

На правах рукописи



ВИШНЕВСКАЯ Ирина Андреевна

**ГЕОХИМИЯ, ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ И
УГЛЕРОДА ВЕНД-РАННЕКЕМБРИЙСКИХ
КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ТУВИНО-МОНГОЛЬСКОГО МИКРОКОНТИНЕНТА**

**25.00.09 – геохимия, геохимические методы
поисков месторождений полезных ископаемых**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

ТОМСК – 2011

Работа выполнена в Учреждении российской академии наук Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН

Научный руководитель доктор геолого-минералогических наук,
Летникова Елена Феликсовна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор, **Аношин Геннадий Никитович**

кандидат геолого-минералогических наук ,
доцент, **Дриль Сергей Игоревич**

Ведущая организация: Институт геологии и геохронологии
докембрия РАН,
г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 31 мая 2011 г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ 212.269.03 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 2, строение 5, корпус 20, ауд. 504

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке ГОУ ВПО «НИ ТПУ» по адресу 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55

Автореферат разослан 28 мая 2011 г.

Ученый секретарь совета



Лепокурова О.Е.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

В мировой практике в последние десятилетия исследования изотопного состава стронция и углерода в докембрийских карбонатных отложениях позволили создать обширную аналитическую базу прецизионных данных об отношении изотопов этих элементов в воде палеоокеана, которая легла в основу метода изотопной хемотратиграфии [Veizer, Compston, 1976; Knoll, Walter, 1992; Кузнецов и др., 2003; Halverson et al., 2005-2007, 2010 и ссылки в этих работах]. Это позволило устанавливать временной интервал накопления и коррелировать карбонатные отложения, в том числе и те, возраст которых слабо обоснован фаунистическими находками [Saylor et al., 1998; Покровский и др., 2006; и др.]. Подобные геохимические и изотопные исследования пород чехлов Сибирской платформы и микроконтинентов в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) дали бы возможность решить ряд спорных вопросов стратиграфии, палеогеодинамики и палеоклиматологии. Многие осадочные серии этих структур имеют условное положение в стратиграфической последовательности докембрия, так как в них часто отсутствуют руководящие органогенные остатки и имеется небольшое количество геохронологических данных для прорывающих магматических пород или одновозрастных вулканогенных образований. Поэтому остро стоит вопрос о возрасте их накопления, не позволяющий проводить обоснованные литостратиграфические корреляции.

Данная работа является первым шагом сибирских исследователей в изучении изотопного состава стронция и углерода древних карбонатных отложений на примере осадочных комплексов венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента. Отложения этого чехла распространены на достаточно большой территории Северной Монголии и Восточного Саяна. Эти осадочные последовательности хорошо обнажены, а также детально литологически изучены на территории месторождений фосфоритов и бокситов, открытых в пределах этой тектонической структуры [Осокин, 1999; Ильина, 1958]. Все это делает данные отложения привлекательными и перспективными для хемотратиграфических исследований и корреляции с одновозрастными осадочными комплексами как крупных платформ, так и микроконтинентов.

Целью исследований является изучение геохимии, изотопного состава стронция и углерода венд-кембрийских карбонатных пород чехла Тувино-Монгольского микроконтинента и определение временного интервала их накопления методом изотопной хемотратиграфии.

Задачи:

1. Оценить степень постседиментационных преобразований венд-кембрийских карбонатных отложений чехла Тувино-Монгольского микроконтинента и обосновать сохранность их Rb-Sr и углеродной изотопных систем на основе петрографических и геохимических методов.

2. Исследовать изотопный состав стронция и углерода в наименее измененных образцах изучаемых пород.

3. Сопоставить полученные Sr- и C-изотопные данные с результатами исследований, проведенных для хорошо изученных в плане хемо- и биостратиграфии геохронологически обоснованных разрезов Евразии, Африки, Австралии, Южной Америки, Шпицбергена, на основании которых построены стандартные кривые вариаций изотопного состава стронция и углерода в воде палеоокеана в позднем докембрии.

Объектами данного исследования послужили венд-кембрийские карбонатные отложения чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: мурэнская (агарингольская) свита (верховья р. Мурэн, Северная Монголия), боксонская серия (юго-восточная часть Восточного Саяна, Россия), представленная в этой работе двумя разрезами: забитской свиты по р. Уха-Гол и полным разрезом серии в междуречье рек Урдо-Боксон и Хойто-Боксон (стратотип), и хубсугульская серия (юго-западное Прихубсугулье, Северная Монголия), разрезы которой вскрыты на территориях Бурэнханского и Хубсугульского фосфоритовых месторождений (рис. 1).

Фактический материал, личный вклад, методы исследования

Коллекции образцов мурэнской (агарингольской) свиты (48 образцов) и хубсугульской серии (104 образца) отобраны лично автором во время полевых работ 2005-2009 годов в Северной Монголии. Пробы пород боксонской серии (90 образцов) были предоставлены А.Б. Кузнецовым (ИГГД РАН) и научным руководителем – Е.Ф. Летниковой.

Автором самостоятельно проведены все аналитические исследования. Разложение проб для определения содержаний Ca, Mg, Fe, Sr, Mn атомно-абсорбционным методом, селективное растворения карбонатов, измерение содержаний Rb и Sr методом двойного изотопного разбавления осуществлялось в лаборатории изотопно-аналитической геохимии (№ 775) Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск), где работает автор. Масс-спектрометрическое измерение изотопного состава стронция проводилось в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (Санкт-Петербург).

В ходе данной работы автором было изучено 242 шлифа, подготовлено и исследовано атомно-абсорбционным методом 216 образцов на приборе SP9 PI UNIKAM (ИГМ СО РАН), изучен изотопный состав стронция на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI (ИГГД РАН) и содержания Rb и Sr методом двойного изотопного разбавления на приборе МИ-1201Т (ИГМ СО РАН) для 77 проб, изотопный состав углерода и кислорода - для 187 проб на масс-спектрометре Finnigan MAT – 253.

Научная новизна работы

1. Впервые для пород венд-кембрийского карбонатного чехла Тувино-Монгольского микроконтинента получены Sr- и C-изотопные данные, пригодные для целей хемотратиграфии.

2. Проведена корреляция, на основе полученных изотопных данных, карбонатных пород венд-кембрийского шельфа Тувино-Монгольского микроконтинента с типовыми разрезами Мира (Евразии, Африки, Австралии, Южной Америки, Шпицбергена), что позволило обосновать возраст изучаемых отложений.

3. Доказано, что карбонатакопление в пределах этой тектонической структуры в различных ее частях началось в венде не одновременно в интервале 600-580 млн. лет назад.

Практическая значимость работы

Результаты изотопного исследования карбонатных пород венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента могут быть применены при геологосъемочных и тематических работах, в том числе, при стратиграфических построениях. Использование данных, полученных для отложений из разрезов боксонской и хубсугульской серии в пределах известных крупных осадочных месторождений юга Сибири и Северной Монголии, позволяет конкретизировать поисковые работы на начальных этапах металлогенических исследований на фосфориты и бокситы.

Полученные Sr- и C-изотопные характеристики могут быть использованы в качестве дополнительного средства корреляции карбонатных отложений позднекембрийского возраста, и пополняют мировую аналитическую базу данных по изотопии стронция и углерода для морских карбонатных отложений.

Данные этого исследования могут быть применены при палеоклиматических реконструкциях. Изотопные характеристики, сопряженных с тиллитовыми горизонтами карбонатных пород указывают на одновременность образования этих ледниковых отложений и тиллитов глобального оледенения Марино.

Защищаемые положения:

1. Геохимические и изотопные (Sr и C) характеристики карбонатных пород венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента свидетельствуют об их ненарушенных Rb-Sr и углеродной изотопных системах, отражающих отношение изотопов этих элементов в морской воде в момент седиментации и их пригодности для целей изотопной хемотраграфии.

2. Первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для наименее измененных карбонатов Тувино-Монгольского микроконтинента варьирует в интервале от 0.70725 до 0.70862. Наиболее низкие отношения получены для карбонатных отложений забитской (р. Уха-Гол) и муэрэнской свит, которые также характеризуются высокими, до аномальных, положительными значениями $\delta^{13}\text{C}$. Изотопный состав стронция и углерода хубсугульской серии, верхней части забитской свиты и вышележащих отложений боксонской серии однотипны, что свидетельствует об их одновременном накоплении.

3. Методом изотопной (Sr и C) хемотратиграфии установлено, что карбонатонакопление в пределах этой тектонической структуры в различных ее частях началось не одновременно в интервале 600-580 млн. лет назад. Самыми древними являются породы забитской свиты уха-гольского разреза и мурэнской свиты. Отложение карбонатов хубсугульской и боксонской (стратотип) серий началось в более позднее вендское время.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения общим объемом 131 страница, который иллюстрируется 60 рисунками, и, в том числе 10 таблицами в приложении. Список литературы включает в себя 153 наименования.

Апробация работы и публикации

Различные положения работы обсуждались на международных и российских конференциях и совещаниях: международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс», г. Новосибирск (2006, 2008 г.г.); III Сибирская международная конференция молодых учёных по наукам о Земле, г. Новосибирск, 2006 г.; XXII Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика», г. Иркутск, 2007 г.; XVIII молодёжная научная конференция «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии», посвящённая памяти К.О. Кратца, г. Санкт-Петербург 2007 г., Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту), г. Иркутск, 2009 г.; 5-е Всероссийское литологическое совещание, г. Екатеринбург, 2008 г.; IV Российская конференция по изотопной геохронологии, г. Санкт-Петербург, 2009 г.; The First World Young-Earth-Scientists (YES) Congress, г. Пекин, 2009 г.

Положения диссертации отражены в 15 публикациях, одна из которых опубликована в журнале из списка ВАК.

Работа выполнена в лаборатории изотопно-аналитической геохимии (№775) ИГМ СО РАН. Автор выражает признательность научному руководителю д.г.-м.н. Е.Ф. Летниковой, а так же к.г.-м.н. А.Б. Кузнецову, Г.А. Докукиной, к.г.-м.н. В.Ю. Киселевой, О.Г. Галковой, к.г.-м.н. О.П. Изох, к.г.-м.н. А.С. Гибшеру, к.г.-м.н. А.А. Постникову, к.г.-м.н. В.Н. Реутскому, к.г.-м.н. Д.С. Юдину, к.г.-м.н. А.В. Травину, Юлии и Юрию Восель, Е.А. Васюковой, В.В. Марковой, Л.Н. Урманцевой и всем коллегам и друзьям, способствовавшим выполнению работы.

Диссертация подготовлена в рамках исследований по проектам РФФИ 06-05-64686, 07-05-01107, 09-05-01003, 10-05-00971, интеграционным проектам СО РАН №6.6 и №19 и ОНЗ №10.2.

ГЛАВА 1. Геологические особенности строения венд-кембрийских отложений чехла Тувино-Монгольского микроконтинента

В главе рассмотрены вопросы строения и этапы развития Тувино-Монгольского микроконтинента. Основное внимание уделено накоплению пород чехла в венд-раннекембрийское время. Эти отложения представлены шельфовыми фациями преимущественно карбонатного состава. Они со стратиграфическим несогласием залегают на различных породах сложнопостроенного фундамента микроконтинента (прил.; рис. 1). Поэтому на основе лишь литологических характеристик при практически полном отсутствии находок руководящих органических остатков однозначно доказать синхронность накопления, а главное, одновременность начала седиментации не представляется возможным. В этой главе приводятся общие стратиграфические и литологические сведения для изученных стратиграфических подразделений, без корреляции этих отложений между собой.

ГЛАВА 2. Методика исследования

Стратиграфическая шкала докембрия во всё возрастающей степени начинает опираться на данные хемотратиграфии – прежде всего на вариации изотопного состава углерода и стронция в карбонатных осадочных породах. В отложениях древнее кембрия разрешающая способность биостратиграфического метода ограничена, для большинства таких пород отсутствуют надежные радиологические датировки, именно для подобных комплексов хемотратиграфия становится едва ли не единственным инструментом определения времени начала осадконакопления.

Возможность определения изотопного состава стронция в водах палеоокеана определяется тем, что морские карбонатные, сульфатные и фосфатные осадки наследуют отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ среды седиментации и при определенных условиях способны сохранять эту изотопную метку до настоящего времени. Для более успешной работы хемотратиграфического метода исследователями было сформулировано три базовых принципа [Кузнецов, 1998 и ссылки в этой работе]:

1. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ единообразно во всем объеме Мирового океана и окраинных морей в каждый заданный момент геологического времени;

2. Систематические вариации изотопного состава стронция в морской воде вызваны изменением баланса между континентальным и мантийным потоками вещества, поскольку континентальный поток, формирующийся в ходе денудации континентальной коры привносит в океан стронций с заметно более высоким отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (~0.711), чем мантийный поток, образующийся при гидротермальной переработке базальтов в зоне COX (~0.703);

3. Реконструкция величин отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в воде палеоокеана возможна путем анализа кальцийсодержащих минералов (главным образом,

карбонатов), осаждавшихся непосредственно из морской воды и включивших в свой состав стронций в изотопном равновесии со средой седиментации.

В изотопном составе углерода осадочных карбонатов могут находить отражение процессы, происходящие как в экзогенном, так и в осадочном циклах. В первом случае основными факторами являются уровень биопродуктивности и интенсивность циркуляции вод бассейна (бассейнов) седиментации; во втором – главным образом скорость захоронения органического углерода ($C_{орг}$) и скорость окисления $C_{орг}$, накопленного в предшествующие периоды [Фор, 1989; Виноградов, 2009].

В последнее время опубликовано несколько вариантов изменения изотопного состава стронция и углерода в осадочных карбонатных породах позднего докембрия [Veizer, Compston, 1976; Asmerom et al., 1991; Derry et al., 1992; Knoll, Walter, 1992; Kaufman et al., 1993; Горохов и др., 1995a; Gorokhov et al., 1996; Jacobsen, Kaufman, 1999; Walter et al., 2000; Melezhik et al., 2001; Кузнецов и др., 2003; Halverson et al., 2005–2007, 2010], характеризующих эволюцию этих параметров в Мировом океане. Такое многообразие в значительной степени связано с различием критериев отбора материала для обоснования такой кривой, но в главной степени, отсутствием точных возрастных привязок исследуемых отложений. Поэтому необходимо было сформулировать общие требования к карбонатным породам, которые используются для Sr- и C-изотопных исследований.

В ходе многолетней работы был выработан комплексный подход к решению вопроса сохранности изотопных систем. Первое требование предусматривает изучение мощных карбонатных разрезов наименее подвергнутых постседиментационным, метаморфогенным и структурным преобразованиям. Полевые геологические, и, в дальнейшем, петрографические исследования позволяют отобрать визуально неизменные образцы (без явлений перекристаллизации, вторичной доломитизации, вторичных прожилков, ожелезнения и новообразования минералов).

Второе требование – использование геохимических критериев сохранности изотопных систем. При исследовании изотопного состава стронция для известняков используются следующие критерии отбора: $Mg/Ca \leq 0.024$, $Mn/Sr \leq 0.2$, $Fe/Sr \leq 5.0$, для доломитов: $Mg/Ca \geq 0.608$, $Mn/Sr \leq 1.2$, $Fe/Sr \leq 3.0$. Для дальнейшего изучения изотопного состава углерода, подходящими считаются известняки, удовлетворяющие критериям: $Mn/Sr \leq 4$, $Fe/Sr \leq 10$ и доломиты: $Mn/Sr \leq 6$, $Fe/Sr \leq 15$ [Горохов и др., 1995; Кузнецов и др., 1997; Семихатов и др., 1998; Подковыров и др., 1998; Кузнецов и др., 2003].

Для уменьшения влияния вторичных изменений карбонатных пород на величину $^{87}Sr/^{86}Sr$ была разработана методика селективного растворения (выщелачивания) [McArthur, 1994; Горохов и др., 1995; Горохов, 1996; Кузнецов и др., 1997; Овчинникова и др., 1998, 2000; Montanez et al., 1996; Bailey et al., 2000; Bartley et al., 2001]. Эта процедура позволяет разделить

некогерентные карбонатные фазы, различные по изотопному составу стронция и концентрациям рассеянных элементов.

Во второй главе кроме основных принципов изотопной хемотратиграфии подробно описаны методы исследования карбонатных пород, примененные автором: пробоподготовка для измерения содержаний Ca, Mg, Mn, Fe, Sr атомно-абсорбционным методом и собственно сам метод, методика селективного растворения (выщелачивания) карбонатов, ионно-обменная хроматография для выделения стронция и рубидия, масс-спектрометрия, методика исследования изотопного состава углерода и кислорода карбонатных пород, а также используемые стандарты и значения, полученные во время работы. Правильность определения изотопных отношений стронция контролировалась параллельным измерением в каждой серии образцов изотопного стандарта ВНИИМ с $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношением 0.70800 ± 10 и SRM-987 (отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.71026 ± 6); углерода и кислорода - международным (NBS19 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = +1.9\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = +28.6\text{‰}$), российским (ДВГИ $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = +1.2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = +32.7\text{‰}$) и внутрिलाбораторным (Ca770) стандартами и составляла 0,1‰ для $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ значений. Все значения изотопного состава углерода и кислорода приводятся в промилле (‰), $\delta^{13}\text{C}$ относительно стандарта PDB, $\delta^{18}\text{O}$ относительно стандарта SMOW.

ГЛАВА 3. Геохимия и изотопный состав стронция, углерода и кислорода венд-раннекембрийских карбонатных отложений Тувино-Монгольского микроконтинента

Мурэнская свита. В основном, свита представлена серыми известняками, в том числе органогенными. При петрографическом изучении из дальнейшего исследований были исключены «запасоченные» карбонатные породы, образцы с большим количеством вторичных прожилков и аутигенного пирита. В шлифах мурэнской свиты не было найдено доломита, что в дальнейшем было подтверждено результатами атомно-абсорбционного анализа. Это является редким случаем для древних карбонатных комплексов, но очень благоприятно для проведения изотопных исследований. Доля силикокластической примеси, представленной кварцем и органическим веществом, невелика (1-4%). Атомно-абсорбционные исследования подтвердили, что изученный разрез мурэнской свиты в основном сложен известняками ($\text{Mg}/\text{Ca}=0.0001-0.031$), лишь один образец является доломитистым известняком ($\text{Mg}/\text{Ca}=0.095$). Средние содержания Sr в карбонатной вытяжке в мурэнских известняках достаточно высоки: максимальное значение достигает 2700 г/т, минимальное 1900 г/т. Содержания Mn, Fe и Mg в данном случае низкие и составляют 1-40, 10-400 и 30-600 г/т соответственно, в некоторых образцах Fe и Mn находятся на пределе обнаружения. Следует отметить, что карбонатные породы мурэнской свиты оказались уникальными по своим геохимическим характеристикам. Так, значения геохимических критериев отбора для них оказались

значительно ниже общепринятых: $Mg/Ca \leq 0.0024$, $Mn/Sr \leq 0.02$ и $Fe/Sr \leq 0.2$ (прил.; рис. 2). Значение $\delta^{18}O_{smow}$ для всех образцов мурэнских карбонатов находится в интервале от +20.2‰ до +26.5‰. Все это свидетельствует о минимальных вторичных преобразованиях.

Масс-спектрометрическое изучение образцов мурэнской свиты показало, что отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ для наименее измененных образцов находится в пределах 0.70725-0.70743, вблизи терригенных прослоев значение изотопного состава стронция повышается до 0.70840-0.70888 (прил.; рис. 3), что связано с приносом стронция с повышенным изотопным отношением $^{87}Sr/^{86}Sr$ из алюмосиликатной составляющей породы.

Изотопные исследования показали, что в нижней части разреза мурэнской свиты $\delta^{13}C$ возрастает в среднем от +7.0‰ до +10.5‰, а выше по разрезу – понижается с некоторыми флуктуациями до +3-+4‰ (прил.; рис. 3).

Для **хубсугульской серии** существует как минимум три варианта ее стратиграфического деления [Ильин, 1973; Осокин, 1999; Еганов и др., 1999], поэтому автором рассматривается серия в целом без более дробного деления. Породы хубсугульской серии были изучены в двух районах (прил.; рис. 1) на территории фосфоритовых месторождений: Хубсугульского, стратиграфически последовательного, и Бурэнханского, где серия представлена тектонически разрозненными пачками. В первом случае в шлифах кроме средне- и скрытозернистых (афанитовых) известняков отмечены породы с ооидной текстурой и водорослевые карбонатные отложения. В шлифах из разрезов Бурэнханского месторождения отмечены многочисленные структуры дробления, брекчирования, где матрикс и обломки сложены одними и теми же карбонатами. В пределах обоих месторождений встречаются образцы с большим содержанием терригенного материала, в основном песчаной размерности, а также известняки, подвергшиеся вторичной доломитизации.

В карбонатных породах хубсугульской серии в районе Бурэнханского месторождения можно отметить низкие содержания примесных элементов, таких как Fe (50-270 г/т), Mn (5-60 г/т). Содержания Sr варьируют от 20-60 г/т до 1550 г/т.

Исследование химического состава отложений в пределах Хубсугульского месторождения показали, что разрез свиты можно разделить на две примерно равные части: нижнюю доломитовую ($Mg/Ca \sim 0.55$) и верхнюю – переходную от доломитов к известнякам ($Mg/Ca \sim 0.006-0.05$), где представлены смешанные разности этого ряда. Доломиты обогащены Fe, по сравнению с переходной частью (от 150 до 1300 г/т, в некоторых образцах до 3000 г/т), содержание Mn в них также выше 40-730 г/т. Доломиты содержат крайне мало Sr (30-100 г/т). В известняках количество Mn и Fe не превышает 50 и 200 г/т соответственно, а Sr 680 г/т. Значение $\delta^{18}O_{smow}$ в карбонатах всех серий варьирует в интервале +21.4...+26.6‰. В связи с повышенным количеством Fe оказалось, что лишь 5 образцов доломитов удовлетворяют

геохимическим критериям (прил.; рис. 2). Для всех образцов с $Mn/Sr < 4$ и $Fe/Sr < 10$ был проведен анализ изотопного состава углерода.

Основание хубсугульской серии наиболее хорошо обнажено в пределах Хубсугульского фосфоритового месторождения. Кривая вариаций $\delta^{13}C$ в нижней части серии начинается с положительных значений (+2.7‰) и с флуктуациями уходит в отрицательную область (от -3.3 до -0.7‰) с кратким экскурсом в положительные значения (+1.8‰). Первичное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в наименее измененных известняках колеблется в интервале 0.70822-0.70836, в доломитах достигает 0.70862 (прил.; рис. 3).

Изучение изотопного состава углерода в карбонатных породах хубсугульской серии в пределах Бурэнханского месторождения показало, что значение $\delta^{13}C$ в нижней части разреза варьирует от +1.2‰ до +2.7‰, далее наблюдается экскурс в область отрицательных значений (понижается до -1,5‰). В средней части разреза отмечены вариации $\delta^{13}C$ от -2.4‰ до +3.1‰ (прил.; рис. 3). Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в большинстве наименее измененных образцов составило 0.70800, с повышением до 0.70839.

Изотопные характеристики карбонатных пород из двух удаленных разрезов хубсугульской серии показывают близкие значения, доказывая, таким образом, однородность изотопного состава воды в данном палеобассейне.

Боксонская серия. Боксонская серия в своем составе имеет пять свит – забитскую, табинзуртинскую, хужиртайскую, нюргатинскую и хютенскую. В данной работе рассматриваются два разреза боксонской серии. Первый - в районе слияния рек Урдо-Боксон и Хойто-Боксон (стратотипическая местность), где представлен полный разрез серии. Второй разрез - в районе р. Уха-Гол (прил.; рис. 1), где наиболее хорошо вскрыта нижняя часть серии, а именно забитская свита. Нижняя часть серии имеет существенно доломитовый состав. В большом количестве встречаются водорослевые карбонатные породы с инкрустационным цементом. Верхняя часть боксонской серии (хужиртайская и нюргатинская свиты) представлена в основной массе афанитовыми известняками и водорослевыми раскристаллизованными разностями. Из вторичных изменений отмечается ожелезнение и доломитизация.

Разрез по р. Уха-Гол, забитская свита. По результатам атомно-абсорбционного анализа выявлено, что большинство образцов в разрезе по р. Уха-Гол представлено доломитами ($Mg/Ca=0.54-0.64$). В нижней части разреза наблюдается чередование доломитов с известняками и их слабо доломитистыми разностями ($Mg/Ca=0.02-0.17$). Образцы с наименьшим содержанием силикокластической примеси (0.2-5%) находятся в верхней половине свиты (250-600 м от подошвы). В остальных пробах содержание терригенной составляющей превышает 10%. По геохимическим параметрам разрез свиты очень разнообразен. Минимальное отношение Mn/Sr и Fe/Sr отмечено в нижней части разреза (120-150 м от подошвы свиты) и составляет

0.02-0.1 и 0.25-3.1 соответственно (прил.; рис. 2). В остальных пробах эти показатели превышают критические значения, установленные для стронциевой изотопной хемотратиграфии. Для дальнейшего изучения изотопного состава стронция было отобрано 5 образцов, полностью удовлетворяющих критериям и 9 с близкими (Mn/Sr 0.34-4.2, Fe/Sr 6.1-29.9) к критериальным отношениями. При этом большинство образцов удовлетворяет критериям, принятым для С-изотопной хемотратиграфии. Значения $\delta^{18}O_{SMOW}$ для всех образцов варьирует в пределах от +20.8‰ до +28.8‰, только в породах подошвы свиты получено низкое значение $\delta^{18}O_{SMOW}=+15.2‰$

Разрез на стрелке рек Урдо-Боксон и Хойто-Боксон (стратотип). В основании боксонской серии выделяется пачка, представленная чередованием известняков ($Mg/Ca=0.03-0.18$) и доломитов ($Mg/Ca=0.54-0.57$). Породы содержат от 2.3 до 8.2% силикокластической составляющей. Для измерения изотопного состава стронция подходят только 2 образца известняка и один доломита ($Mn/Sr=0.02 - 0.14$, $Fe/Sr=0.3 - 3.3$) и два образца находятся на границе допустимых значений ($Mn/Sr=0.22 - 0.38$, $Fe/Sr=1.0 - 4.6$).

В разрезе *забитской свиты* преобладают известковистые доломиты $Mg/Ca=0.52 - 0.56$. Породы содержат от 2 до 10% терригенной примеси. В связи с низкой концентрацией Sr и повышенным содержанием Mn и Fe лишь один образец подходит по геохимическим критериям для целей стронциевой хемотратиграфии (прил.; рис. 2) и всего 6 - для С-изотопной хемотратиграфии. Породы характеризуются широким интервалом высоких значений отношений Mn/Sr (0.9 - 23.0) и Fe/Sr (2.8 - 174.6). Величина $\delta^{18}O_{SMOW}$ в разрезе забитской свиты варьирует в пределах +22.4 - +30.9‰, что не противоречит критериям отбора образцов с неизменной изотопной системой. Наблюдается положительная зависимость между отношением Fe/Sr и $\delta^{18}O_{SMOW}$, что, вероятно, указывает на раннедиагенетический характер доломитизации.

Табинзуртинская свита представлена доломитами и их известковыми разностями ($Mg/Ca=0.48 - 0.60$). Данные породы содержат от 1.0 до 4.4% силикокластической примеси. Большая часть образцов табинзуртинской свиты не подходит по геохимическим критериям для изучения изотопного состава стронция. Лишь два образца в средней части разреза удовлетворяют этим критериям ($Mn/Sr=0.16$, $Fe/Sr=4.6$ и $Mn/Sr=0.10$, $Fe/Sr=4.3$, соответственно; рис. 2). Для С-изотопной хемотратиграфии приняты более высокие лимитирующие значения. $\delta^{18}O_{SMOW}$ для всего разреза больше +20‰ и не указывает на значительные постседиментационные изменения.

Хужиртайская и нюргатинская свиты. Геохимические особенности этих двух свит рассматриваются вместе ввиду однотипности их составов. По данным геохимических исследований обе свиты представлены известковыми доломитами ($Mg/Ca=0.40 - 0.58$) с небольшим количеством терригенной

составляющей 0.5 – 2.5%. Все образцы удовлетворяют критериям, принятым для С-изотопной хемотратиграфии, две пробы полностью подходят для исследования изотопного состава Sr ($Mn/Sr=0.02 - 0.1$, $Fe/Sr=0.9 - 3.9$) и еще две находятся на границе допустимых значений: $Mn/Sr=0.1$, $Fe/Sr=5.8$ и $Mn/Sr=0.3$, $Fe/Sr=4.2$ соответственно (прил.; рис. 2). Измерения $\delta^{18}O_{SMOW}$ проводилось для трех образцов и дают интервал значений $+24.6 - +25.4\%$.

Исследование изотопного состава стронция в наименее измененных карбонатах забитской свиты в разрезе по р. Уха-Гол показало, что минимальное значение $^{87}Sr/^{86}Sr$ измерено в известняках нижней части разреза и варьирует в интервале $0.70725 - 0.70755$. Выше по разрезу известняки сменяются доломитами, в которых отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ находится в пределах $0.70817-0.70852$ (прил.; рис. 3). Первичное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в доломитах из района слияния рек Урдо-Боксон и Хойто-Боксон варьирует в пределах $0.7082-0.7087$ (прил.; рис. 3).

Значения $\delta^{13}C$, полученные для отложений забитской свиты боксонской серии (р. Уха-Гол), в нижней части разреза изменяются в интервале от $+2.4\%$ до $+7.7\%$ с единственным экскурсом до -1.8% . Далее, выше по разрезу, идет понижение величины $\delta^{13}C$ до 0 ($0 - +0.3\%$) с экскурсом в отрицательную сторону до -5.2% и резкий выпад до $+9.5\%$. Для верхней части забитской свиты характерны вариации $\delta^{13}C$ в интервале от $+1.9\%$ до $+3.5\%$.

Кривая изменения $\delta^{13}C$ в разрезе боксонской серии междуречья Урдо-Боксон и Хойто-Боксон [Покровский и др., 1999] менее сложная (прил.; рис. 3). У подошвы забитской свиты значение $\delta^{13}C$ максимально $+4.9\%$. Затем кривая уходит в зону отрицательных значений $-3.5\% \dots -0.1\%$ с тремя краткими экскурсами к нулю ($+0.3\%$). В верхней трети разреза кривая приобретает низкие положительные значения ($+0.3\% \dots +1.6\%$). Для разреза табинзуртинской свиты характерны умеренные отрицательные значения $\delta^{13}C$ от -3.5% у подошвы свиты до -0.3% , с флуктуациями в этом интервале. С-изотопная кривая хужиртайской и нюргатинской свит показывает близкие к нулю и отрицательные значения ($-1.1\% \dots +0.2\%$). Максимальный выпад (-2.0%) приурочен к средней и кровельной части хужиртайской свиты.

Обобщая полученный материал можно заключить, что все изученные карбонатные породы чехла Тувино-Монгольского микроконтинента имеют близкие геохимические характеристики (прил.; рис. 2). Наименее измененными из них являются отложения мурэнской свиты. При этом различные разрезы хубсугульской и боксонской серий имеют различную степень сохранности. Наиболее полная Sr- и С-изотопная характеристика (прил.; рис. 3) получена для боксонской серии, отражающей весь период карбонатонакопления в пределах венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента.

ГЛАВА 4. Хемостратиграфия венд-раннекембрийских карбонатных отложений Тувино-Монгольского микроконтинента

В четвертой главе показана возможность сопоставления венд-кембрийских разрезов Тувино-Монгольского микроконтинента друг с другом и типовыми разрезами Центрально-Азиатского складчатого пояса, Сибирской платформы, Африки, Австралии, Южной Америки и Шпицбергена при помощи изотопных данных.

Исследование изотопного состава стронция в карбонатах *забитской свиты* из разреза по р. Уха-Гол показало, что первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в доломитах верхней части свиты находится в пределах 0.7081-0.7085. Первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в доломитах из района слияния рек Урдо-Боксон и Хойто-Боксон варьирует в пределах 0.7082-0.7087, что соответствует верхней (доломитовой) части разреза по р. Уха-Гол. Для *забитской свиты* боксонской серии построены две кривые вариации изотопного состава углерода. Первая опубликована Б.Г. Покровским с соавторами [Покровский и др., 1999] для разреза на водоразделе рек Урдо-Боксон и Хойто-Боксон (боксонский разрез), вторая получена автором данной работы – для разреза по реке Уха-Гол (уха-гольский разрез). В нижней части уха-гольского разреза свиты $\delta^{13}\text{C}$ варьирует в пределах от -5.2‰ до +7.7‰ с частой сменой знака. В доломитах верхней части свиты значение $\delta^{13}\text{C}$ переходит в положительную область и сохраняется в пределах +2.3...+4.1‰, с экскурсом на понижение в кровле свиты. В основании боксонского разреза присутствуют высокие (+4.9‰) значения $\delta^{13}\text{C}$, которые сменяются на близкие к нулю (прил.; рис. 4). Таким образом, породы *забитской свиты*, представленной в районе р. Уха-Гол, накапливались раньше, чем в стратотипической местности (боксонский разрез).

Изотопные характеристики стронция и углерода (вариации в области высоких положительных значений $\delta^{13}\text{C}$) карбонатных пород *забитской* и *мурэнской свит* однотипны (прил.; рис. 4 и 5), что указывает на их одновременное (в венде) накопление в пределах единого осадочного бассейна, приуроченного к Тувино-Монгольному микроконтиненту. Изотопный состав стронция *хубсугульской серии* и верхней части *забитской* и вышележащих свит *боксонской серии* близки: 0.7082-0.7084 и 0.7082-0.7085 соответственно (прил.; рис. 5). Для них также характерны положительные значения $\delta^{13}\text{C}$ в основании и преобладание отрицательных значений по всему разрезу. Тем самым, Sr- и C-изотопные данные не противоречат друг другу, но и не подтверждают результаты проведенных ранее литостратиграфических построений для отложений венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента [Ильин, 1973; Осокин, 1998]. В этих построениях накопление *хубсугульской* и *боксонской* серий начинается одновременно. Из проведенных нами исследований, очевидно, что седиментация карбонатных отложений боксонской серии началась раньше.

За последнее десятилетие в мировой практике проведено значительное количество исследований, посвященных изучению изотопного состава стронция и углерода в венд-кембрийских карбонатных отложениях. При этом типовые разрезы, имеющие геохронологические датировки и изученные с применением геохимических критериев отбора, на территории Сибирской платформы и Центрально-Азиатского складчатого пояса редки и находятся в юго-западной Монголии (цаганоломская и баянгольская свиты) [Brasier et al., 1996], в Кузнецком Алатау (енисейская серия) [Летникова и др., 2011], Учуро-Майском регионе (юдомский комплекс) [Семихатов и др., 2004], Патомском нагорье (дальнетайгинская и жуинская серии) [Покровский и др., 2006], Оленекском поднятии (хорбусуонская серия) [Knoll et al., 1995].

Отложения уха-гольского разреза забитской свиты и мурэнской свиты коррелируют с породами дальнетайгинской серии, цаганоломской, нижней части жуинской свит, верхними горизонтами чарыштагской свиты и 1-4 пачками биджинской свиты енисейской серии по С- и Sr-изотопным данным, а также с известняками юкандиской свиты юдомской серии по изотопии углерода (прил.; рис. 4 и 5). Породы хубсугульской и верхней части боксонской серий идентичны по изотопному составу углерода и стронция – баянгольской свите юго-восточной Монголии, усть-юдомской и пестроцветной свитам по вариациям изотопного состава углерода. Кривая вариаций изотопного состава стронция, полученная для доломитов из разреза на стрелке р. Урдо-Боксон и Хойто-Боксон соответствует кривой кембрийской части разреза енисейской серии, а забитская свита этого разреза – хорбусуонской серии Оленекского поднятия.

Также в четвертой главе представлены сопоставления изотопных данных, полученных для венд-раннекембрийских разрезов Тувино-Монгольского микроконтинента с разрезами, находящимися в данный момент на удалении в тысячи километров, но формировавшихся в одно время в пределах одного древнего океана: разрезы серий Академикенбрен и Полярисбрен Шпицбергена [Derry et al., 1989, 1992; Halverson et al., 2005], а также разрезы с других континентов: с кратона Калахари [Saylor et al., 1998] на юге Африки и с бразильской карбонатной платформы Апарас [Nogueira et al., 2007], имеющими достоверные геохронологические привязки в стратиграфической шкале.

В результате работ, проведенных российскими и зарубежными исследователями, составлены кривые вариаций изотопного состава стронция (прил.; рис. 5) и углерода (прил.; рис. 4) в воде палеоокеана в позднем докембрии. Проанализировав весь имеющийся в наличии материал по этой теме автор выбрал три кривые изменения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в воде палеоокеана [Walter et al., 2000; Кузнецов и др., 2003; Halverson et al., 2007]. Их достоверность обоснована первичными геохимическими исследованиями и геохронологическими привязками к стратиграфической шкале и они достаточно схожи между собой. С кривыми вариаций изотопного состава

углерода дело обстоит намного сложнее: из-за больших флуктуаций значения $\delta^{13}\text{C}$ и малым вниманием исследователей к критериям отбора, существует огромное количество кривых, имеющих друг с другом лишь отдаленное сходство. В данной работе мы используем кривую, предложенную М.Р. Вальтером и коллегами в 2000 году [Walter et al., 2000].

Сопоставление всех упомянутых в главе 4 изотопных кривых для опорных разрезов Сибири, Африки, Центральной Азии, Австралии, Южной Америки и Шпицбергена, рассмотренных стандартных кривых и кривых вариаций изотопного состава стронция и углерода для карбонатных отложений Тувино-Монгольского микроконтинента (прил.; рис. 4 и 5) показывает, что мурэнская свита и залегающая на тиллитах забитская свита боксонской серии (р. Уха-Гол) начинают накапливаться около 600 млн. лет назад. В мурэнской части палеобассейна седиментация карбонатов заканчивается в интервале 580-570 млн. лет назад. При этом осадкообразование в боксонской части палеобассейна продолжается и начинается - в хубсугульской. Если карбонатные породы боксонской серии накапливались достаточно длительное время (с начала венда до середины кембрия, 600- 510 млн. лет назад), то история формирования хубсугульской серии была более короткая (580-520 млн. лет назад). Эти данные не противоречат геологическим и биостратиграфическим данным предыдущих лет, но позволяют более корректно определить время начала карбонатонакопления в различных частях венд-кембрийского шельфа Тувино-Монгольского микроконтинента и более обоснованно проводить их корреляцию.

Заключение:

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. В пределах венд-кембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента выявлены карбонатные отложения с ненарушенными Rb-Sr и углеродной изотопными системами, пригодные для целей хемотратиграфии;

2. Первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для наименее измененных карбонатов мурэнской свиты варьирует в интервале от 0.70725 до 0.70743. Для уха-гольского разреза забитской свиты боксонской серии это отношение изменяется от 0.70725-0.70755 в известняках до 0.70817-0.70852 в доломитах. Первичный изотопный состав Sr карбонатов боксонской серии из района слияния р.р. Урдо-Боксон и Хойто-Боксон (стратотип) варьирует от 0.70817 до 0.70873. Это отношение для хубсугульской серии изменяется от 0.70822 до 0.70836 в известняках и поднимается до 0.70862 в доломитах;

3. Вариации изотопного состава углерода в породах мурэнской свиты составляют интервал от +2.2‰ до +6.5‰ с отклонениями до +10.5‰. Для уха-гольского разреза забитской свиты средний интервал вариаций составляет от -1.8‰ до +3.5‰ с отрицательными аномалиями до -5.2‰ и

положительными до +9.5‰. Изменения $\delta^{13}\text{C}$ в породах боксонской (междуречье р.р. Урдо-Боксон и Хойто-Боксон) и хубсугульской серий подобны и варьируют от -3.5‰ до +3.0‰ с выпадом до +4.9‰ в нижней части забитской свиты;

4. Кривые вариаций изотопного состава стронция и углерода во многом похожи для забитской и мурэнской свит, что свидетельствует об их одновременном накоплении. Изотопные характеристики хубсугульской серии и верхней части забитской и вышележащих свит боксонской серии в стратотипическом разрезе близки, что также указывает на их синхронное образование;

5. При сопоставлении полученных изотопных данных со стандартными кривыми вариаций изотопного состава стронция и углерода в воде палеоокеана и кривыми для эталонных позднекембрийских разрезов Мира установлено, что карбонатакопление в пределах чехла Тувино-Монгольского микроконтинента в различных его частях началось не одновременно в интервале 600- 580 млн. лет назад. Самыми древними являются породы забитской свиты уха-гольского разреза и мурэнской свиты. Отложение карбонатов хубсугульской и боксонской (стратотип) серий началось в более позднее вендское время.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статья в журнале:

1. Кузнецов А.Б., Летникова Е.Ф., Вишневская И.А., Константинова Г.В., Кутявин Э.П., Гелетий Н.К. Sr хемостратиграфия карбонатных отложений осадочного чехла Тувино-Монгольского микроконтинента // ДАН, 2010, Т. 432, №3, с. 350-355

Материалы и тезисы совещаний, конференций:

1. Максимова (Вишневская) И.А. Геохимия и изотопный состав стронция карбонатных отложений мурэнской свиты (Западная Монголия) //Материалы XLIV международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс», Новосибирск: НГУ, 2006, с. 104-105
2. Киселева В.Ю., Докукина Г.А., Кузнецов А.Б., Летникова Е.Ф., Максимова (Вишневская) И.А. Первые результаты исследований изотопного состава стронция карбонатных отложений Северной Монголии // Литологические аспекты геологии слоистых сред: Материалы 7 Уральского регионального литологического совещания, Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. с. 117-118
3. Максимова (Вишневская) И.А. Первые результаты исследований изотопного состава Sr карбонатных отложений мурэнской свиты (Западной прихубсугулье) // Материалы III Сибирской международной конференции молодых учёных по наукам о Земле, Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2006, с. 147-148
4. Максимова (Вишневская) И.А., Изох О.П. Изотопный состав Sr, O, C карбонатных отложений мурэнской свиты (Северная Монголия) // Материалы XXII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика», Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007, с. 87-89
5. Максимова (Вишневская) И.А. Изотопный состав Sr, O, C в карбонатных породах неопротерозойского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента //

- Материалы XVIII молодёжной научной конференции «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии», посвящённой памяти К.О. Кратца, Санкт-Петербург: ИГД РАН, 2007, с. 231-233
6. Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Туркина О.М., Вещева С.В., Ронкин Ю.Л., Максимова (Вишневская) 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
 7. Максимова (Вишневская) И.А. Карбонатные отложения чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: межрегиональная Sr хемотратиграфическая корреляция // Материалы XLVI Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс», секция «Геология», Новосибирск: НГУ, 2008, с. 118-120
 8. Максимова (Вишневская) И.А. Забитская свита боксонской серии, венд-кембрий Восточного Саяна: Sr-, С- и О-изотопная хемотратиграфия и корреляция // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Материалы 5-го всероссийского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008, Т. 2, с. 17-20
 9. Вишневская И.А. Венд-кембрийские карбонатные отложения чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: межрегиональная Sr и С хемотратиграфическая корреляция // Материалы конференции «Месторождения природного и техногенного минерального сырья: геология, экологическая геология, менеджмент» Воронеж: ВГУ, 2008 г., с. 409-411
 10. Кузнецов А.Б., Летникова Е.Ф., Вишневская И.А., Константинова Г.В. Sr хемотратиграфия карбонатных отложений чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: иркутская свита Восточного Саяна // Изотопные системы и время геологических процессов. Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. 2009 г. Санкт-Петербург: ИГД РАН, Т.1., с. 302-303
 11. Вишневская И.А., Кузнецов А.Б., Летникова Е.Ф., Докукина Г.А. Стронциевая изотопная характеристика и корреляция карбонатных отложений забитской свиты боксонской серии, Восточный Саян // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) 2009. Иркутск: ИЗК СО РАН, Т.1. с. 56-57
 12. Vishnevskaya I., Kuznetsov A., Letnikova E. Sr-isotopic characteristic of the typical carbonate Neoproterozoic Siberia sections // Abstracts of the First World Young-Earth-Scientists (YES) Congress 2009, Beijing, China, p. 194-195
 13. E.F. Letnikova, A.B. Kuznetsov, I.A. Vishnevskaya, S.V. Vecheva, A.I. Prochenkin. Geochemical and isotopic (Sr, Sm-Nd) characteristics Neoproterozoic sediments of Precambrian Tuva-Mongolia massive // Geodynamic evolution, tectonics and magmatism of Central Asian Orogenic belt. 2010. Novosibirsk: IGM SB RAS. p. 67-69
 14. Вишневская И.А. Венд-кембрийские карбонатные отложения чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: межрегиональная Sr и С хемотратиграфическая корреляция // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии. Мат. XXI молодежной научной конференции, памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца. Санкт-Петербург: СПб, 2010. Т. 2. с. 3-6

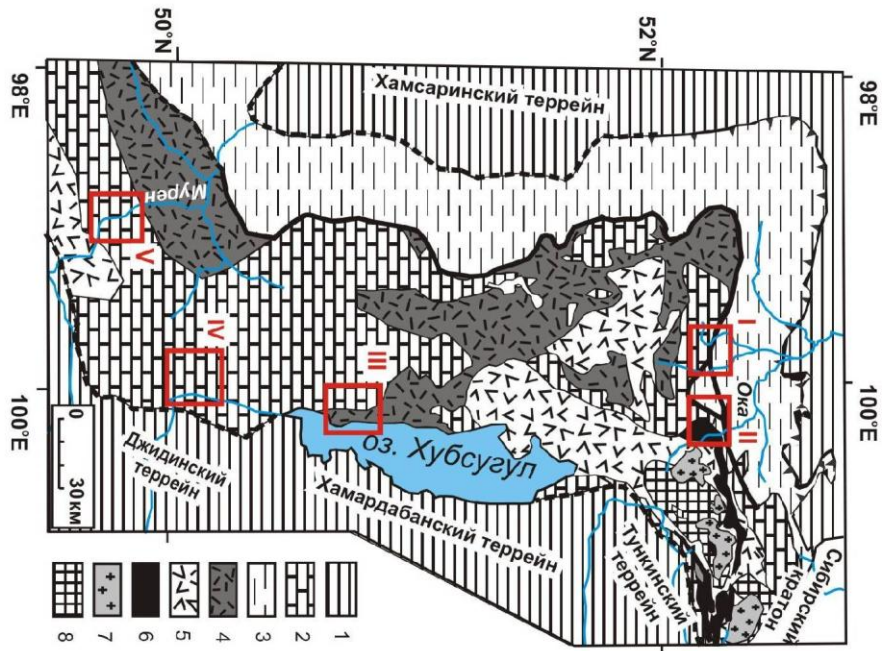


Рис. 1. Геологическая схема северо-западной части Тувино-Монгольского микроконтинента (по [Кузьмичеву, 2004] с дополнениями).
 Условные обозначения: 1 – каледонииды; 2 – венд-кембрийские карбонатные отложения чехла Тувино-Монгольского массива; 3 – породы окисной аккреционной призм, в том числе окисная серия и хайсуинская свита; 4 – неопрогрозольская вулканогенная сархойская серия; 5-6 – породы Дунжутойского офиолитового комплекса; 7 – тоналиты Сумсунурского комплекса; 8 – кристаллические образования позднеархейской Парганской глыбы. Прямоугольники – район работ: I – забитская свита боксонской серии, разрез в районе р. Уха-Тол; II – боксонская серия в междурье Урдо-Боксон и Хойто-Боксон; III – хубсугульская серия, район Хубсугульского фосфоритового месторождения; IV – хубсугульская серия в районе Бурханжакского месторождения; V – мурэнская (агарингольская) свита.

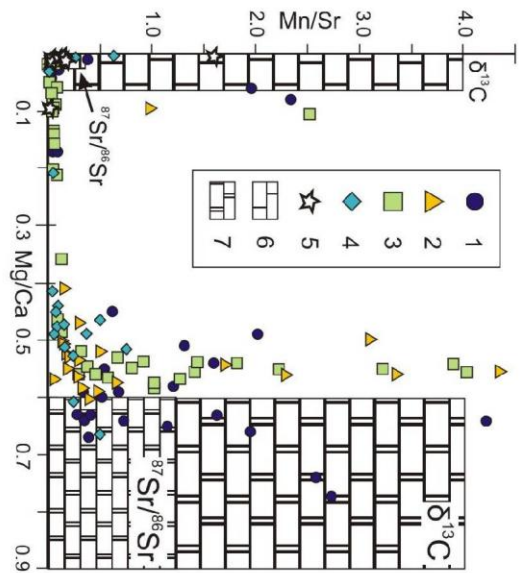


Рис. 2. График зависимости отношений Mg/Ca и Mn/Sr для карбонатных отложений венд-раннекембрийского чехла Тувино-Монгольского микроконтинента. Условные обозначения: фигуративные точки состава пород: 1 – забитская свита (разрез по р. Уха-Тол); 2 – боксонской серии (район слияния р.р. Урдо-Боксон и Хойто-Боксон); 3-4 – хубсугульской серии; 3 – район Хубсугульского месторождения; 4 – район Бурханжакского месторождения; 5 – мурэнской свиты; 6-7 – поля, удовлетворяющие геохимическим критериям, принятым для изучения изотопного состава: строения для известняков (6): $Mg/Ca < 0.024$, $Mn/Sr < 0.2$, для доломитов (7): $Mg/Ca \geq 0.608$, $Mn/Sr \leq 1.2$; углерода для известняков (6): $Mn/Sr < 4$, для доломитов (7) $Mn/Sr \leq 4$.

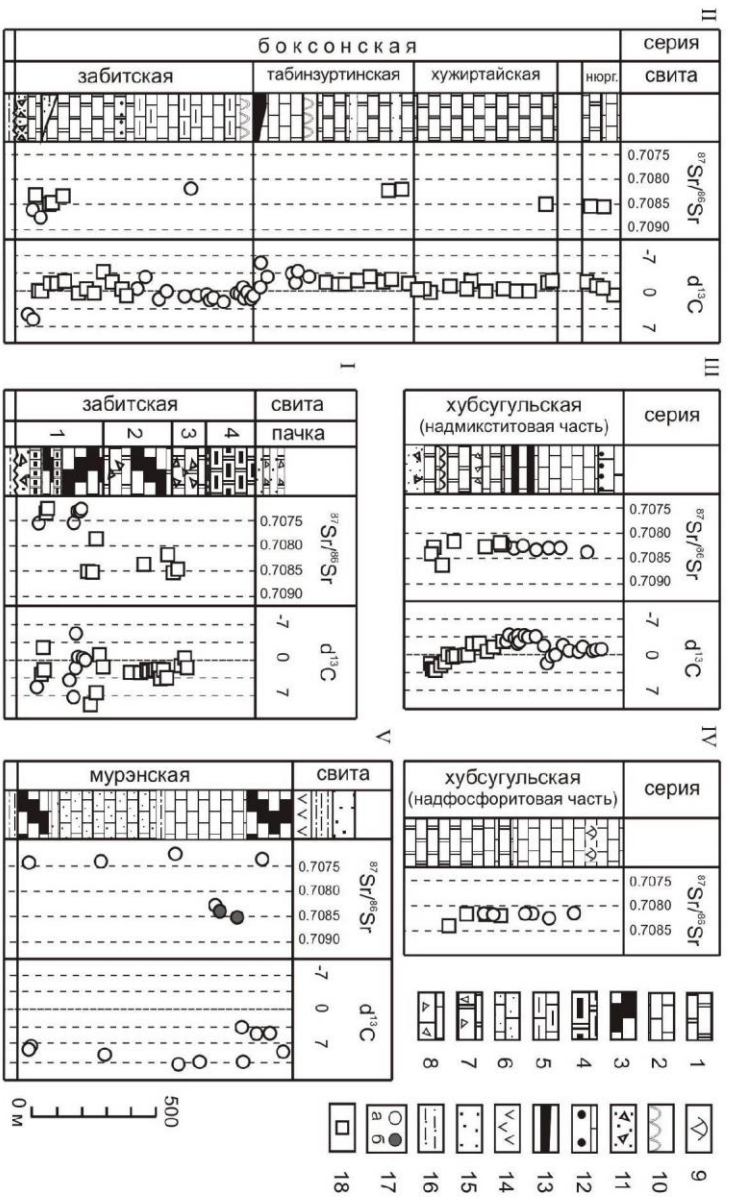


Рис. 3. Изотопный состав строения и углерода для карбонатных пород чехла Тувино-Монгольского микроконтинента: I-V см. рис. 1.

Условные обозначения: Условные обозначения: 1 – серия доломиты; 2 – массивные известняки; 3 – черные тонкопигментные известняки; 4 – темные, до черных доломиты; 5 – окрашенные карбонаты; 6 – “запесоченные” известняки; 7-8; брекчия; 7 – доломитовые, 8-известняковые; 9-находки археоциат; 10 – строматолиты; 11 – гиллиты; 12 – зернистые фосфориты; 13 – пластовые фосфориты; 14 – лава и тейфра; 15 – песчаники; 16 – глинистые сланцы; 17-20 – изученные пробы; 17-известняки а) удовлетворяющие геохимическим критериям, принятым в данной работе, б) не удовлетворяющие; 18 – доломиты.

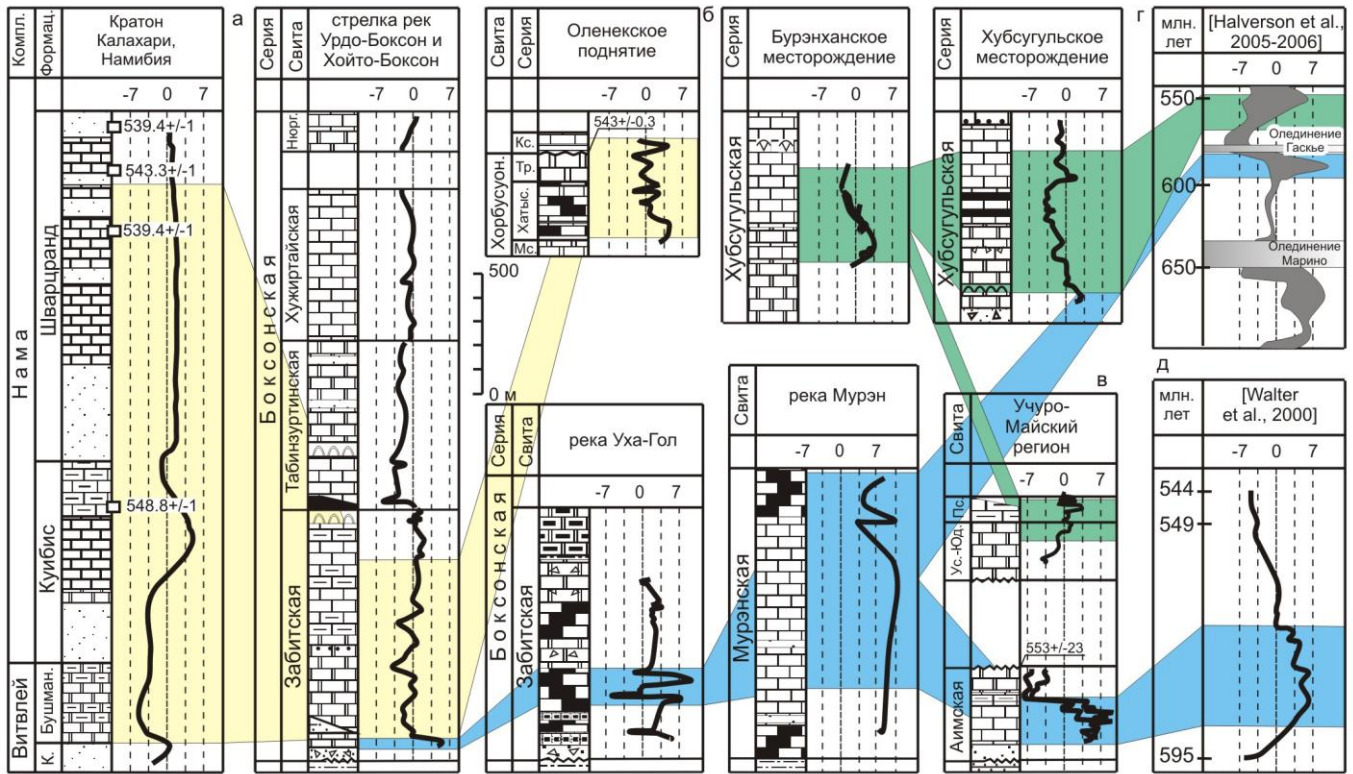


Рис. 4. Кривые вариаций $\delta^{13}\text{C}$ для венд-раннекембрийских отложений Тувино-Монгольского микроконтинента и типовых разрезов. По материалам: а - [Saylor et al., 1998]; б - [Knoll et al., 1995]; в - [Семихатов и др., 2004]; Стандартные кривые: г - [Halverson et al., 2005-2006, 2010]; д - [Walter et al., 2000] вне масштаба. Условные обозначения: рис. 3. Сокращения: формации: К. – Корт, Бушман. – Бушмансклип; Хорбусун. – хорбусунская серия; свиты: Нюрг. – нюргатинская, Мс. – маастахская, Хатыс. – хатыспытская, Тр. – туркутская, Кс. – кессюсинская, Ус-Юд. – усть-юдомская, Пс. – пестроцветная.

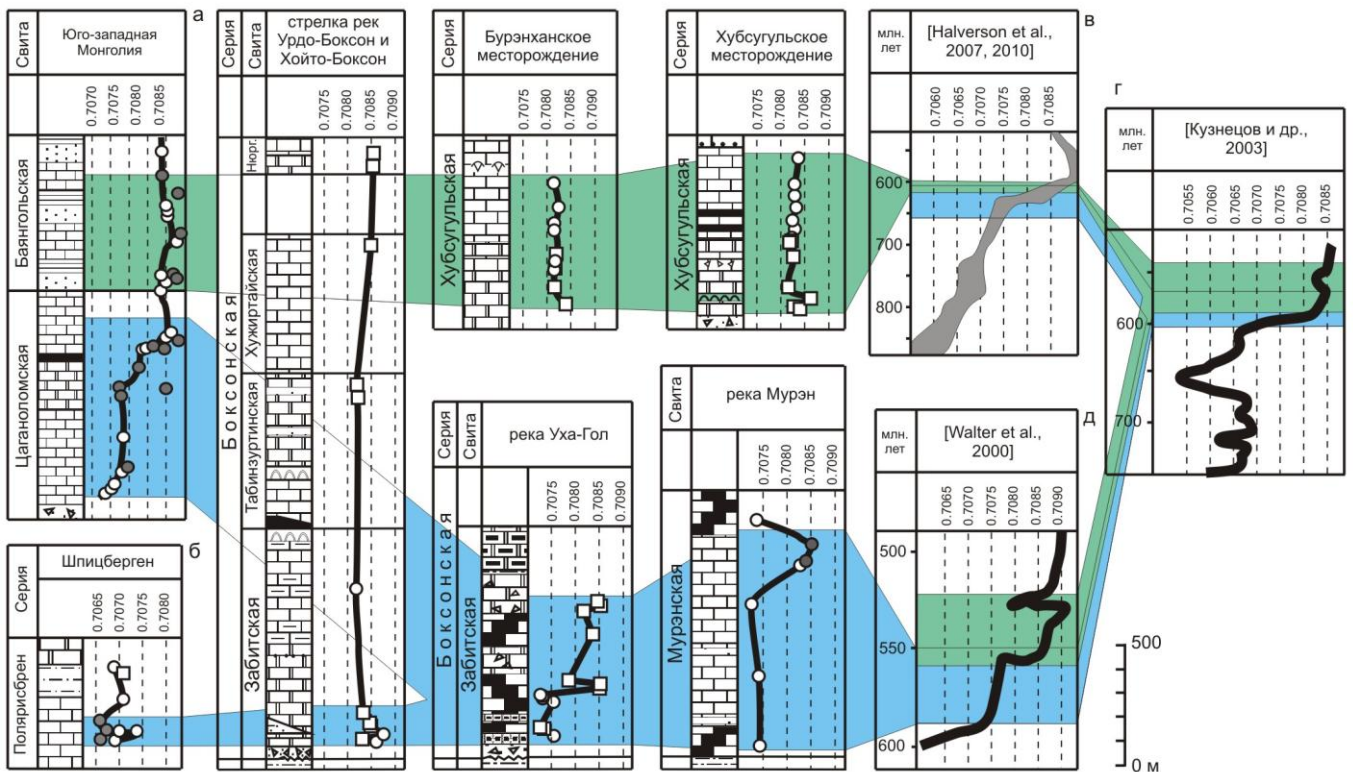


Рис. 5. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для непротерозойских отложений Тувино-Монгольского микроконтинента и типовых разрезов Сибирской платформы и Центрально-Азиатского складчатого пояса. По материалам: а - [Brasier et al., 1996]; б - [Derry et al., 1989, 1992; Halverson et al., 2005]; Стандартные кривые: в - [Halverson et al., 2005-2006, 2010]; г - [Кузнецов и др., 2003]; д - [Walter et al., 2000] вне масштаба. Условные обозначения: см. рис. 3. Сокращения: см. рис. 4.