

НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ТУВИНО-МОНГОЛЬСКОГО МАССИВА: ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ, ИСТОЧНИКИ СНОСА, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

Е.Ф. Летникова, С.В. Вещева*, А.И. Прошенкин, А.Б. Кузнецов**

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

** Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия*

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

Установлено, что терригенные отложения хайсуинской свиты и метаморфические образования Шутхулайской глыбы по своим геохимическим характеристикам подобны породам окинской серии. Источниками сноса для этих осадков послужили вулканиды сархойской серии и в меньшей мере кристаллические образования Гарганской глыбы и породы Дунжугурского офиолитового комплекса. Накопление терригенных отложений окинской серии, хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы происходило в едином осадочном бассейне в краевых частях Тувино-Монгольского массива в обстановках системы островных дуг.

Терригенные отложения, источник сноса, активная континентальная окраина, изотопные и геохимические характеристики, докембрийский Тувино-Монгольский массив,

NEOPROTEROZOIC TERRIGENOUS DEPOSITS OF THE TUVA-MONGOLIAN MASSIF: GEOCHEMICAL CORRELATION, SOURCELANDS, AND GEODYNAMIC RECONSTRUCTION

E.F. Letnikova, S.V. Veshcheva, A.I. Proshenkin, and A.B. Kuznetsov

We have established that the terrigenous deposits of the Haisu Formation and metamorphic deposits of the Shutkhulai block are similar in geochemical characteristics to the rocks of the Oka Group. The volcanics of the Sarkhoi Group and, to a lesser extent, the crystalline deposits of the Gargan block and rocks of the Dunjugur ophiolite complex served as sourcelands for the studied deposits. The terrigenous deposits of the Oka Group and Haisu Formation and the pararocks of the Shutkhulai block accumulated in the same sedimentary basin localized on the margin of the Tuva-Mongolian massif in the setting of an island-arc system.

Terrigenous deposits, sourceland, active continental margin, isotopic and geochemical characteristics, Precambrian Tuva-Mongolian massif

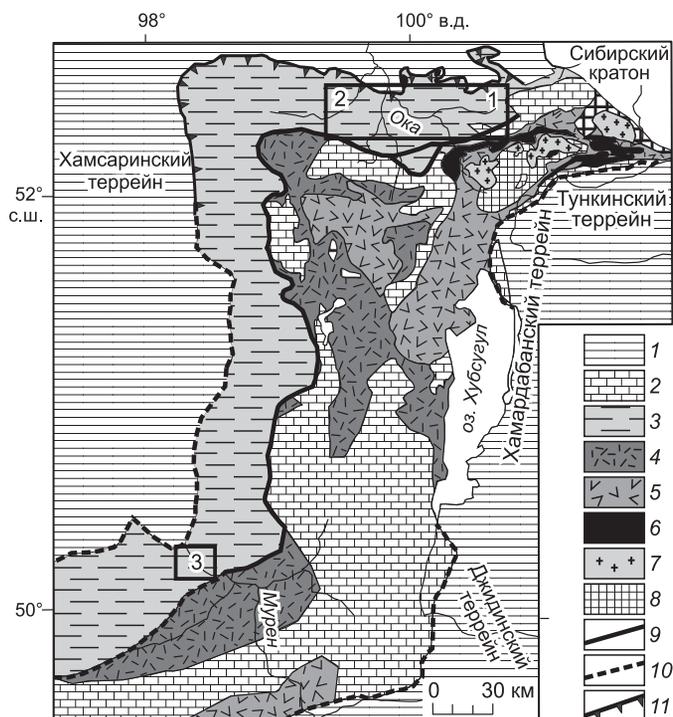
ВВЕДЕНИЕ

Тувино-Монгольский массив как самостоятельная тектоническая единица был выделен достаточно давно [Ильин, 1971; Беличенко, Боос, 1988]. Тем не менее геодинамическое положение, условия формирования и взаимоотношения отдельных комплексов, включаемых в его структуру, являются предметом острых дискуссий.

В разрезе окинской серии выделяются три толщи — осадочно-вулканогенная, флишоидная, пестроцветная. Ряд исследователей рассматривают первую толщу как тектонический покров, сложенный офиолитами, островодужными вулканидами и ассоциирующими с ними породами; вторую толщу, флишоидную как автохтонную; третья (в объеме пестроцветной толщи) интерпретируется как олистострома либо как неоавтохтон и сопоставляется с девонскими молассами [Геология..., 1988]. А.Б. Кузьмичев в своих работах столь сложное строение окинской серии связывает с формированием ее в обрамлении на рубеже 800 млн лет активной континентальной окраины и интерпретирует терригенные комплексы как составные части аккреционной призмы [Кузьмичев, 2004]. Следует отметить, что аккреционная призма представляет собой тектоническое сооружение, а не осадочный бассейн, в котором происходило первоначальное накопление составляющих ее осадков. Поэтому при реконструкции обстановок седиментогенеза и восстановления источников сноса для неопротерозойских терригенных отложений, накапливающихся в краевых частях Тувино-Монгольского массива, были проведены геохимические и Sm-Nd изотопные исследования.

Рис. 1. Геологическая схема Тувино-Монгольского массива (по [Кузьмичев, 2004] с дополнениями).

1 — венд-кембрийские образования Хамсаринского, Джидинского, Хамардабанского и Тункинского террейнов; 3 — неопротерозойские терригенные отложения окинской серии (1), хайсуинской свиты (3) и метаморфические породы Шутхулайской глыбы (2); 4 — неопротерозойская вулканогенная сархойская серия; 5, 6 — породы дунжугурского офиолитового комплекса; 7 — тоналиты сумсуурского комплекса; 8 — кристаллические образования позднearerхейской Гарганской глыбы; 9 — установленная граница окинской серии, хайсуинской свиты и Шутхулайской глыбы с Тувино-Монгольским массивом; 10 — граница Тувино-Монгольского массива; 11 — надвиги. Прямоугольники — районы работ: 1 — окинская серия (реки Ока, Тустук, Яхошоп, Даялык); 2 — Шутхулайская глыба (верховья р. Тисса, оз. Шутхулай); 3 — хайсуинская свита (верховья р. Мурен).



Взаимоотношение осадочных пород окинской серии северной периферии массива и их взаимоотношения с метаморфитами Шутхулайской глыбы до настоящего момента не имеют однозначного ответа. С одной стороны, предполагается аллохтонное залегание толщ окинской серии в структуре Тувино-Монгольского массива, в том числе и на докембрийских метаморфических породах Шутхулайской глыбы [Геология..., 1988]. С другой стороны, существует предположение о накоплении пород окинской серии на краю микроконтинента и их более позднее тектоническое совмещение с метаморфитами Шутхулайской глыбы [Бутов, 1996], которые в данном случае могут представлять собой комплекс метаморфических ядер [Склярков и др., 1998]. Это, в свою очередь, не исключает точку зрения о том, что породы Шутхулайской глыбы являются метаморфизованными аналогами пород окинской серии [Кузьмичев, 2004]. Поэтому в рамках данного исследования проведено геохимическое изучение метаосадочных пород Шутхулайской глыбы, и полученные геохимические характеристики сопоставлены с таковыми для отложений окинской серии.

Объектами послужили терригенные породы флишоидной и осадочно-вулканогенной толщи окинской серии (Восточный Саян, Россия), хайсуинской свиты (верховья р. Мурен, Северная Монголия) и парапороды Шутхулайской глыбы (рис. 1).

СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТУВИНО-МОНГОЛЬСКОГО МИКРОКОНТИНЕНТА

Фундамент Тувино-Монгольского массива сложен позднearerхейскими кристаллическими образованиями Гарганской глыбы, в составе которой доминируют плагиогнейсы и плагиогранитоиды тоналит-трондьемитового состава. Породы фундамента испытали высокоградный метаморфизм около 2.66 млрд лет назад (U-Pb метод по циркону [Kovach et al., 2004]). На кристаллических породах фундамента залегают маломощные конгломераты и аркозовые песчаники, которые согласно сменяются мощной толщей карбонатных пород иркутской свиты. Среди карбонатных пород преобладают слабобитуминовые известняки с пачками строматолитов и линзами кремней. Названные терригенно-карбонатные отложения, накапливаясь в мелководных обстановках, слагают чехол массива. Литолого-геохимическое исследование осадочных пород свиты предполагает, что при седиментации чехла Гарганская глыба представляла собой устойчивый участок земной коры в пределах океана, среди пород питающих провинций преобладали гранитоиды [Летникова, Гелетий, 1997]. На основе данных Sr хемотратиграфии, возраст карбонатных отложений иркутской свиты древнее 1250 млн лет [Кузнецов и др., 2010].

Процесс карбонатакопления, благоприятного в условиях пассивного тектонического режима, был прерван во второй половине позднего рифея после заложения вблизи Тувино-Монгольского массива активной континентальной окраины, представленной вулканитами сархойской серии. Результаты U-Pb датирования вулканитов этой серии по цирконам (SRIMP) показали, что возраст ингимбитов составляет 782 ± 11 млн лет [Кузьмичев, Ларионов, 2010].

В это время значительно сократилась площадь шельфа и на периферии массива накапливались исключительно терригенные осадки окинской и хугейнской серий, а также их стратиграфические аналоги на юге массива — силикокластические отложения хайсуинской свиты. В строении окинской серии выделяют три толщи. В разрезе первой, флишоидной, толщи преобладают два типа пород: 1) рассланцованные алевролиты, аргиллиты и мелкозернистые песчаники; 2) массивные песчаники. В некоторых разрезах отмечаются маломощные (первые десятки сантиметров) прослои глинистых известняков. Эта толща сложена преимущественно отложениями турбидитных и зерновых потоков. Более зрелая кластика мелкозернистых пород, возможно, свидетельствует о переработке материала природными течениями [Кузьмичев, 2004]. Вторая, вулканогенно-осадочная, толща сложена продуктами вулканизма кислого или смешанного состава. Вулканомиктовые песчаники содержат большое количество кристаллокластов и хорошо сортированы. Наряду с этим, отмечаются зеленые, в разной степени рассланцованные туфо-конгломераты и туффиты, содержащие переменное количество обломков эффузивов среднего и основного составов. Основу третьей, пестроцветной, толщи составляют пепельно-серые алевролиты и буроватые песчаники, содержащие в обломках и в цементе карбонатный материал. Местами присутствуют такие специфические разности, как полимиктовые конгломераты и обвальнo-оползневые карбонатные накопления. Сероцветные песчаники и алевролиты пестроцветной толщи отличаются от пород флишоидной толщи отсутствием явных признаков турбидитного происхождения [Кузьмичев, 2004]. В данной работе будут рассмотрены геохимические характеристики терригенных отложений первых двух толщ окинской серии.

Исследования пород окинской серии Rb-Sr методом свидетельствуют о том, что они испытали высокобарический метаморфизм (829 ± 23 млн лет) и наложенный зеленосланцевый метаморфизм (624 ± 52 млн лет) [Добрецов и др., 1988]. Sm-Nd минеральная изохрона по габброидам из силлов, прорывающих флишоидную толщу окинской серии, составляет 736 ± 43 млн лет [Кузьмичев, Журавлев, 1999]. Датировки этих же силлов U-Pb методом по цирконам соответствуют интервалу 753 ± 16 млн лет [Кузьмичев, 2004]. Приведенные данные свидетельствуют о том, что возраст окинской серии соответствует второй половине рифея.

Хайсуинская свита картирована в приустьевой части р. Хайсуин-Гол и в береговых обнажениях р. Мурэн-Гол (Северная Монголия, Западное Прихубсугулье) А.С. Гибшером и Я. Бат-Ирээдуем и представлена чередованием черных аргиллитов, зеленовато-серых алевролитов и песчаников. Преобладают тонкозернистые и глинистые породы, фрагментарно развиты линзы кремнистых пород. Характер слоистости типично контуритовый, отмечены песчано-зернистые слои мощностью 10—15 см с четкой мелкой косой и косоволнистой слойчатостью. На междуречье Мурэн-Гол и Бутуин-Гол среди терригенных пород хайсуинской толщи картируются линзы и пачки черных известняков, иногда доломитизированных и брекчиевидных. В 450 м ниже кровли толщи обнаружен непротяженный слой мелкогалечных конгломератов и гравелитов видимой мощностью до 40 м. Возраст свиты в связи с отсутствием находок органических остатков условно отнесен к позднему рифею [Гибшер, Бат-Ирээдуй, 1990].

Шутхулайская глыба пространственно расположена в пределах единого пояса распространения пород окинской серии (см. рис. 1) и сложена двуслюдяными гнейсами и гранитогнейсами, иногда с гранатом, в единичных случаях с силлиманитом или кианитом [Хильтова, 1966]. В переходной зоне между породами глыбы и слабометаморфизованными породами окинской серии степень метаморфизма падает [Кузьмичев, 2004]. В результате структурных и петрологических исследований проявления метаморфизма связывают с процессами, протекающими при образовании метаморфических ядер [Скляров и др., 1998].

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТУВИНО-МОНГОЛЬСКОГО МИКРОКОНТИНЕНТА

В основе геохимических исследований терригенных отложений лежат данные ICP-MS (PЗЭ) и полного силикатного анализа (петрогенные оксиды), полученные в Аналитическом центре Института земной коры СО РАН. В работе также использованы результаты силикатных анализов метаморфических парапород Шутхулайской глыбы, полученные коллективом исследователей под руководством Е.В. Склярова [Донская и др., 2004]. При изучении Sm-Nd изотопных характеристик терригенных пород для исследований были привлечены пробы гнейсогранитов Гарганской глыбы из коллекции О.М. Туркиной и вулканитов сархойской серии из коллекции А.Б. Кузьмичева, изотопные исследования проводились в ИГГ УрО РАН Ю.Л. Ронкиным.

Нормативные составы неопротерозойских терригенных отложений Тувино-Монгольского микроконтинента. Терригенные породы окинской серии метаморфизованы. Отложения хайсуинской свиты претерпели метаморфизм не выше зеленосланцевой фации, а парапороды Шутхулайской глыбы представляют собой метаморфические породы амфиболитовой фации — кристаллические сланцы и гнейсы. Вследствие различной степени метаморфических изменений первично-осадочных пород, су-

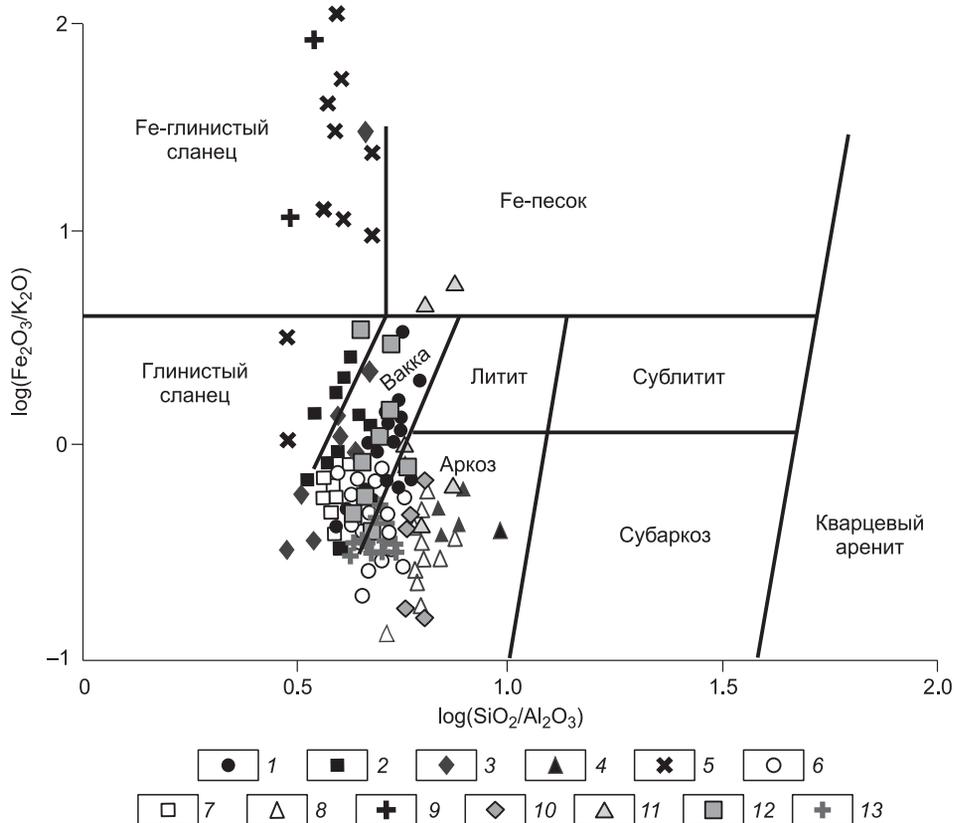


Рис. 2. Классификация терригенных отложений окинской серии и хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы на основании диаграммы Хирона.

Породы: окинской серии (1—5), в том числе туффиты (5); парапороды Шутхулайской глыбы (6—9), в том числе метатуффиты (9); хайсуинской свиты (10—13).

дить о различиях в их минеральном составе не представляется возможным. Поэтому нами были привлечены классификационные петрохимические методы исследований терригенных отложений.

С помощью классификационной диаграммы М.М. Хирона [Heron, 1988] среди пород окинской серии и парапород Шутхулайской глыбы были выделены следующие литотипы — вакки, аркозы, глинистые сланцы (рис. 2), среди которых в дальнейшем диагностированы туффиты основного состава. Последние выделены на основе литохимической классификации Я.Э. Юдовича [Юдович, Кетрис, 2000]. Они характеризуются содержаниями оксида магния, превышающими 3 %, значениями фемического модуля (ФМ) выше 0.2 и относятся к пирогенным породам. При анализе полученных геохимических данных, для части пород окинской серии и Шутхулайской глыбы отмечается повышенное содержание MgO и значение ФМ для окинской серии — 0.33—0.64 и Шутхулайской глыбы — 0.36—0.44. Подобные характеристики не типичны для осадочных терригенных пород, и их относят по литохимической классификации Я.Э. Юдовича [Юдович, Кетрис, 2000] к «псевдоосадочным» пирогенным породам, образовавшимся в результате привноса пеплового материала. При дальнейшем исследовании будем называть их туффитами. Следует отметить, что именно для этих пород были получены наиболее молодые модельные возрасты источников сноса относительно изученных терригенных пород. Осадочные породы хайсуинской свиты представлены аркозовыми песчаниками и, в подчиненном количестве, вакками.

Следует отметить, что изученные аркозовые песчаники окинской серии, хайсуинской свиты и Шутхулайской глыбы в большинстве случаев характеризуются повышенным содержанием Na₂O относительно K₂O. Это является свидетельством преобладания главным образом плагιοгранитоидов среди источников сноса, кроме того, встречаются калиевые аркозы, образовавшиеся в результате разрушения гранитов. При этом не стоит забывать и про туффиты основного состава среди отложений окинской серии и Шутхулайской глыбы. Все это предполагает несколько источников сноса при формировании изученных терригенных пород.

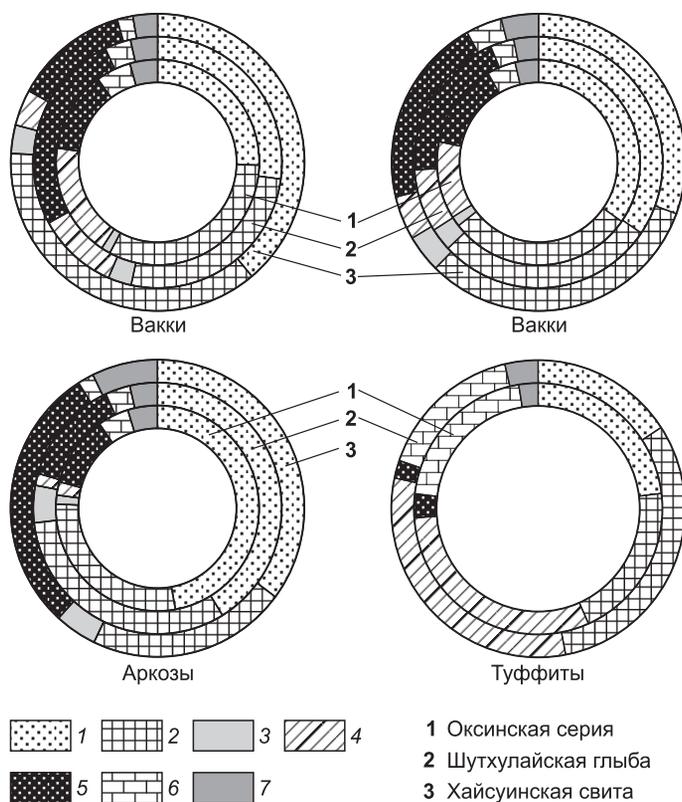


Рис. 3. Нормативный первичный состав породообразующих минералов терригенных пород окинской серии, хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы по результатам программы MINLITH [Розен и др., 2000].

1 — кварц, 2 — плагиоклаз, 3 — КШШ, 4 — хлорит, 5 — иллит, 6 — карбонаты, 7 — акцессории.

Для расчета нормативного первичного состава терригенных пород различной степени метаморфизма для рассматриваемых комплексов была использована программа MINLITH [Розен и др., 2000] (рис. 3). В выделенных литотипах для всех трех изученных осадочных и метаосадочных комплексов отмечен близкий минералогический состав. Так, аркозы и ваки характеризуются значительным преобладанием плагиоклазов над КШШ при вариациях от 26 до 44 % кварца. Глинистые минералы представлены преимущественно иллитом. При этом туффиты резко отличаются от других терригенных пород высокими содержаниями хлорита (30—40 %).

Совпадение набора литотипов осадочных пород и их нормативных минеральных составов в окинской серии, хайсуинской свите и Шутхулайской глыбе свидетельствует об общих источниках сноса обломочного материала во всем поясе распространения изученных осадочных толщ, т.е. о едином бассейне осадконакопления.

Другим петрохимическим методом определения однотипности составов являются вариационные диаграммы. На них генетически родственные осадки будут иметь единые поля составов, а чужеродные — существенно различаться. Так, на этих диаграммах песчаники и туффиты окинской серии, хайсуинской свиты и Шутхулайской глыбы образуют два четких поля. В первом объединяются аркозы, ваки и глинистые сланцы всех трех изученных комплексов (рис. 4). Это также свидетельствует о том, что эти отложения накапливались в едином осадочном бассейне при постоянном составе пород питающих провинций. Туффиты основного состава окинской серии и Шутхулайской глыбы образуют самостоятельное поле, характеризующееся отличными от терригенных отложений петрохимическими характеристиками, что указывает на иную природу образования этих пород.

Обобщая результаты петрохимических исследований, можно утверждать, что метаморфические породы Шутхулайской глыбы и хайсуинской свиты являются аналогами пород окинской серии и накапливались все одновременно в едином осадочном бассейне.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СОСТАВА ПОРОД ИСТОЧНИКОВ СНОСА И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА ОТЛОЖЕНИЙ ОКИНСКОЙ СЕРИИ И ШУТХУЛАЙСКОЙ ГЛЫБЫ

Преобладание аркозов среди изученных терригенных пород всех трех комплексов предполагает существенную роль среди пород питающих провинций гранитоидов. Действительно, определение состава источника сноса материала с помощью диаграммы М.Р. Бхатия [Bhatia, 1983] показало, что для части отложений окинской серии и хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы источником материала служили граниты и гранодиориты (рис. 5). Меньшая часть изученных осадков образовалась в результате разрушения пород, близких к андезитовому составу. Незначительная часть, представленная в основном аркозами, является рециклированными осадками, т.е. образованными в результате переотложения пород более древних осадочных комплексов. Это возможно в обстановках долгоживущих стабильных тектонических структур, каковой в данном случае может являться Гарганская глыба. Туффиты окинской серии и Шутхулайской глыбы унаследовали свои геохимические характеристики от пород основного состава. Все это свидетельствует об образовании обломочной части рассматриваемых типов пород из различных источников сноса материала.

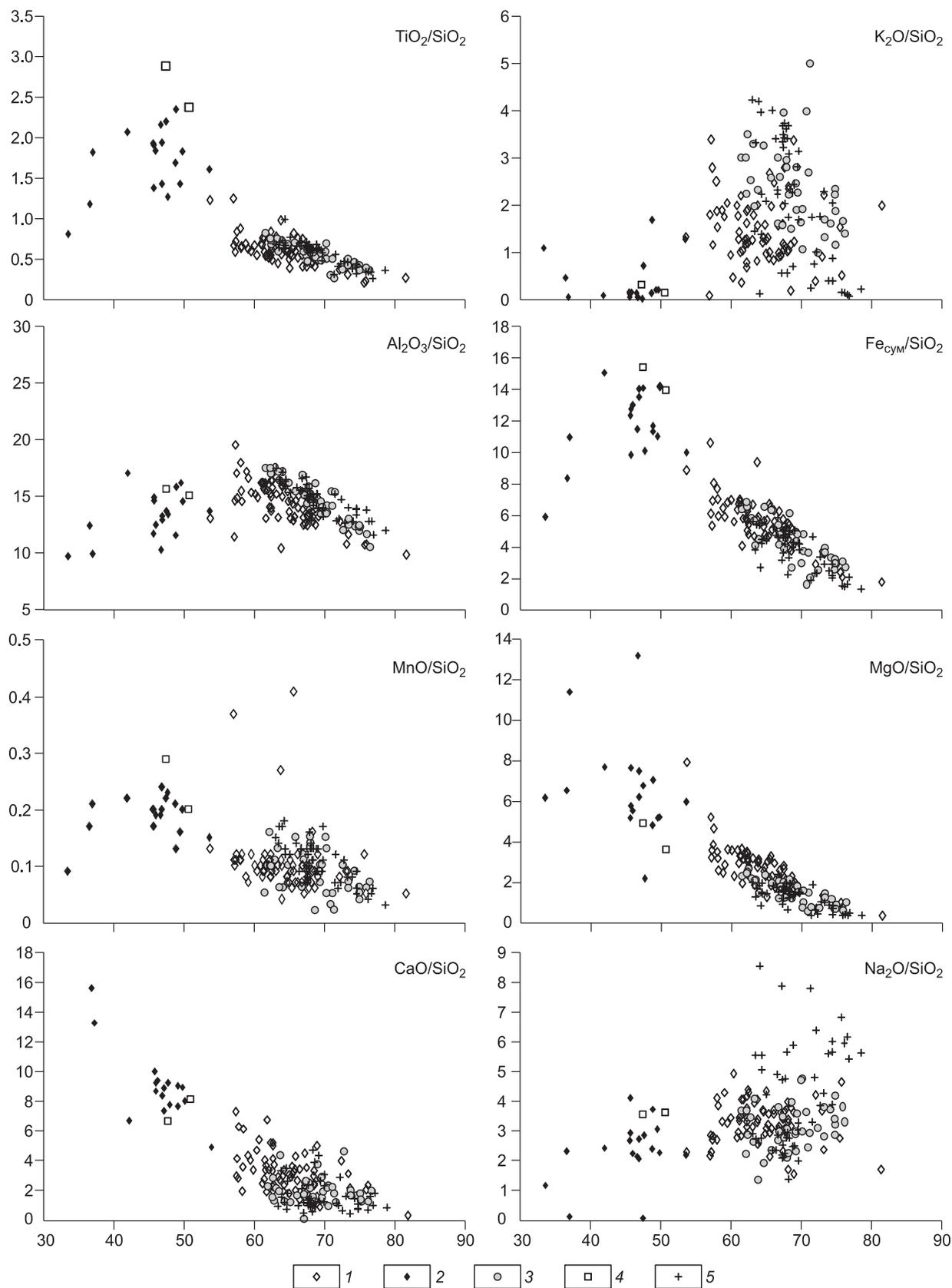


Рис. 4. Вариационные диаграммы для терригенных пород окинской серии и хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы.

Окинская серия: 1 — терригенные отложения, 2 — туффиты; Шутхулайская глыба: 3 — метатерригенные отложения, 4 — мета-туффиты; хайсуинская свита (5) — терригенные породы.

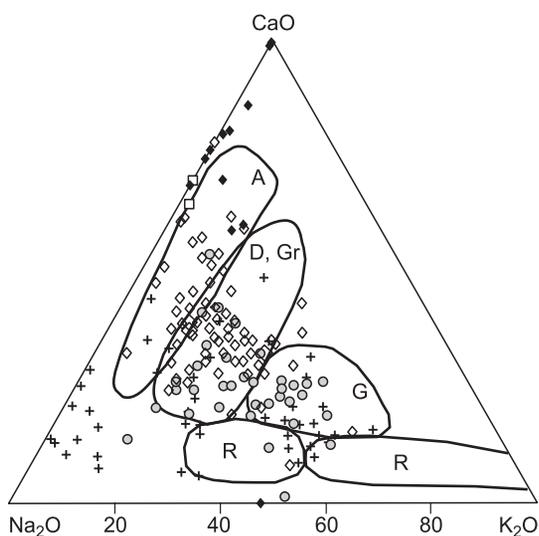


Рис. 5. Источники обломочного материала для терригенных пород окинской серии и хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы на основании диаграммы М.Р. Бхатия.

Усл. обозн. см. на рис. 4. Породы источников сноса: G — граниты, Gr — гранодиориты, D — дациты, A — андезиты, R — рециклированные осадки.

Подтверждением этому служит диаграмма Тейлора [Тейлор и др., 1988], где показано, что все терригенные породы образовались за счет смеси материала из различных областей сноса — гранитоидного и базитового (рис. 6). При этом рециклированные отложения образовались путем переотложения песчаников, источниками обломочного материала которых были гранитоиды. Сугубо базитовый состав источников сноса характерен только для туффилов окинской серии и Шутхулайской глыбы.

Таким образом, стоит отметить одинаковый набор пород источников сноса для всех терригенных пород окинской серии, хайсуинской свиты и Шутхулайской глыбы, что свидетельствует об их накоплении в едином осадочном бассейне при постоянстве источников сноса существенно гранитоидного состава. Изученные туффиловы не являются отложениями, связанными с этими источниками, а генетически приурочены к породам андезит-базальтового состава.

Для реконструкции тектонических режимов областей сноса материала пород окинской серии, хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы были использованы диаграммы М.Р. Бхатия [Bhatia, 1983] (рис. 7). Преобладающие количества терригенных отложений этих трех осадочных комплексов образовались за счет разрушения пород, сформированных в обстановках активной континентальной окраины. Меньшая часть песчаников окинской серии и парапород Шутхулайской глыбы образовались за счет разрушения океанических островных дуг. Небольшое количество аркозов связано с источниками сноса в пределах пассивной континентальной окраины. Группы пород, содержащих пирокластический материал, не относятся к группе песчаников и поэтому не могут быть рассмотрены на этих диаграммах, но на том основании, что материалом для их образования послужили андезиты и базальты, можно считать, что они связаны с островными дугами.

В пределах рассматриваемого сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса возможными источниками обломочного материала могут являться раннедокембрийские кристаллические образования Гарганской глыбы (гранитоидный источник, пассивная континентальная окраина), вулканы сархойской дуги (гранитоидный и андезитовый источник, активная континентальная окраина, континентальная дуга) и породы офиолитового дунжугурского комплекса (базитовый источник, океаническая островная дуга).

Распределение РЗЭ в породах окинской серии и хайсуинской свиты. В выделенных литотипах терригенных отложений окинской серии и хайсуинской свиты было изучено распределение РЗЭ (табл. 1). Тренды распределения этих элементов в изученных породах и ПААС (постархейский средний сланец), принятые за средний состав верхней континентальной коры, существенно различаются (рис. 8). Это является следствием того, что накопление этих отложений происходило в локальном бассейне вдали от крупных материков, где не успевало происходить перемешивание терригенных обломков из разных источников и протекать усреднение

Рис. 6. Источники обломочного материала для терригенных пород окинской серии и хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы на основании диаграммы Тейлора—Мак-Леннона.

Усл. обозн. см. на рис. 4. Серые поля — средние составы пород, согласно работе [Тейлор, Мак-Леннон, 1988].



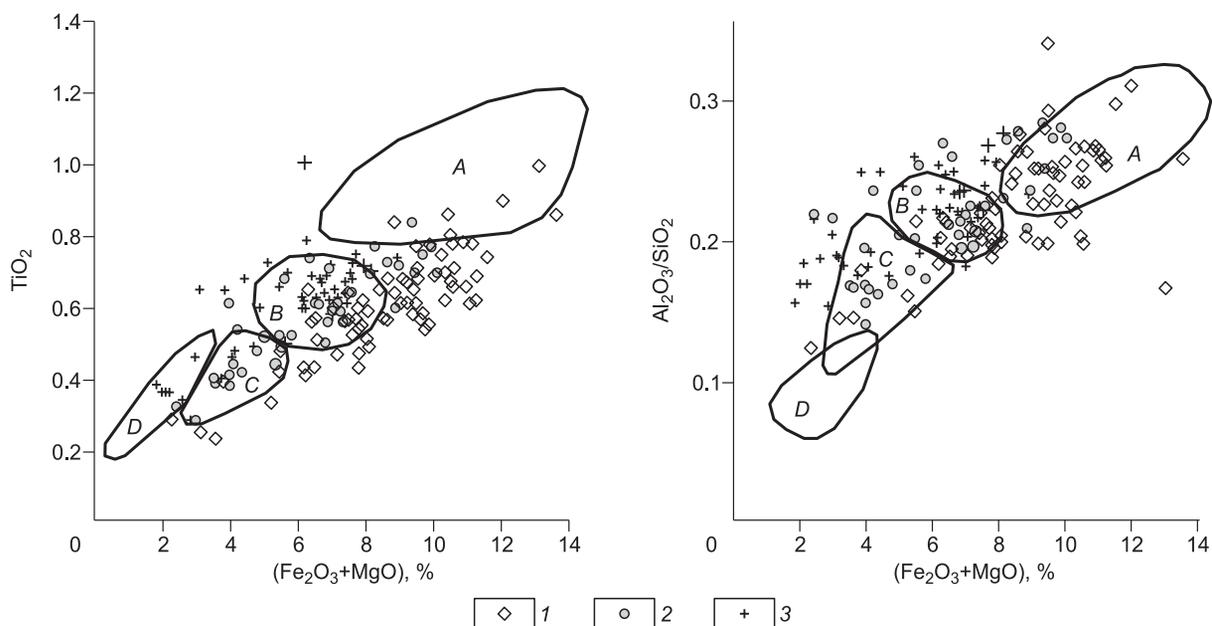


Рис. 7. Реконструкция тектонических режимов для источников сноса материала пород окинской серии, хайсуинской свиты и парапород Шутхулайской глыбы на основании диаграммы М.Р. Бхатия.

Терригенные отложения: 1 — окинской серии, 2 — Шутхулайской глыбы, 3 — хайсуинской свиты. А — океанические островные дуги, В — континентальные островные дуги, С — активная континентальная окраина, D — пассивная континентальная окраина.

состава терригенных пород. Источники в данном случае находились в непосредственной близости от бассейна седиментации, поэтому изученные терригенные породы унаследовали свои РЗЭ характеристики от определенных пород питающих провинций. Остановимся на этом подробнее.

Для выделенных литотипов окинской и хайсуинской свиты установлены три типа спектров распределения РЗЭ (рис. 9). Первый тип, представленный только породами окинской серии, характеризуется отчетливым обеднением тяжелыми РЗЭ и наиболее высоким La/Yb отношением (11.3—23.2) при практическом отсутствии европиевого минимума ($Eu/Eu^* = 0.80—1.01$). Такой тип редкоземельных спектров характерен для архейских терригенных отложений, образованных за счет эрозии главным образом пород тоналит-гранодиоритовых комплексов [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. Аналогичное распределение лантоноидов ($La/Yb = 16—50$) имеют позднеархейские плагиигнейсы и плагиигранитоиды Гарганского блока, что позволяет рассматривать их в качестве наиболее вероятного источника сноса для терригенных пород с крутыми спектрами РЗЭ. Второй тип отвечает туффитам окинской серии, обладающим наиболее низкими концентрациями легких лантаноидов и пологим характером спектра РЗЭ ($La/Yb = 4.02$), что отличает его от остальных литотипов окинской серии и хайсуинской свиты. Указанный характер спектров, типичный для пород основного состава, подтверждает генетическую связь туффитов с продуктами базальтоидного вулканизма. Для пирокластических пород также отмечено отсутствие Eu-аномалии ($Eu/Eu^* = 0.92$), что является унаследованной чертой от материнских пород. Третий тип распределения РЗЭ, к которому относятся аркозовые песчаники и вакки окинской серии и хайсуинской свиты, не обнаруживает резкого обеднения тяжелыми редкоземельными элементами, что, в свою очередь, делает спектры этих литотипов более пологими ($La/Yb = 9.5—12.1$). Для этих отложений Eu-аномалия также практически отсутствует (среднее $Eu/Eu^* = 0.92$). Этот тип спектров, по сути, занимает промежуточное положение между двумя первыми и сходен с таковым пород сархойской серии (см. рис. 9). Следует отметить, что эти песчаники обладают пониженным содержанием легких РЗЭ в сравнении с вулканитами сархойской серии и позднеархейскими плагиигнейсами и плагиигранитоидами Гарганского блока, что свидетельствует об участии базитовых источников сноса в образовании терригенного материала. Для песчаников и пирокластических пород окинской серии характерна ярко выраженная Ce положительная аномалия (Ce/Ce^* соответственно 1.45—1.59 и 2.11).

Таким образом, анализ петрохимических особенностей и распределения РЗЭ в терригенных отложениях позволяет ограничить их вероятные источники сноса раннедокембрийскими породами Гарганского блока, неопротерозойскими вулканитами сархойской серии, а также породами дунжугурского офиолитового комплекса, служившими поставщиком наиболее мафического терригенного материала.

Таблица 1.

**Петрогенные и редкоземельные элементы представительных проб
терригенных отложений окинской серии и хайсуинской свиты**

Компонент	Окинская серия					Хайсуинская свита	
	Аркоз		Глинистый сланец	Вакка	Туффит	Аркоз	Вакка
	C40/97	C32/97	п20/97	11/97н	44/97н	C11/05	C45/05
SiO ₂ , мас. %	72.09	75.61	62.32	64.90	36.61	66.45	72.24
TiO ₂	0.39	0.23	0.57	0.52	1.20	0.72	0.46
Al ₂ O ₃	12.80	10.75	16.45	13.63	12.43	15.6	14.7
Fe ₂ O ₃	1.73	0.96	1.67	0.78	1.68	1.27	1.53
FeO	1.22	1.48	3.44	4.05	6.75	3.52	0.88
MnO	0.08	0.12	0.08	0.07	0.17	0.09	0.07
MgO	0.75	1.00	3.07	2.34	6.58	1.79	0.47
CaO	4.01	2.06	2.27	2.96	15.68	2.14	0.63
Na ₂ O ₃	4.21	2.77	4.18	2.92	2.31	2.35	6.41
K ₂ O	0.39	1.53	1.61	1.58	0.46	3.42	1
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.11	0.14	0.16	0.17	0.06
H ₂ O	0.20	0.33	0.09	< 0.01	0.12	0.05	0.01
П.п.п.	1.08	2.32	2.49	1.73	3.53	2.1	0.86
CO ₂	1.32	0.22	1.21	3.96	12.10	0.11	0.77
Сумма	100.34	99.45	99.56	99.58	99.78	99.78	100.09
La, г/т	18.03	17.90	20.84	13.57	8.68	25.80	22.26
Ce	32.49	34.45	60.85	28.06	40.27	52.73	48.81
Pr	3.76	4.51	4.48	3.21	2.36	6.78	6.13
Nd	14.94	18.25	17.71	13.53	10.89	27.98	25.95
Sm	3.09	3.65	3.42	2.84	3.17	5.30	5.32
Eu	0.98	0.88	1.05	0.66	1.06	1.73	1.14
Gd	2.94	3.39	2.70	2.00	3.87	5.03	5.32
Tb	0.49	0.57	0.33	0.26	0.69	0.80	0.78
Dy	2.94	3.78	1.71	1.18	4.47	4.87	4.86
Ho	0.58	0.83	0.32	0.21	0.95	1.06	1.07
Er	1.67	2.37	0.89	0.61	2.57	2.97	3.27
Tm	0.27	0.37	0.14	0.12	0.43	0.44	0.51
Yb	1.43	2.28	0.90	0.89	2.16	2.73	3.33
Lu	0.20	0.34	0.14	0.17	0.27	0.41	0.49
Th	2.42	4.63	3.09	2.56	0.81	5.82	4.52
U	0.40	0.98	0.50	0.72	0.16	1.18	1.10

Примечание. Содержания петрогенных оксидов определено в АЦ ИЗК СО РАН (аналитик Г.В. Бондарева); РЗЭ окинской серии — там же, ИСП-масс (аналитики В.В. Маркова, С.В. Пантеева), хайсуинской свиты — ИСП-масс, ИГТ УрО РАН (аналитик Ю.Л. Ронкин).

Модельный Sm-Nd возраст терригенных отложений окинской серии и хайсуинской свиты и пород предполагаемых источников сноса. С целью более корректной оценки вероятных источников сноса был исследован изотопный состав Sm и Nd терригенных пород окинской серии и хайсуинской свиты, а также потенциальных пород питающей провинции — пород фундамента Гарганской глыбы и среднекислых вулканитов сархойской серии [Вещева и др., 2008]. При расчете Nd модельного возраста и ϵ_{Nd} использованы современные величины отношений для деплетированной мантии и CHUR [Jacobsen, Wasserburg, 1984; Goldstein, Jacobsen, 1988], значения параметра ϵ_{Nd} рассчитаны на $t = 800$ млн лет, что соответствует верхней возрастной границе осадконакопления и вулканизма исходя из возраста прорывающих стратифицированные отложения тоналитов сумсунарского комплекса (U-Pb возраст циркона

Рис. 8. Распределение РЗЭ в терригенных отложениях окинской серии и хайсуинской свиты в сопоставлении с PAAS.

~ 800 млн лет [Кузьмичев, 2004]). Раннедокембрийские плагиогнейсы и плагиогранитоиды тоналит-грандземитового состава Гарганского блока имеют мезоархейский Nd модельный возраст — $T(\text{DM}) = 2.8\text{—}3.0$ млрд лет (табл. 2). Неопротерозойские среднекислые вулканиты сархойской серии характеризуются отрицательными значениями $\epsilon_{\text{Nd}_{800}}$ (от -1.4 до -5.5) и $T_{\text{Nd}}(\text{DM}) = 1.6\text{—}2.0$ млрд лет, что указывает на значительный вклад в их образование мезоархейской коры фундамента Гарганского блока и согласуется с заключением [Кузьмичев, 2004] о развитии вулканизма в обстановке активной континентальной окраины. Исследованные терригенные породы имеют существенные вариации изотопных параметров: $\epsilon_{\text{Nd}_{800}}$ от -0.5 до -9.1 и $T_{\text{Nd}}(\text{DM}) = 1.5\text{—}2.3$ млрд лет, не обнаруживая закономерных вариаций в зависимости от пространственного положения. Близкий диапазон модельного возраста ($T(\text{DM})$ от 2.2 млрд лет до 1.3 млрд лет) в целом характерен для терригенных метасадков микроконтинентов Центрально-Азиатского складчатого пояса [Коваленко и др., 1999]. Модельный возраст осадков и их величины $\epsilon_{\text{Nd}_{800}}$ частично перекрываются с таковыми вулканитов сархойской серии, что может быть расценено как доминирующий вклад в области эрозии пород сархойской серии. Вместе с тем наличие пород как с более древним (2.3 млрд лет), так и более молодым (1.5 млрд лет) модельным возрастом в сравнении с породами сархойской серии указывает на вклад других источников сноса в их образование. Раннедокембрийским коровым источником, скорее всего, служили плагиогнейсы и плагиогранитоиды Гарганского блока, поскольку их участие в образовании терригенного материала позволяет также объяснить присущие алевролитам и песчаникам фракционированные спектры РЗЭ с повышенным La/Yb отношением. Снижение модельного возраста до 1.5 млрд лет может быть следствием вклада в области эрозии неопротерозойских основных пород дунжугурского офиолитового комплекса или Сархойской палеодуги. Участие раннедокембрийской коры окраины Сибирского кратона представляется менее вероятным. Раннедокембрийские породы метаморфических комплексов и гранитоиды выступов фундамента юго-западной окраины кратона характеризуются, как правило, преимущественно калиевым типом щелочности и обладают отчетливой отрицательной аномалией европия, которая проявлена и на редкоземельных спектрах как ранне- и позднедокембрийских метапелитов окраины кратона, так и пород позднедокембрийских метаграувакковых комплексов, образованных при участии терригенного материала, поступавшего с кратона [Дмитриева и др., 2008].

Таким образом, распределение петрогенных и редкоземельных элементов в неопротерозойских терригенных отложениях окинской серии и хайсуинской свиты и их Sm-Nd изотопный состав находят свое логическое объяснение в том случае, если их накопление происходило в осадочных бассейнах, непосредственно сопряженных с Тувино-Монгольским микроконтинентом. Источником сноса обломочного материала, с одной стороны, служили породные ассоциации раннедокембрийского фундамента массива и его активной континентальной окраины, а с другой, — основные вулканиты Дунжугурской островной дуги.

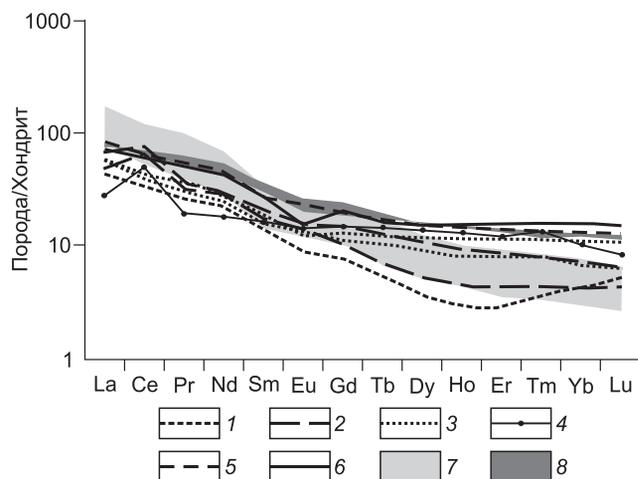
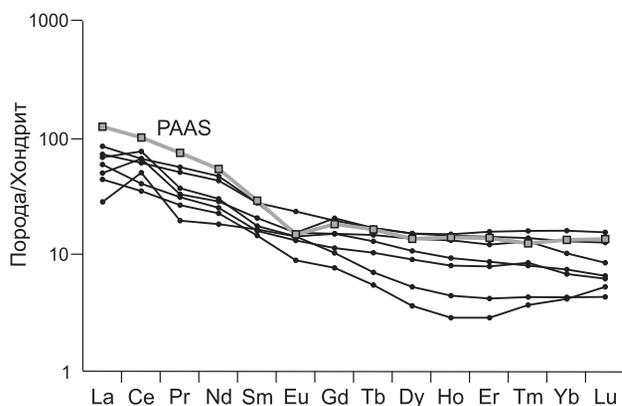


Рис. 9. Типы распределение РЗЭ в терригенных отложениях окинской серии и хайсуинской свиты и в породах предполагаемых источников сноса.

I тип — алевролиты (1), песчаники окинской серии (2); II тип — пирокластика окинской серии (4); III тип — аркоз окинской серии (3) и хайсуинской свиты (5), ваки хайсуинской свиты (6); 7 — поле плагиогнейсов и плагиогранитов раннедокембрийской Гарганской глыбы; 8 — поле неопротерозойских вулканитов сархойской серии (по данным из работы [Кузьмичев, 2004]).

Таблица 2.

Sm-Nd изотопные данные для пород Тувино-Монгольского блока

№ п/п	Номер пробы	Sm, г/т	Nd, г/т	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$T(\text{DM})$, млн лет	$\varepsilon_{\text{Nd}_{800}}$	Порода
1	11/97	2.9	14.9	0.1180	0.512202 ± 13	1510	-0.5	Вакка
2	P20/97	3.1	17.7	0.1041	0.511735 ± 3	1964	-8.2	Глинистый сланец
3	C32/97	3.5	17.2	0.1215	0.512141 ± 9	1667	-2.0	Аркоз
4	C40/97	2.8	13.7	0.1233	0.511789 ± 6	2288	-9.1	»
5	C45/05	5.1	23.5	0.1310	0.512238 ± 17	1680	-1.1	Вакка
6	C11/05	5.5	27.5	0.1210	0.512055 ± 6	1798	-3.6	Аркоз
7	1079/1-87	4.9	21.4	0.1220	0.512173 ± 4	1623	-1.4	Риодацит
8	167/1-01	6.8	32.6	0.1261	0.511988 ± 5	2018	-5.5	Андезит
9	P21-05	5.5	31.0	0.1077	0.511113 ± 4	2913	-20.7	Плагиогнейс
10	P15-05	3.2	19.1	0.1021	0.510968 ± 2	2963	-22.9	»
11	P30-05	2.0	16.1	0.0764	0.510594 ± 18	2822	-27.6	Плагиогранит

Примечание. 1—6 — терригенные породы: 1—4 — окинская серия, 5—6 — хайсуинская свита; 7—8 — вулкани-ты сархойской серии, 9—11 — архейские породы фундамента Гарганского блока. $\varepsilon_{\text{Nd}_{800}}$ рассчитано для $t = 800$ млн лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что терригенные отложения хайсуинской свиты и метаморфические образования Шутхулайской глыбы по своим геохимическим характеристикам подобны породам окинской серии и являются их более метаморфизованными аналогами и накапливались в едином осадочном бассейне. Обобщая полученный материал, можно утверждать, что накопление изученных терригенных отложений происходило в осадочном бассейне в обстановках системы островных дуг в краевой части Тувино-Монгольского массива. В результате этого источником сноса обломочного материала, с одной стороны, были вулканические образования островных дуг, с другой, — континентальная кора докембрийского фундамента массива и его активная континентальная окраина. На одних этапах эволюции этого бассейна доминировал снос с докембрийского массива, на других — главным поставщиком обломочного материала явились поднятия островных дуг. В результате в краевой части Тувино-Монгольского массива сформировалась мощная неопротерозойская осадочная толща.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 09-05-01030, 10-05-00971), Президиума СО РАН (проект № 19), № 10 ОНЗ РАН и поддержке научных школ.

ЛИТЕРАТУРА

Беличенко В.Г., Боос Р.Г. Боксон-Хубсугул-Дзабханский палеомикроконтинент в структуре Центрально-Азиатских палеозоид // Геология и геофизика, 1988 (12), с. 20—28.

Бутов Ю.П. Палеозойские осадочные отложения Саяно-Байкальской горной области (проблемы стратиграфии, характерные формации, рудоносность). Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 1996, 153 с.

Вещева С.В., Туркина О.М., Летникова Е.Ф., Ронкин Ю.Л. Геохимические и Sm-Nd изотопные характеристики неопротерозойских терригенных отложений Тувино-Монгольского массива // Докл. РАН, 2008, т. 418, № 4, с. 1—6.

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

Гибшер А.С., Бат-Ирээдуй Я. Стратиграфия позднего докембрия—раннего кембрия мурэнской зоны Западного Прихубсугуля // Поздний докембрий и палеозой Сибири. Вопросы региональной стратиграфии. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1990, 169 с.

Дмитриева Н.В., Туркина О.М., Ножкин А.Д. Петрогеохимические особенности метатерригенных пород Канского блока Восточного Саяна: реконструкция источников сноса и условий образования осадков // Литология и полезные ископаемые, 2008, № 2, с. 186—201.

Добрецов Н.Л., Карсаков Л.П., Складаров Е.В. Глаукофансланцевые пояса Южной Сибири и Приамурья // Геология и геофизика, 1988 (1), с. 3—10.

Донская Т.В., Складаров Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Васильев Е.П. Шутхулайский метаморфический комплекс (Юго-Восточный Саян): особенности метаморфизма и модель образования // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (2), с. 194—211.

Ильин А.В. О Тувино-Монгольском массиве // Материалы по региональной геологии Африки и Зарубежной Азии. 1971, с. 67—73.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Будников С.В., Журавлев Д.З., Козаков И.К., Котов А.Б., Рыцк Е.Ю., Сальникова Е.Б. Корообразующие магматические процессы при формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса: Sm-Nd изотопные данные // Геотектоника, 1999, № 3, с. 21—41.

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

Кузьмичев А.Б., Журавлев Д.З. О довендском возрасте окинской серии (Восточный Саян) по результатам датирования силлов Sm-Nd методом // Докл. РАН, 1999, т. 364, № 6, с. 796—800.

Кузьмичев А.Б., Ларионов А.Н. Сархойская серия Восточного Саяна: реконструкция неопротерозойской активной континентальной окраины // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2010, т. 1, с. 159—160.

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 // Докл. РАН, 2010, т. 432, № 3, с. 350—355.

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.

Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия, 2000, № 4, с. 431—444.

Склярков Е.В., Владимиров А.Г. Комплексы метаморфических ядер (классификация и генезис) // Докл. РАН, 1998, т. 360, № 6, с. 796—798.

Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, 384 с.

Хильтова В.Я., Крылов И.Н. О возрасте процессов ультраметаморфизма и метаморфической зональности в Шутхулайской глыбе и ее обрамлении (Восточный Саян) // Геология и геофизика, 1966 (9), с. 34—43.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб., Наука, 2000, 479 с.

Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol., 1983, v. 91, № 6, p. 611—627.

Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: implications for crustal evolution // Earth Planet. Sci. Lett., 1988, v. 87, № 3, p. 249—265.

Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date // J. Sed. Petrol., 1988, v. 58, p. 820—829.

Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. Sm-Nd evolution of chondrites and achondrites // Earth Planet. Sci. Lett., 1984, v. 67, p. 137—150.

Kovach V.P., Matukov D.I., Berezhnaya N.G., Kotov A.B., Levitsky V.I., Barash I.G., Kozakov I.K., Levsky L.K., Sergeev S.A. Shrimp zircon age of the Gargan block tonalites — find Early Precambrian basement of the Tuvino-Mongolian microcontinent, Central Asia mobile belt // 32nd Int. Geol. Congr., 2004, v. 1, p. 1263.

*Поступила в редакцию
11 апреля 2011 г.*