Литосфера, 2005, № 1, с. 70-81

УДК 550.4:551.3:551.248.1 (571.53/.55)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА ПАЛЕОАЗИАТСКОГО ОКЕАНА

Е,Ф. Летникова

Институт геологии Сибирского отделения РАН

630090, Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3

E-mail: efletnik@uiggm.ru

Поступила в редакцию 20 февраля 2004 г.

На основе изучения геолого-геохимических характеристик карбонатных отложений северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана выделено три геодинамических типа обстановок карбонатонакопления – субплатформенные, задуговых бассейнов и океанических островов. Показано, что геохимические отличия среди выделенных типов обусловлены различиями в обстановках седиментогенеза, связанных с процессами эволюции Палеоазиатского океана. Так, в рифее на изолированных террейнах с корой континентального типа в шельфовых обстановках накапливались субплатформенные карбонатные отложения, характерными геохимическими особенностями для которых являются вышекларковые содержания Zr и Ba, а так же элементов кислой специализации – Pb_5 Sn, Zn и Be. На границе венда-кембрия на вновь созданных составных террейнах начинается накопление «перекрывающих» отложений, так же отвечающих субплатформенным характеристикам, но уже характеризующихся вышекларковыми содержаниями Mn, Ni, Co, Sc. В раннем палеозое в обрамлении Сибирской платформы в обстановках задуговых бассейнов происходит накопление осадочно-вулканогенных толщ. Карбонатные отложения, входящие в их состав, отличаются повышенными содержаниями Ba и очень высокими содержаниями Sr. В кембрии в пределах островодужных террейнов на вулкАнических островах формируются мелководные карбонатные микроплатформы. Их мелководная часть обогащена Ba (до 2%), а более глубоководные разности содержат в достаточно большом количестве терригенную примесь и резко отличаются от всех выделенных типов вышекларковыми содержаниями практически всех изученных элементов.

Ключевые слова: *карбонатные отложения, геохимические особенности, палеогеодинамические реконструкции, Палеоазиатский океан.*

GEOCHEMICAL TYPES OF THE CARBONATE DEPOSITES WITHIN DIFFERENT GEODYNAMIC SETTINGS OF NORTH-EASTERN PART OF PALEOASIAN OCEAN

E.R Letnikova

Institute of geology Siberian Branch of HAS, Russia

Three geodynamic types of carbonate rocks such as subplatform, backarc basins and seamounts allocated in the interior of northeastern Paleoasian ocean. The geochemical differences of this types as well as sedimentary environment is associated with Paleoasian ocean development. During Neoprotcrozoic within the shelf of restricted continental crust terranes was forming subplatform type of carbonate successions. This carbonate differs from other one by high Zr and Ba content, and have acid specialization by Pb, Sn, Zn and Be. From Vcndian to Eraly Cambrian carbonate of subplatform type are rich in Mn, Ni, Co. Sc. During the Early Paleozoic along Siberian frame was forming backarc basins with specifically carbonate successions. This rocks have a high Ba and quite high Sr content. At the same time the carbonate successions of seamounts was formed at some distance away from Siberian margins. The shallow-water part of carbonate successions is enriched in Ba (up to 2%). The deep-water part of these carbonate these are involved terrigenious debris and differs from other types of carbonate rocks in increased contents of trace elements.

Key words: *carbonate deposites, geochemical characteristics, geodynamic reconstruction, Paleoasian ocean.*

Введение

Карбонатные отложения широко распространены в пределах Палеоазиатского океана, с существованием которого связывают основную эпоху рифей-нижнепалеозойского осадконакопления в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы [Беличенко и др., 1994]. Практически на всех стадиях эволюции океана возникали условия, которые были благоприятными для активного карбонатонакопления. Карбонатные отложения накапливались в различных мелководных обстановках как шельфа, так и океанического дна. Позднее, вследствие коллизионных процессов, они были сближены в пространстве. Для карбонатных отложений южного складчатого обрамления Сибирской платформы характерно отсутствие тектонически ненарушенных разрезов, находок фаунистических остатков, а так же четких структурных и текстурных критериев диагностики обстановок седиментогенеза. Кроме этого, часть осадочных комплексов претерпела метаморфические воздействия от зеленосланцевой до гранулитовой фации. Таким образом, для карбонатных комплексов данного региона представляются достаточно актуальными проблемы выяснения их генезиса, возможного генетического родства и принадлежности к определенным типам террейнов. Одним из способов решения этих вопросов, являются комплексные геолого-геохимические исследования карбонатных отложений.

Методика геохимических исследований карбонатных отложений

Данная методика разработана на основе фактического материала, который был собран автором при полевых работах в период с 1993 по 2002 год и проанализирован в Аналитических центрах Института земной коры СО РАН, Института геохимии СО РАН, Бурятского геологического института СО РАН и ОИГГМ СО РАН. В результате было получено более 3 500 рентгенофлюоресцентных и спектральных анализов проб известняков (656 проб), доломитов (984 проб), карбонатных пород кальцит-доломитового состава (887 проб), а так же мраморов (1068 проб) и определены содержания таких редких и рассеянных элементов, как Cr, Ni, Co, Cu, V, Mn, Ti, Zr, Sr, Ba, Zn, Sc, Y, Nb, Sn, Pb, Be, Ce. Выбор данной группы элементов обусловлен тем, что информативность основных петрогенных окислов при исследованиях карбонатных пород достаточно мала. Полученные аналитические результаты стали фактической основой для разработанной методики, основанной на многомерной корреляции содержаний редких и рассеянных элементов в карбонатных породах [Интерпретация геохимических.., 2001; Летникова, 2002].

Для обработки большого массива данных использовался кластер-анализ. С помощью кластер-анализа R-типа можно проводить непосредственную корреляцию между изучаемыми химическими элементами выборки. Как правило, на дендрограмме кластера выделяется две группы элементов с отрицательным коэффициентом корреляции. В первой представлены элементы терригенной и глинистой составляющей породы, а во второй находятся элементы, которые изоморфно входят в собственно карбонатную часть. Интерпретация результатов кластер-анализа R-типа позволяет судить о петрогенетической природе элементов и об их сонахождении в осадке. В совокупности с данными кластер-анализа Q-типа возможна реконструкция направлений сноса терригенного материала [Летникова, 2000].

При проведение кластер-анализа Q-типа выборка химических анализов проб карбонатных пород разбивается на группы. Для каждой из выделенных групп характерны свои физико-химические особенности накопления, которые отвечают различным геохимическим микрофациям осадконакопления. Под геохимическими микрофациями понимается пласт или группа пластов с начальной одинаковой геохимической характеристикой [Эрнст, 1976]. С достаточной степенью условности эти микрофации подразделяются на мелководные, переходные и глубоководные (глубина относительная). В некоторых случаях переходные микрофации отсутствуют, что, например, может быть связано с расчленным рельефом дна бассейна, где в разрезе представлены только мелководные и глубоководные образования. С помощью этого метода можно судить о степени генетического родства изучаемых отложений. Данные кластер-анализа Q-типа являются основой для геохимического изучения литологически однотипных, "немых", в том числе метаморфизованных, толщ.

Правомерность выделения геохимических микрофаций и утверждение о том, что

каждой из них свойственны определенные особенности седиментогенеза, подтверждается выводами совместных, где это возможно, литологических и геохимических исследований [Летникова, 1997].

Изучение распределения редких и рассеянных элементов в полученных геохимических микрофациях происходит в двух условно выделенных группах. В первую входят основные типоморфные элементы (Ti, Zr, Mn, Sr, Ba), характер миграции и способность к осаждению которых дает представление о физико-химических особенностях обстановок накопления. Изучение закономерностей их распределения имеет значение при реконструкциях физико-химической и тектонической обстановок седимето-генеза: относительной глубины накопления, удаленности от суши, окислительно-восстановительных условиях, активности водного режима, скорости накопления и др.

Следует отметить, что изучение распределения каждого из этих элементов рассматривается во взаимосвязи друг с другом и выводы об обстановках седиментогенеза делаются только на основании всей совокупности выявленных особенностей их накопления. Это связано с тем, что один и тот же элемент способен накапливаться в диаметрально противоположных обстановках, а при корреляции его с другими элементами в осадке возможно выбрать наиболее вероятную. Например, высокие содержания Мп характеризуют или окислительные мелководные обстановки, или глубоководные, где Мп имеет конкреционную природу накопления [Maynard et. al, 1995]. Корреляция этого элемента с Ti, Zr, Sr, Ba, Ni, Co, Cr позволяет получить представление о физико-химических особенностях седиментогенеза.

Геохимическая корреляция карбонатных толщ на основе распределения основных типоморфных элементов не всегда дает значимые результаты, так как существует достаточное количество геодинамических обстановок со сходными физико-химическими условиями [Бе-личенко и др., 1999]. Однако часто уже при изучении распределения этих элементов можно достаточно однозначно судить о различном генезисе сопоставляемых осадочных комплексов [Летникова и др., 2002].

Ко второй группе относятся элементы-примеси, которые характеризуют состав пород питающих провинций, участвовавших в формировании карбонатных толщ. Эти элементы, учитывая их кларк распространения в различных типах пород, можно подразделить на несколько геохимических специализаций нормальной и повышенной щелочности: ультраосновная, основная и кислая (табл. 1). Граница между специализациями достаточно условна, так как нельзя жестко ограничить распределение элемента только в одном типе породы. В каждом конкретном случае необходимо учитывать корреляционную связь каждого элемента с остальными элементами. Например, в том случае, когда источником сноса являются породы кислой специализации, в осадке наблюдается корреляционная связь Zn, Sn, Pb, Be; в случае, когда источником сноса были породы основного состава, для которых Zn является специфичным элементом, мы видим тесную связь Zn с Cи, V, Sc.

На основе этой методики с привлечением геологических и геодинамических критериев среди осадочных комплексов Тувино-Мон-гольского, Хамардабанского, Тункинского, Джидинского, Ольхонского, Икатского, Хамса-ринского, Китойкинского террейнов (рис. 1) было выделено три геодинамических типа обстановок карбонатонакопления – субплатформенные, задуговых бассейнов и океанических островов (тип гайот) (рис. 2).

Таблица 1

Элементы-примеси характерные для источников сноса различной петрогентической специализации

Типы специализаций	**Элементы-примеси**
ультраосновная	Cr, Ni, Co, Mn,
основная	V, Cu, Sb, Zn, Sc, Nb, Y, Rb
кислая	Sn, Pb, Zn, Be,

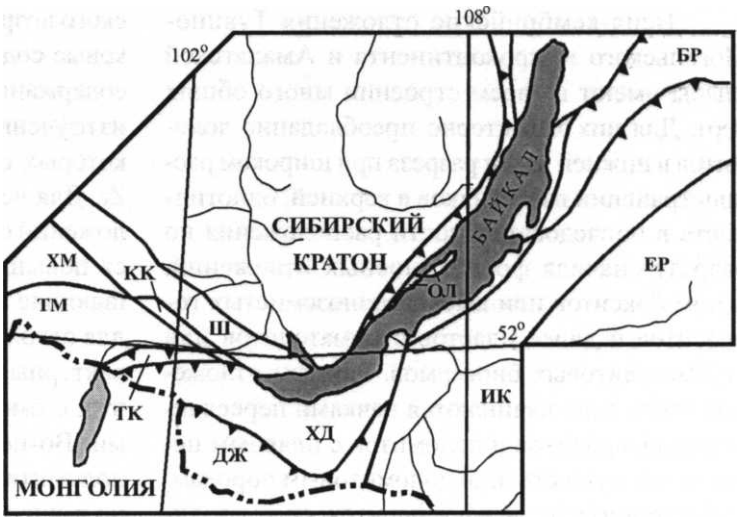

Рис. 1. Схема террейнов южного складчатого обрамления Сибирской платформы [Беличенко и др., 1994].

Террейны: ХМ - Хамсаринский, ТМ – Тувино-Монгольский, КК – Китой-кинский, ТК - Тункинский, Ш – Шары-жалгайский, ДЖ – Джидинский, ХД – Хамардабанский, ИК – Икатский, ОЛ – Ольхонский, ЕР – Еравнинский, БР – Баргузинский.

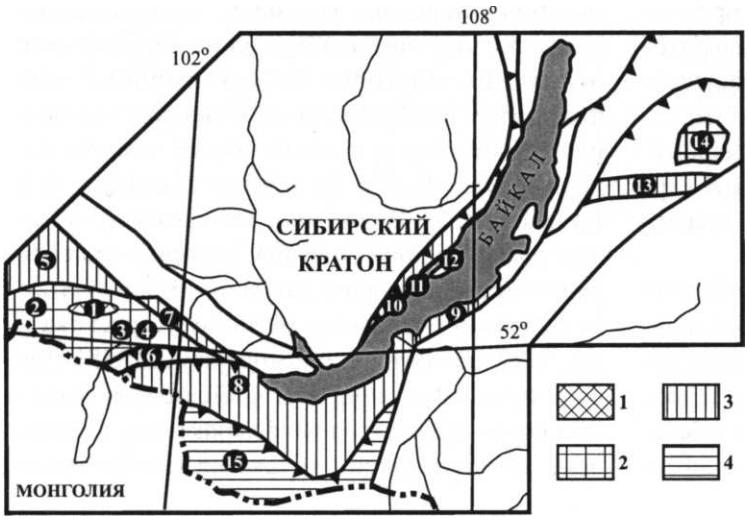

Рис. 2. Схема расположения карбонатных комплексов, различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана.

Обстановки седиментогенеза – субплатформенные: 1 – рифейские; 2 – венд-кембрийские (нерасчленные); 3 – раннепалеозойские задуговых бассейнов; 4 – кембрийские океанических островов (тип гайотов). Цифры в кружках – изученные серии и свиты: 1 – иркутная, 2 – боксонская, 3 – горлыкская, 4 – араошейская, 5 – карбонатные отложения Хайт-Тиссинского междуречья, 6 – толтинская, 7 – китойкинская, 8 – слюдянская, 9 – селенгинская, 10 – цаган-забинская, 11 – ангинская, 12 – ольхонская, 13 – гаргинская, 14 – витимканская.

Геолого-геохимические характеристики субплатформенных карбонатных комплексов

Субплатформенным обстановкам карбонатонакопления в пределах южного складчатого обрамления Сибирской платформы отвечают отложения осадочных чехлов докембрийской Гарганской глыбы (иркутная свита - R), Тувино-Монгольского микроконтинента (боксонская серия, горлыкская и араошейская свиты – V-Є) и Амалатской глыбы (тилимская свита – Є) (см. рис. 2). Для них характерны мелководные шельфовые обстановки накопления при пассивном тектоническом режиме, что отмечалось ранее рядом исследователей [Хераскова и др., 1992; Бутов, 1996; Летникова и др., 1997; Летникова, 2000].

Рифейские отложения иркутной свиты представлены мраморизованными известняками и доломитами, иногда строматолитовыми и микрофитолитовыми. В разрезе господствуют практически чистые карбонатные породы с очень небольшой примесью алюмосиликокластики. Терригенные породы слагают единичные маломощные прослои, тяготеющие к низам свиты, они представлены песчаниками, карбонатно-хлоритовыми и кварцево-слюдистыми сланцами.

Венд-кембрийские отложения Тувино-Могольского микроконтинента и Амалатской глыбы имеют в своем строении много общих черт. Для них характерно преобладание доломитов в нижней части разреза при широком распространении известняков в верхней, однотипность в последовательности расположения по разрезу сначала фосфатоносных отложений, потом бокситов или высокоглиноземистых горизонтов и далее пластов строматолитов или строматолитовых биогермов. Разрезы отложений этого типа начинаются пачками переслаивания алевролитов и доломитов с плавным переходом к существенно доломитовым породам, вмещающим прослои фосфоритов, строматолитов и горизонты хромистых песчаников. Далее наблюдается перерыв в накоплении, отмеченный закарстованной поверхностью, на которой залегает пласт бокситов. Выше лежат брекчиевидные доломиты, сменяющиеся микрофито-литовыми и крустификационными доломитами. В средней части разрезов доломиты сменяются черными тонкослоистыми известняками. В целом для этих двух венд-кембрийских карбонатных комплексов характерен трансгрессивный характер разрезов.

Геохимические отличия разновозрастных комплексов субплатформенного типа обусловлены различиями в обстановках седиментогенеза и составе пород фундамента. Так, наиболее мелководным прибрежно-морским обстановкам накопления отвечают отложения рифейского возраста. Для них характерны вышекларковые содержания Zr и Ba и близкие к кларку содержания Mn (табл. 2). Это единственный тип из изученных нами карбонатных отложений, для которых отмечены столь высокие содержания Zr. Для вендских шельфовых карбонатных отложений отличительной особенностью являются повышенные содержания Mn и Ba, превышающие кларк в 2-8 раз. Следует отметить, что для отложений этого временного интервала характерны очень низкие содержания Sr (рис. 3), что, возможно, было связано с двумя причинами. Во-первых, эти отложения представлены доломитами; во-вторых, среди них достаточно распространены рифогенные постройки, отличительной геохимической чертой которых является обеднение пород Sr вследствие их длительного контакта с водами бассейна и/или метеорными водами [Юдович, 1981]. Несмотря на то, что венд-кембрийские карбонатные отложения образуют единую карбонатную платформу, кембрийские карбонатные отложения, отличаются от вендских более низкими содержаниями Ti, Mn, Zr и более высокими Sr и Ba (см. рис. 3). Возможно, это связано с началом трансгресивного этапа, который отмечен рядом исследователей для данного возрастного рубежа в изучаемом регионе [Хераскова и др., 1992; Геология и метаморфизм.., 1998]. Для всех изученных венд-кембрийских карбонатных комплексов этого типа характерно подразделение микрофаций только на мелководные

Таблица 2

Средние содержания основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях различных геодинамических типов в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы

Типы обстановок	Ti	Mn	Zr	Sr	Ba
Субплатформенные, рифейские	348	348	27	220	123
Субплатформенные, вендские	720	684	10,4	67	38
Субплатформенные, кембрийские	350	80	7	183	48
Задуговых бассейнов	320	100	10	2135*	105
Океанических островов, мелководные	144	480	4,8	73	1200
Океанических островов, глубоководные	10680	1320	130	512	540
Кларк	1200	400	20	610	10

1 2 3

Примечание: 1 – вышекларковые содержания элемента; 2 – содержания элемента близкие к кларку; 3 – нижекларковые содержания элемента. * – наравне с этими содержаниями, для части разреза характерны нижекларковые содержания Sr.

Кларки (г/т) элементов приведены по А.А. Беусу [Перельман, 1979].

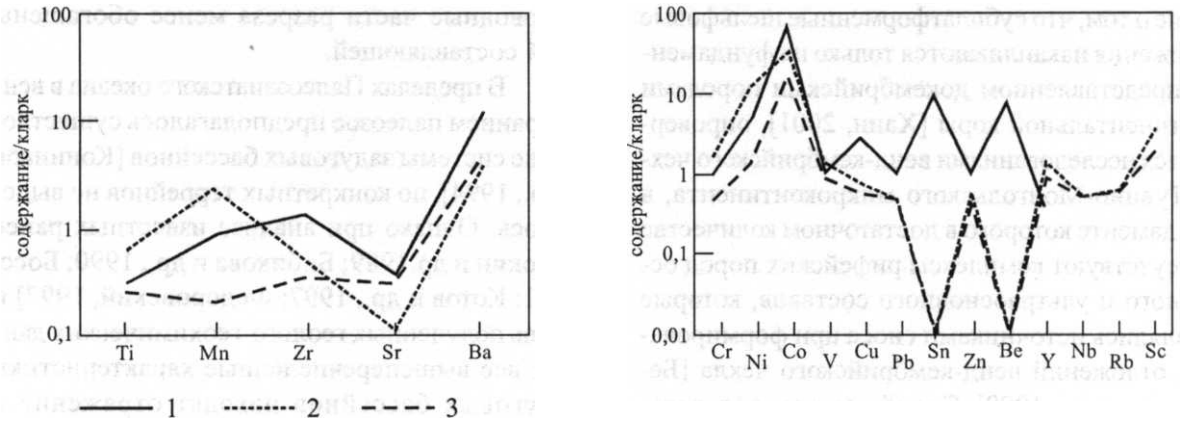

Рис. 3. Распределение основных типоморфных элементов и элементов-примесей в карбонатных отложениях субплатформенного типа северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана.

Карбонатные отложения: 1 – рифейские, 2 – вендские, 3 – кембрийские.

и глубоководные контрастные между собой по своим геохимическим характеристикам. Переходный геохимический тип отложений не выделяется. Это является дополнительным свидетельством в пользу предположения о сильно расчлененном рельефе дна бассейна накопления [Хераскова и др., 1992] на основе литологических характеристик.

Различия в составе и характере распределения элементов-примесей более заметны между рифейскими и венд-кембрийскими субплатформенными отложениями. Для первых основной питающей провинцией являлись породы кислой специализации, которыми вполне могли быть образования Гарганской глыбы при подчиненном участии пород основной и ультраосновной специализаций [Летникова и др., 1997; Кузьмичев, 2004]. Для венд-кембрийских субплатформенных отложений источниками сноса были продукты разрушения офиолитово-го комплекса - породы основной и, в меньшей мере, ультраосновной специализаций [Беличен-ко и др., 1999; Кузьмичев, 2004]. При этом отмечается отсутствие значительных геохимических различий между одновозрастными отложениями чехлов Тувино-Монгольского микроконтинента и Амалатской глыбы [Летникова и др., 2003]. Отличия в наборе элементов-примесей рифейских и венд-кембрийских карбонатных отложений связаны с различной природой фундамента микроплатформ, на которых происходило карбонатонакопление (табл. 3). Представ-

Таблица 3

Средние содержания элементов-примесей в карбонатных отложениях различных геодинамических типов в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы

Типы обстановок	Cr	Ni	Co	V	Cu	Pb	Sn	Zn	Be	Y	Nb	Rb	Sc
Субплатформенные, рифейские	11	8,6	7,1	20	11	9	1	20	0,8	12	н.о.	н.о.	н.о.
Субплатформенные, вендские	17	2,5	3,6	27	3	4,5	0	13	0	39	1,1	1,9	4
Субплатформенные, кембрийские	6	2,7	1,7	18,6	2,4	4,5	0	8,8	0	27	1,1	1,9	2
Задуговых бассейнов	10,6	5,4	1,3	12,4	3,6	4,5	0	12	0	6	1	2,4	1,9
Океанических островов, мелководные	6	7,6	2,3	12	8	1,8	0	15	0	1,2	1,4	9,9	1,5
Океанических островов, глубоководные	253	116	24	260	112	6,3	0	82	0	27	27	30	37
Кларк	11	2	0,1	20	4	9	0,n	20	0,1	30	2	3	1

Примечание. Условные обозначения см. в табл. 2.

ление о том, что субплатформенные шельфовые отложения накапливаются только на фундаменте, представленном докембрийскми породами континентальной коры [Хаин, 2001], опровергаются исследованиями венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента, в фундаменте которого в достаточном количестве присутствуют комплексы рифейских пород основного и ультраосновного составов, которые и являлись источниками сноса при формировании отложений венд-кембрийского чехла [Беличенко и др., 1999]. С этой позиции возможно объяснение автохтонного залегания больших шельфовых карбонатных массивов на достаточном удалении от континентов.

Геолого-геохимические характеристики карбонатонакопления в обстановках задуговых бассейнов

Основными геологическими критериями для выделения задуговых бассейнов являются [Басков и др., 1998; Геодинамические реконструкции, 1989]: 1) преимущественно базитовый тип коры; 2) двучленное строение осадочной толщи: нижняя – вулканогенно-осадочная, верхняя – осадочная; 3) присутствие среди осадочных толщ древних вулканических построек наземного или подводного типа и, следовательно, продуктов поствулканической гидротермальной деятельности и (или) даек магматических пород существенно основного состава; 4) быстрая смена фаций вкрест простирания и уменьшение в этом же направлении доли вулканогенного материала, то есть более глубоководные части разреза менее обогащены этой составляющей.

В пределах Палеоазиатского океана в венде-раннем палеозое предполагалось существование системы задуговых бассейнов [Конников и др., 1994], но конкретных террейнов не выделялось. Однако при анализе известных ранее [Осокин и др. 1989; Бибикова и др., 1990; Босс, 1991; Котов и др., 1997; Федоровский, 1997] и вновь полученных геолого-геохимических данных все вышеперечисленные характеристики задуговых бассейнов находят отражение в строении и составе нижнепалеозойских фаунистически охарактеризованных карбонатных отложений Хайт-Тиссинского междуречья, толтинской свиты и метаморфизованных от зеленосланцевой до гранулитовой фаций образованиях гаргинской, баргузинской, китойкинской, слюдянской, селенгинской, ольхонской, ангинской и цаган-забинской серий (см. рис. 2). Возраст метаморфизма всех этих комплексов отвечает узкому временному интервалу – 460-470 млн. лет [Бибикова, 1990; Котов и др., 1997]. Для изученных карбонатных и карбонатно-вулканогенных комплексов был получен очень ограниченный тренд распределения их геохимических составов (рис. 4). Это является свидетельством того, что их накопление происходило в однотипных условиях.

По своим геохимическим параметрам, карбонатные отложения этого типа имеют значительное сходство в распределении ряда основных типоморфных и примесных элементов с одновозрастными шельфовыми субплатформенными толщами. Для исследованных карбо-

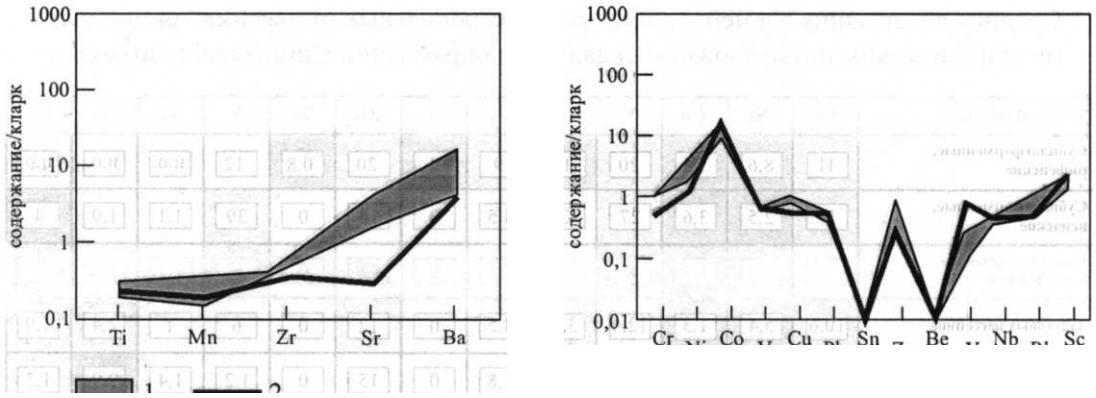

Рис. 4. Распределение основных типоморфных элементов и элементов-примесей в карбонатных отложениях задуговых бассейнов северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана.
Карбонатные отложения: 1 - задуговых бассейнов, 2 - кембрийские субплатформенного типа.

натных комплексов отмечены нижекларковые содержания Ti, Mn, Zr (см. табл. 2). Наиболее обогащены этими элементами мелководные отложения, и по мере углубления бассейна наблюдается уменьшение их содержаний. Основные отличия наблюдаются в распределении выше-кларковых содержаний Sr и Ba. Эти элементы попадают в задуговые бассейны в результате поствулканической гидротермальной деятельности [Андреев и др., 1995]. Во всех вышеперечисленных стратиграфических подразделениях отмечаются высокостронциевые горизонты (1000-1500 г/т, до 2500 г/т). Для карбонатных отложений Хайт-Тиссинского междуречья отмечена региональная геохимическая стронциевая аномалия со средними значениями 1500-6000 г/т, с максимальными – 1.3%. Питающими провинциями для данных толщ являются породы основной (V, Cu, Zn, Sc, Y, Rb) и ультраосновной (Cr, Ni, Co) специализаций. Такие элементы, как Be и Sn, в карбонатных отложениях не обнаружены, что указывает на отсутствие среди источников сноса пород кислой специализации.

Все вышеперечисленные карбонатные толщи этого типа образуют прерывистую полосу вдоль южного фланга Сибирской платформы и протягиваются более чем на 1000 км (см. рис. 2). Однако ранее они не рассматривались совместно и, следовательно, относились к разным в геодинамическом и возрастном плане террейнам.

Геолого-геохимические характеристики карбонатных отложений океанических островов (гайот)

Одной из проблем при палеогеодинамических реконструкциях в пределах складчатых областей является выделение осадочных комплексов океанических островов. Нередко на основе субъективных признаков к этому типу отложений относят осадочные толщи как чехлов составных микроконтинентов, так и задуговых бассейнов. Это является следствием отсутствия общей классификационной системы типоморфных признаков при выделении осадочных комплексов океанических островов, разработка которых возможна на эталонных объектах, одним из которых, на наш взгляд, является Джидинская зона, где данному типу соответствуют кембрийские карбонатные отложения хасуртинской свиты. Для них характерны следующие геологические особенности: 1) базитовый состав вулканических построек и присутствие в обрамлении ультраосновных пород; 2) перекрытие плоских вулканических вершин карбонатными мелководными отложениями; 3) два литологических типа карбонатных осадков – мелководные и переходно-глубоководные (глубина относительная) [Беличенко и др., 1996].

В противоположность карбонатонакоплению в задуговых бассейнах, наиболее химически чистые карбонатные отложения океанических островов накапливаются в мелководной зоне и по своим геохимическим характеристикам схожи с кембрийскими шельфовыми субплатформенными рифогенными комплексами (рис. 5). Для них характерны низкие содержания всех основных типоморфных и примесных элементов, за исключением Ba. В мелководных микрофациях известкового состава очень низкие содержания Sr отражают характерные геохимические особенности рифогенных образований [Юдович, 1981]. Карбонатные отложения океанических островов резко отличаются от всех ранее изученных мелководных отложений очень высокими содержаниями Ba (до 2%). Вторичных барие носных прожилков в этих отложениях не отмечено, поэтому накопление Ba имело синседиментационную природу и, вероятно, происходило в рифовых лагунах [Tucker, 1996]. Переходные и глубоководные микрофации соответствуют склоновой части подводных гор, где значительную роль в формировании данных типов отложений играют подводные гидротермы, талассогенный привнос ряда элементов, а также обломочный материал, образующийся в результате эрозионного или тектонического разрушения подводных гор. Для глубоководных микрофаций, содержащих достаточное количество терригенного обломочного материала, отмечаются вышекларковые содержания Ti, Zr, Mn, Ba и нижекларковые Sr (см. табл. 2). Возможно, сопоставлять глубоководные отложения этого типа, содержащие более 15% терригенной примеси с практически чистыми (1-3% примеси) карбонатными отложениями не совсем корректно. Однако они являются индикаторными для выделенного геодинамического типа обстановки накопления. Основными питающими провинциями для всех изученных карбонатных отложений Джидинского океанического террейна служили породы основной специализации нормальной и повышенной щелочности и, в меньшей мере, ультраосновной специализации.

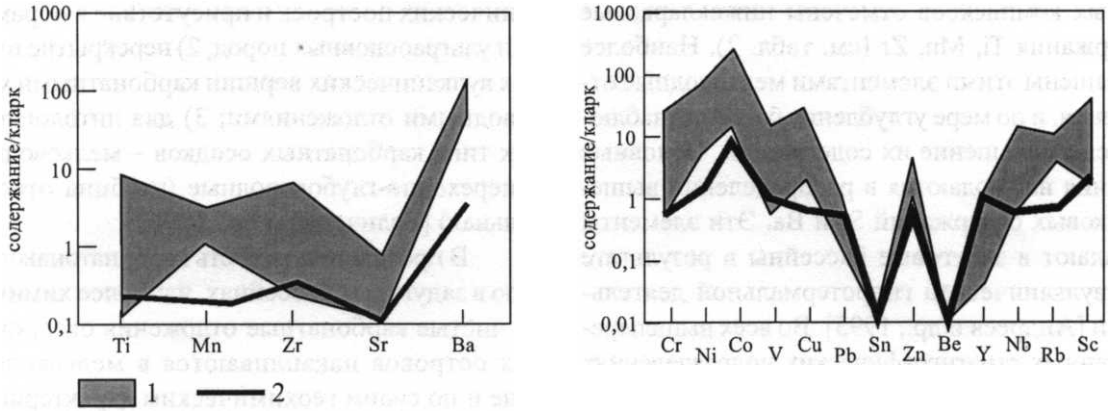

Рис. 5. Распределение основных типоморфных элементов и элементов-примесей в карбонатных отложениях океанических островов северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана.
Карбонатные отложения: 1 - океанических островов, 2 - кембрийские субплатформенного типа.

Геодинамическая интерпретация геолого-геохимических особенностей карбонатных отложений северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана

Роль осадочных серий при выделении террейнов весьма существенна [Парфенов и др., 1998]. Как правило, они являются определяющими при выделении границ террейнов, выполняют индикаторную функцию для расшифровки условий осадконакопления в пределах отдельных террейнов, как «перекрывающие» комплексы служат для выявления основных временных рубежей аккреционных процессов.

Полученные ранее геолого-геохимические характеристики карбонатных комплексов в пределах северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана дали возможность получить дополнительную информацию о внутреннем строении и времени формирования определенных палеоструктур.

Анализ геолого-геохимических характеристик венд-кембрийских карбонатных комплексов позволил выделить общие особенности чехлов Тувино-Монгольского микроконтинента и Амалатской глыбы [Летникова, Вещева, 2003]. Для накопления мощных неметаморфизованных шельфовых карбонатных толщ было необходимо длительное существование устойчивого тектонически пассивного поднятия. Подтверждением этого является присутствие в разрезах осадочных чехлов месторождений и рудопроявлений бокситов и пластовых фосфоритов. Выдержанный геохимический состав и сходный характер распределения редких и рассеянных элементов в карбонатных отложениях на протяжении всего времени формирования венд-кембрийского чехла является отражением тектонически спокойного режима седиментогенеза и отсутствия вулканической и гидротермальной деятельности. Ранее считалось, что фундамент Тувино-Монгольского микроконтинента и Амалатской глыбы сложен докембрийскими блоками континентальной коры [Бутов, 1996; Геология и метоморфизм.., 1989]. На основе изучение характера распределения и набора элементов-примесей в карбонатных отложениях чехла микроконтинентов установлено, что источниками сноса для этих отложений являлись породы основного и ультраосновного состава. Это дает нам основание считать, что Тувино-Монгольский микроконтинент и Амалатская глыба представляют собой составные террейны, в строении которых присутствуют также породы островных дуг и океанической коры, выходы которых достаточно хорошо изучены в пределах этих двух тектонических структур [Беличенко и др., 1999; Летникова, Вещева, 2003]. Карбонатные комплексы венд-кембрийских чехлов могут быть отнесены к «перекрывающим» отложениям и указывают на верхний временной рубеж окончания процесса образования фундамента микроконтинента на стадии предвендской коллизии. С этого вре-

менного рубежа Тувино-Монгольский микроконтинент и Амалатскую глыбу можно рассматривать в качестве составных террейнов, которые послужили основой для накопления на них шельфовых отложений.

Следует отметить, что в результате изучения карбонатных отложений чехла Тувино-Монгольского микроконтинента пересмотрена его северная граница. Это связано с тем, что ранее к венд-кембрийским отложениям чехла относили карбонатную толщу Хайт-Тиссинского междуречья. В ходе наших исследований было установлено, что осадочный комплекс Хайт-Тиссинского междуречья по своим геолого-геохимическим характеристикам относится к отложениям задуговых бассейнов, которые входили в состав Хамсаринского террейна [Летникова и др., 2002]. В связи с этим так же можно поставить под сомнение отнесение рядом авторов раннепалеозойских пород эрзинского и моренского комплексов (Сангелен) к Тувино-Монгольскому микроконтиненту [Козаков и др., 2001]. По особенностям состава и характеру метаморфизма эти комплексы имеют много общего с раннепалеозойскими толщами обрамления микроконтинента типа Слюдянского или Китойкинского метаморфизованных осадочно-вулканогенных комплексов.

Как уже отмечалось выше, на основе региональных геолого-геохимических исследований в складчатом обрамлении юга Сибирского кратона выделена новая раннепалеозойская палеоструктура, по своим характеристикам отвечающая задуговым бассейнам [Летникова, 2002]. По всей видимости, карбонатные толщи, выполняющие этот бассейн, формировались в единой структуре в обрамлении Сибирской платформы, а не в обрамлении микроконтинентов. Их современное положение, как и различия в степени метаморфизма, связаны с аккрецией различных террейнов к кратону в процессе раннепалеозойской коллизии.

Геолого-геохимическая специфика карбонатных отложений океанических островов позволяет надежно отличать их от других типов карбонатных пород. Этот тип карбонатонакопления является индикаторным для океанических террейнов, и приведенная модель седиментогенеза объясняет присутствие среди глубоководных комплексов, накапливающихся при активном тектоническом режиме, мелководных сингенетичных химически чистых карбонатных отложений.

Выводы

На основе анализа геолого-геохимических особенностей карбонатных отложений северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана охарактеризованы следующие типы геодинамических обстановок, благоприятных для накопления карбонатных отложений: рифейские и венд-кембрийские субплатформенные, раннепалеозойские задуговых бассейнов и раннекембрийские океанических островов (гайот). Установлено, что геохимические характеристики карбонатных отложений могут служить дополнительными критериями при корреляции и реконструкции обстановок накопления карбонатных комплексов, в том числе «немых» или метаморфизованных.

Изменение геохимических особенностей обстановок карбонатонакопления во времени связано с процессами эволюции Палеоазиатского океана. Так, в рифее на рассматриваемой территории существовали небольшие изолированные террейны с корой континентального типа, на которых в мелководных шельфовых обстановках накапливались субплатформенные карбонатные отложения, с вышекларковыми содержаниями Zr и B a, а так же элементов кислой специализации – Pb, Sn, Zn и Be. На границе венда-кембрия на вновь созданных составных террейнах (Тувино-Монгольский и Амалатский) началось накопление «перекрывающих» шельфовых отложений, так же имеющих субплатформенные характеристики. Для нижних частей этих толщ, имеющих вендский возраст, характерны вышекларковые содержания Mn, Ni, Co, Sc. Выше по разрезу наблюдается уменьшение содержаний всех основных типоморф-ных и примесных элементов, и кембрийские отложения этого типа имеют минимальные содержания всех рассмотренных редких и рассеянных элементов.

В раннем палеозое в обрамлении Сибирского кратона в обстановках задуговых бассейнов происходило накопление осадочно-вулкано-генных толщ. Карбонатные отложения, входящие в их состав, при сходных с одновозрастными субплатформенными отложениями геохимических особенностях отличаются от них повышенными содержаниями B a и очень высокими содержаниями Sr.

В кембрии в пределах океанических террейнов на вулканических постройках формировались мелководные карбонатные микроплат-

формы (тип гайот). Их мелководная часть обогащена Ba (до 2%), а более глубоководные разности содержат в достаточно большом количестве терригенную примесь и резко отличаются от всех выделенных типов вышекларковыми содержаниями практически всех основных типоморфных и примесных элементов, за исключением элеменов-примесей кислой специализации – Pb, Sn, Be.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 03-05-65030), гранта поддержки Научных школ России НШ-768.2003.5 и Урало-Сибирского интеграционного проекта.

Список литературы

Андреев С.И., Аникеева Л.И., Вишневский А.Н. и др. Минеральныересурсы мирового океана, их потенциал и перспективы освоения // Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеан-геология, 1995. С. 141-158

Беличенко В.Т., Скляров Е.В., Добрецов Н.Л., Томуртогоо О. Геодинамическая карта Палеоазиатского океана. Восточный сегмент // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7-8. С. 29-41.

Беличенко В.Т., Гелетий Н.К., Летникова Е.Ф. Карбонатные отложения островодужных серий венда-кембрия Джидинской зоны (Восточная Сибирь) //Докл. АН. 1996. Т. 348. № 1. С. 78-81.

Беличенко В.Т., Летникова Е.Ф., Гелетий Н.К. Геохимические особенности карбонатных отложений чехлов Тувино-Монгольского микроконтинента // Докл. АН. 1999.Т.364. №1. С.80-83.

Бибикова Е.В., Карпенко С.Ф., Сумин Л.В. и др. U-Pb, Sm-Nd и K-Ar возраст метаморфических и магматических пород Приольхонья (Западное Прибайкалье) // Геология и геохронология докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. Л.: Наука, 1990. С. 170-183.

Босс Р.Т. Палеозой Тункинских гольцов Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1991. 143 с.

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

Геодинамические реконструкции. Л.: Недра, 1989. 278 с

Геология и метаморфизм Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1988. 190 с.

Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Козаков И.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Возрастные рубежи структурного развития метаморфических комплексов Тувино-Монгольского массива// Геотектоника. 2001. № 3. С. 22-43.

Конников Э.Т., Гибшер А.С., Изох А.Э. и др. Позднепротерозойская эволюция северного сегмента Палеоазиатского океана: новые радиологические, геологические и геохимические данные // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7-8. С. 152-168.

Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Резницкий Л.З. и др. О возрасте метаморфизма Слюдянского кристаллического комплекса (Южное ПрибайкАлье): результаты U-Pb геохронологических исследований гранитоидов // Петрология. 1997. № 2. С. 102-123.

Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекалеодонский этапы. М: ПРОБЕЛ-2000, 2004. 192 с.

Летникова Е.Ф., Гелетий Н.К. Геохимические особенности карбонатонакопления чехла Гарганской глыбы (юго-восточная часть Восточного Саяна) // Геология и геофизика. 1997. № 10. С. 1614-1619.

Летникова Е.Ф. Использование геохимических характеристик хемоорганогенных отложений при реконструкциях особенностей седиментогенеза в складчатых поясах // Осадочные бассейны Урала: закономерности строения и минерагения. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 195-199.

Летникова Е.Ф. Карбонатные отложения V-Є чехла Тувино-Монгольского микроконтинента (Восточный Саян): геохимическая корреляция и особенности седиментогенеза // Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2000. С. 407-410.

Летникова Е.Ф. Использование геохимических характеристик карбонатных пород при палеогеодинамических реконструкциях // Докл. АН. 2002. Т. 385. № 5. С. 672-676.

Летникова Е.Ф., Донская Т.В., Школьник С.И. Реконструкция северной границы Тувино-Монгольского микроконтинента (Восточный Саян) // Докл. АН. 2002. Т. 382. № 2. С. 238-241.

Летникова Е.Ф., Вещева С.В. Критерии диагностики венд-кембрийских осадочных комплексов чехлов микроконтинентов северного сегмента Палеоазиатского океана // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. От океана к континенту. Матлы. сов. Иркутск: ИГ СО РАН, 2003. С. 154-157.

Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 480с.

Осокин П.В., Булгатов А.Н., Квашнин В.Т. Осадочно-вулканогенные образования хр. Морского (Забайкалье) и их минерагения // Геология и геофизика. 1989. № 5. С. 50-59.

Парфенов Л.Н., Ноклеберг У.Дж., Ханчук А.И. Принципы составления и главные подразделения легенды геодинамической карты Северной и Центральной Азии, юга российского Дальнего Востока, Кореи и Японии /У Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 3. С.3-13.

Федоровский В.С. Купольный тектогенез в коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Геотектоника. 1997. № 6. С. 56-71.

Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Научный мир, 2001. 606с.

Хераскова Т.Н., Самыгин С.Т. Тектонические условия формирования венд-среднекембрийского терригенно-карбонатного комплекса Восточного Саяна // Геотектоника. 1992. № 6. С. 18-36.

Черкашев Г.Л. Минеральные ресурсы мирового океана, их потенциал и перспективы освоения // Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. Ред. Пущаровский Ю.М. СПб.: ВНИИОкеангео-логия. 1995. С.141-158.

Эрнст В. Геохимический анализ фаций. Л.: Недра, 1976. 126 с.

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

Maynard J.B, Klein G.D. Tectonic subsidence analysis in the characterization of sedimentary ore deposits: examples from the Witwatersrand (Au), White Pine (Cu), Molango (Mn) // Economic Geology. 1995. V. 90. P. 37-50.

Tucker M.E., Wright V.P., Dickson J.A.D. Carbonate sedimentology. Oxford: Blackwell Science. Publ. 1996.482 p.

Рецензенты: доктор геол.-мин. наук Л.В. Анфимов, доктор геол.-мин. наук А.В. Маслов