

На правах рукописи

ЛЕТНИКОВА Елена Феликсовна

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ЮЖНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

25.00.09 – геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук



003 167469

Новосибирск-2008

Работа выполнена в Институте геологии и минералогии Сибирского
отделения Российской академии наук

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Г.Н.Аношин
Институт геологии и минералогии СО РАН
(г. Новосибирск)

доктор геолого-минералогических наук
А.Б.Котов
Институт геологии и геохронологии
докембрия РАН (г. Санкт-Петербург)

доктор геолого-минералогических наук
Я.Э.Юдович
Институт геологии КомиНЦ УрО РАН
(г. Сыктывкар)

Ведущая организация: Институт геологии и геохимии УрО РАН
(г. Екатеринбург)

Защита состоится «26» февраля 2008 г. в 10⁰⁰ часов на заседании
диссертационного совета Д 003.067.02 в Институте геологии и минералогии
СО РАН, в конференц-зале.

По адресу: 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3,
Факс (383) 3333505

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института

Автореферат разослан « 22 » января 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.г.-м.н., профессор



С.Б.Бортникова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. 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 благоприятные условия для карбонатакопления. Карбонатные отложения накапливались в различных мелководных обстановках, и лишь небольшая часть карбонатных илов отлагалась в относительно глубоководных условиях океанического дна. В результате поздних коллизионных процессов в обрамлении Сибирской платформы близкие по возрасту карбонатные толщи, накопившиеся в сходных фациальных обстановках, но в бассейнах различной геодинамической природы, были сближены в пространстве и на основе традиционных методов исследований осадочных пород подчас неразделимы. Во многом это обусловлено конвергентностью ряда литологических признаков пород, а также сходным набором содержащихся в них органических остатков или полным их отсутствием. Кроме этого, часть осадочных комплексов, в том числе и карбонатных, регионально метаморфизована в пределах от зеленосланцевой до гранулитовой фаций. Таким образом, для карбонатных отложений данного региона представляются достаточно актуальными проблемы выяснения их генезиса и принадлежности к определенным типам осадочных бассейнов. В столь сложной ситуации весьма актуален поиск дополнительных критериев, способных повысить информативность карбонатных отложений и сделать их более востребованными для решения задач геологического и геодинамического плана. Одним из способов решения этого вопроса является геохимическое исследование карбонатных отложений, накапливающихся в обстановках осадочных бассейнов определенного геодинамического типа, и выявление их диагностических геохимических особенностей. Как это ни покажется странным, но до сих пор подобных исследований в мировой практике, в том числе и в России, не проводилось.

Целью данного исследования является разработка методической основы геохимической диагностики карбонатных комплексов различных геодинамических обстановок седиментогенеза.

Основными задачами при этом стали: 1. реставрация физико-химических особенностей седиментогенеза карбонатных отложений различной степени метаморфизма определенных геодинамических типов обстановок осадконакопления;

2. определение петрогенетического типа доминирующих и второстепенных источников питающих провинций;

3. выделение геохимических типов карбонатных комплексов определенных геодинамических обстановок.

Объектами исследования послужили карбонатные комплексы южного обрамления Сибирской платформы, природа образования которых обосновывалась их геологическими и литологическими особенностями, подкреплялась изотопно-геохимическими данными по терригенным отложениям этого осадочного бассейна и магматическим образованиям. Это карбонатные отложения краевых частей Сибирской платформы – байкальская серия, V (Южное Прибайкалье), шунтарская свита, R (Енисейский кряж), PR₃ и V-Е карбонатные чехлы микроконтинентов – Тувино-Монгольского (боксонская серия, иркутская, горлыкская, араошейская свиты), Батеневского (чарыштагская, биджинская, мартюхинская, сорнинская, бродовская, боградская свиты) и Амалатского (тилимская свита); Е отложения Джидинской зоны (хасуртинская свита), карбонатные толщи различной степени метаморфизма в складчатом обрамлении Сибирской платформы – слюдянская, ольхонская, ангинская, цаган-забинская, баргузинская серии, хойготская, икатская, толтинская свиты и отложения Хайт-Тиссинского междуречья.

Фактический материал. В работе использованы материалы автора, собранные им в процессе полевых работ 1993-2006 гг. в южном обрамлении Сибирской платформы. Каменный материал по слюдянской серии Южного Прибайкалья был любезно предоставлен к.г.-м.н. Л.З.Резницким, по араошейской свите Тункинских гольцов - д.г.-м.н. В.Г.Беличенко.

В работе использовано более 2100 количественных спектральных (Co, Ni, Cr, V, Sc, Cu, Sn, Pb, Be) и рентгенофлуоресцентных (Ti, Mn, Sr, Ba, Zr, Zn, Y, Nb, Rb) анализов, 50 анализов РЗЭ, а также результаты совместных исследований по изотопии Sr, O и C карбонатных пород (А.Б.Кузнецов (ИГГД РАН), Б.Г.Покровский (ГИН РАН)) и геохимии и Sm-Nd систематике терригенных отложений (С.В.Вещева (ИЗК СО РАН), Ковач В.П. (ИГГД СО РАН), Ю.Л.Ронкин (ИГГ УрО РАН)). Изучено более 2500 шлифов карбонатных и 460 терригенных пород. Анализы проводились в аналитических лабораториях ИЗК СО РАН, ГИН СО РАН, ГИН РАН, ИГГД РАН, ИГГ УрО РАН и ОИГТМ СО РАН.

В основу диссертации положены результаты работы автора в Институте земной коры СО РАН и Институте геологии и минералогии СО РАН в рамках выполнения исследований по планам НИР, грантам РФФИ и Интеграционным проектам СО РАН.

Научная новизна работы. Методика геохимической диагностики и корреляции карбонатных отложений, основанная на многомерных связях широкого спектра микроэлементов, является оригинальной. Для карбонатных толщ южного обрамления Сибирской платформы она применена впервые, как геохимическое и изотопное изучение осадочных толщ в целом. На основе этой методики с привлечением геологических и геодинамических критериев среди осадочных комплексов южного обрамления Сибирской платформы, Тувино-Монгольского, Хамардабанского, Тункинского, Джидинского, Ольхонского, Баргузинского, Амалатского, Икатского, Хамсаринского, Батеневского террейнов были выделены три геохимических типа карбонатных отложений, накапливавшихся в различных геодинамических обстановках – субплатформенных, задуговых бассейнов и океанических островов (гайот). Данное исследование является пионерным в интерпретации геохимических характеристик карбонатных комплексов, формирующихся в различных геодинамических типах осадочных бассейнов.

Практическая значимость работы. Полученные геохимические и изотопные характеристики карбонатных отложений южного обрамления Сибирской платформы позволят более корректно проводить расчленение и корреляцию карбонатных толщ при геологосъемочных, стратиграфических и тематических работах. Геохимические данные помогут прогнозировать конкретные типы полезных ископаемых в зависимости от особенностей накопления карбонатных отложений.

Основные защищаемые положения.

1. Субплатформенные карбонатные отложения древних континентальных блоков – байкальская серия, шунтарская и иркутная свиты и микроконтинентов (Тувино-Монгольского, Батеневского и Амалатского) отлагались в мелководных обстановках и имеют однотипный характер распределения основных типоморфных элементов (Ti, Mn, Zr, Sr, Ba), при более высоких концентрациях Zr в отложениях древних континентальных блоков. Карбонатные породы континентальных блоков накапливались на силикатных породах фундамента древних платформ, а микроконтинентов – на мафических породах островных дуг и офиолитовых комплексов, что объясняет отсутствие в карбонатных отложениях микроконтинентов элементов кислой специализации (Be, Sn).

2. В пределах океанических террейнов в кембрии на вулканических островах накапливались мелководные высокобариевые низкостроениевые карбонатные отложения хасуртинской свиты Джидинской зоны и верхней части сорнинской свиты Батеневского крыжа. Более глубоководные

отложения содержат большое количество обломочного материала и характеризуются вышекларковыми концентрациями основных типоморфных и примесных элементов за исключением Sr, Sn и Be. Распределение элементов-примесей указывает на основной и, в меньшей мере, ультраосновной состав пород питающих провинций.

3. В обрамлении Сибирской платформы в обстановках задуговых бассейнов происходило накопление карбонатных отложений, характерной особенностью которых являются высокостропциевые-горизонты или региональные геохимические аномалии Sr, связанные с подводными поствулканическими гидротермами. Характер распределения элементов-примесей в карбонатных отложениях задуговых бассейнов указывает на то, что питающими провинциями для них послужили породы основного состава

4. Для карбонатных отложений океанических островов характерен плоский тренд распределения P3Э ($LREE/HREE < 2$), для отложений задуговых бассейнов - слабонаклонный ($2 < LREE/HREE < 4$) и пологонаклонный для карбонатов древних континентальных блоков и микроконтинентов - ($LREE/HREE < 4$). Влияние гидротерм на состав карбонатов открытого океанического бассейна прослеживается по положительным Ce и Eu аномалиям. Увеличение содержаний P3Э в карбонатных отложениях, при прочих равных условиях, происходит при повышенных концентрациях Mn в мелководных окислительных обстановках при незначительной скорости накопления.

Апробация работы и публикации. Различные положения работы выносились на обсуждение всероссийских литолого-геохимических (Сыктывкар, 2001; Москва, 2003, 2005, 2006), тектонических (Москва, 1995, 2000; Екатеринбург, 1999, 2001; Новосибирск, 2004) и различных тематических (Иркутск, 1995, 1997, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007; Екатеринбург, 2001, 2002, 2004, 2006) конференций и совещаний.

По теме диссертации опубликовано 59 работ, в том числе 10 статей в рецензируемых журналах, глава в коллективной монографии и путеводителе геологической международной экспедиции (IGCP-440).

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения общим объемом 319 страниц машинописного текста, иллюстрируется 126 рисунками и 69 таблицами, в том числе 26 в приложении. Список литературы включает в себя 194 наименования.

Благодарности. Автор благодарен своим первым учителям В.Г.Беличенко и Е.В. Складову за поддержку и интерес к проводимым исследованиям. Бесценную многолетнюю научную и моральную

поддержку при полевых и теоретических исследованиях карбонатных и терригенных комплексов оказали Ф.А.Летников, С.В.Вещева, В.В.Маркова, А.Б.Кузнецов, А.А.Постников, А.А.Терлеев, А.А.Щетников, А.В.Маслов, О.М.Туркина, А.Д.Ножкин, Н.В.Дмитрисва, Н.К.Гелстий. Автор искренне благодарен им за это и надеется на дальнейшее плодотворное сотрудничество. Обсуждения и критические замечания, а также человеческое участие В.И. Коваленко, В.В.Ярмолюка, Г.А.Мизенца, З.И.Петровой, В.А.Макрыгиной, А.Б.Кузьмичева, О.В.Япаскурта, Д.В.Метелкина, А.С.Гибшера, В.В.Пономарчука, С.Н.Руднева, В.В.Левицкого, А.Э.Изоха, М.Т.Крупенина позволили автору шире и критичнее относиться к результатам своих исследований. Аналитические исследования, результаты которых являются основополагающими в данной работе, были выполнены в столь значительных объемах благодаря трудам аналитиков - А.Г. Ревенко, Г.П.Петровой, Т.Ю.Черкашиной, Е.В.Худоговой, Г.В.Бондаревой, В.В.Щербань, И.Н.Володиной, В.В.Марковой, С.В.Лантеевой, за что автор выражает им огромную признательность. Успешному завершению работы во многом содействовало участие в ее оформлении И.В.Белоносова и В.В.Марковой.

МЕТОДИКА ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

В основу положен фактический материал, собранный автором при полевых работах 1993-2006 гг. и обработанный в Аналитических центрах ИЗК СО РАН, ИГ СО РАН, ГИН СО РАН, ОИГГМ СО РАН, ИГТД РАН, ГИН РАН и ИГТ УрО РАН. В результате проведенных работ было получено более 2 100 рентгенофлуоресцентных и спектральных анализов проб карбонатных пород, в которых были определены содержания таких редких и рассеянных элементов, как Cr, Ni, Co, Cu, V, Mn, Ti, Zr, Sr, Ba, Zn, Sc, Y, Rb, Nb, Sn, Pb, Be, методом ICP-mass проанализирован редкоземельный состав в 50 пробах карбонатных пород. На основе изучения распределения вышеперечисленных элементов в карбонатных породах южного обрамления Сибирской платформы была разработана методика диагностики карбонатных отложений различных геодинамических обстановок [Летникова, 1998, 2002, 2005; Интерпретация..., 2001].

Эти исследования были направлены на решение следующих задач: 1) реставрацию обстановок осадконакопления карбонатных отложений различной степени метаморфизма; 2) определение петрогенетического типа доминирующих и второстепенных пород питающих провинций; 3)

корреляция, на основе полученной информации, карбонатных толщ южного обрамления Сибирской платформы и выделение их общих региональных геохимических типов в зависимости от геодинамического типа осадочных бассейнов.

С этой целью автором данной работы изучались карбонатные отложения, накопившиеся в осадочных бассейнах различной геодинамической природы, которая на момент исследования была реконструирована на основе геологических, литологических особенностей и/или геохимических и изотопных данных по синосадочным терригенным и магматическим образованиям. В ряде случаев проводились дополнительные геохимические и изотопные исследования.

Региональное геохимическое изучение карбонатных пород южного обрамления Сибирской платформы заключалось в следующем:

а) Региональное геохимическое изучение практически «чистых» карбонатных пород различной степени метаморфизма с долей терригенной примеси не более 3-5%.

б) Параллельно с геохимическим опробованием велось литологическое и петрографическое изучение карбонатных пород. Особое внимание обращалось на состав некарбонатной части породы и степень ее вторичных изменений.

в) Для геохимических исследований карбонатных пород данные силикатного анализа являются малоинформативными, поэтому в работе основное внимание уделено анализу распределения редких и рассеянных элементов в карбонатных породах и поведению РЗЭ. Исследования основывались на данных РФА (Ti, Mn, Sr, Ba, Zr, Nb, Rb, Zn, Y), спектрального (Co, Ni, Cr, V, Sc, Cu, Zn, Pb, Be), нейтронно-активационного и ICP-mass (REE) методов анализа.

Определение концентраций Ti, Mn, Sr, Ba, Zr, Nb, Rb, Zn, Y в карбонатных породах проводились в Аналитическом центре ИЗК СО РАН на рентгеновском спектрометре S4 EXPLORER. Под руководством д.т.н. А.А. Ревенко (аналитики - Худоногова Е.В., Черкашина Т.Ю., Петрова Г.П.) разработана методика количественного определения методом РФА вышеперечисленных элементов, которые во многих случаях имеют низкие концентрации [Ревенко и др., 1995, 2002]. В калибровке использовались данные по химическому составу стандартных образцов из работ Лонгича С.В., Петрова Л.Л. (1988) и Govindaraju K. (1994). Для оценки точности результатов анализа во всем диапазоне содержаний определяемых элементов производились метрологические исследования, которые осуществлялись методом дисперсионного анализа с использованием

набора стандартных образцов и аттестованных смесей. Предел обнаружения, рассчитанный по критерию 3s, составил (в ppm): Zr - 0.5, Y - 0.6, Sr - 0.7, Rb - 0.8, V и Co - 1, Ni, Zn, Nb - 1.4, Pb - 1.8, Cr и Cu - 2, MnO - 2.5, TiO₂ и P₂O₅ - 6, Ba - 12.

Определения содержаний элементов (Ni, Co, Cr, Sc, V, Zr, Ba, Sr, Sn) в карбонатных породах проводились спектральным количественным и спектральным оптическим анализом на спектрографе ДФС-13 (аналитики – В.В.Щербань, Н.Н.Володина, Л.В. Воротинова). Для оценки точности результатов анализа во всем диапазоне содержаний определяемых элементов проводились метрологические исследования (дисперсия, среднее квадратичное отклонение и др.).

Определение концентраций редкоземельных и рассеянных элементов проводилось в Центре коллективного пользования ИНЦ СО РАН на приборе VG Elemental PlasmaQuad PQ2+“Turbo” методом ICP-MS (аналитики В.В.Маркова, С.В.Пантеева) по стандартной методике. Карбонатные породы подвергались открытому кислотному разложению. Использовались следующие стандарты: BHVO-1, DNC-1, JB-2, W-2, QLO-1, RGM-1, CDO-1, BIR-1. Предел обнаружения элементов методом ICP-MS (ppm): Sc - 1.7, Rb - 0.672, Sr - 1.67, Y - 0.287, Zr - 1.92, Nb - 0.982, Sn - 0.05, Ba - 2.07, La - 0.23, Ce - 0.13, Pr - 0.025, Nd - 0.064, Sm - 0.027, Eu - 0.018, Gd - 0.029, Tb - 0.008, Dy - 0.032, Ho - 0.005, Er - 0.014, Tm - 0.003, Yb - 0.013, Lu - 0.003.

Так как все последующие выводы в основном опирались на полученные аналитические данные, то часть определений были продублированы иным методом, или тем же, но в другое время, или путем сопоставления средних содержаний по толще с уже имеющимися данными. В целом, наблюдается достаточно хорошая сходимости по отдельным элементам, с небольшими расхождениями в пределах погрешности метода.

Параллельно с геохимическим, если это было возможно, проводилось изотопное исследование состава Sr, С и О (совместно с сотрудниками ИГГД РАН – А.Б.Кузнецовым, ГИН РАН – Б.Г.Покровским и ИГМ СО РАН – В.А. Понамарчуком, Г.А.Докукиной, И.А.Максимовой, О.П.Изох) в изучаемых карбонатных отложениях, а для ассоциирующих с ними терригенных отложений – исследования их петрохимических особенностей (ИЗК СО РАН – Г.В.Бондарева, Е.В. Колтунова, Н.Н.Ухова), редкоземельного состава (ИЗК СО РАН – В.В.Маркова, С.В. Пантеева) и Sm-Nd изотопных характеристик (ИГГД РАН – В.П.Ковач, ИГГ УрО РАН – Ю.Л.Ронкин) для получения более полных сведений об обстановках седиментогенеза и составе питающих провинций.

г) Для статистической обработки большого массива аналитических данных использовался кластер-анализ. Более полное описание программы и действия по ее установке приведены в работе Данилова Б.С. [Данилов, 2001]. Так, кластер-анализ R-типа проводит корреляцию между изучаемыми химическими элементами выборки. Как правило, на дендрограмме кластера выделяются две группы элементов с отрицательным коэффициентом корреляции. В первой представлены элементы, составляющие терригенную и глинистую часть породы, а во второй находятся элементы, которые изоморфно входят в собственно карбонатную часть. С помощью данных кластер-анализа R-типа можно судить о петрогенетической природе элементов и об их сонахождении в осадке [Летникова, 2000].

Кластер-анализ Q-типа разбивает выборку химических анализов проб карбонатных пород на группы и выявляет связи между ними. Для каждой из них 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, 1975]. 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 расчлененным рельефом дна бассейна, где в разрезе представлены только мелководные и глубоководные образования [Летникова, Гелетий, 2005]. С помощью этого метода можно судить о степени генетического родства изучаемых отложений либо об их чужеродности. Данные кластер-анализа Q-типа являются основой для геохимического изучения “немых”, литологически неинформативных, в том числе метаморфизованных, толщ.

Так, мрамора ольхонской, ангинской и цаган-забинской серий Западного Прибайкалья как макро-, так и микроскопически практически не различимы. При статистической обработке геохимических данных этих карбонатных пород методом кластер-анализа Q-типа и дальнейшей геохимической интерпретации полученных данных было установлено, что карбонатные породы этой серии накапливались в едином осадочном бассейне на различных глубинах в пределах мелководья [Летникова, 1998]. Так, на дендрограмме кластера не наблюдалось разделение проб карбонатных пород на ольхонскую, ангинскую и цаган-забинскую серии, а выделились две глубоководные, две переходные и четыре мелководные геохимические микрофации (глубина относительная), в различных объемах

представленные во всех сериях комплекса. Это свидетельствует о том, что существенным различием между карбонатными породами этих серий является только степень метаморфизма, а накопление их происходило в едином осадочном бассейне.

Правомерность выделения геохимических микрофаций и утверждение о том, что каждая из них отвечает определенным особенностям седиментогенеза, подтверждается выводами совместных, где это возможно, литологических и геохимических исследований [Летникова, Гелетий, 1997, 2005; Летникова и др., 2006].

д) Изучение распределения редких и рассеянных элементов в 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: относительной глубине накопления, удаленности от суши, окислительно-восстановительных условий, активности водного режима, скорости накопления и др. Изучение закономерностей их распределения имеет значение при реконструкциях геодинамических типов осадочных бассейнов и характерных для них условий обстановок седиментогенеза. Вышеперечисленные элементы рассматриваются во взаимосвязи друг с другом, и выводы об обстановках осадконакопления делаются только на основании всей совокупности 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 Mn характеризуют или окислительные мелководные обстановки, или глубоководные, где Mn имеет конкреционную природу. Корреляция этого элемента с Ti, Zr, Sr, Ba, Ni, Co, Cr позволит более корректно судить о физико-химических особенностях седиментогенеза [Летникова, Гелетий, 1997; 2005].

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 седиментогенеза. Однако, часто уже при изучении распределения этих элементов можно достаточно однозначно судить о сходстве/различии сопоставляемых осадочных комплексов [Летникова и др., 2002, 2006].

Ко второй группе относятся элементы-примеси, характеризующие состав пород питающих провинций, участвовавших в формировании

карбонатных толщ. Эти элементы, учитывая их концентрации в различных типах пород, можно подразделить на несколько геохимических специализаций: ультраосновная (Ni, Co, Cr), основная (V, Cu, Sc, Zn, Y) и кислая (Sn, Pb, Be, Zn). Граница между специализациями достаточно условна. 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 корреляция Zn, Sn, Pb, Be [Летникова, Гелетий, 1997]; в случае, когда источником сноса были породы основного состава, для которых Zn является специфичным элементом, мы видим тесную связь Zn с Cu, V, Sc [Летникова и др., 2002].

При сопоставлении геохимических характеристик карбонатных отложений все они нормировались на кларковые содержания конкретных элементов. Использовались кларки, взятые из работы А.А.Беуса (1975) (ppm): Ti – 1200, Mn – 400, Zr – 20, Sr – 610, Ba – 10, Cr – 11, Ni – 2, Co – 1, V – 20, Sc – 1, Cu – 4, Pb – 9, Zn – 20, Nb – 3, Y – 3, Sn – 0.п, Be – 0.п.

В основу интерпретации геохимических данных положены представления о миграции и особенностях осаждения редких и рассеянных элементов в бассейнах карбонатакопления. Существует четыре основных пути поступления вещества в воды бассейна седиментации – снос с суши (речной, эоловый, ледниковый, абразия береговой линии), гальмиролиз (подводное выветривание пород дна бассейна), вулканогенный, в том числе и гидротермальный, и органогенный. В осадочных бассейнах различного геодинамического типа будут преобладать разные пути поступления материала. Например, для шельфовых отложений основным источником сноса послужат породы фундамента континента или террейна кратонного типа (микроконтинента), а в формирование океанических мелководных отложений вулканических островов более существенный вклад будут вносить подводные гидротермы. На геохимический состав карбонатных отложений задуговых бассейнов повлияют процессы подводного выветривания, особенно при поступлении раскаленной лавы, и продукты вулканической (пирокластика) и гидротермальной деятельности. Различны и формы поступления вещества в карбонатный осадок. Ввиду того, что в работе рассматриваются карбонатные отложения с минимальным количеством нерастворимого остатка, то вклад терригенного (обломочного и глинистого) материала незначителен. Более существенную роль, в данном случае, будут играть сорбционный, карбонатный и окислительный геохимические барьеры [Перельман, 1981], на которых происходит осаждение растворенного вещества, взвешенных частиц различной

природы, коллоидов. Обзор по поведению рассматриваемых редких и рассеянных элементов сделан на основе следующих работ - Пустовалов и др., 1965; Перельман, 1972, 1989; Мейнард, 1985; Handerson et al., 1984; Хендерсон, 1985; Ридер и др., 1987; Лисицин и др., 1987; Юдович, 1981, 2001; Пушаровский и др., 1995; Гурвич, 1998.

Итак, в выделенных микрофациях стратиграфических подразделений изучалось распределение основных типоморфных (Ti, Mn, Zr, Sr, Ba) и примесных (Ni, Co, Cr, V, Cu, Sc, Zn, Pb, Sn, Be, Y, U и др.) элементов, а в



Рис.1. Схема расположения изученных карбонатных отложений южного складчатого обрамления Сибирской платформы.

Условные обозначения: геодинамические обстановки карбонатонакопления: 1 – субплатформенные в пределах блоков с древней континентальной корой; 2 – субплатформенные в пределах составных рифейских блоков (микроконтинентов); 3 – задуговых бассейнов; 4 – океанических островов.

Цифры в кружках – изученные стратиграфические подразделения: 1 байкальская серия, 2 – иркутная свита, 3 – шунтарская свита тунгусикской серии, 4 – боксонская серия, 5 – горлыкская свита, 6 – араошейская свита, 7 – енисейская серия, 8 – тилимская свита, 9-11 – ольхонская, ангинская, цаганзабинская серии, 12 – толтинская свита, 13 – слюдянская серия, 14 – карбонатные отложения Хайт-Тиссинского междуречья, 15 – хойгутская свита, 16 – икатская серия, 17 – баргузинская серия, 18 – селенгинская серия, 19 – хасуртинская свита, 20 – верхняя часть сорнинской свиты енисейской серии.

наиболее типичных пробах – распределение REE. На основании этого выявлялись особенности осадконакопления для каждого стратиграфического подразделения в отдельности и региона в целом. Методика фациальной диагностики и корреляции карбонатных отложений по геохимическим данным, основанная на многомерных связях широкого спектра микроэлементов, является оригинальной [Летникова 2001, 2002, 2005]. Для карбонатных толщ южного обрамления Сибирской платформы она применена впервые, как и геохимическое изучение в целом.

На основе этой методики, с привлечением геологических и геодинамических критериев, среди осадочных комплексов южного обрамления Сибирской платформы выделены три геохимических типа карбонатных отложений, накапливающихся, соответственно, в осадочных бассейнах субплатформенного и задугового типов и океанических островов (гайот) (рис.1).

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение 1. Субплатформенные карбонатные отложения древних континентальных блоков – байкальская серия, шунтарская и иркутная свиты и микроконтинентов (Тувинно-Монгольского, Батеневского и Амалатского) отлагались в мелководных обстановках и имеют однотипный характер распределения основных типоморфных элементов (Ti, Mn, Zr, Sr, Ba), при более высоких концентрациях Zr в отложениях древних континентальных блоков. Карбонатные породы континентальных блоков накапливались на сиалических породах фундамента древних платформ, а микроконтинентов - на мафических породах островных дуг и офиолитовых комплексов, что объясняет отсутствие в карбонатных отложениях микроконтинентов элементов кислой специализации (Be, Sn).

При исследовании геохимических особенностей карбонатных отложений субплатформенного типа южного обрамления Сибирской платформы были изучены шельфовые отложения ее краевых структур (Енисейский кряж, шунтарская свита – R; южное Прибайкалье, байкальская серия - V) и осадочных чехлов докембрийской Гарганской глыбы (иркутская свита - R), Тувинно-Монгольского микроконтинента (боксонская серия, горлыкская и араошейская свиты – V-Є), Батеневского кряжа (енисейская серия - V-Є) и Амалатской глыбы (тилимская свита - Є). Для них характерны мелководные шельфовые обстановки накопления при пассивном тектоническом режиме.

На основе собственных [Летникова, Гелетий, 1997; Летникова и др., 2006, 2007] и литературных данных [Ножкин и др., 2006] показано, что часть осадочных комплексов Енисейского кряжа, байкальской серии и иркутной свиты можно рассматривать как отложения пассивной континентальной окраины. Так, среди терригенных отложений Енисейского кряжа и байкальской серии преобладают аркозы и пелиты, по своим геохимическим характеристикам, в том числе редкоземельным спектрам, сопоставимые со средним постархейским сланцем (РАAS) (рис.2). Источниками сноса для этих отложений служили породы фундамента и чехла Сибирской платформы при эпизодичном вкладе более молодого ювенильного материала, что находит отражение в геохимических (рис.3) и Sm-Nd (рис.4) изотопных характеристиках обломочных пород.

Получены доказательства формирования неопротерозойских терригенных комплексов (окинская серия, Восточный Саян, хайсуинская свита, Северная Монголия) в осадочных бассейнах, обрамлявших Гарганский блок, представляющий собой в неопротерозое позднеархейский континентальный блок в пределах океана. Для этих отложений характерно присутствие Na-аркозов, являющихся продуктами разрушения плагиогранитоидов. Анализ геохимических особенностей и характера распределения РЗЭ в перечисленных выше терригенных отложениях позволяет рассматривать в качестве наиболее вероятных источников сноса раннедокембрийские породы Гарганского блока, неопротерозойские вулканы сархойской серии (рис.5), а также породы Дунжугурского офиолитового комплекса. Следует отметить существенное расхождение в распределении редких и редкоземельных элементов с РАAS, что свидетельствует о локальности бассейна седиментации. Исследованные терригенные породы имеют существенные вариации изотопных параметров: ϵNd_{800} от -0,5 до -9,1 и $T_{Nd}(DM)=1,5-2,3$ млрд. лет (рис.4), не обнаруживая закономерных вариаций в зависимости от пространственного положения. Величины модельного возраста осадков и их величины ϵNd_{800} частично перекрываются с таковыми вулканитов сархойской серии (ϵNd_{800} (от -1,4 до -5,5) и $T_{Nd}(DM)=1,6-2,0$ млрд. лет). Раннедокембрийским коровым источником служили плагиогнейсы и плагиогранитоиды Гарганского блока ($T(DM)=2,8-3,0$ млрд. лет). Участие раннедокембрийской коры окраины Сибирского кратона представляется менее вероятным. Снижение модельного возраста в терригенных отложениях окинской серии до 1,5 млрд. лет может быть следствием вклада в области эрозии неопротерозойских основных пород Дунжугурского офиолитового комплекса. Накопление терригенных отложений окинской серии и

хайсуинской свиты происходило в осадочных бассейнах краевой части Гарганского блока. В результате этого источником сноса обломочного материала, с одной стороны, была континентальная кора докембрийского фундамента массива и его активная континентальная окраина, с другой - вулканические образования энсиматических островных дуг. Таким образом, Гарганская глыба представляет собой позднеархейский блок, где в рифее происходило накопление шельфовых карбонатных отложений иркутской свиты, которое стало затухать в связи с тектонической активизацией докембрийского блока и заложением Сархойской палеодуги в его обрамлении. Подобное заключение позволяет рассматривать нам геохимические особенности этих карбонатных отложений как типичные для шельфовых отложений, накапливавшихся в рифее на отдельных мелких территориях с корой континентального типа.

Возраст карбонатных отложений данных трех комплексов определен на основе хемотратиграфических исследований (Sr, C, O) [Летникова и др., 2006, Кузнецов и др., 2006] и абсолютного датирования для пород байкальской серии [Кузнецов и др., 2006]. Так наименее измененные породы шунтарской ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.70553-0.70554$) и иркутской ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.70523-0.70552$) свит отлагались в среднем (?) - позднем рифее, а улунтуйской свиты байкальской серии ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.70842-0.70982$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ образуют линейный тренд с изохронным возрастом 550 ± 40 млн. лет (СКВО=2.4)) в позднем венде (рис.6).

Геохимические особенности карбонатных отложений древних континентальных блоков характеризуются однотипным распределением основных типоморфных и примесных элементов (рис.7, рис.8) и свидетельствуют о мелководных прибрежно-морских обстановках накопления. Для них типичны вышекларковые содержания Zr и Ba, близкие к кларку содержания Mn и преобладающие невысокие концентрации Sr даже в известковистых разностях. Это единственный тип из изученных карбонатных отложений, для которого отмечены столь высокие содержания Zr. Среди пород питающих провинций, также как и для терригенных разностей этих комплексов, преобладали гранитоиды, на что указывает присутствие среди элементов-примесей Sn и Be. Следует отметить, что более ни в одном из изученных карбонатных комплексов южного обрамления Сибирской платформы эти элементы не были обнаружены.

Шельфовые отложения в южном обрамлении Сибирской платформы присутствуют также в виде чехлов составных территорий (микроконтинентов). Фундамент этих структур имеет гетерогенное строение и сложен блоками различной литогеохимической природы

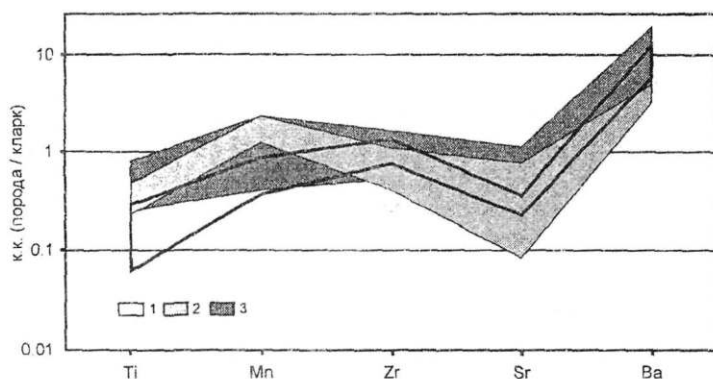


Рис.7. Распределение основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях древних континентальных блоков: 1 - байкальская серия (97 проб), 2 - иркутская свита (109 проб), 3 - шунтарская свита (96 проб).

[Беличенко, Летникова и др., 1999; Кузьмичев, 2004; Летникова, Вещева, 2005; Летникова, Гелетий, 2005]. Были изучены следующие V-С карбонатные комплексы в пределах подобных структур – боксонская серия, араошейская и горлыкская свиты (Тувинно-Монгольский микроконтинент), чарыштагская, биджинская, мартюхинская, сорнинская свиты (Батеневский краж) и тилимская свита (Амалатская глыба).

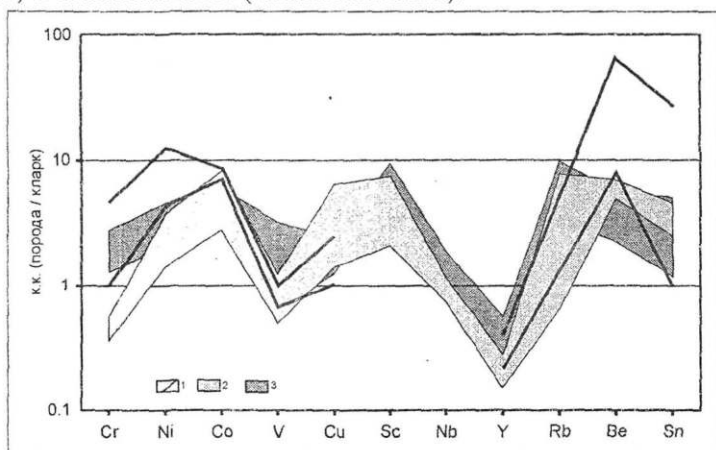


Рис.8. Распределение элементов-примесей в карбонатных отложениях древних континентальных блоков. Усл. обозн. см. рис.7.

Возраст этих карбонатных комплексов на основе методов хемотратиграфии (рис.9, рис.10) [Покровский, Летникова и др., 1999; Кузнецов, Летникова и др., 2006; Летникова и др., 2006] и находок органических остатков может быть определен как венд-кембрийский.

Геохимические исследования венд-кембрийских отложений микроконтинентов показали их значительное сходство в распределении основных типоморфных и примесных элементов (рис.11, рис.12). Для вендских шельфовых карбонатных отложений микроконтинентов 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, что было связано с двумя возможными причинами. Во-первых, отложения представлены доломитами; во-вторых, среди них достаточно широко распространены рифогенные постройки, для которых характерной геохимической чертой является обеднение пород Sr [Юдович, 1981]. Несмотря на то, что V-С карбонатные отложения образуют единые карбонатные платформы, кембрийские карбонатные отложения отличаются от вендских более низкими содержаниями Ti, Mn, Zr и более высокими - Sr и Ba (рис.3). Для венд-кембрийских карбонатных комплексов Тувино-Монгольского микроконтинента характерно подразделение только на мелководные и глубоководные геохимические микрофации, без

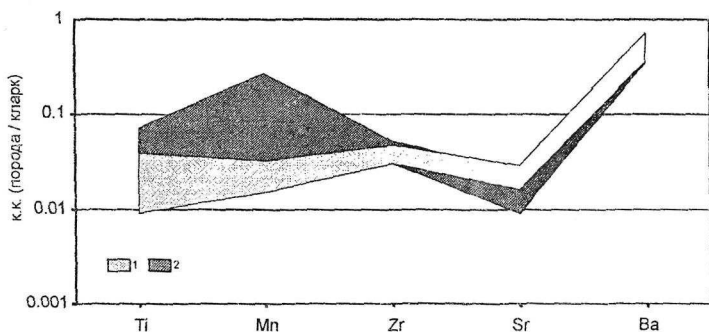


Рис.11. Распределение основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях микроконтинентов.

1 - вендские (забитская (74 пр.), горлыкская (118 пр.), чарыштагская (24 пр.), биджинская (105 пр.), мартюхинская (67 пр.), сорнинская (41 пр.), бродовская (31 пр.), богградская (37 пр.) свиты); 2 - кембрийские (табинзуртинская (80 пр.), хужиртайская (32 пр.), нюргатинская+хютенская (43 пр.), араошейская (62 пр.), тилимская (64 пр.) свиты).

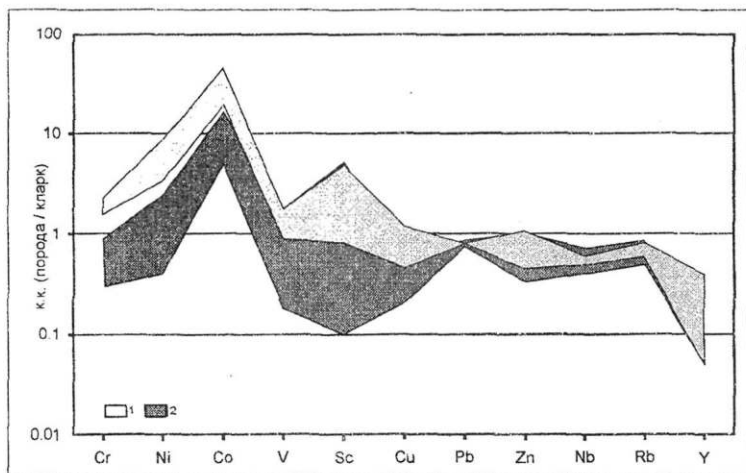


Рис.12. Распределение элементов примесей в шельфовых карбонатных отложениях Тувино-Монгольского микроконтинента, Амалатской глыбы и Батеневского кража. Усл. обозн. см.рис.11.

переходных. Это является дополнительным свидетельством в пользу предположения о сильно расчлененном рельефе дна бассейна накопления [Хераскова, Самыгин, 1992]. В целом, карбонатные отложения микроконтинентов накапливались в пределах мелководья при пассивном тектоническом режиме и отсутствии влияния на состав осадков продуктов гидротермальной и вулканической деятельности [Летникова, Гелетий, 2005; Летникова, Вещева, 2005; Летникова и др., 2006].

Распределение элементов-примесей указывает на то, что основными источниками сноса для этих отложений послужили породы основного и, в меньшей мере, ультраосновного состава (рис. 12). Подтверждением базитового состава субстрата, на котором при пассивном тектоническом режиме шло шельфовое карбонатонакопление, является ряд фактов. Тувино-Монгольский микроконтинент: 1. хромистые песчаники в нижних горизонтах боксонской серии и горлыкской свиты; 2. основной и ультраосновной состав субстрата для бокситов, входящих в состав боксонской серии (рис.13). На данной территории это породы Дунжугурского офиолитового комплекса, которые в предвентдскую коллизию были надвинуты на Гарганскую глыбу [Беличенко, Летникова, и др., 1999; Кузьмичев, 2004]. Батеневский краж : 1. оливин, серпентин, пироксен в нерастворимом остатке базальных слоев карбонатных пород.

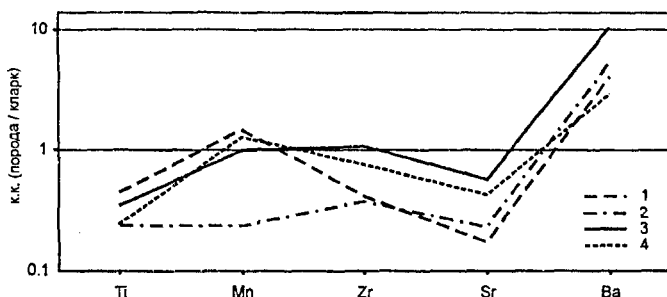


Рис. 14. Распределение основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях микроконтинентов (1 - вендских, 2 - кембрийских) и древних континентальных блоках (3- рифейских, 4 - вендских).

Амалатская глыба: 1. основной состав субстрата для высокоглиноземистых пород тилимской свиты ; 2. в терригенных породах яхшинской свиты, ассоциирующих с карбонатными отложениями тилимской свиты, среди обломков отмечены хромит, лейсты плагиоклаза, серпентин. Источники сноса по геохимическим критериям для этих пород восстанавливаются как мафические породы островных дуг и океанических островов и находят много общего в распределении РЗЭ с образованиями офиолитового Байкало-Муйского пояса [Летникова, Вещева, 2005].

При сопоставлении распределения основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях древних континентальных блоков и микроконтинентов прослеживается однотипность в их поведении (рис.14, рис.15), что свидетельствует о близких обстановках седиментогенеза в пределах мелководного шельфа при пассивном тектоническом режиме. Однако, для этих двух типов шельфовых комплексов очевидны различия в составе и характере распределения элементов-примесей. Эти отличия связаны с различной природой фундамента платформ, на которых происходило карбонатакопление. Для отложений древних континентальных блоков основными питающими провинциями служили сиалические породы фундамента Сибирской платформы и Гарганской глыбы. Для венд-кембрийских субплатформенных отложений источниками сноса были продукты разрушения кристаллических образований офиолитового комплекса и/или энзиматических островных дуг - породы основной и, в меньшей мере, ультраосновной специализаций. Суждение о том, что субплатформенные шельфовые отложения накапливаются только на фундаменте, представленном породами континентальной коры, опровергаются исследованиями венд-кембрийского чехла трех изученных

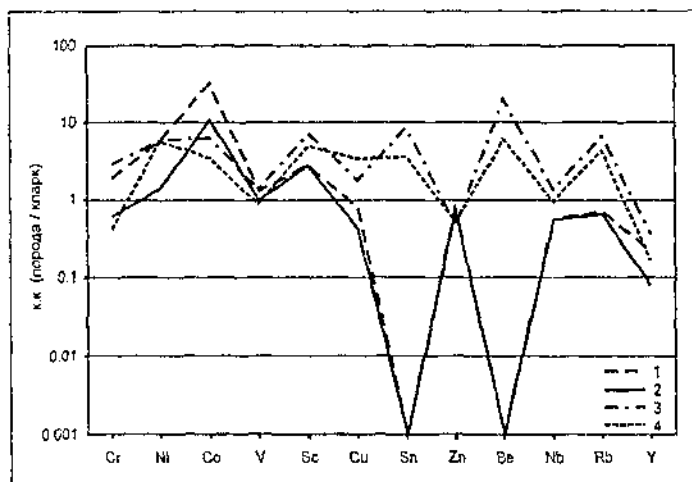


Рис.15. Распределение элементов-примесей в карбонатных отложениях микроконтинентов (1 - вендских, 2 - кембрийских) и древних континентальных блоках (3- рифейских, 4 - вендских).

микроконтинентов, в фундаменте которых в достаточном количестве присутствуют комплексы пород основного и ультраосновного составов, послуживших питающими провинциями при формировании отложений этого чехла [Беличенко, Летникова и др., 1999].

Положение 2. В пределах океанических террейнов в кембрии на вулканических островах накапливались мелководные высокobarиевые низкостроениевые карбонатные отложения хасуртинской свиты Джидинской зоны и верхней части соринской свиты Батеневского кряжа. Более глубоководные отложения содержат большое количество терригенного обломочного материала и характеризуются вышекларковыми концентрациями основных типоморфных и примесных элементов за исключением Sr, Sn и Be. Распределение элементов-примесей указывает на основной и, в меньшей мере, ультраосновной состав пород питающих провинций.

Одним из типичных представителей палеоокеанических блоков коры является Джидинский террейн, в его строении основное место занимают венд-раннепалеозойские офиолитовые и островодужные комплексы [Кузьмин и др., 1995; Альмухамедов и др., 1996]. Внутриплитовые вулканы среди них образуют относительно компактную по составу группу пород, представленных базальтами и трахибазальтами. Геохимические особенности

этих магматических образований являются характерной чертой вулканитов океанических островов [Альмухамедов и др., 1993]. В Джидинской зоне внутриокеанические субщелочные базальты всюду ассоциируют с раннекембрийскими археоциатовыми и водорослевыми известняками хасуртинской свиты. В результате проведенных нами литологических исследований установлено, что они представляют собой мелководные осадки, накапливающиеся на вершинах океанических островов [Беличенко и др., 1996]. Большая часть карбонатных отложений формировалась в приповерхностных условиях мелководья на вершинах подводных гор. На их склонах и террасах накапливались обвально-оползневые грубообломочные и несортированные отложения гравитационно-оползневого происхождения. Основными компонентами их являлись обломки карбонатных пород с примесью глинистого, кремнистого и вулканогенного материала. Это позволяет объяснить присутствие мелководных карбонатных отложений среди пород ассоциации океанического дна, в том числе глубоководных кремнистых и глинистых осадков, и сделать вывод о практически синхронном их формировании в пределах одного осадочного бассейна.

При литолого-геохимических исследованиях карбонатных пород в пределах Джидинской зоны (р.р. Цакирка, Хасурга, Хохюрта, Биту-Джида, Оронгодой, Тологой и их междуречья) нами выделено два типа карбонатных отложений (микрофаций): мелководные и переходно-глубоководные (глубина относительная). Мелководные отложения Джидинской зоны содержат минимальные количества терригенной примеси относительно более глубоководных осадков данной структуры. Для них характерны невысокие содержания всех рассмотренных редких и рассеянных элементов за исключением Ва (рис. 16). Следует отметить очень низкие содержания Sr (в среднем не более 100 г/т) в изученных известняках, что является типичным для рифогенных образований [Юдович, 1981]. С другой стороны, отложения этого типа характеризуются очень высокими содержаниями Ва (с максимальными значениями до 2%). В шлифах четко видны зерна барита в мелкозернистой карбонатной массе при отсутствии прожилков. Это является свидетельством того, что аномально высокие концентрации Ва имели синседиментационную природу.

Переходно-глубоководные микрофации соответствуют склонам подводных гор, где значительную роль в формировании данных типов отложений играл обломочный материал, образовавшийся в результате эрозийного или тектонического разрушения подводных гор. Для этих микрофаций отмечаются вышекларковые содержания Ti, Mn, Zr, Ba и

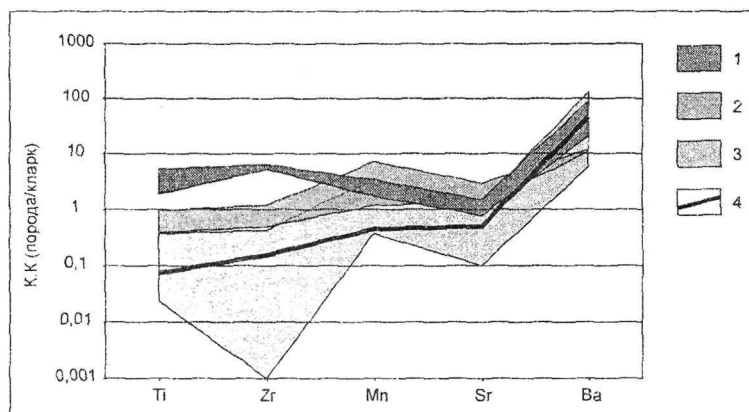


Рис. 16. Сопоставление распределения основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях Джидинской зоны (микрофации: 1 - глубоководные (48 пр.), 2 - переходные (37 пр.), 3 - мелководные (74 пр.)) и сорнинской свиты (26 пр.).

нижекларковые Sr (рис.16.). Питающие провинции карбонатных отложений Джидинской зоны были сложены породами основной (V, Cu, Zn, Sc, Y, Nb) и ультраосновной (Cr, Ni, Co) специализаций (рис.17).

В результате проведенных региональных геохимических исследований карбонатных отложений впервые для данного региона в пределах океанического Джидинского террейна выделена региональная геохимическая бариевая аномалия с максимальными значениями 1-2% и средними – 4000-8000 г/т. Накопление бария происходило в мелководных лагунах на вершинах подводных гор. Барий в карбонатных породах образует собственный минерал – барит. Как известно, в современных металлоносных осадках океанов барит является главным носителем бария, который поступает в воды океана при разгрузке низкотемпературных гидротерм на удалении от осевых зон срединно-океанических хребтов совместно с Fe и Mn [Гурвич, 1998]. Fe^{2+} окисляется при более низких значениях Eh, чем Mn^{2+} , поэтому железо осаждается в непосредственной близости от источника, а марганец и далее барий – на удалении от него [Мейнард, 1985]. Также отмечено, что на осаждение Ba влияют биологические процессы, и его выпадение из раствора нередко происходит отдельно от двух вышеперечисленных элементов [Гурвич, 1998]. Именно с этой позиции нами и объясняется поступление Ba с низкотемпературными рудоносными гидротермами и дальнейшее осаждение этого элемента в

дистальных частях СОХ на удалении от источника поступления, казалось бы, вне связи с другими элементами металлоносных осадков.

Содержание РЗЭ в карбонатных отложениях Джидинской зоны изменяется от 17 г/т в мелководных до 170 г/т в глубоководных разностях. Это единственный из всех изученных карбонатных комплексов в обрамлении платформы, где для мелководных отложений характерна положительная Eu-аномалия ($Eu/Eu^*=1,1$) и плоский тренд распределения РЗЭ ($LREE_n/HREE_n=1,87$) с отсутствием Ce-аномалии ($Ce_n/Ce^*=1,008$) (рис.18). От вмещающих фоновых известняков карбонатные баритсодержащие отложения отличаются значительно более высоким содержанием РЗЭ (320-410 г/т), увеличением доли легких лантаноидов относительно тяжелых ($LREE_n/HREE_n=2,57$) и, вследствие этого, слабонаклонным трендом распределения РЗЭ, а также отрицательной Ce аномалией ($Ce_n/Ce^*=0,69$). Следует отметить, что баритсодержащие карбонатные отложения наследуют нехарактерную для морских осадков положительную Eu аномалию ($Eu_n/Eu^*=1,4$), что является типоморфной особенностью баритовых осадков, генетически связанных с гидротермами [Гурвич, 1998].

Проведенное сопоставление геохимических характеристик карбонатных отложений Джидинской зоны с другими изученными карбонатными комплексами в пределах южного обрамления Сибирской платформы позволило выделить еще один объект, соответствующий данным обстановкам накопления. Это отложения верхней части сорнинской свиты, выделенные нами из венд-кембрийского разреза енисейской серии, накапливавшейся в осадочном мелководном бассейне при пассивном тектоническом режиме [Летникова и др., 2006].

Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в карбонатных породах верхней части сорнинской свиты варьирует в пределах 0.7081-0.7085 и характерно для карбонатов отлагавшихся в Мировом океане в самом конце венда и начале кембрия (590-530 млн. лет). Значения $\delta^{13}C$ вверх изменяются от +0,54‰ до +3,71‰ и устойчиво находятся в положительной части кривой, что хорошо согласуется с данными по стронциевой изотопии [Летникова и др., 2006] и находками мелкораквинной фауны [Козьмин, 2000, Терлеев и др., 2004].

Выше по разрезу залегают терригенно-вулканогенные отложения кутенбулукской свиты. В пределах свиты повсеместно встречаются крупные глыбы массивных рифогенных известняков. Общее строение кутенбулукской и верхней части сорнинской свиты указывает на накопление их в пределах подводного поднятия, где на мелководье накапливались рифогенные карбонатные отложения, а в отдельных лагунах

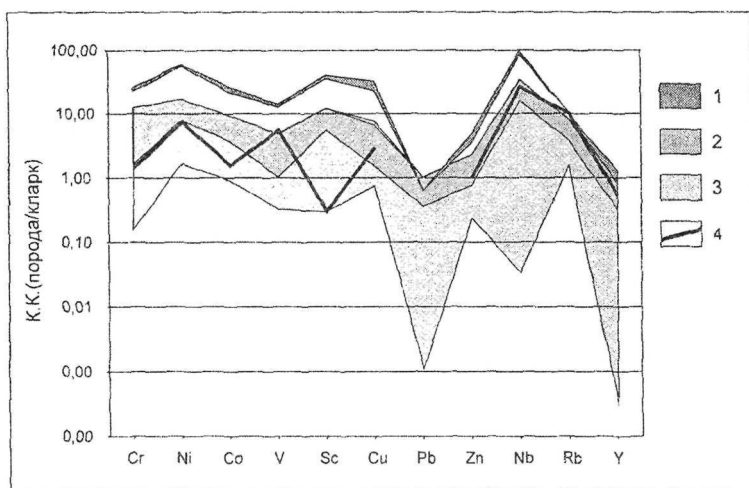


Рис.17. Сопоставление распределения элементов-примесей в карбонатных отложениях Джидинской зоны и верхней части сорнинской свиты. Усл. обозн. см. рис.16.

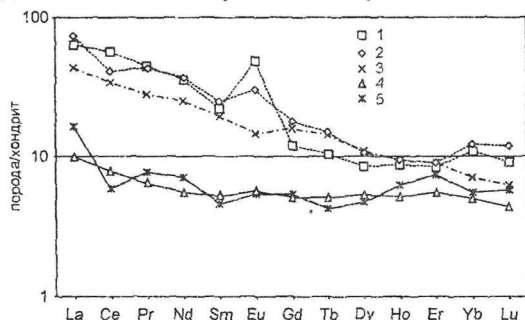


Рис.18. Сопоставление распределения РЗЭ в карбонатных отложениях Джидинской зоны (2, 3, 4) и верхней части сорнинской свиты (1, 5).

отлагался тонкий глинисто-туфогенный материал. В связи с резким перепадом глубин у подножья возвышенности в достаточно глубоководных обстановках формировались грубообломочные отложения. Эти обстановки седиментогенеза в совокупности с геохимическими характеристиками вулканических образований [Козьмин, 2000], распространенных на данной территории, аналогичны современным океаническим островам. Подтверждением этому являются также и геохимические характеристики карбонатных отложений верхней части сорнинской свиты, имеющие аналогичный тип распределения основных

типоморфных, примесных и РЗ элементов с таковыми Джидинской зоны (рис. 16, 17, 18).

В целом, на примере карбонатных отложений изученных структур - Джидинской зоны и Батеневского кряжа, для кембрийских карбонатных отложений океанических островов в пределах южного обрамления Сибирской платформы характерны: 1. два геохимических типа, характеризующие мелководные и переходно-глубоководные отложения. Наиболее геохимически «чистыми» с минимальным количеством терригенной и вулканомиктовой составляющей являются карбонатные отложения, которые накапливаются в мелководной обстановке на вершинах вулканических островов. Для них характерны значительно ниже кларковых содержания Ti, Zr, Mn, невысокие концентрации Sr, несмотря на то, что основная часть разреза сложена известняками, и превышающие в 50 и более раз кларк содержания Ba. Переходно-глубоководные карбонатные отложения содержат до 20 % терригенной и вулканогенной примеси, вследствие чего содержания всех рассмотренных элементов значительно выше кларка для карбонатных пород. Возможно, сопоставлять глубоководные отложения этого типа, содержащие большое количество терригенной примеси, с практически чистыми (1-3% примеси) карбонатными отложениями не совсем корректно, однако они являются индикаторными для данного геодинамического типа обстановок накопления. 2. Среди пород питающей провинции отсутствуют породы кислого состава и преобладают породы основной и, в меньшей мере, ультраосновной специализаций. 3. Для мелководных карбонатных отложений характерен плоский тренд распределения со слабо выраженной Eu положительной аномалией. Следует отметить, что подобный тип распределения резко отличается от всех прочих изученных карбонатных отложений в пределах северного сегмента Палеоазиатского океана и является типоморфным для отложений океанических островов [Летникова, 2003].

Этот тип осадконакопления является индикаторным для океанических террейнов и приведенная схема седиментогенеза объясняет присутствие среди глубоководных комплексов, накапливающихся при активном тектоническом режиме, мелководных сингенетичных химически чистых карбонатных отложений.

Положение 3. В обрамлении Сибирской платформы в обстановках задуговых бассейнов происходило накопление карбонатных отложений, характерной особенностью которых являются высокостроениевые горизонты или региональные геохимические аномалии Sr, связанные с подводными поствулканическими гидротермами в пределах бассейна седиментации. Характер распределения элементов-примесей в карбонатных отложениях задуговых бассейнов указывает на то, что при формировании осадков этого типа источниками материала были породы основного состава.

Основными геологическими критериями для выделения этих бассейнов являются следующие [Литогеодинамика..., 1998; Геодинамические..., 1989]: 1. преимущественно базитовый тип коры; 2. двучленное строение осадочной толщи: нижняя – вулканогенно-осадочная, верхняя – осадочная; 3. присутствие древних вулканических построек наземного или подводного типа и, следовательно, продуктов поствулканической гидротермальной деятельности; 4. наблюдается быстрая смена фаций вкрест простирания и в этом же направлении уменьшается доля вулканогенного материала, то есть более глубоководные части разреза менее обогащены этой составляющей; 5. для многих задуговых бассейнов характерны обширные шельфы с активным карбонатонакоплением подобно обстановкам континентальной окраины. Конкретных террейнов, отвечающих обстановкам задуговых бассейнов в пределах северного сегмента Палеоазиатского океана, ранее не выделялось. Однако при анализе известных ранее геологических и изотопных [Боос, 1981; Бибилова и др., 1990; Котов и др., 1997; Федоровский, 1997; Осокин и др., 1989] и полученных нами геолого-геохимических данных все вышеперечисленные характеристики задуговых бассейнов находят отражение в геолого-геохимических особенностях карбонатных комплексов в обрамлении юга Сибирской платформы. В результате региональных геолого-геохимических исследований к отложениям задуговых бассейнов были отнесены нижнепалеозойские фаунистически охарактеризованные карбонатные отложения Хайт-Тиссинского междуречья, толтинской свиты (ранний палеозой) [Бутов, 1996; Боос, 1991] и метаморфизованные от зеленосланцевой до гранулитовой фаций метаморфизма образования икатской, баргузинской, хойготской, слюдянской, селенгинской, ольхонской, ангинской и цаган-забинской серий (Рис.1). Следует отметить, что для изученных карбонатных комплексов был получен очень ограниченный диапазон их геохимических составов на основе более 1100

анализов (Рис.19). Это указывает на то, что их накопление происходило в сходных физико-химических и геодинамических обстановках.

По своим геохимическим параметрам карбонатные отложения этого типа имеют значительное сходство в распределении ряда основных типоморфных и примесных элементов с разновозрастными шельфовыми субплатформенными толщами (рис.19). Для исследованных карбонатных комплексов отмечены нижекларковые содержания Ti, Mn, Zr. Наиболее обогащены этими элементами мелководные отложения, и по мере углубления бассейна наблюдается уменьшение их содержаний. Основные отличия наблюдаются в распределении Sr и Ba (рис.19). Эти элементы попадают в бассейн седиментации задуговых карбонатных отложений в результате поствулканической гидротермальной деятельности. Во всех вышеперечисленных стратиграфических подразделениях отмечаются высокостронциевые горизонты (в среднем 1000-2500 г/т, до 7000 г/т). Для карбонатных отложений Хайт-Тиссинского междуречья отмечена региональная геохимическая стронциевая аномалия со средними значениями 1500-6000 г/т и максимальными – 1,3 вес.%. Питающими провинциями для данных толщ являются породы основной и ультраосновной специализаций (рис.19).

Все эти стратиграфические подразделения образуют прерывистую полосу вдоль южного фланга Сибирской платформы и протягиваются более чем на 1000 км (Рис1). Ранее они не рассматривались совместно и, следовательно, относились к разным в геодинамическом и возрастном плане осадочным бассейнам.

Проведенный сравнительный геохимический анализ разновозрастных карбонатных отложений всех трех выделенных типов карбонатакопления в северо-восточном сегменте Палеоазиатского океана показал значительные отличия в характере распределения основных типоморфных и примесных элементов среди них (таб.1, 2, рис.19, 20, 21), то есть полученные геохимические типы могут служить дополнительным критерием при корреляции и реконструкции обстановок накопления карбонатных комплексов, в том числе «немых» или метаморфизованных.

Положение 4. Для карбонатных отложений океанических островов характерен плоский тренд распределения REE ($LREE/HREE < 2$), для отложений задуговых бассейнов слабонаклонный ($LREE/HREE$ от 4 до 2) и положононаклонный для карбонатов древних континентальных блоков и микроконтинентов - ($LREE/HREE$ выше 4). Влияние гидротерм на состав карбонатного осадка открытого океанического бассейна прослеживается

по положительным Ce и Eu аномалиям. Увеличение содержаний PЗЭ в карбонатных отложениях, при прочих равных условиях, происходит при повышенных концентрациях Mn в мелководных окислительных обстановках при незначительной скорости накопления.

Следующим шагом в исследованиях геохимических характеристик карбонатных отложений стало изучение распределения REE в трех выделенных типах - субплатформенном, задуговых бассейнов и океанических островов. Среди изученных пород были как практически неизменные, так и метаморфизованные до амфиболитовой фации карбонатные отложения. Следует отметить, что при дальнейших преобразованиях карбонатных пород – метаморфических и метасоматических - редкоземельные элементы остаются немобильными и не участвуют в процессах массопереноса [Handerson, 1984; Мигдисов и др., 1994]. Ярким примером этого могут служить изученные нами карбонатные отложения икатской серии, представленные мраморизованными известняками. В целом, отложения содержат незначительное количество терригенной примеси и низкие концентрации редких и рассеянных элементов. Исключение составляют несколько проб, отобранных в правом борту реки Гарга ниже слияния с р. Подикат. В ряде проб обнаружены содержания Pb до 550 г/т и Be – 150 г/т, что превышает кларк в 50 и 1500 раз соответственно. При петрографических исследованиях этих карбонатных отложений в шлифах в достаточно большом количестве были встречены микроклин и мусковит, т.е. данные породы были интенсивно подвергнуты вторичным гидротермальным изменениям, но при этом концентрации PЗЭ и характер их распределения остались аналогичными вмещающим неизменным карбонатным отложениям икатской серии [Летникова, 2003, 2004].

Содержания REE в карбонатных породах южного обрамления Сибирской платформы колеблются в интервале от 2,5 до 70 г/т. С увеличением доли обломочного материала возрастает доля LREE, а с ее уменьшением падает общее содержание REE, но возрастает доля HREE (рис.22)[Мигдисов и др., 1994]. Не последнюю роль здесь также играют подводные гидротермы, которые способствуют обеднению осадка LREE за счет их осаждения на гидрооксигидратах железа и марганца [Дубинин, 2006]. Таким образом, вариации в отношениях LREE к HREE отражают физико-химические и геодинамические особенности обстановок седиментогенеза. Так, отношение LREE/HREE в субплатформенных отложениях юга Сибири выше 4; для пород активной континентальной

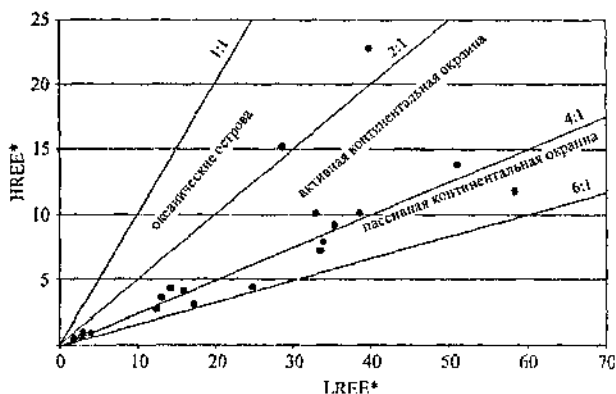


Рис. 23. Вариации отношения LREE/HREE в карбонатных отложениях различных геодинамических обстановок южного обрамления Сибирской платформы.

окраины это отношение LREE/HREE изменяется от 4 до 2, а для осадков океанических островов оно менее 2 (рис.23).

Среди изученных нами осадочных комплексов наиболее высокие значения REE отмечены для мелководных образований боксонской и байкальской серий, отличительной особенностью которых является присутствие рассеянных вкраплений и стяжений окислов железа и марганца (рис. 24), указывающих на повышенный окислительный потенциал среды накопления. Напротив, для глубоководных марганцевых руд Икатского месторождения, скорость накопления которых была достаточно высокой [Гурвич, 1998], аномально высоких содержаний REE не отмечается. Таким образом, высокие концентрации редкоземельных элементов, а также марганца и железа в мелководных карбонатных отложениях с минимальными содержаниями терригенной примеси могут свидетельствовать о низкой скорости седиментогенеза.

Практически для всех изученных образцов характерен Eu-минимум. Лишь для мелководных отложений океанических островов отмечается небольшая положительная аномалия ($Eu/Eu^* = 1.105$) (рис.18). Как упоминалось выше, для баритов Джидинской зоны и Батеневского кража, приуроченных к вершинам гайот, типичен ярко выраженный Eu-максимум, генетически связанный с подводными гидротермами [Летникова, 2006]. Другим элементом, способным переходить в раствор, является Се. Для него свойственно окисление до четырехвалентного состояния и перераспределение из осадка в морскую воду. Для части карбонатных отложений южного обрамления Сибирской платформы отмечена

отрицательная Се-аномалия. Это связывают с подводными гидротермами, когда в результате этого процесса в бассейн седиментации в большом количестве поступают гидроксиофосфаты Fe и окислы Mn, которые способствуют осаждению Се [Гурвич, 1998], т.е. Се-максимум в осадке свидетельствует о влиянии на состав отложений элементов, привносимых гидротермами. Этот механизм прослеживается для марганцевых руд и вмещающих карбонатных отложений икатской и цаган-забинской серий в пределах древних задуговых бассейнов. Так, для вмещающих отложений отмечен слабый Се-минимум ($Se/Se^* 0,42-0,44$), а для Mn-руд характерен Се-максимум (2,4-2,8). Содержания Се (65 г/т) в рудах Икатского месторождения резко преобладают над всеми другими REE и содержаниями этого элемента во вмещающих карбонатных породах (Се - 1,84 г/т). Для карбонатных отложений базальных горизонтов байкальской серии также характерно наличие Се-максимума ($Se/Se^* 1,62-1,68$), но аномальное поведение данного элемента в этом случае объясняется накоплением в застойных лагунах при анаэробных обстановках седиментогенеза [Летникова и др., 2005]. Для остальных карбонатных отложений южного складчатого обрамления Сибирской платформы Се аномалии не выявлены ($0,8 < Se/Se^* < 1,05$).

В целом, полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования REE в карбонатных отложениях при корреляциях и геодинамических реконструкциях.

Заключение

1. На основе анализа полученных геолого-геохимических характеристик карбонатных отложений в южном обрамлении Сибирской платформы можно выделить следующие типы геодинамических обстановок, благоприятных для накопления карбонатных отложений – рифейские и венд-кембрийские субплатформенные, раннепалеозойские задуговых бассейнов и раннекембрийские океанических островов (гайот).

2. Изменение обстановок карбонатонакопления во времени связано с процессами эволюции Палеоазиатского океана. Так, в рифее в юго-западной краевой части Сибирской платформы и на небольших изолированных террейнах с корой континентального типа (Гарганская глыба) происходило накопление мелководных шельфовых карбонатных отложений, геохимическими особенностями которых является вышекларковое содержание Zr и Ba, а также элементов кислой специализации – Pb, Sn, Zn и Be. В венде в юго-восточной краевой части Сибирской платформы формировались схожие в литологических и

геохимических особенностях с рифейскими карбонатные шельфовые осадки пассивной континентальной окраины. В венде на вновь созданных составных террейнах (Тувинно-Монгольском, Батеневском и Амалатском) начинается накопление шельфовых отложений, также отвечающих субплатформенным характеристикам. Для нижних частей разреза характерны вышекларковые содержания Mn, Ni, Co, Sc. Выше по разрезу наблюдается уменьшение содержаний всех основных типоморфных и примесных элементов, и эти отложения из всех изученных являются наиболее химически чистыми. В раннем палеозое в обрамлении Сибирской платформы в обстановках задуговых бассейнов происходило накопление осадочно-вулканогенных толщ. Карбонатные отложения, входящие в их состав, при близких геохимических характеристиках с одновозрастными субплатформенными отложениями отличаются повышенными содержаниями Ba и очень высокими концентрациями Sr. В кембрии в пределах островодужных террейнов на вулканических постройках формировались мелководные карбонатные микроплатформы гайоты). 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 элементов-примесей кислой специализации – Pb, Sn, Be.

Список основных работ по теме диссертации.

Летникова Е.Ф., Гладкочуб Д.П. Петрохимическая характеристика и условия образования карбонатных пород Приольхонья //Геология Восточной Сибири. Иркутск: ИЗК, 1993. С.27-36.

Летникова Е.Ф. Геохимические критерии карбонатных толщ Юго-Восточного Саяна, сформировавшихся в различных геодинамических обстановках //Тектоника осадочных бассейнов Северной Евразии. Мат. сов. Москва: МГУ, 1995. С. 97-99.

Беличенко В.Г., Гелетий Н.К., Летникова Е.Ф. Карбонатные отложения островодужных серий венда-кембрия Джидинской зоны (Восточная Сибирь) // Доклады Академии Наук. 1996. №1 С. 78-81

Летникова Е.Ф., Гелетий Н.К. Геохимические особенности карбонатакопления чехла Гарганской глыбы (юго-восточная часть Восточного Саяна) //Геология и геофизика. 1997. Т.38. №10. С.1614-1619

Летникова Е.Ф., Беличенко В.Г. Геодинамическая модель накопления чехла Тувинно-Монгольского микроконтинента (на основе геохимических данных) // Геодинамика, принципы и методы палеотектонических реконструкций на примере

складчатых поясов Центральной Азии. Мат. сов. Ташкент: Государственный университет. 1997. С. 55-57.

Летникова Е.Ф. Геохимические особенности седиментогенеза карбонатных толщ Приольхонья //Геология, петрология, металлогения метаморфических и магматических комплексов Восточной Сибири. Иркутск: ИГУ, 1998. С.98-114.

Летникова Е.Ф., Беличенко В.Г. Хемостратиграфия карбонатных толщ как дополнительный метод решения геодинамических задач (на примере южного складчатого обрамления Сибирской платформы). //Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. М.: ГЕОС, 1999, т. 1, с. 365-368.

Беличенко В.Г., Летникова Е.Ф., Гелетий Н.К. Геологические особенности карбонатных отложений чехлов Тувино-Монгольского микроконтинента.// Доклады РАН, 1999, т. 364, № 1, с. 80-83.

Покровский Б.Г., Летникова Е.Ф., Самыгин С.Г. Изотопная стратиграфия боксонской серии, венд - кембрий Восточного Саяна. //Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1999, т. 7, № 3, с. 23-41.

Летникова Е.Ф. Использование геохимических особенностей карбонатных отложений при реконструкциях обстановок седиментогенеза в складчатых поясах. //Эволюция осадочных бассейнов и закономерности их строения. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН. 2000. с.195-199

Летникова Е.Ф., Школьник С.И. Осадочные серии северного сегмента Палеоазиатского океана и их роль в террейновом анализе. //Общие вопросы тектоники. Тектоника России. Мат. сов. М.: Геос. 2000. с. 301-304.

Летникова Е.Ф. Использование геохимических данных при изучении осадочных пород //Интерпретация геохимических данных. Под ред. Е.В.Склярова. М.: Интернет-инженеринг, 2001, с.102-134.

«Assembly and breakup of Rodinia supercontinent: evidence from South Siberia (Guidebook Workshop IGCP-440)» //Sklyarov E.V., Gladkotchoub D.P., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Belichenko V.G., Letnikova E.F., Khain E.V., Kuzmichev A.B., Konstantinov K.M., Bragina A.A. Irkutsk, 2001. 138 p.

Летникова Е.Ф. Использование геохимических характеристик хемоорганогенных отложений при реконструкциях особенностей седиментогенеза в складчатых поясах. //Осадочные бассейны Урала: закономерности строения и минерализации. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2001. с.195-199.

Летникова Е.Ф. Геохимические типы обстановок карбонатонакопления северного сегмента Палеоазиатского океана //Литоология и нефтегазоносность карбонатных отложений. Материалы Второго Всероссийского литологического совещания. Сыктывкар: Геопринт. 2001. С. 42-43

Летникова Е.Ф., Донская Т.В., Школьник С.И. О северной границе Тувино-Монгольского микроконтинента. //Доклады РАН. 2002. Т.382. №2. С.238-241

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

Летникова Е.Ф. Распределение РЗЭ в карбонатных отложениях различных геодинамических типов (на примере южного складчатого обрамления) // ДАН. 2003. т.393. №2. С. 235-241

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. Мат. сов. 2003. Иркутск: ИГ СО РАН. С.154-157

Кузнецов А.Б., Анисимова С.А., Мельников Н.Н., Гелетий Н.К., Дольник Т.А., Летникова Е.Ф. Изотопная хемотратиграфия байкальской серии юго-западного Прибайкалья: предварительные данные // Изотопная геохронология в решении проблем геодинамики и рудогенеза Санкт-Петербург: ИГД СО РАН. 2003. с.233-236

Летникова Е.Ф. Геохимия и минералогия карбонатных комплексов северного сегмента Палеоазиатского океана как отражение геодинамических обстановок их формирования // Карбонатные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий: седименто- и литогенез, минералогия. Матер. совещ. Екатеринбург: Изд. ИГТ УрО РАН. 2004. с.

Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Вещева С.В. Результаты геохимических и изотопных исследований отложений байкальской серии - схождения и расхождения с биостратиграфическими и историко-геологическими методами // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Матер. сов. Иркутск: ИЗК СО РАН. 2004

Летникова Е.Ф., Вещева С.В. Критерии диагностики карбонатных комплексов океанических островов (на примере Джидинской зоны) // Эволюция тектонических процессов в истории Земли. Матер. тектонического совещания. 2004. Новосибирск: «Гео». с.293-296

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. Геохимическая специфика карбонатных отложений различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента Палеоазиатского океана // Литосфера. 2005. №1. с.70-81

Летникова Е.Ф., Вещева С.В. Геохимическая специфика осадочных комплексов Баргузинского террейна как отражение геодинамических обстановок их

седиментогенеза //Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Матер. сов. Иркутск: ИЗК СО РАН. 2005. с.29-32

Летникова Е.Ф., Танькин М.С., Терлеев А.А. Первые результаты геохимических и изотопных исследований карбонатных отложений Батеневского кряжа //Мат. IV Всероссийского литологического совещания «Осадочные процессы - седиментогенез, литогенез, рудогенез» Москва. 2006. с.352-354

Летникова Е.Ф. Распределение РЗЭ в раннепалеозойских марганцевых рудах и барийносных отложениях северной части Палеоазиатского океана //Материалы XVI Международной школы по морской геологии. Москва. 2005. с.285-286

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 //ДАН. 2006. т.409. №2. С.818-823.

Маслов А.В., Летникова Е.Ф., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Крупенин М.Т., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Дмитриева Н.В. Глинистые сланцы рифея южного Урала, Учуро-Майского регионов и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики //Литологические аспекты геологии слоистых сред. Мат. сов. 2006. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН. С.175-183

Кузнецов А.Б., Летникова Е.Ф., Постников А.А., Терлеев А.А., Гелетий Н.К., Вещева С.В. Sr-изотопная хемотратиграфия карбонатных отложений Центральной Азии: предварительные данные //Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. Мат.сов. 2006. Иркутск: ИЗК СО РАН. т.1. с.192-193

Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Туркина О.М., С.В. Вещева, Ронкин Ю.Л., Максимова И.А. Геохимическая и изотопная (Sr и Sm-Nd) характеристика докембрийских отложений Тувино-Монгольского массива //Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск: ИЗК СО РАН. 2007. т.1. с 148-150.

Вещева С.В., Туркина О.М., Летникова Е.Ф., Ронкин Ю.Л. Геохимические и Sm-Nd изотопные характеристики неопротерозойских терригенных отложений Тувино-Монгольского массива // ДАН. 2008. т.418. №4

Технический редактор О.М.Вараксина

Подписано к печати 22.11.2007

Формат 60х84/16. Бумага офсет №1. Гарнитур Таймс. Офсетная печать.

Печ. л. 1,9. Тираж 110. Заказ 278

НП АИ «Гео», 630090, Новосибирск, пр-т ак. Коптюга, 3

Типы обстановок	Ti	Mn	Zr	Sr	Ba
Субплатформенные древних континентальных блоков, R	421	398	27	346	105
Субплатформенные древних континентальных блоков, V	288	704	17	215	42
Субплатформенные микроконтинентов, V	720	684	10,4	67	38
Субплатформенные микроконтинентов, С	250	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



Таблица 1. Средние содержания (г/т) основных типоморфных элементов в карбонатных отложениях различных геодинамических обстановок южного обрамления Сибирской платформы.

Примечание: 1 - вышескарловые концентрации, 2 - содержания элементов близкие к кларку, 3 - нижескарловые. * - наряду с высокими содержаниями, для отложений этого типа отмечены нижескарловые содержания Sr. Кларк (г/т) элементов для карбонатных пород приведен по А.А.Беусу [Перельман, 1979].

Типы обстановок	Cr	Ni	Co	V	Cu	Pb	Sn	Zn	Be	Y	Nb	Rb	Sc
Субплатформенные древних континентальных блоков, R	11	8,6	7,1	20	11	9	1	20	0,8	12	н.о.	н.о.	н.о.
Субплатформенные древних континентальных блоков, V	2	4,2	3,3	19	3,6	9	0,33	н.о.	0,58	5,1	2,8	8,8	3,5
Субплатформенные микроконтинентов, V	17	25	3,6	27	3	4,5	0	13	0	39	1,1	1,9	4
Субплатформенные микроконтинентов, С	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	212	6,3	0	82	0	27	27	30	37
Кларк	11	2	0,1	20	4	9	0,1	20	0,1	30	2	3	1

Таблица 2. Средние содержания (г/т) элементов-примесей в карбонатных отложениях различных геодинамических обстановок южного обрамления Сибирской платформы. Усл. обозн. см. табл. 1.

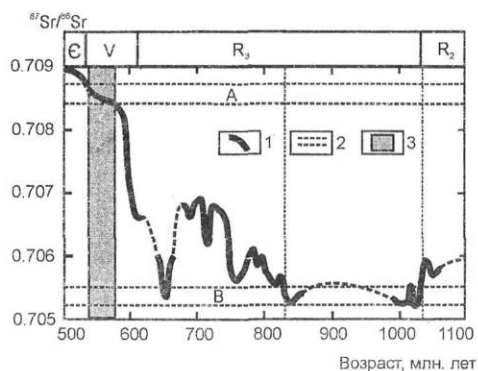


Рис. 6. Изотопный состав стронция в карбонатных отложениях байкальской серии (А) и иркутской и шунтарской свит (В) в сравнении с кривой эволюции $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в неопротерозойском океане [по Кузнецову и др., 2003].

Условные обозначения: 1. кривая эволюции $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в неопротерозойском океане; 2. граница $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношений в наименее измененных карбонатных породах; 3. возрастной интервал, соответствующий времени накопления карбонатных отложений байкальской серии.

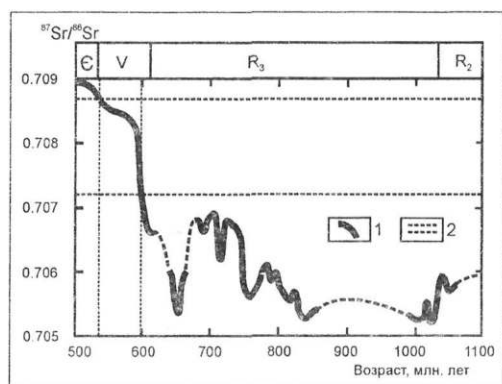


Рис. 9. Изотопный состав стронция в карбонатных отложениях боксонской и снисейской серий в сравнении с кривой эволюции $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в неопротерозойском океане [по Кузнецову и др., 2003].

Условные обозначения: 1. кривая эволюции $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в неопротерозойском океане; 2. граница $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношений в наименее измененных карбонатных породах; 3. возрастной интервал, соответствующий времени накопления карбонатных отложений боксонской и снисейской серий.

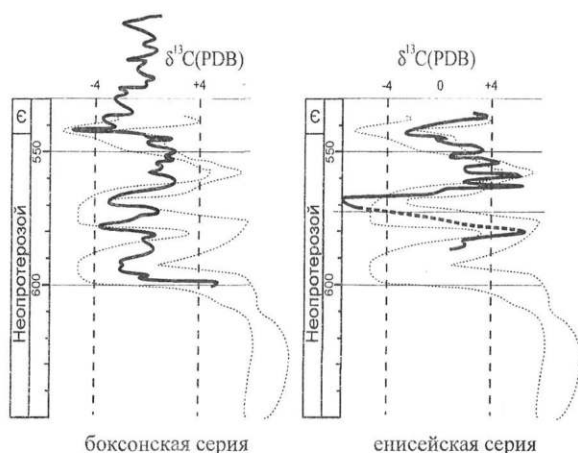


Рис. 10. Сопоставление изотопного состава углерода карбонатных отложений боксонской и снисейской серий с обобщенной кривой (Brasier et al., 2000; Jacobsen, Kaufman, 1999) вариации изотопного состава углерода в морской воде в венде-раннем кембрии

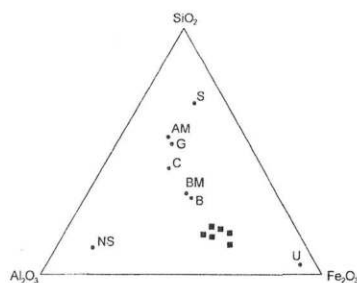


Рис. 13. Диаграмма средних составов бокситов, развивающихся по различным типам пород [Schellmann, 1986] и бокситов боксонской серии.

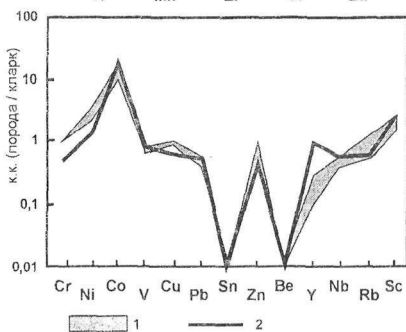
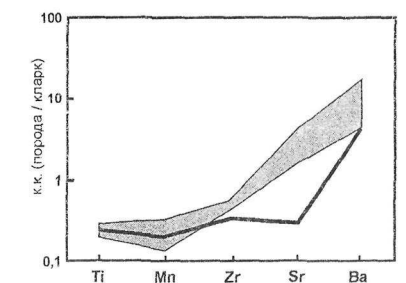


Рис. 19. Распределение основных типоморфных и примесных элементов в карбонатных отложениях задговых бассейнов (1) и одновозрастных сублатформенного типа (2).

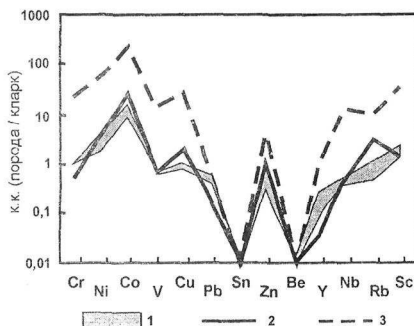
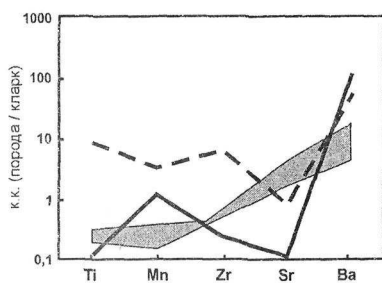


Рис. 20. Распределение основных типоморфных и примесных элементов в карбонатных отложениях задговых бассейнов (1) и мелководных (2) и глубоководных (3) карбонатных породах океанических островов.

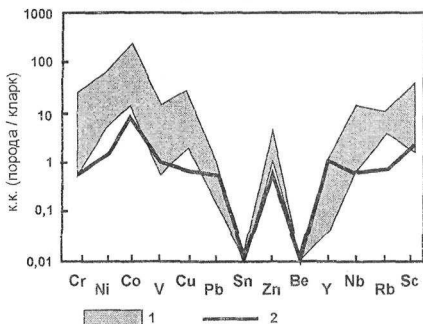
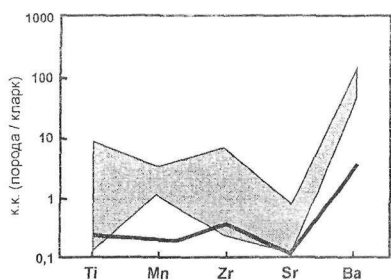


Рис. 21. Распределение основных типоморфных и примесных элементов в карбонатных отложениях океанических островов (1) и одновозрастных отложений сублатформенного типа (2).

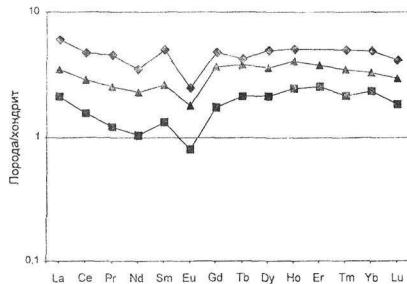


Рис. 22. Редкоземельный спектр хемогенных карбонатных отложений улунтуйской свиты, отражающий значительный вклад в его формирование морской воды.

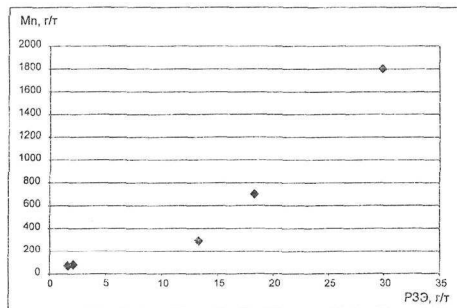


Рис. 24. Зависимость содержания P39 от концентрации Mn в карбонатных отложениях боксонской серии.

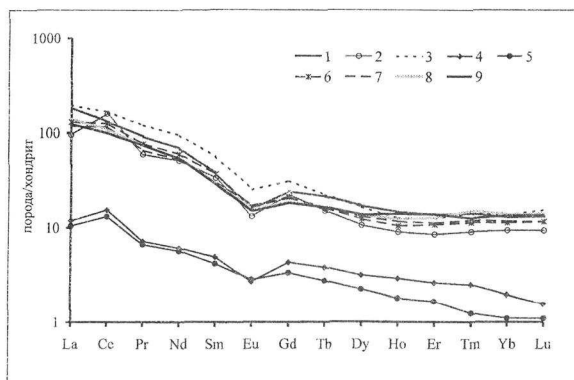


Рис. 2. Тренд распределения REE в породах байкальской серии, гнейсо-гранитов приморского комплекса и PAAS.

Условные обозначения: Голоуенская свита: 1 – алевролит, 2 – кварцевый песчаник, 3 – мелкозернистый песчаник, 4, 5 – карбонатные породы; качергатская свита: 6 – алевролит, 7 – песчаный туфит; 8 – гнейсо-гранит приморского комплекса; 9 – PAAS.



Рис. 3. Диаграмма для реконструкции источников сноса [Тейлор и др., 1988] для терригенных отложений байкальской серии.

Условные обозначения: голоуенская свита: 1 – алевролиты, 2 – мелкозернистые песчаники, 3 – крупнозернистые песчаники; качергатская свита: 4 – лититы, 5 – аркозы, 6 – алевролиты, 7 – песчаные туфиты, 8 – туфиты.

Рис. 4. Модельный возраст терригенных отложений неопротерозойских отложений Енисейского кряжа [Ножкин и др., 2006], байкальской и окинской серий на основе Sm/Nd изотопных данных.

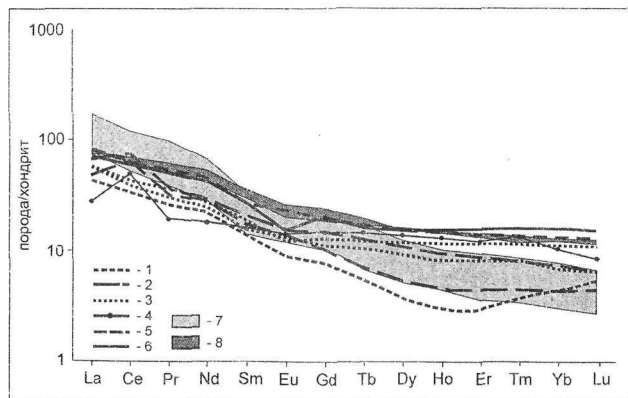
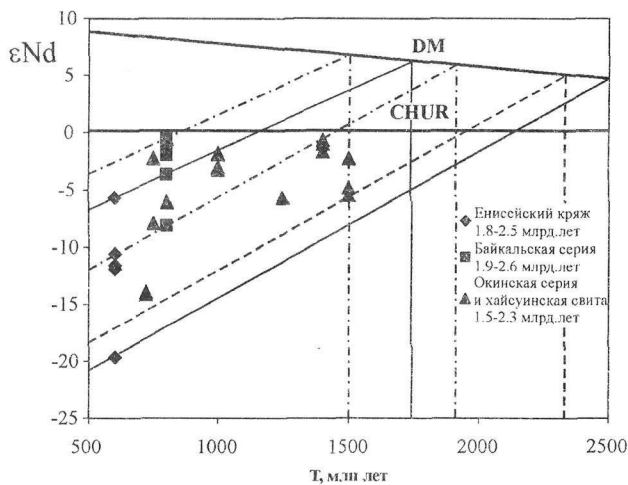


Рис. 5. Распределение РЗЭ в терригенных отложениях окинской серии (1-4) и хайсуинской свиты (5-6), и породах потенциальных источников сноса – гнейсограниты Гарганской глыбы (7) и вулканиты сархойской серии (8).