижней части сорнинской свит енисейской серии имеют однотипные геохимические характеристики, незначительно варьирующие в зависимости от фациальных особенностей. Накопление этих отложений происходило в мелководных, шельфовых обстановках на значительном удалении от суши при пассивном тектоническом режиме. На это, кроме текстурных и структурных особенностей пород, указывают равномерное распределение по разрезу и крайне низкие концентрации рассмотренных редких и рассеянных элементов в карбонатных отложениях. Накопление происходило на жестком блоке в пределах океана вне связи с шельфом Сибирской платформы. Об этом свидетельствуют концентрации рассмотренных рассеянных элементов, указывающих на существенно базитовый состав пород источников сноса. В данном случае это были породы основного состава, слагавшие уже сформированную неактивную (отсутствие пирро- и вулканокластического и гидротермального вещества) тектоническую структуру, послужившую жесткой стабильной платформой для накопления шельфовых мелководных карбонатных отложений енисейской серии.

Полученные литологические и геохимические (рис. 9, 10) характеристики для карбонатных отложений чарыштагской, биджинской, мартюхинской и нижней части сорнинской свиты находят много общего с венд-кембрийскими карбонатными отложениями чехла Тувино-Монгольского микроконтинента [Летникова, Гелетий, 2005]. Это также подтверждает заключение о том, что накопление рассмотренных карбонатных отложений происходило в пределах шельфа тектонически пассивного блока, возможно, микроконтинента.

Разрез сорнинской свиты со значительным перерывом в наблюдениях наращивается фосфатоносной кремнисто-карбонатно-терригенной пачкой 2 с горизонтом баритов и существенно карбонатной пачкой 3 (верхняя часть сорнинской свиты). Геохимические характеристики карбонатных отложений этой части разреза енисейской серии резко отличаются от нижележащих. Для них типичны превыша-

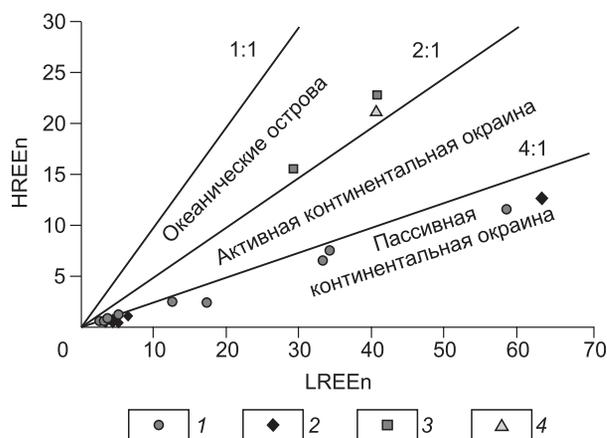


**Рис. 9.** Распределение редких и рассеянных элементов в венд-кембрийских карбонатных отложениях чехла Тувино-Монгольского микроконтинента (боксонская серия, горлыкская и араошейская свиты) [Летникова, Гелетий, 2005] и енисейской серии.

Карбонатные отложения: 1 — енисейская серия; Тувино-Монгольский микроконтинент: 2 — вендские, 3 — кембрийские отложения.

**Рис. 10. Соотношение легких и тяжелых редкоземельных элементов в карбонатных отложениях различных геодинамических обстановок [Летникова, 2003].**

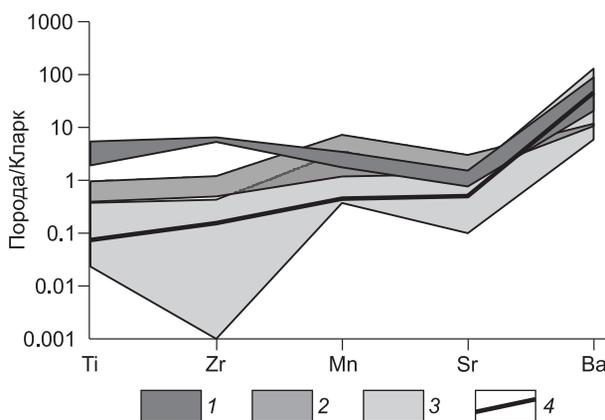
1 — чарыштагская, биджинская, мартюхинская и нижняя часть сорнинской свиты; 2 — венд-кембрийский чехол Тувино-Монгольского микроконтинента (боксонская серия [Летникова, 2003]); 3 — верхняя часть сорнинской свиты; 4 — кембрийские отложения Джидинской зоны (хасуртинская свита) [Летникова, 2003].  $LREEn = (La + Ce + Pr + Nd + Sm)$   $HREEn = (Gd + Tb + Yb + Lu)$ .



ющие кларк более чем в 50—80 раз содержания Ba, кларковые значения Sr, для ряда проб — высокие концентрации Cr, Ni, Ti и Nb, положительная Eu-аномалия ( $Eu/Eu^* = 1.1$ ) и плоский тренд распределения РЗЭ ( $LREE/HREE = 1.87$ ). Формирование отложений с подобной геохимической спецификой могло происходить при существенном влиянии на состав осадков подводных гидротерм в пределах вулканических островов при активном тектоническом режиме. Подтверждением этого заключения может являться однотипность в распределении редких, рассеянных и редкоземельных элементов в карбонатных и баритсодержащих отложениях верхней части сорнинской свиты и раннекембрийских карбонатных отложениях океанических островов (палеосимаунтов) Джидинской зоны (рис. 10, 11) [Летникова, 2003, 2005]. Объяснить столь резкое изменение геохимических характеристик, особенно поведения РЗЭ, в верхней части сорнинской свиты фациальной изменчивостью не представляется возможным, так как основным поставщиком вещества для хемоорганических карбонатных отложений является морская вода, поэтому концентрации рассмотренных элементов могут закономерно варьировать, но не иметь столь резких отличий.

Все это свидетельствует о том, что в результате более поздних коллизионных событий были сближены практически разновозрастные мелководные карбонатные отложения двух различных по природе образования тектонических структур — пассивного жесткого блока и симаунта, ошибочно объединенные в состав одной сорнинской свиты. Поэтому авторы данной статьи считают необходимым вернуться к варианту стратиграфического построения енисейской серии, предложенного Н.М. Задорожной [1985], где она предлагала пачку 1 сорнинской свиты относить к нижележащей мартюхинской свите. Сорнинская свита (пачки 2 и 3) на основании проведенных нами исследований должна быть вычленена из состава енисейской серии и определена как собственное стратиграфическое подразделение раннекембрийского возраста.

С подобными тектоническими совмещениями близких по возрасту мелководных осадочных комплексов различной геодинамической природы в пределах Алтае-Саянской складчатой области, нередко ошибочно объединяемых в единые стратиграфические подразделения, авторы данной статьи сталкивались неоднократно. Например, в пределах Тувино-Монгольского микроконтинента ранее выделялись две полосы распространения разновозрастных карбонатных отложений — южная (боксонская серия и ее аналоги) и северная (карбонатные отложения Хайт-Тиссинского междуречья) [Геология..., 1988; Бутов, 1996]. На основе комплексного геолого-геохимического исследования осадочных и магматических комплексов пересмотрено положение северной границы Тувино-Монгольского микроконтинента (Восточный Саян) и установлено, что карбонатные отложения Хайт-Тиссинского междуречья, ранее всегда рассматривавшиеся как шельфовые в составе чехла Тувино-Монгольского микроконтинента, соответствуют обстановкам седиментогенеза задуговых бассейнов и являются составной частью Хамсаринского террейна [Летникова и др., 2002], а их про-



**Рис. 11. Распределения редких и рассеянных элементов в кембрийских карбонатных отложениях Джидинской зоны.**

Литолого-геохимические типы: 1 — глубоководные, 2 — переходные, 3 — мелководные и (4) верхней части сорнинской свиты.

странственная близость обусловлена более поздними складчатыми процессами. В своей работе Т.Н. Хераскова и Е.В. Гаврилова [1996, с. 64] также указывали на то, что основная эпоха карбонатакопления происходила при пассивном тектоническом режиме в пределах «...Батеневского вулканического базальтового поднятия...» и «...лишь во второй половине среднего кембрия из-за процессов скупивания, обусловленных столкновением Батеневского вулканического поднятия с островной дугой, произошло окончательное разрушение первичной структурно-фациальной зональности внутриокеанической карбонатной платформы и формирование покровной структуры, сохранившейся до настоящего времени».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данные, полученные при изотопных исследованиях венд-кембрийских карбонатных отложений енисейской серии, согласуются с результатами биостратиграфических исследований, и могут рассматриваться как эталонные для этого возрастного интервала в пределах Алтае-Саянской складчатой области. Из состава енисейской серии необходимо вычленить верхнюю часть сорнинской свиты (пачки 2 и 3) и рассматривать ее как самостоятельное стратиграфическое подразделение, а пачку 1 этой свиты относить к мартюхинской свите.

При этом следует учитывать, что отложения верхних горизонтов сорнинской свиты накапливались в бассейне другого типа, чем все остальные нижележащие отложения енисейской серии. Так, в поздневендское время в пределах Кузнецкого Алатау можно выделить, как минимум, два типа осадочных бассейнов — шельфовый в пределах блока с пассивным тектоническим режимом (чарыштагская, биджинская, мартюхинская и пачка 1 сорнинской свит) и океанический, где накопление происходило в пределах океанических островов при активной подводной гидротермальной деятельности (пачки 2 и 3 сорнинской свиты).

С помощью методов Sr- и С-изотопной хемотратиграфии установлены возрастные ограничения на время формирования карбонатных отложений енисейской серии. Sr- и С-хемотратиграфическая характеристика показывает, что осадки изученной части серии накапливались в позднем венде и раннем кембрии, в возрастном интервале 580—530 млн лет, а отложения пачки 2 и 3 сорнинской свиты во второй половине раннего кембрия (525—517 млн лет).

Авторы благодарны И.В. Кисловой, Н.Н. Мельникову, М.С. Танькину и Т.Л. Турченко за помощь в аналитической работе, а также А.А. Постникову за консультации при проведении полевых работ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 09-05-01030, 10-05-00971, 09-05-12004-офи\_м), Президиума СО РАН (проект № 19), программ фундаментальных исследований № 4 («Природные изотопные системы...»), № 8 и № 10 ОНЗ РАН и поддержке научных школ (НШ-4496.2006.5).

## ЛИТЕРАТУРА

**Бутов Ю.П.** Палеозойские осадочные отложения Саяно-Байкальской горной области. Улан-Удэ, БНЦ СО РАН, 1996, 151 с.

**Геология и метаморфизм Восточного Саяна** / Ред. Н.Л. Добрецов. Новосибирск, Наука, 1988, 190 с.

**Гинцингер А.Б., Винкман М.К., Асташкин В.А., Тараненко В.А., Краевский Б.Г., Поспелов А.Г.** Разрезы докембрия и нижнего палеозоя западной части Алтае-Саянской складчатой области. Красноярск, Краснояр. кн. изд-во, 1969, 215 с.

**Горохов И.М., Семихатов М.А., Баскаков А.В., Кутявин Э.П., Мельников Н.Н., Сочава А.В., Турченко Т.Л.** Изотопный состав стронция в карбонатных породах рифея, венда и нижнего кембрия Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1995, т. 3, № 1, с. 3—33.

**Гурвич Е.Г.** Металлоносные осадки Мирового океана. СПб., ВНИИокеангеология, 1998, 337 с.

**Дубинин А.В.** Геохимия редкоземельных элементов в океане. М., Наука, 2006, 360 с.

**Задорожная Н.М.** О находке медузы в верхнем докембрии Алтае-Саянской складчатой области // Докл. АН СССР, 1985, т. 281, № 2, с. 423—425.

**Карбонаты.** Минералогия и химия / Ред. Р.Дж. Ридер. М., Мир, 1987, 494 с.

**Козьмин Д.Г.** Структурно-вещественные комплексы позднего рифея, венда—кембрия восточного склона Кузнецкого Алатау и обстановки их формирования: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Красноярск, Гос. академия цв. металлов и золота, 2000, 16 с.

**Краевский Б.Г., Шипицын В.А.** Строение докембрийского разреза хр. Азыр-Тал // Геология и геофизика, 1981 (10), с. 137—143.

**Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М., Мельников Н.Н., Константинова Г.В., Кутявин Э.П.** Изотопный состав Sr в карбонатных породах каратавской серии Южного Урала и стандартная

- кривая вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в позднерифейском океане // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2003, т. 11, № 5, с. 3—39.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Маслов А.В., Горохов И.М., Прасолов Э.М., Крупенин М.Т., Кислова И.В.** Sr- и S-изотопная хемотратиграфия типового разреза верхнего рифея (Южный Урал): новые данные // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2006, т. 14, № 6, с. 25—53.
- Кузнецов А.Б., Летникова Е.Ф., Терлеев А.А., Константинова Г.В., Кутявин Э.П.** Sr-изотопная хемотратиграфия карбонатных отложений енисейской серии, хребет Азыртал восточного склона Кузнецкого Алатау // Докл. РАН, 2009, т. 424, № 4, с. 510—516.
- Летникова Е.Ф.** Распределение R3Э в карбонатных отложениях различных геодинамических типов (на примере южного складчатого обрамления Сибирской платформы) // Докл. РАН, 2003, т. 393, № 2, с. 235—241.
- Летникова Е.Ф.** Геохимическая специфика карбонатных отложений различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана // Литосфера, 2005, № 1, с. 70—81.
- Летникова Е.Ф., Гелетий Н.К.** Карбонатные отложения венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: литолого-геохимическая корреляция и особенности седиментогенеза // Литология и полезные ископаемые, 2005, № 2, с. 167—177.
- Летникова Е.Ф., Донская Т.В., Школьник С.И.** Реконструкция северной границы Тувино-Монгольского микроконтинента (Восточный Саян) // Докл. РАН, 2002, т. 382, № 2, с. 238—241.
- Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Вещева С.В., Ковач В.П.** Вендская пассивная континентальная окраина юга Сибирской платформы: геохимические, Sm-Nd и Sr-изотопные свидетельства // Докл. РАН, 2006, т. 409, № 2, с. 235—240.
- Пак К.Л.** Новые данные по стратиграфии верхнего докембрия и нижнего кембрия хр. Азыр-Тал и Батеневского кряжа (район пос. Боград) // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири. Стратиграфия и палеонтология. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1986, с. 40—67.
- Перельман А.И.** Геохимия. М., Высшая школа, 1989, 527 с.
- Постников А.А., Терлеев А.А.** Стратиграфия неопротерозоя Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2004, т. 45, № 3, с. 295—309.
- Ревенко А.Г., Ревенко В.А., Худоногова Е.В., Жалсараев Б.Ж.** Рентгенофлуоресцентное определение Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, La, Ce в горных породах на энергодисперсионном спектрометре с поляризатором // Аналитика и контроль, 2002, т. 6, № 4, с. 400—407.
- Решения** Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Ч. 1. Верхний протерозой и нижний палеозой. Новосибирск, 1983, 215 с.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Константинова Г.В., Мельников Н.Н., Подковыров В.Н., Кутявин Э.П.** Низкое отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в гренвильском и пост-гренвильском палеоокеане: определяющие факторы // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2002, т. 10, № 1, с. 3—46.
- Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Каурова О.К., Петров П.Ю.** Pb-Pb изохронный возраст и Sr-изотопная характеристика верхнеюдомских карбонатных отложений (венд Юдомо-Майского прогиба, Восточная Сибирь) // Докл. РАН, 2003, т. 393, № 1, с. 83—87.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Подковыров В.Н., Бартли Дж., Давыдов Ю.В.** Юдомский комплекс стратотипической местности: S-изотопные хемотратиграфические корреляции и соотношение с вендом // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2004, т. 12, № 5, с. 3—29.
- Тарновский С.Л.** Проблемы стратиграфии верхнего протерозоя Алтае-Саянской области // Стратиграфия и палеонтология Сибири. Новосибирск, Изд-во СНИИГТиМС, 2000, с. 6—12.
- Тарновский С.Л.** Предвендский перерыв в осадконакоплении и стратиграфия верхнего протерозоя хребтов Азыр-Тал и Сах-Сар в Хакасии // Актуальные вопросы геологии и минерагении Алтае-Саянской складчатой области. Новокузнецк, 2001, с. 161—166.
- Терлеев А.А.** Стратиграфия и микрофитолиты, известковые водоросли позднекембрийских-раннекембрийских отложений северо-западной части Восточного Саяна: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1984, 16 с.
- Терлеев А.А.** Микрофитолиты // Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск, 2005, с. 257—262.
- Терлеев А.А., Лучинина В.А., Сосновская О.В., Шуринова Л.В., Багмет Г.Н., Валиева Ф.Л., Краевский Б.Г.** Решения коллоквиума по палеонтологическим остаткам из докембрийских и переходных венд-кембрийских отложений западной части Алтае-Саянской складчатой области (Кузнецкий Алатау, Горная Шория) // Новости палеонтологии и стратиграфии. Вып. 5: Прилож. к журн. «Геология и геофизика», 2002, с. 158—160.

**Терлеев А.А., Лучинина В.А., Сосновская О.В., Багмет Г.Н.** Известковые водоросли и нижняя граница кембрия в западной части Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (4), с. 485—491.

**Хераскова Т.Н., Гаврилова Е.В.** Тектоника и седиментология верхнерифейско-кембрийских карбонатных отложений Батеневского кряжа (Кузнецкий Алатау) // Геотектоника, 1996, № 3, с. 54—66.

**Чураков А.Н.** Геологическое строение западной части Минусинского уезда Енисейской губернии между долинами рек Уйбата и Биджи и истоком руч. Биджи // Тр. Геолкома, вып. 145, Новая серия, 1916, 126 с.

**Юдович Я.Э.** Региональная геохимия осадочных толщ. Л., Наука, 1981, 276 с.

**Якшин М.С., Лучинина В.А.** Новые данные по ископаемым водорослям семейства Oscillatoriaceae (Kirchn.) Elenkin // Пограничные отложения докембрия и кембрия Сибирской платформы (биостратиграфия, палеонтология, условия образования). Труды ИГиГ СО АН СССР, Вып. 475. Новосибирск, Наука, 1981, с. 28—34.

**Ярошевич В.М.** Стратиграфия синийских и кембрийских отложений Батеневского кряжа, хребта Азыр-Тал и бассейна р. Белый Июс. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962, 186 с.

**Asmerom Y., Jacobsen S.B., Knoll A.H., Butterfield N.J., Swett K.** Strontium isotopic variations of Neoproterozoic seawater: implications for crustal evolution // Geochim. Cosmochim. Acta, 1991, v. 55, № 10, p. 2883—2894.

**Azmy K., Kaufman A.J., Misi A., Flavio T.** Isotope stratigraphy of the Lapa Formation, Sao Francisco Basin, Brazil: implications for Late Neoproterozoic glacial events in South America // Precamb. Res., 2006, v. 149, p. 231—248.

**Brand U., Veizer J.** Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system — 1. Trace elements // J. Sediment. Petrol., 1980, v. 50, № 4, p. 1219—1236.

**Brasier M.D., Shields G.A., Kuleshov V.N., Zhegalov E.A.** Integrated chemo- and biostratigraphic calibration of early animal evolution: Neoproterozoic — early Cambrian of southwest Mongolia // Geol. Mag., 1996, v. 133, № 4, p. 445—485.

**Burns S.J., Handenschild U., Matter A.** The strontium isotopic composition of carbonates from the late Precambrian (~ 560—540 Ma) Haqf Group of Oman // Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sec.), 1994, v. 111, № 1/4, p. 269—282.

**Cherkashina T.Yu., Hudonogova E.V., Revenko A.G., Letnikova E.F.** Application of the background standard method for the determination of Rb, Sr, Y, Zr, and Nb contents in phosphorites by X-ray fluorescence // X-Ray Spectrometry, 2009, v. 38, № 2, p. 144—151.

**Derry L.A., Kaufman A.J., Jacobsen S.B.** Sedimentary cycling and environmental change in the Late Proterozoic: evidence from stable and radiogenic isotopes // Geochim. Cosmochim. Acta, 1992, v. 56, № 3, p. 1317—1329.

**Derry L.A., Brasier M.D., Corfield R.M., Rozanov A.Yu., Zhuravlev A.Yu.** Sr and C isotopes in Lower Cambrian carbonates from the Siberian craton: a paleoenvironmental record during the «Cambrian explosion» // Earth Planet. Sci. Lett., 1994, v. 128, p. 671—681.

**Galindo C., Casquet C., Rapela C., Pankhurst R.J., Baldo E., Saaverda J.** Sr, C and O isotope geochemistry of Precambrian and lower Paleozoic carbonate sequences from the Western Sierras Pampeanas of Argentina: tectonic implications // Precamb. Res., 2004, v. 131, № 1/2, p. 55—71.

**Halverson G.P., Dudas F.O., Maloof A.S., Bowring S.A.** Evolution of <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr composition of Neoproterozoic seawater // Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., 2007, v. 256, p. 103—129.

**Kaufman A.J., Jacobsen S.B., Knoll A.H.** The Vendian record of Sr and C isotopic variations in seawater: implications for tectonics and paleoclimate // Earth Planet. Sci. Lett., 1993, v. 120, № 3, p. 409—430.

**Kaufman A.J., Knoll A.H., Semikhatov M.A., Grotzinger J.P., Jacobsen S.B., Adams W.** Integrated chronostratigraphy of Proterozoic-Cambrian boundary beds in the western Anabar region, northern Siberia // Geol. Mag., 1996, v. 133, № 5, p. 509—533.

**McArthur J.M.** Recent trends in strontium isotope stratigraphy // Terra Nova, 1994, v. 6, № 4, p. 331—358.

**Melezhik V.A., Gorokhov I.M., Kuznetsov A.B., Fallick A.E.** Chemostratigraphy of the Neoproterozoic carbonates: implications for 'blind experiments' // Terra Nova, 2001, v. 13, № 1, p. 1—11.

**Melezhik V.A., Gorokhov I.M., Fallick A.E., Roberts D., Zwaan K.B., Kuznetsov A.B., Pokrovsky B.G.** Isotopic stratigraphy suggests Neoproterozoic ages and Laurentia ancestry for high-grade marbles from the North-Central Norwegian Caledonides // Geol. Mag., 2002, v. 139, № 4, p. 375—393.

**Melezhik V.A., Kuznetsov A.B., Fallick A.E., Smith R.A., Gorokhov I.M., Jamal D., Cataune F.** Depositional environments and an apparent age for the Geci meta-limestones: constraints on geological history of northern Mozambique // Precamb. Res., 2006, v. 148, № 1/2, p. 19—31.

**Melezhik V.A., Pokrovsky B.G., Fallick A.E., Kuznetsov A.B., Bujakaite M.I.** Constraint on  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of Late Ediacaran seawater: insight from high-Sr Siberian limestones // J. Geol. Soc. London, 2009, v. 166, № 1, p. 183—191.

**Saylor B.Z., Kaufman A.J., Grotzinger J.P., Urban F.A.** A composite reference section for terminal Proterozoic strata of southern Namibia // J. Sedim. Res., 1998, v. 68, p. 1223—1235.

**Shields G.** Working towards a new stratigraphic calibration scheme for the Neoproterozoic-Cambrian // Eclogae Geol. Helv., 1999, v. 92, p. 221—233.

**Thomas C.W., Graham C.M., Ellam R.B., Fallick A.E.** Chemostratigraphy of Neoproterozoic Dalradian limestones of Scotland and Ireland: constraints on depositional ages and time scales // J. Geol. Soc. London, 2004, v. 161, p. 229—242.

**Walter M.R., Veeres J.J., Calver C.R., Gorjan P., Hill A.C.** Dating the 840—544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon and sulfur in seawater and some interpretative models // Precamb. Res., 2000, v. 100, № 1, p. 371—433.

*Поступила в редакцию 18 июня 2009 г.,  
после доработки — 2 июля 2010 г.*