

УДК 550.42:551.24(571.55)

ИЗОТОПНЫЕ Sm–Nd-ХАРАКТЕРИСТИКИ ЮВЕНИЛЬНОЙ КОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ОРОГЕННОГО ПОЯСА

© 2023 г. С. И. Дриль^{1,*}, академик РАН М. И. Кузьмин¹, Ю. В. Носкова¹, О. В. Зарубина¹

Поступило 12.12.2022 г.

После доработки 12.12.2022 г.

Принято к публикации 22.12.2022 г.

В фанерозойское время процессы формирования континентальной коры были связаны с конвергентными геодинамическими обстановками и, соответственно, с внутриконтинентальными орогенными поясами, возникавшими на месте закрывшихся палеоокеанов. Выяснение соотношения ювенильного и более древнего рециклированного вещества является важнейшим параметром, определяющим историю формирования коры орогенов. Монголо-Охотский орогенный пояс является одной из важнейших структур Центральной Азии. В его центральной – Забайкальской – части представлены наиболее полно сохранившиеся фрагменты островодужных комплексов, а также весь спектр образований его аккреционной призмы, что позволило провести оценку соотношения ювенильного и рециклированного осадочного материала в коре этого орогена. Наиболее представительными фрагментами ювенильной коры в этой части пояса являются вулканогенно-осадочные образования каменной и уртуйской свит позднепалеозойского возраста. Первая из них является индикатором зоны субдукции вдоль северо-западной окраины Монголо-Охотского палеоокеана с падением под Сибирский палеоконтинент, а вторая – вдоль юго-восточной, с падением под Аргунский супертеррейн. Весь спектр вулканитов каменной свиты от базальтов до риолитов имеют положительные величины $\epsilon_{\text{Nd}(254\text{MA})} = +1.4-(+3.8)$ и $T_{\text{Nd}(\text{DM})} = 896-920$ млн лет. Величины $\epsilon_{\text{Nd}(350\text{MA})}$ в базальтах уртуйской свиты так же положительны и лежат в пределах $+1.7-(+6.0)$ при $T_{\text{Nd}(\text{DM})} = 773-939$ млн лет. Это позволяет определить характеристики ювенильной коры орогенного пояса, которая характеризуется положительными величинами $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ и модельными возрастами $T_{\text{Nd}(\text{DM})} < 1000$ млн лет. В составе метаосадочных пород аккреционного клина Монголо-Охотского орогенного пояса существенно преобладает более древнее рециклированное коровое вещество, источником которого, вероятно, являются позднерифейские комплексы Аргунского супертеррейна.

Ключевые слова: Монголо-Охотский орогенный пояс, ювенильная кора, изотопы Nd, изотопный Sm–Nd-модельный возраст, островные дуги, аккреционные призмы

DOI: 10.31857/S2686739722602812, EDN: NZHQLS

Процессы образования и эволюции континентальной коры в течение истории Земли оставались и остаются в центре внимания геологов. В фанерозойское время эти процессы были связаны с конвергентными геодинамическими обстановками [1] и, соответственно, с внутриконтинентальными орогенными поясами, возникавшими на месте закрывшихся палеоокеанов. Центрально-Азиатский орогенный пояс (ЦАСП) является примером аккреционного орогена, сформированного в результате тектонического совмещения (аккреции) островодужных комплексов, аккреционных призм, а также офиолитов, вулканогенно-осадочных комплексов океанических плато и задуговых бассейнов [2]. Все пе-

речисленные породные комплексы имеют мантийное происхождение и представляют собой ювенильную кору, которая вовлекается при аккреции в процессы гранитообразования. Этот вывод подкрепляется тем, что наиболее яркой чертой гранитоидов Центральной Азии являются преобладающие положительные $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ и молодые модельные возрасты $T_{\text{Nd}(\text{DM})}$ [3–5]. Было предположено, что ЦАОП представляет собой наиболее значительную структурно-вещественную “единицу” роста континентальной коры в фанерозойское время [5]. Однако позднее было показано, что значительная часть островодужных комплексов ЦАОП не могут считаться в полной мере ювенильными, т.к. они формировались на более древней континентальной коре или с добавкой более древнего рециклированного осадочного материала [6]. Таким образом, выяснение соотношения ювенильного и более древнего рециклированного вещества является важнейшим па-

¹ Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

*E-mail: sdri1@igc.irk.ru

раметром, определяющим историю формирования коры внутриконтинентальных орогенных поясов.

Монголо-Охотский орогенный пояс (МОП) является одной из важнейших структур ЦАСП [7] (рис. 1). В Забайкальской части МОП представлены наиболее полно сохранившиеся фрагменты островодужных комплексов, а также весь спектр образований его аккреционной призм, что позволяет провести оценку соотношения ювенильного и рециклированного осадочного материала в коре этого орогена. Наиболее представительными фрагментами ювенильной коры в этой части МОП являются образования Каменского островодужного террейна, а также уртуйской вулканогенно-осадочной свиты [8] (рис. 1). Каменский террейн является индикатором зоны субдукции вдоль северо-западной (в современных координатах) окраины МОП с падением под Сибирский палеоконтинент, а отложения уртуйской свиты свидетельствуют о существовании субдукционных процессов на окраине Аргунского супертеррейна, обрамлявшего МОП с юго-востока.

В составе Каменского террейна объединены интрузии береинского габбро-диорит-тоналитового комплекса и тесно пространственно связанные с ними вулканогенно-осадочные образования каменской свиты [9]. Последняя представляет собой переслаивание осадочных пород — вулканомиктовых конглобрекций и гравелитов, а также туфопесчаников и туфоаргиллитов, с вулканитами базальт-андезит-базальт-андезит-дацит-риолитовой серии. Вулканиты претерпели глубокие зеленокаменные изменения. Разрезы свиты характеризуются резкой изменчивостью и распределение вулканитов в них неравномерное. Габбро и диориты Береинского комплекса тесно пространственно связаны с вулканогенно-осадочной толщей, образуя в ней дайки, многочисленные апофизы и мелкие интрузивные тела. В результате изотопного датирования габбро-диоритов по цирконам U–Pb-методом на SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) был получен возраст 254.3 ± 5.1 млн лет [10], что соответствует поздней перми. Это позволяет принять и возраст вмещающей вулканогенно-осадочной толщи как позднепермский. Вулканиты свиты принадлежат к серии нормальной суммарной щелочности и умеренной калиевоности. Немногочисленные составы базальтов попадают в категорию субщелочных. Нормированные спектры распределения редких земель в базальтах, андезибазальтах, андезитах и риолитах являются умеренно обогащенными — $La/Yb_{(N)} = 1.96–4.31$. Мультикомпонентная диаграмма базальтов каменской свиты (рис. 2) демонстрирует характеристики, типичные для островодужных вулканитов — высокий уровень накопления K, Rb, Ba, Sr, Ba и резкое преобладание LILE над HFSE, что является

характерным признаком пород, связанных своим происхождением с зоной субдукции.

Уртуйская свита сложена туфопесчаниками, туфоалевролитами, аркозовыми и граувакковыми песчаниками, с которыми нередко ассоциируют яшмоиды и кремнистые породы, линзы известняков, иногда — основные и кислые вулканиты. Возраст свиты обоснован биостратиграфически и соответствует раннему карбону [13]. Отложения свиты характеризуются большим разнообразием типов разрезов и их изменчивостью по латерали. Вулканиты уртуйской свиты представлены преимущественно базальтами, претерпевшими зеленокаменные изменения. Более кислые разновидности вулканитов присутствуют в резко подчиненном количестве. Базальты принадлежат к серии как нормальной суммарной щелочности, так и к субщелочной. Большинство их составов являются умеренно калиевыми при подчиненном количестве высококалиевых разновидностей. Нормированные спектры распределения редких земель являются слабо и умеренно обогащенными — $La/Yb_{(N)} = 0.98–1.83$. Для высококалиевых разновидностей характерны более дифференцированные спектры распределения лантаноидов $La/Yb_{(N)} = 4.62–7.04$. Мультикомпонентная характеристика базальтов уртуйской свиты в полной мере соответствует породам субдукционных обстановок (рис. 2).

Таким образом, вулканиты как каменской, так и уртуйской вулканогенно-осадочных свит являются производными островодужного магматизма и представляют собой ювенильную составляющую в составе континентальной коры Монголо-Охотского орогенного пояса.

Изотопные Sm–Nd-исследования вулканитов и вулканогенно-осадочных пород каменской и уртуйской свит были проведены в Центре коллективного пользования изотопно-геохимических исследований ИГХ СО РАН (г. Иркутск) с использованием многоколлекторного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (MC-ICP-MS) NEPTUNE Plus по методике [14]. Полученные результаты, представленные на (рис. 3), позволяют оценить характеристики ювенильной коры в Забайкальском секторе МОП, а также масштабы возможного участия ее вещества в формировании осадков аккреционного клина пояса. Для оценки величин модельного возраста $T_{Nd(DM)}$ в породах вулканогенно-осадочных толщ использовались разности пород с величиной $^{147}Sm/^{144}Nd < 0.14$.

Весь спектр вулканитов каменской свиты от базальтов до риолитов имеют положительные величины $\epsilon_{Nd(254MA)} = +1.4–(+3.8)$ и $T_{Nd(DM)} = 896–920$ млн лет. Величины $\epsilon_{Nd(350MA)}$ в базальтах уртуйской свиты так же положительны и лежат в пределах $+1.7–(+6.0)$ при $T_{Nd(DM)} = 773–939$ млн лет. Таким образом, величины $\epsilon_{Nd(t)}$ в острово-

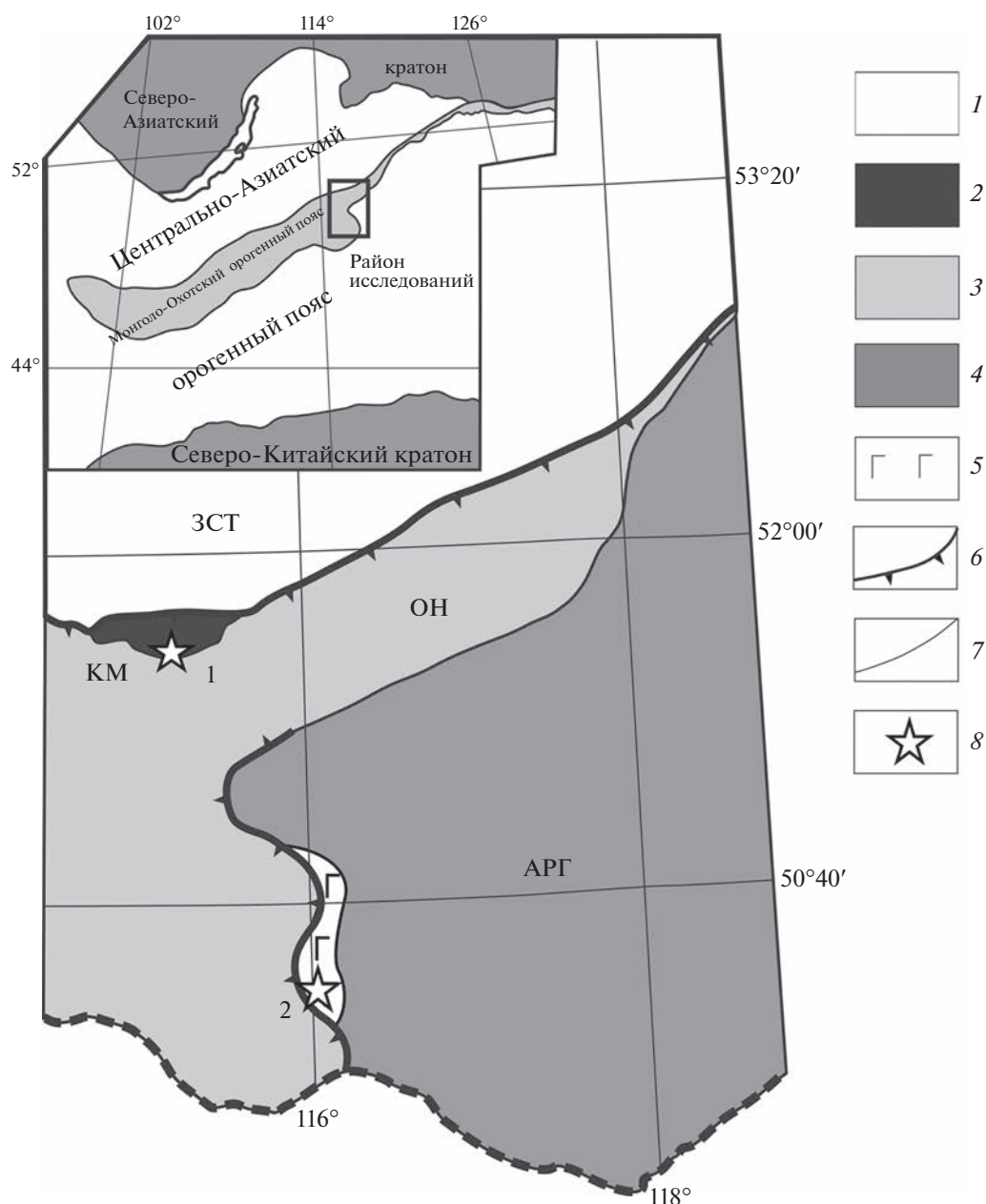


Рис. 1. Схема положения Монголо-Охотского орогенного пояса в структуре Центрально-Азиатского орогена, а также соотношения террейнов в центральной части МОП по [7, 8]. 1 – Западно-Становой террейн (ЗСТ); 2 – Каменский островодужный террейн (КМ); 3 – Ононский террейн аккреционного клина (ОН); 4 – Аргунский супертеррейн (АРГ); 5 – отложения уртуйской свиты; 6 и 7 – надвиги и разломы, ограничивающие МОП; 8 – положение объектов исследования: 1 – каменская свита; 2 – уртуйская свита.

дужных вулканитах обеих свит указывают на непосредственную связь этих магматических образований с деплетированным изотопным мантийным источником. В то же время величины $T_{Nd(DM)}$ вулканитов, лежащие в пределах 773–939 млн лет и заметно превышающие оценки геологического возраста пород, могут служить указанием на некоторое влияние рециклированного осадочного материала, вовлекавшегося в процессы магмогенерации в процессе субдукции.

Поступление ювенильного вулканогенного материала в бассейн осадконакопления должно было сказаться на изотопных характеристиках осадков, накапливавшихся вблизи островных дуг и (или) активных континентальных окраин. Туфоалевролиты каменской свиты имеют положительные значения $\epsilon_{Nd(254MA)} = +2.8-(+3.5)$ при $T_{Nd(DM)} = 938-993$ млн лет, что полностью сопоставимо с изотопными характеристиками вулканитов и указывает на ювенильный характер ис-

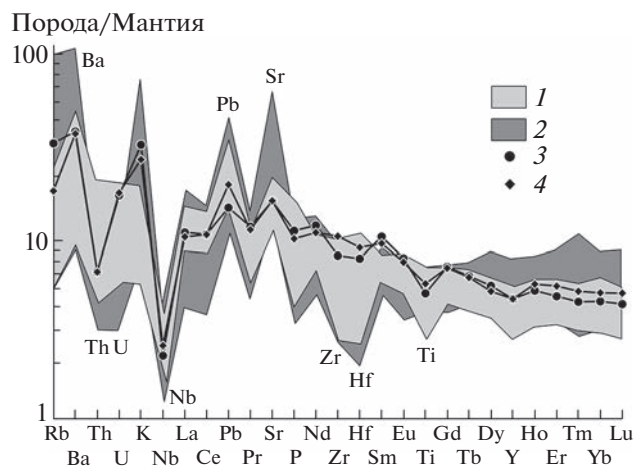


Рис. 2. Мультикомпонентная диаграмма для базальтов каменской (1) и уртуйской (2) свит. В качестве эталонов островодужных базальтов показаны составы базальтов вулкана Толбачик нормальной калиево-сти (3) и высококалиевого (4) по [11]. Нормирование проводилось к составу примитивной мантии по [12].

точника вещества осадков. В отличие от осадочных пород каменской свиты, исследованные туфоалевролиты уртуйской свиты имеют более низкие величины $\epsilon_{Nd(350MA)} = +1.0 - (-3.4)$ при су-

щественно более древних модельных Nd-изотопных возрастах — $T_{Nd(DM)} = 1142 - 1408$ млн лет. Это свидетельствует о существенной доле более древнего рециклированного корового вещества в источнике сноса уртуйской свиты по сравнению с каменской. Таким источником могли служить позднерифейские образования Аргунского террейна, представленные гранитоидами урулюнгуевского комплекса и осадочными отложениями даурской серии. Гранитоиды характеризуются $\epsilon_{Nd(800MA)} = -0.4 - (-1.7)$ при $T_{Nd(DM)} = 1550 - 1720$ млн лет [15], тогда как метаосадочные породы имеют $\epsilon_{Nd(t)} = -2.0 - (-7.0)$ при $T_{Nd(DM2)} = 1657 - 2063$ млн лет [16] (рис. 3).

Более широко масштаб добавленного рециклированного корового вещества в бассейн осадконакопления может быть определен благодаря привлечению данных об изотопном составе Nd в метаосадочных породах аккреционного клина МОП (рис. 3). Последний представлен главным образом породами ононской, чиндантской и усть-борзинской свит, объединенными в составе Ононского террейна [8]. Возраст первой свиты может быть определен как ордовикский [18], а двух других — как девонский [19]. Изотопный состав Nd в этих породах характеризуется главным

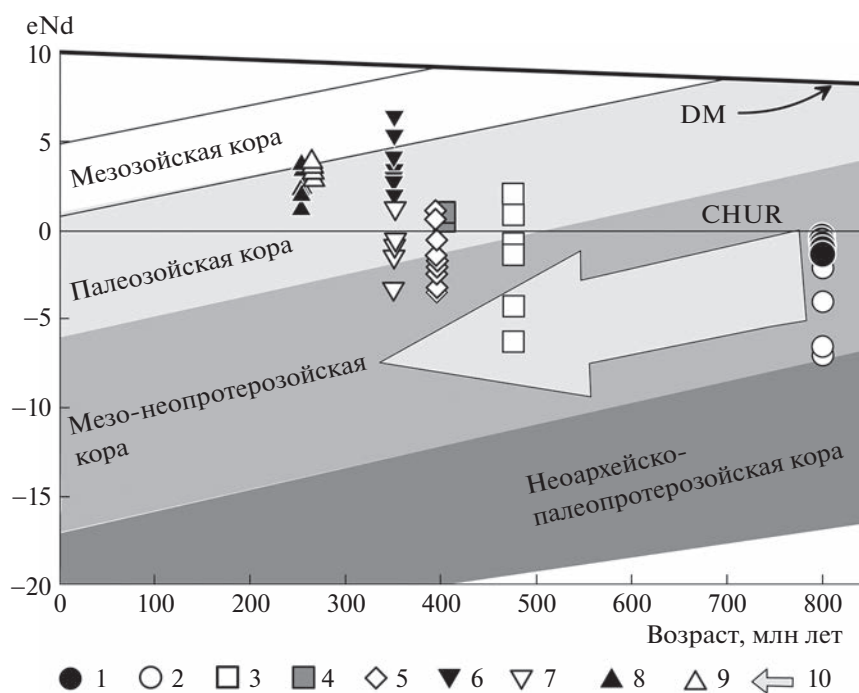


Рис. 3. Диаграмма ϵ_{Nd} — Возраст для пород вулканогенно-осадочных и интрузивных образований Забайкальской части Монголо-Охотского орогенного пояса. 1 — граниты урулюнгуевского комплекса Аргунского супертеррейна [15]; 2 — метаосадочные породы Даурской серии Аргунского супертеррейна [16]; 3 — метаосадочные породы ононской свиты Ононского террейна аккреционного клина; 4 — метаосадочные породы чиндантской свиты Ононского террейна аккреционного клина; 5 — метаосадочные породы усть-борзинской свиты Ононского террейна аккреционного клина; 6 — вулканы уртуйской свиты; 7 — осадочные породы уртуйской свиты; 8 — вулканы каменской свиты; 9 — осадочные породы каменской свиты; 10 — тренд эволюции во времени изотопного состава Nd магматических и метатерригенных пород Аргунского супертеррейна. Границы областей коровой эволюции изотопного состава Nd даны по [17].

образом отрицательными величинами $\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -0.3 - (-7.0)$ при $T_{\text{Nd(DM-2)}} = 1100 - 1770$ млн лет, что свидетельствует о присутствии значительной доли рециклированного корового вещества, сопоставимого с позднерифейскими образованиями Аргунского террейна. Некоторая часть метаосадочных пород имеет слаболожительные значения $\epsilon_{\text{Nd}(t)} = +0.7 - (+2.0)$, что является признаком присутствия ювенильной коровой компоненты.

Проведенные Sm–Nd-изотопные исследования вулканитов островодужной природы каменной и ургуйской свит Забайкальской части МОП позволяют определить параметры ювенильной коры орогенного пояса, которая характеризуется положительными величинами $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ и модельными возрастами $T_{\text{Nd(DM)}} < 1000$ млн лет. Эта оценка в полной мере согласуется с Sm–Nd-изотопными характеристиками ювенильной коры ЦАОП [20]. В составе метаосадочных пород аккреционного клина МОП существенно преобладает рециклированное коровое вещество, источником которого, вероятно, являются позднерифейские комплексы Аргунского супертеррейна.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00775. При выполнении работы использовались ресурсы ЦКП “Изотопно-геохимических исследований” ИГХ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
2. *Windley B.* The evolving continents. 3rd edition. John Wiley & Sons. Chichester, 1995. 526 p.
3. *Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Ковач В.П. и др.* Коробразующие магматические процессы при формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса: Sm–Nd изотопные данные // Геотектоника. 1999. № 3. С. 21–41.
4. *Jahn B.M., Wu F.Y., Chen B.* Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic // *Epi-sodes*. 2000. V. 23. № 2. P. 82–92.
5. *Jahn B.M.* The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in Phanerozoic // *Geology Society*. London. Special Publication. 2004. V. 226. P. 73–100.
6. *Kroner A., Kovach V., Alexeiev D., et al.* No excessive crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Further evidence from field relationships and isotopic data // *Gondwana Research*. 2017. V. 50. P. 135–166.
7. *Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томуртогов О.* Проблемы тектоники Монголо-Охотского складчатого пояса // Тихоокеанская Геология. 1999. Т. 18. № 5. С. 24–43.
8. *Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др.* Модель формирования орогенных поясов Централь-ной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
9. *Дриль С.И., Кузьмин М.И.* Геохимия пород Береинской палеоостровной дуги в центральном секторе Монголо-Охотского складчатого пояса // ДАН. 1998. Т. 360. № 2. С. 241–245.
10. *Дриль С.И., Лохов И.К., Куриленко А.В. и др.* Sr–Nd изотопно-геохимическая характеристика и U–Pb геохронология пород островодужных комплексов Монголо-Охотского складчатого пояса // Современные проблемы геохимии. Материалы Всероссийского совещания, посвященного 95-летию академика Л.В. Таусона. 22–26 октября 2012 г. Иркутск. Т. 2. С. 220–223.
11. *Churikova T., Dorendorf F., Worner G.* Source and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // *Journal of Petrology*. 2001. V. 42. № 8. P. 1567–1593.
12. *McDonough W.F., Sun S.S.* The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. V. 120. № 3–4. P. 223–253.
13. *Попеко Л.И.* Карбон Монголо-Охотского орогенного пояса. Владивосток: Дальнаука, 2000. 124 с.
14. *Yang Y.-H., Chu Zh. Y., Wu F.-Y., et al.* Precise and accurate determination of Sm, Nd concentrations and Nd isotopic compositions in geological samples by MC-ICP-MS // *J. Anal. At. Spectrom.* 2010. V. 26. P. 1237–1244.
15. *Голубев В.Н., Чернышев И.В., Котов А.Б. и др.* Стрельцовский урановорудный район: изотопно-геохронологическая (U–Pb, Rb–Sr и Sm–Nd) характеристика гранитоидов и их место в истории формирования урановых месторождений // Геология Рудных Месторождений. 2010. Т. 52. № 6. С. 553–571.
16. *Смирнова Ю.Н., Овчинников Р.О., Смирнов Ю.В. и др.* Источники кластического материала и условия накопления осадочных пород Даурской серии Аргунского континентального массива // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 1. С. 13–31.
17. *Gordienko I.V.* The role of island-arc oceanic, collisional and intraplate magmatism in the formation of continental crust of the Mongolia-Transbaikalia region: geostructural, geochronological and Sm–Nd isotope data // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021. V. 12 (1). P. 1–47.
18. *Булгатов А.Н., Климук В.С., Шивохин Е.А.* Кулиндинская свита в стратотипе (Восточное Забайкалье, Монголо-Охотский складчатый пояс) // Отечественная геология. 2010. № 4. С. 54–60.
19. *Руженцев С.В., Некрасов Г.Е.* Тектоника Агинской зоны (Монголо-Охотский пояс) // Геотектоника. 2009. № 1. С. 39–58.
20. *Wang T., Tong Y., Zhang L., et al.* Phanerozoic granitoids in the central and eastern parts of Central Asia and their tectonic significance // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2017. V. 145. P. 368–392.

ISOTOPE Sm–Nd JUVENILE CRUST CHARACTERISTICS OF THE CENTRAL PART OF MONGHOL-OKHOTSK OROGENIC BELT

S. I. Dril^{a, #}, Academician of the RAS M. I. Kuzmin^a, Ju. V. Noskova^a, and O. V. Zarubina^a

^a Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

[#] E-mail: sdril@igc.irk.ru

In the Phanerozoic, the production of the continental crust was associated with convergent geodynamic settings and, therefore, with intracontinental orogenic belts developed after the closure of paleoceans. Evaluation of the proportions of juvenile versus older recycled material is a key parameter for understanding how the crust in orogens formed and evolved. The Mongol-Okhotsk orogenic belt is one of the major structural part of Central Asia. Its central – Trans-Baikal part contains the well-reserved fragments of island-arc system as well as the entire spectrum of accretionary prism formations, allowing evaluation of the proportions of juvenile to recycled sedimentary material in the crust of this orogen. In this part of the belt, the best preserved fragments of juvenile crust are the Late Paleozoic volcanogenic-sedimentary sequences of the Kamensk and Urtui suites. The first suite is an indicator of the subduction along the northwestern margin of the Mongol-Okhotsk Paleocan beneath the Siberian paleocontinent, and the second one is an indicator of the subduction along the southeastern beneath the Argun superterrane. The entire compositional spectrum of volcanics from basalts to rhyolites demonstrate positive values $\epsilon_{\text{Nd}(254\text{MA})} = +1.4-(+3.8)$ and $T_{\text{Nd}(\text{DM})} = 896-920$ MA. The basalts of the Urtui formation are also characterized by positive $\epsilon_{\text{Nd}(350\text{MA})}$ values, lying in the range of $+1.7-(+6.0)$ at $T_{\text{Nd}(\text{DM})} = 773-939$ MA. Therefore, the juvenile crust of the orogenic belt is characterized by positive $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ values and model $T_{\text{Nd}(\text{DM})}$ age of <1000 Ma. The meta-sedimentary rocks of the accretion wedge of the Mongol-Okhotsk orogenic belt are significantly dominated by older recycled crustal material, whose source is likely the Late-Riphean formations of the Argun superterrane.

Keywords: Monghol-Okhotsk orogenic belt, juvenile crust, Nd isotope, Sm-Nd isotopic model age, island arcs, accretionary wedge