

УДК 550.93:552.5

ИСТОЧНИКИ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АРГУНСКОГО МАССИВА, ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС: РЕЗУЛЬТАТЫ U–Th–Pb ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И Sm–Nd ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2024 г. Ю. Н. Смирнова^{1, *}, А. В. Куриленко^{2,3}, С. И. Дриль⁴, В. Б. Хубанов²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

⁴Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

*e-mail: smirnova@ascnet.ru

Поступила в редакцию 08.06.2023 г.

После доработки 27.07.2023 г.

Принята к публикации 21.08.2023 г.

Представлены результаты геохимических, изотопно-геохимических (Sm–Nd) и изотопно-геохронологических (U–Th–Pb) исследований терригенных пород среднерифейской(?) надаровской свиты и верхнерифейской(?) нортуйской свиты северо-западной части Аргунского континентального массива. Особенности вещественного состава отложений свидетельствуют о присутствии в области сноса различных по кремнекислотности образований. По Sm–Nd данным осадочные породы надаровской и нортуйской свит характеризуются отрицательными величинами $\epsilon_{Nd(t)} = -6.6...-3.5$ при раннепротерозойских значениях неодимового модельного возраста ($t_{Nd(DM)} = 2.0-1.8$ млрд лет). Согласно U–Th–Pb датированию зерен детритового циркона выявлено, что нижняя возрастная граница накопления терригенных отложений надаровской и нортуйской свит приходится на поздний рифей (~775 и ~744 млн лет соответственно). Главными источниками сноса для них, наиболее вероятно, послужили позднерифейские магматические породы при участии образований раннепротерозойского возраста, распространенные в структуре Аргунского массива.

Ключевые слова: Аргунский массив, надаровская и нортуйская свиты, геохимия, U–Th–Pb данные

DOI: 10.31857/S0869592X24030017, EDN: CWRBBH

ВВЕДЕНИЕ

Аргунский континентальный массив является одним из крупных массивов, расположенных в восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (рис. 1, врезка). Наиболее древние образования в восточной части массива представлены условно архейскими кислыми и средними магматическими породами бекетского и гонжинского комплексов, а также метаморфизованными осадочными и вулканическими породами гонжинской серии. Геохронологические и изотопно-геохимические исследования позволили уточнить, что протолиты метаосадочных и метавулканических пород гонжинской серии и наложенные на них структурно-метаморфические преобразования имеют мезозойский возраст (Котов и др., 2009, 2013; Сальникова и др., 2012). К наиболее ранним относятся

рифейские слабометаморфизованные вулканогенно-осадочные породы чаловской серии и гранитоиды чаловского комплекса (Петрук, Козлов, 2009). В то же время проведенные в последние годы U–Pb геохронологические исследования метавулканических исагачинской толщи (Сорокин и др., 2014) и U–Pb (LA-ICP-MS) датирование зерен детритового циркона из метаосадочных пород гребневской и магдагачинской толщ (Смирнова, Сорокин, 2019) свидетельствуют об ордовикском возрасте чаловской серии.

На государственной геологической карте масштаба 1 : 1 000 000 (Шивохин и др., 2010) в северо-западной части Аргунского массива выделяются ишагинский метаморфический, чонгульский габбровый, урюмканский гранодиорит-гранитовый и урульгинский метаморфический комплексы

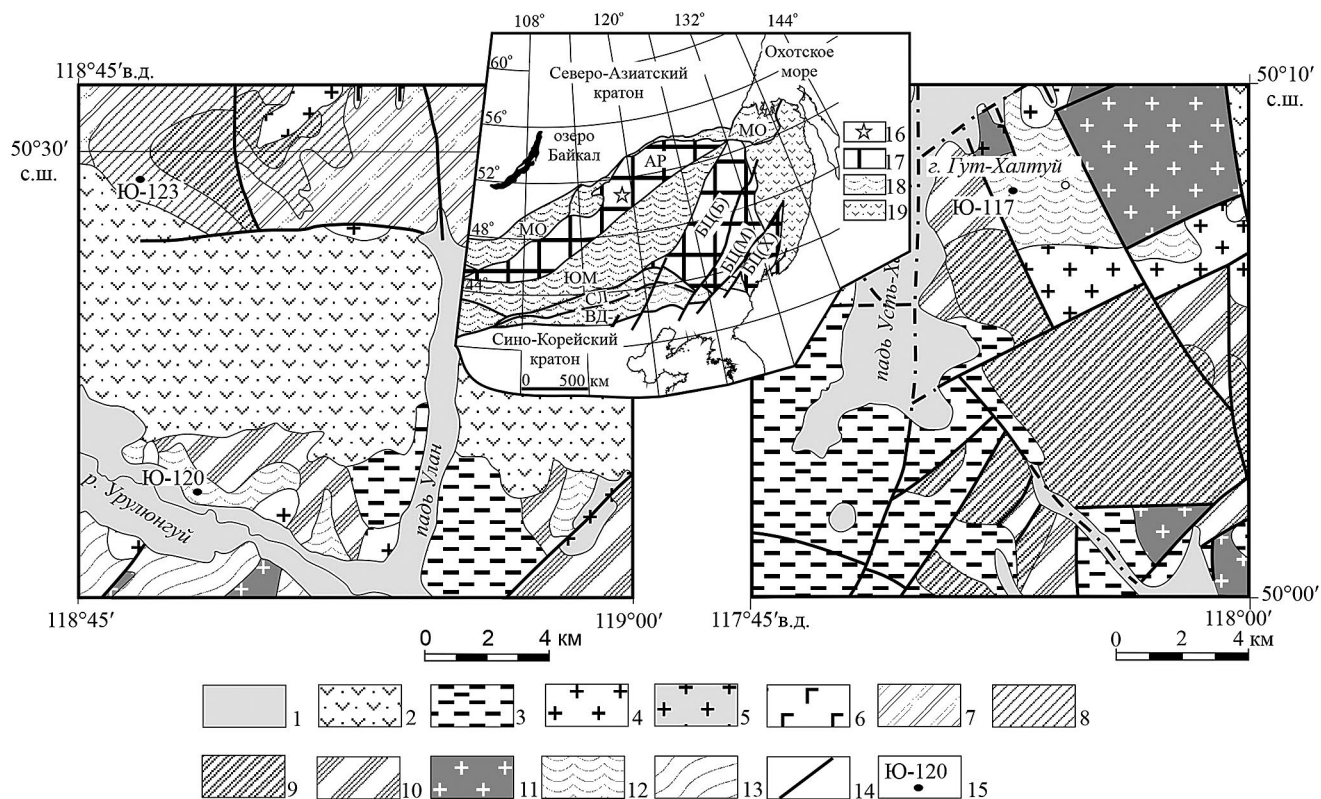


Рис. 1. Геологические схемы северо-западной части Аргунского массива. Составлены по (Павлова и др., 2001; Озерский, Винниченко, 2002), с изменениями авторов.

1 – кайнозойские рыхлые отложения; 2 – меловые вулканогенные и осадочные комплексы; 3 – юрские терригенные отложения; 4 – триасовые и позднеюрские гранитоиды; 5 – пермские гранитоиды ундинского и кадаинского комплексов; 6 – вендские метагаббро быркинского комплекса; 7 – вендские(?) осадочные породы быркинской серии; 8–10 – верхнерифейские(?) терригенные и терригенно-карбонатные отложения даурской серии: 8 – нортуйской свиты, 9 – дырбылкейской свиты, 10 – урулюнгуйской свиты; 11 – средне-позднерифейские гранитоиды урулюнгуйского комплекса; 12 – среднерифейские(?) осадочные породы надаровской свиты; 13 – раннепротерозойские(?) метаморфические породы; 14 – разломы; 15 – места отбора образцов для геохимических, Sm–Nd изотопно-геохимических и U–Th–Pb изотопно-геохронологических исследований и их номера. На врезке: 16 – положение объекта исследований; 17 – супертеррейны (континентальные массивы): АР – Аргунский, БЦ – Бурей-Цзямусинский, в том числе террейны: Бурейнский (БЦ(Б)), Малохинганский (БЦ(М)), Ханкайский (БЦ(Х)); 18 – палеозойские-раннемезозойские складчатые пояса (ЮМ – Южно-Монгольско-Хинганский, МО – Монголо-Охотский, СЛ – Солонкерский, ВД – Вундурмиао); 19 – позднеюрско-раннемеловые орогенные пояса.

раннепротерозойского возраста. Однако по данным изотопно-геохимических (Sm–Nd) исследований выявлено, что протолиты гнейсов ишагинского комплекса и гранитогнейсов урюмканского комплекса характеризуются среднерифейским Nd-модельным возрастом (Гордиенко и др., 2019). Возраст габбро Цугольского массива чонгульского комплекса, согласно U–Pb (SIMS) геохронологическим исследованиям, позднеордовикский (448 ± 9 млн лет; Лыхин и др., 2007). По существующим представлениям рифейские магматические образования рассматриваются в составе урулюнгуйского гранитового, уртуйского базальт-риолитового и бухотуйского гранитового комплексов (Шивохин и др., 2010). Установлено, что возраст гранитов Уртуйского массива урулюнгуйского комплекса равен 804 ± 7 и 784 ± 7 млн

лет (U–Pb геохронологические исследования, ID-TIMS метод; Голубев и др., 2010). Nd-модельный возраст гранитов урулюнгуйского комплекса $1720\text{--}1550$ млн лет (Голубев и др., 2010). Возраст гранитов бухотуйского комплекса составляет 765 ± 20 млн лет (Rb–Sr изохрона по породе в целом; Шивохин и др., 2010). К рифейскому структурному этапу также отнесены осадочные породы надаровской, урулюнгуйской, дырбылкейской и нортуйской свит (Шивохин и др., 2010). В последние годы нами были выполнены комплексные геологические, геохимические, изотопно-геохимические исследования осадочных пород урулюнгуйской и дырбылкейской свит даурской серии, а также U–Th–Pb и Lu–Hf изотопные исследования зерен детритового циркона, которые позволили реконструировать обстановки их накопления и выявить

основные источники сноса кластического материала (Смирнова и др., 2022). В то же время осадочные породы среднерифейской(?) надаровской свиты и верхнерифейской(?) нортуйской свиты оставались не изученными. Однако они несут в себе важную информацию о докембрийской истории формирования Аргунского массива. Главной целью настоящей работы является выявление основных источников сноса кластического материала для терригенных пород этого массива на основе результатов геохимических, изотопно-геохимических (Sm–Nd) и изотопно-геохронологических (U–Th–Pb, LA-ICP-MS) исследований, а также уточнение нижней возрастной границы накопления осадочных толщ надаровской и нортуйской свит с помощью U–Th–Pb датирования циркона.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди рифейских отложений в пределах северо-западной части Аргунского массива выделяют надаровскую, урулюнгуйскую, дырбылкейскую и нортуйскую свиты (рис. 2).

Надаровская свита мощностью 1200–1900 м сложена чередованием филлитизированных алевролитов, алевропелитов и кварцевых песчаников. В составе свиты установлены горизонты мраморизованных известняков и доломитов. Возраст свиты принят условно среднерифейским (Шивохин и др., 2010).

С угловым несогласием на породах надаровской свиты залегают отложения условно верхнерифейской *урулюнгуйской свиты*, которая сложена осадочными и вулканогенно-осадочными породами. В нижней части свиты наблюдаются дресвяники, осадочные брекчии, конгломератобрекчии, туфы кислого и основного состава, сменяющиеся вверх по разрезу конгломератами, гравелитами, кварцевыми и аркозовыми песчаниками. В ряде выходов урулюнгуйской свиты выявлены более тонкообломочные породы (алевролиты, алевропесчаники) с горизонтами доломитов, известняков и мергелей. Мощность свиты до 2670 м. Возраст принят условно позднерифейским на основании наложения урулюнгуйской свиты на гранитоиды позднерифейского урулюнгуйского комплекса (Шивохин и др., 2010). Наиболее молодая группа зерен циркона из песчаника урулюнгуйской свиты имеет позднерифейский возраст с пиком на кривой относительной вероятности возрастов ~899 млн лет (Смирнова и др., 2022).

На породах урулюнгуйской свиты согласно залегают карбонатные и терригенно-карбонатные отложения *дырбылкейской свиты*, среди которых преобладают доломиты и известняки с пачками мощностью до 400–450 м гравелитов, песчаников, филлитизированных алевролитов

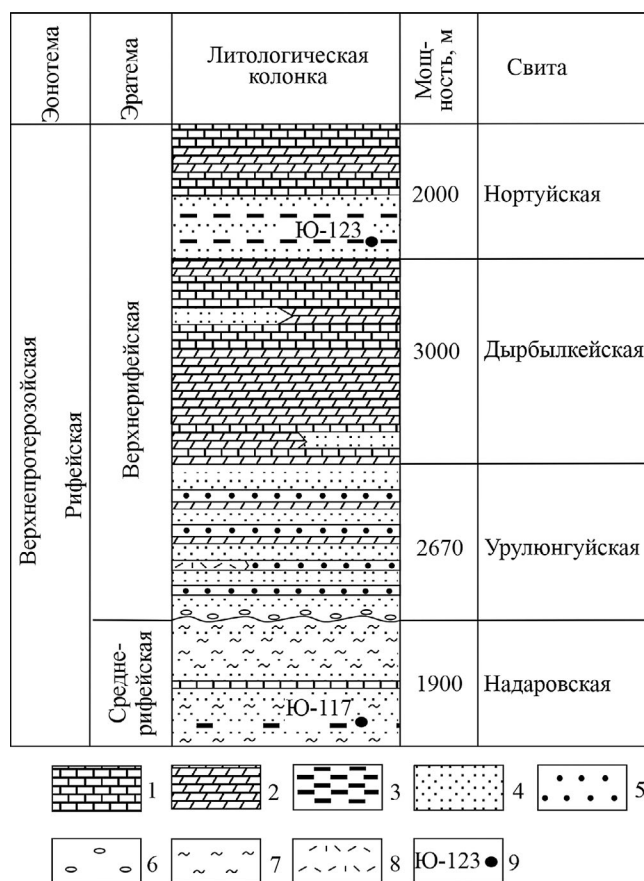


Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка средне-верхнерифейских(?) осадочных пород северо-западной части Аргунского континентального массива. Составлена по (Павлова и др., 2001; Озерский, Винниченко, 2002). 1 – известняки; 2 – доломиты; 3 – алевролиты, алевропесчаники; 4 – песчаники; 5 – гравелиты; 6 – конгломераты; 7 – сланцы; 8 – туфы кислого и основного состава; 9 – места отбора образцов для U–Th–Pb датирования зерен детритового циркона и их номера.

и алевропелитов (Шивохин и др., 2010). Общая мощность свиты достигает 3000 м. В свите обнаружены единичные находки водорослевых остатков *Girvanella* (?), *Panomniella*, *Shanganella*, строматолитов *Conophyton metula* Kir. и микрофитоли- тов *Osagia grandis* Z. Zhur., *Vesicularites consuetus* Yak., *Volvatella vadosa* Z. Zhur., *V. horridus* Z. Zhur., *Ambigolamellatus horridus* Z. Zhur. (Шивохин и др., 2010). Возраст дырбылкейской свиты принят условно позднерифейским. Наиболее молодая группа циркона из песчаника дырбылкейской свиты имеет позднерифейский возраст ~771 млн лет (Смирнова и др., 2022).

Нортуйская свита сложена в нижней части разреза кварцевыми и аркозовыми песчаниками, переслаивающимися с алевролитами, выше сменяющимися толщей известняков и известковистых доломитов (Шивохин и др., 2010). В основании свиты

установлены седиментационные брекчии, дресвяники, песчаники и алевропелиты. Общая мощность свиты до 2000 м. Среди органических остатков в свите выявлены единичные находки водорослей *Renalcis?* sp., *Subtifloria* sp. и микрофитолитов *Ambigolamellatus horridus* Z. Zhur., *Volvatella zonalis* Nar., *Osagia nimia* Z. Zhur., *O. minuta* Z. Zhur., *O. tenuilamellata* Reitl., *Vesicularites flexuosus* Reitl. Возраст свиты принят условно позднерифейским. Контакты с нижележащими отложениями дырбылейской свиты согласные.

Для уточнения позднедокембрийской истории формирования Аргунского континентального массива, в его северо-западной части нами были проведены исследования вещественного состава осадочных пород среднерифейской(?) надаровской свиты и верхнерифейской(?) нортуйской свиты. Образцы пород надаровской свиты отобраны в районе г. Гут-Халтуй (50°07'58.4" с.ш., 117°52'58.8" в.д.) и в бассейне р. Урулюнгуй (50°24'18.2" с.ш., 118°48'32.3" в.д.), а нортуйской свиты – вблизи пос. Талман-Борзя (50°29'35.3" с.ш., 118°46'52.4" в.д.) (рис. 1).

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Содержания породообразующих компонентов в породах определены рентгенофлуоресцентным методом в Институте геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) на рентгеновском спектрометре Lab Center XRF-180. На стадии пробоподготовки проводилось взвешивание навески пробы на аналитических весах AUW220D фирмы Shimadzu, просушивание навески при температуре 105°C в сушильном шкафу SNOL 58/350 в течение двух часов, определение потерь при прокаливании при температуре 950°C в муфельной печи Nabertherm в течение двух часов. Далее производилось смешивание пробы со смесью тетрабората и метабората лития с последующей гомогенизацией и сплавлением. Концентрации микроэлементов определены методом ICP-MS на квадрупольном ICP масс-спектрометре NexION300D в Центре коллективного пользования (ЦКП) “Изотопно-геохимические исследования” Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН, г. Иркутск). Сплавление образцов (навеска 100 мг) с безводным метаборатом лития (400 мг) проводилось в стеклоуглеродных тиглях марки СУ-2000 при температуре 1150°C (3 мин) в высокочастотной индукционной печи ВЧГ-4, с последующим разложением плавня смесью перекисных кислот HF и HNO₃ и отгонкой SiF₄, окончательный фактор разведения основного раствора пробы составил 1000. Двойную и тройную перегонку кислот осуществляли последовательно в системах глубокой очистки кислот: subPUR/duo PUR Milestone microwave laboratory systems, затем в Savillex DST-1000 sub-boiling Distillation System

User's Manual. Кислотность всех готовых к анализу растворов составила 2–3% HNO₃. Перед началом измерений проводилась настройка прибора и оптимизация инструментальных параметров с целью получения максимального значения аналитического сигнала и его стабильности при минимальном вкладе в сигнал оксидных и двухзарядных ионов, низком фоновом уровне. Для расчета концентраций применялась градуировка по сертифицированным растворам CLMS-1–4 фирмы SPEX (США) с концентрациями элементов 0.1, 1.0, 5.0 нг/мл с контролем дрейфа сигнала по внутреннему стандарту, в качестве которого выбран ¹⁰³Rh. Нивелирование матричного эффекта достигалось путем разбавления готовых растворов проб для анализа в 10000 раз. Переведение анализируемого раствора в аэрозоль проводилось с помощью концентрического низкотокового распылителя Meinhard (0.1 мл/мин). Для оценки правильности результатов анализа применялись хорошо охарактеризованные стандартные образцы горных пород различного состава Геологических служб США, Японии, Китая и России. Относительная погрешность определения содержаний петрогенных и малых элементов составила 3–10%.

Sm–Nd изотопно-геохимические исследования пород проводились в ЦКП “Изотопно-геохимические исследования” ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Около 100 мг истертого образца разлагали в смеси кислот HF, HNO₃ и HClO₄. Перед разложением к образцу добавляли смешанный изотопный индикатор ¹⁴⁹Sm–¹⁵⁰Nd. Сумму редкоземельных элементов выделяли с использованием ионообменной смолы BioRad AGW50-X8 (200–400 меш) по традиционным методикам (Richard et al., 1976; Pin et al., 1994; Makishima et al., 2008). Чистые фракции Sm и Nd выделяли из суммы редких земель при помощи ионообменной смолы LN-Spec (100–150 меш) согласно (Yang et al., 2011). Измерения изотопного состава Sm и Nd проводили на 9-коллекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой MC-ICP-MS Neptune Plus в статическом режиме. В течение проведения измерений бланк составил 0.1–0.2 нг для Sm и 0.2–0.5 нг для Nd. Погрешности определения отношений ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd и ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd – не более 0.003 и 0.4% соответственно. Полученные данные были нормализованы к отношению ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219. Результаты измерений международного изотопного стандарта JNdi-1 ($n = 40$): ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512107 ± 4 при рекомендованном значении ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512115 ± 7 (Tanaka et al., 2000). Для изотопного состава Nd и концентраций Nd и Sm в международных породных стандартах получены следующие значения: 1) BCR-2 ($n = 28$), ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512630 ± 14; Nd = 28.8 ± 0.1 мкг/г; Sm = 6.52 ± 0.03 мкг/г; 2) AGV-2 ($n = 8$), ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512769 ± 16; Nd = 30.3 ± 0.1 мкг/г; Sm = 5.42 ± 0.03 мкг/г.

Исследование изотопного состава Nd в международном образце BCR-2, подготовленном к анализу по описанной выше методике, проводилось также с использованием 7-коллекторного термоионизационного масс-спектрометра Finnigan MAT-262 (ЦКП “Геодинамика и геохронология” Института земной коры СО РАН). Измерения изотопного состава неодиима выполнялись с использованием двухленточного источника ионов с ренийевыми катодами в статическом режиме. Количество наносимого образца составляло в среднем 100–200 нг. Ионный ток ^{146}Nd обычно был равен $0.5\text{--}1.0 \times 10^{-11}$ А. Присутствие в спектре неодиима следов самария контролировалось по величине отношения $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, которое всегда было ниже 0.00005. Правильность результатов определения изотопного состава оценивалась по результатам измерения стандартных образцов JNdi-1 и BCR-2, которые в процессе проведения аналитических работ составили: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512107 \pm 4$ (2SD, $n = 35$) и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512629 \pm 8$ (2SD, $n = 18$) соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о полной сопоставимости Sm–Nd изотопных данных, полученных с использованием как высокоточной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, так и классического термоионизационного изотопного анализа. При расчете величин $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ и модельных возрастов $t_{\text{Nd}(DM)}$ использованы современные значения однородного хондритового резервуара (CHUR) по (Jacobsen, Wasserburg, 1984) и деплетированной мантии (DM) по (Goldstein, Jacobsen, 1988).

Выделение детритового циркона произведено в минералогической лаборатории Института геологии и природопользования ДВО РАН с применением тяжелых жидкостей. Непосредственно U–Th–Pb датирование детритового циркона выполнено в ЦКП “Геоспектр” Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ) на одноколлекторном магнитно-секторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Element XR (Termo Scientific), оснащенном устройством лазерной абляции UP-213 (New Wave Research). Детальное описание аналитических процедур приведено в публикации (Хубанов и др., 2016). Диаметр лазерного пучка составлял 30 мкм при плотности потока энергии ~ 4.5 Дж/см². Масс-спектрометром измеряли сигналы следующих изотопов: в режиме счета “Counting” – ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb ; в аналоговом режиме – ^{232}Th , ^{238}U . Сигнал ^{235}U рассчитывали из сигнала ^{238}U , основываясь на постоянстве современного значения их отношения ($^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88$). Съемку осуществляли в скоростном режиме электростатического сканирования (E-scan). В течение одного измерения проводили 800 сканирований. В качестве внешнего стандарта измеряли эталонные зерна циркона 91500 (1065 млн лет; Wiedenbeck et al., 1995), в качестве

контрольного образца – эталоны Plešovice (337 млн лет; Sláma et al., 2008) и GJ-1 (608 млн лет; Jackson et al., 2004).

Обработку первичных сигналов и расчет изотопных отношений проводили с помощью программы Glitter (Griffin et al., 2008), конвертацию в excel-формат и расчет значений концентраций U, Th и U/Th – с помощью программы Gtail (автор М.Д. Буянтуев, ГИН СО РАН), построение графиков, расчет конкордантного возраста циркона и показателя дискордантности – с помощью excel-макроса Isoplot (Ludwig, 2008). Поправка на нерадиогенный свинец не проводилась. Относительные погрешности измерения изотопных отношений в контрольных образцах варьировали в пределах: 1.0–3.7% для $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, 0.7–1.3% для $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. При этом значения средневзвешенных конкордантных возрастов цирконов Plešovice и GJ-1, определенных LA-ICP-MS методом (по 12 измерений каждого контрольного эталона), составили 338 ± 2 и 601 ± 3 млн лет соответственно. Для стандартов GJ-1 и Plešovice средневзвешенные значения возраста по отношениям $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ составляют 630 ± 23 , 599 ± 3 , 605 ± 4 млн лет и 366 ± 24 , 337 ± 2 , 340 ± 3 млн лет соответственно. Для анализа выбирались зерна циркона без микротрещин и включений. Для построения кривых относительной вероятности возраста зерен детритового циркона использовали только конкордантные оценки возрастов. Пики кривой относительной вероятности возрастов зерен циркона рассчитывали с помощью программы AgePick (Gehrels, 2007).

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Среди отложений надаровской свиты были изучены песчаники и алевролиты. Песчаники темно-серого цвета, с мелкозернистой псаммитовой структурой и массивной текстурой. Обломочный материал (0.10–0.20 мм) слабоокатанной формы представлен преимущественно кварцем (до 75%) и полевыми шпатами (до 5%). Реже встречаются чешуйки мусковита, серицита и биотита (до 10%). Единичны обломки слюдистых и слюдисто-кварцевых сланцев. Цемент контактовый, слюдисто-кварцевый состава. В песчаниках наблюдается углеродистое вещество (до 10%). Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом, гранатом, гидроксидами железа и магнетитом.

Алевролиты бурого цвета, с грубой бластоалевритовой структурой и массивной текстурой. Обломочный материал характеризуется слабоокатанной формой и представлен кварцем (до 30%), слюдистыми, слюдисто-кремнистыми и углеродисто-слюдистыми сланцами (до 10%) и полевыми шпатами (до 7%). Среди слюд (до 8%) наблюдаются

мусковит и биотит (часто эпидотизирован и хлоритизирован). Цемент базальный, слюдисто-кварцевый состава. Акцессорные минералы: циркон, апатит, гранат, магнетит, гидроксиды железа.

В коллекции образцов, отобранных из нортуйской свиты, присутствуют алевролиты песчаные, темно-серого цвета, с бластоалевропсаммитовой структурой и массивной текстурой. Обломочный материал имеет слабоокатанную форму. В составе алевролитов преобладают кварц (20–25%), полевые шпаты (до 10%), обломки слюдистых и слюдисто-кварцевых сланцев (5–10%). Среди слюд присутствуют мусковит, хлоритизированный и эпидотизированный биотит (10–15%). Единичны обломки вулканических пород кислого состава. Цемент базальный, слюдисто-кварцевый состава. В алевролитах отмечается тонкораспыленное углеродистое вещество (до 10%). Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом, гранатом, магнетитом и гидроксидами железа.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Осадочные породы надаровской свиты характеризуются значительными вариациями содержаний породообразующих компонентов. В песчаниках надаровской свиты установлены более высокие концентрации SiO_2 (от 82.59 до 94.54 мас.%) по сравнению с таковыми в алевролитах (от 53.26 до 61.08 мас.%; табл. 1). При этом в алевролитах надаровской свиты отмечаются более высокие содержания Al_2O_3 (17.22–18.48 мас.%), Fe_2O_3^* (10.77–17.85 мас.%), TiO_2 (0.97–1.10 мас.%), чем в песчаниках ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.83\text{--}10.97$ мас.%, $\text{Fe}_2\text{O}_3^* = 0.31\text{--}1.99$ мас.%, $\text{TiO}_2 = 0.23\text{--}0.90$ мас.%) (табл. 1). Подобные особенности геохимического состава, вероятно, связаны с возрастанием в составе алевролитов надаровской свиты слюдистого материала и полевых шпатов и со снижением количества обломков кварца. Несмотря на эти различия, для осадочных пород надаровской свиты, за исключением одного образца песчаника, характерно преобладание K_2O над Na_2O ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 3.6\text{--}8.1$).

Таблица 1. Содержания основных петрогенных компонентов и микроэлементов в осадочных породах надаровской и нортуйской свит Аргунского континентального массива

Компоненты	Надаровская свита									
	Алевролиты				Песчаники					
	Ю-117	Ю-117-1	Ю-117-2	Ю-117-5	Ю-117-3	Ю-117-4	Ю-120	Ю-120-1	Ю-120-2	Ю-120-4
SiO_2	57.41	53.26	59.98	61.08	83.77	82.59	92.06	93.64	91.59	94.54
TiO_2	1.01	0.97	1.09	1.10	0.82	0.90	0.43	0.42	0.53	0.23
Al_2O_3	17.87	17.22	18.48	18.35	9.67	10.97	4.51	3.06	5.59	1.83
Fe_2O_3^*	13.35	17.85	10.77	10.78	1.99	1.00	0.38	0.77	0.31	1.35
MnO	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.20	0.22	0.24	0.23	0.17	0.16	0.15	0.09	0.16	0.07
CaO	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02	0.07
Na_2O	0.40	0.41	0.45	0.43	0.31	0.29	0.18	0.14	0.17	0.04
K_2O	3.25	3.15	3.52	3.43	1.83	1.79	0.81	0.07	0.62	0.26
P_2O_5	0.11	0.09	0.08	0.07	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05
П.п.п.	5.63	5.98	5.01	4.41	2.22	2.82	1.34	1.49	1.73	1.02
Сумма	99.24	99.19	99.64	99.89	100.82	100.62	99.93	99.74	100.76	99.47
Rb	144	147	171	167	73	62	23	1	18	222
Sr	92	92	106	71	39	39	17	12	13	18
Ba	429	421	485	464	226	217	151	34	95	357
La	48.18	28.78	37.49	19.52	2.56	2.68	8.40	13.38	4.99	6.18
Ce	101.42	61.27	73.68	46.37	8.14	6.83	20.35	29.64	13.65	14.29
Pr	18.42	8.32	11.36	6.33	1.29	1.47	2.72	3.66	1.93	2.24
Nd	67.33	31.59	43.36	25.07	5.30	5.70	11.55	14.30	7.82	9.38

Таблица 1. Продолжение

Компоненты	Надаровская свита									
	Алевриты				Песчаники					
	Ю-117	Ю-117-1	Ю-117-2	Ю-117-5	Ю-117-3	Ю-117-4	Ю-120	Ю-120-1	Ю-120-2	Ю-120-4
Sm	12.44	6.98	8.73	5.46	1.34	1.26	2.54	3.07	1.64	2.10
Eu	2.09	1.46	1.55	1.10	0.27	0.26	0.49	0.59	0.34	0.34
Gd	9.03	7.13	7.92	5.10	1.34	1.05	2.64	2.83	1.68	2.52
Tb	1.26	1.16	1.24	0.87	0.26	0.20	0.42	0.44	0.27	0.51
Dy	7.41	7.74	7.29	5.94	1.82	1.56	2.71	2.65	1.80	4.02
Ho	1.35	1.59	1.40	1.17	0.39	0.36	0.57	0.50	0.39	0.90
Er	3.95	4.59	4.18	3.27	1.36	1.08	1.71	1.57	1.14	2.81
Tm	0.60	0.65	0.62	0.48	0.22	0.18	0.25	0.22	0.19	0.42
Yb	3.85	4.45	4.17	3.62	1.54	1.22	1.64	1.56	1.28	2.74
Lu	0.63	0.65	0.66	0.58	0.22	0.20	0.26	0.23	0.20	0.40
Y	28	34	31	25	7	5	11	13	6	19
Th	15.40	14.80	17.49	16.02	5.81	5.39	5.26	6.21	4.38	5.89
U	3.56	3.56	3.75	3.81	2.06	2.36	2.20	1.41	1.64	5.11
Zr	192	474	223	235	399	434	287	305	329	189
Hf	7.51	7.12	8.80	8.61	10.08	10.38	6.42	6.91	7.69	4.10
Nb	17	16	19	19	14	16	7	6	9	14
Ta	1.34	1.26	1.45	1.44	1.04	1.21	0.53	0.48	0.66	1.02
Zn	218	408	194	104	30	13	не опр.	2	2	25
Co	10	17	23	7	4	2	1	1	1	3
Ni	28	50	45	25	12	17	26	9	18	21
Sc	25	23	23	19	12	16	7	5	7	5
V	149	144	143	136	66	71	51	54	61	730
Cr	94	87	108	100	84	88	146	106	111	128
Pb	12	13	11	8	8	7	2	7	2	7

Примечание. Оксиды приведены в мас.%, микроэлементы – в мкг/г. Fe₂O₃* – общее железо в форме Fe₂O₃.

Таблица 1. Продолжение

Компоненты	Нортуйская свита						
	Алевриты песчанистые						
	Ю-123	Ю-123-1	Ю-123-2	Ю-123-3	Ю-123-4	Ю-123-5	
SiO ₂	73.77	76.51	77.16	73.66	72.26	69.89	
TiO ₂	0.80	0.66	0.66	0.82	0.91	0.96	
Al ₂ O ₃	13.21	11.78	12.35	13.93	12.26	13.95	
Fe ₂ O ₃ *	2.40	2.84	2.62	3.05	5.45	4.78	
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
MgO	0.82	0.83	0.73	0.82	0.87	1.01	
CaO	0.02	0.09	0.28	0.06	0.19	0.16	
Na ₂ O	0.21	0.18	0.18	0.23	0.16	0.21	

Таблица 1. Окончание

Компоненты	Нортуйская свита					
	Алевролиты песчанистые					
	Ю-123	Ю-123-1	Ю-123-2	Ю-123-3	Ю-123-4	Ю-123-5
K ₂ O	3.79	3.13	2.71	3.85	3.21	4.10
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.13	0.09	0.17	0.16
П.п.п.	3.82	2.95	3.29	3.44	4.08	4.05
Сумма	98.97	99.09	100.12	99.96	99.57	99.28
Rb	163	138	151	166	184	188
Sr	150	11	11	156	14	10
Ba	615	452	284	517	284	701
La	18.60	19.53	24.05	20.89	29.14	31.43
Ce	44.41	48.28	56.25	51.87	64.62	69.91
Pr	6.00	6.53	7.41	7.05	8.70	8.88
Nd	24.70	26.74	29.06	28.65	33.71	34.62
Sm	5.68	5.75	6.20	6.16	7.23	7.19
Eu	0.89	0.80	0.82	0.80	1.10	1.23
Gd	5.92	5.08	6.11	5.96	6.82	6.96
Tb	1.10	0.84	0.97	0.99	1.06	1.14
Dy	7.13	5.17	6.48	6.53	6.86	7.27
Ho	1.49	1.06	1.33	1.31	1.34	1.44
Er	4.52	3.12	4.05	3.98	4.04	4.34
Tm	0.70	0.47	0.61	0.59	0.60	0.61
Yb	4.39	3.08	3.98	3.98	4.01	4.14
Lu	0.69	0.44	0.61	0.58	0.61	0.64
Y	34	18	31	27	32	35
Th	13.83	9.50	14.53	14.72	13.88	14.04
U	2.80	2.29	2.32	2.61	2.64	3.04
Zr	259	202	233	246	228	255
Hf	7.23	6.02	6.54	7.13	6.83	8.01
Nb	15	14	14	16	16	17
Ta	1.37	1.06	1.18	1.33	1.29	1.44
Zn	19	24	23	8	37	71
Co	10	10	12	5	13	16
Ni	26	26	24	19	35	44
Sc	14	14	12	17	12	20
V	159	103	89	162	197	137
Cr	92	90	74	94	92	102
Pb	8	7	8	13	24	32

В песчанистых алевролитах нортуйской свиты отмечаются незначительные вариации основных петрогенных компонентов: SiO₂ (69.89–77.16 мас.%), Al₂O₃ (11.78–13.95 мас.%), Fe₂O₃*

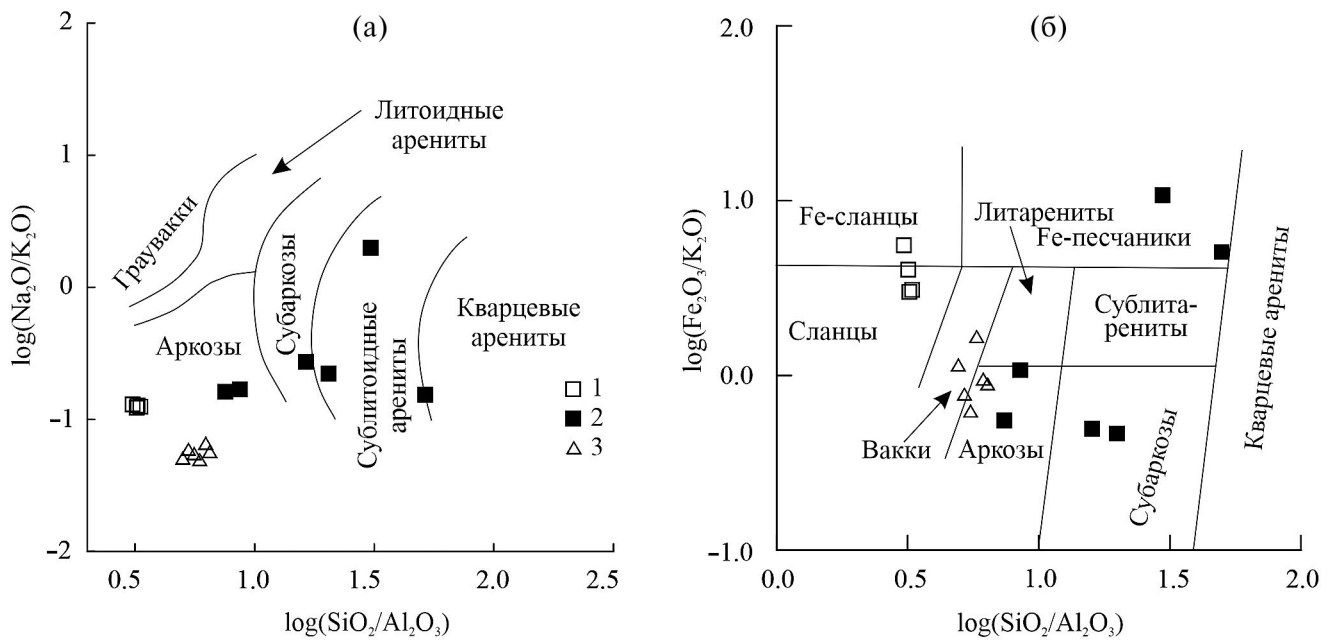


Рис. 3. Диаграммы $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (Петтиджон и др., 1976) (а), $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (Herron, 1988) (б) для осадочных пород надаровской и нортуйской свит Аргунского континентального массива.

1 – алевролиты надаровской свиты; 2 – песчаники надаровской свиты; 3 – песчанистые алевролиты нортуйской свиты.

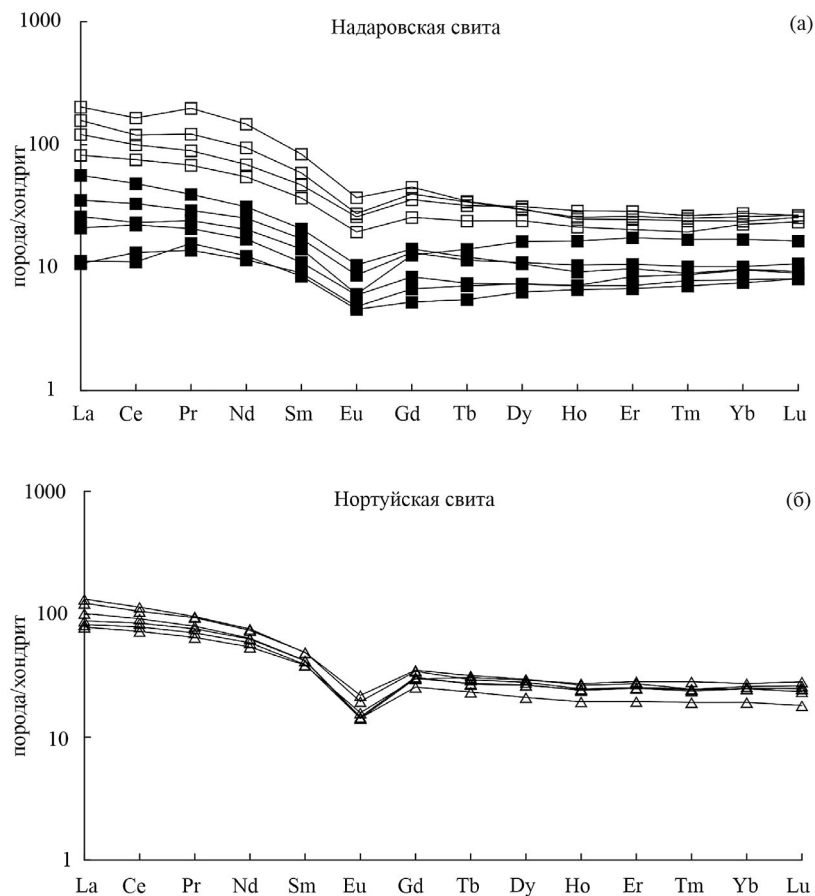


Рис. 4. Графики распределения редкоземельных элементов для осадочных пород надаровской (а) и нортуйской (б) свит Аргунского континентального массива. Состав хондрита по (McDonough, Sun, 1995).

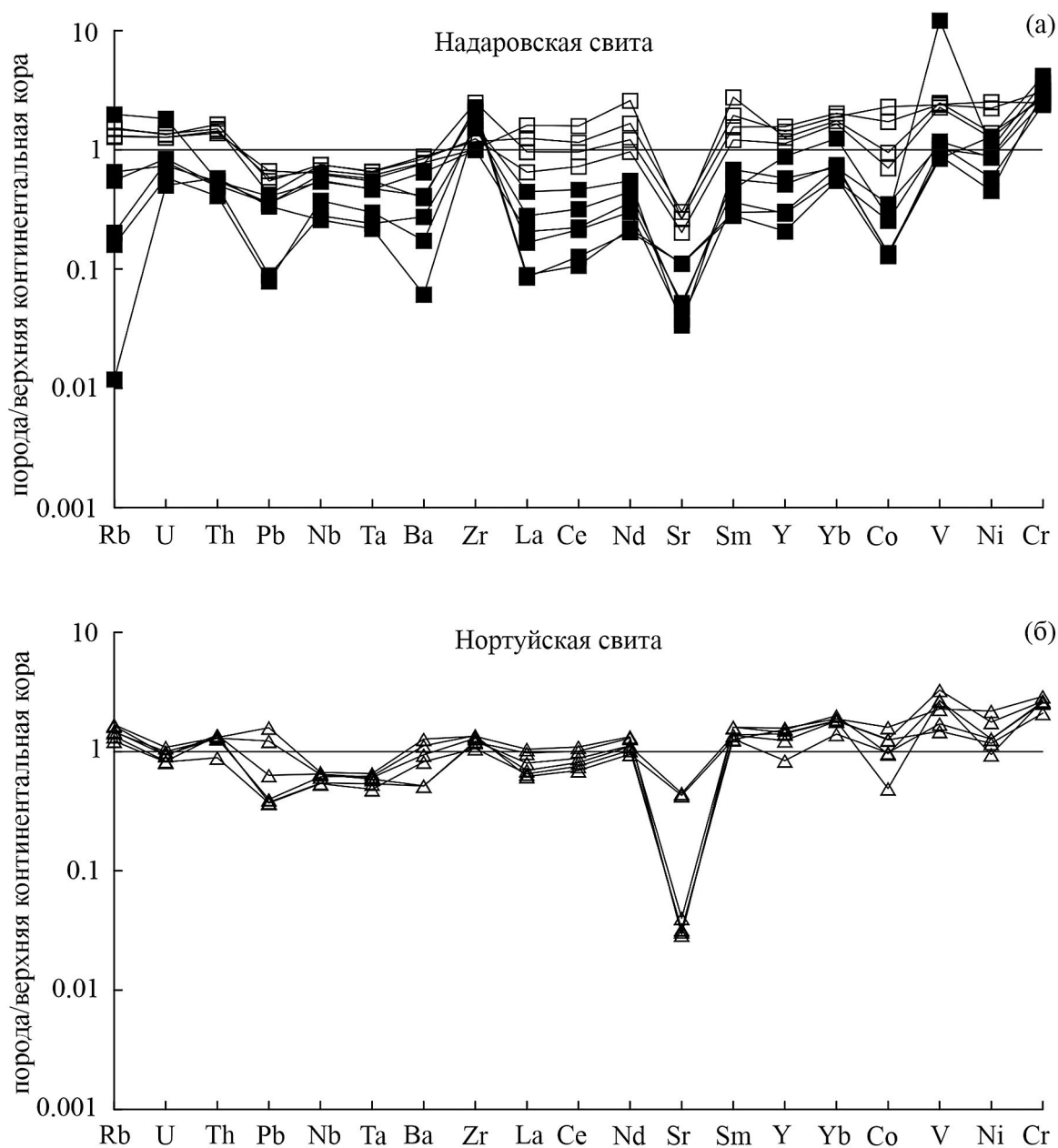


Рис. 5. Спайдер-диаграммы для осадочных пород надаровской (а) и нортуэйской (б) свит Аргунского континентального массива. Состав верхней континентальной коры по (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Таблица 2. Результаты Sm–Nd изотопно-геохимических исследований осадочных пород надаровской и нортуэйской свит Аргунского континентального массива

Свита	Номер образца	Возраст, млн лет	Sm, мгк/г	Nd, мгк/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
Надаровская	Ю-117-2	775	8.73	43.36	0.11882	0.511906
Нортуэйская	Ю-123	744	5.68	24.70	0.12787	0.512124
Свита	$\pm 2\sigma$ изм.	$\epsilon_{\text{Nd}(0)}$	$\epsilon_{\text{Nd}(t)}$	$t_{\text{Nd}(\text{DM})}$, млн лет	$t_{\text{Nd}(\text{DM}2)}$, млн лет	
Надаровская	13	-14.3	-6.6	1993	2009	
Нортуэйская	14	-10.0	-3.5	1819	1729	

(2.40–5.45 мас.%), TiO_2 (0.66–0.96 мас.%), Na_2O (0.16–0.23 мас.%), K_2O (2.71–4.10 мас.%) (табл. 1). Значения отношения K_2O/Na_2O в них изменяются от 15.1 до 20.1.

По значениям логарифмических соотношений SiO_2/Al_2O_3 и Na_2O/K_2O (Петтиджон и др., 1976) алевролиты надаровской и нортуйской свит соответствуют породам аркозового состава (рис. 3а). Песчаники надаровской свиты из-за значительных вариаций соотношения SiO_2/Al_2O_3 сосредоточены в поле аркозов, субаркозов и сублитоидных арени-тов (рис. 3а).

На классификационной диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Fe_2O_3/K_2O)$ (Herron, 1988) точки состава алевролитов надаровской свиты расположены в поле сланцев, а песчаников надаровской свиты – в поле аркозов, субаркозов и Fe-песчаников (рис. 3б). Фигуративные точки состава песчанистых алевролитов нортуйской свиты на диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Fe_2O_3/K_2O)$ (Herron, 1988) попадают в поля аркозов и вакк (рис. 3б).

В алевролитах надаровской свиты отмечаются вариации суммарных концентраций редкоземельных элементов ($\Sigma REE = 125$ до 278 мкг/г) при слабодифференцированном распределении лантаноидов ($[La/Yb]_n = 3.7-8.5$) и отрицательной европиевой аномалии ($Eu/Eu^* = 0.56-0.62$) (рис. 4а). Для песчаников надаровской свиты характерны более низкие содержания редкоземельных элементов ($\Sigma REE = 24-75$ мкг/г) при их слабодифференцированном распределении ($[La/Yb]_n = 1.1-5.8$) и отрицательной европиевой аномалии ($Eu/Eu^* = 0.45-0.66$) (рис. 4а).

В песчанистых алевролитах нортуйской свиты сумма лантаноидов варьирует от 126 до 180 мкг/г при четко проявленной отрицательной европиевой аномалии ($Eu/Eu^* = 0.40-0.52$) и слабодифференцированном распределении редкоземельных элементов ($[La/Yb]_n = 2.9-5.2$) (рис. 4б).

В алевролитах надаровской свиты содержания большинства элементов-примесей находятся на уровне таковых в верхней континентальной коре при незначительном дефиците Pb ($8-13$ мкг/г), Nb ($16-19$ мкг/г), Ta ($1.26-1.45$ мкг/г), Ba ($421-485$ мкг/г) и Sr ($71-106$ мкг/г) (рис. 5а). В песчаниках надаровской свиты отмечается дефицит концентраций практически всех микроэлементов, кроме Zr ($189-434$ мкг/г) (рис. 5а), относительно таковых в верхней континентальной коре. Песчанистые алевролиты нортуйской свиты в сравнении с составом верхней континентальной коры депле-тированы в отношении Nb ($14-17$ мкг/г), Ta ($1.06-1.44$ мкг/г) и Sr ($10-156$ мкг/г) (рис. 5б).

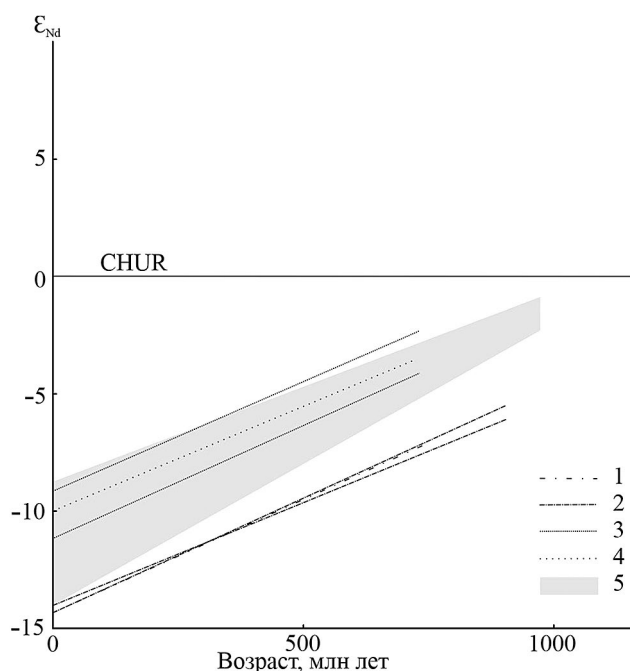


Рис. 6. Диаграмма возраст– ϵ_{Nd} для осадочных пород надаровской и нортуйской свит Аргунского континентального массива.

1–4 – линии Nd-изотопного состава осадочных пород: 1 – надаровской свиты, 2 – урулюнгуйской свиты (Смирнова и др., 2022), 3 – дырбылкейской свиты (Смирнова и др., 2022), 4 – нортуйской свиты; 5 – поле эволюции изотопного состава Nd позднепротерозойских гранитоидных массива Ухусишань (Wuhuxishan) (Liu et al., 2020).

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ (Sm–Nd) ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Результаты Sm–Nd изотопно-геохимических исследований осадочных пород надаровской и нортуйской свит представлены в табл. 2. Для алевролитов надаровской свиты и песчанистых алевролитов нортуйской свиты характерны отрицательные значения величины $\epsilon_{Nd(t)}$ (-6.6 и -3.5 соответственно) (рис. 6). Осадочные породы надаровской и нортуйской свит характеризуются раннепротерозойскими значениями неодимового модельного возраста ($t_{Nd(DM)} = 2.0-1.8$ млрд лет).

РЕЗУЛЬТАТЫ U–Th–Pb ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА

Из алевролита надаровской свиты (обр. Ю-117) было выделено 120 зерен детритового циркона. Конкордантные оценки возраста получены для 81 зерна (рис. 7а, табл. 3). Наиболее молодые позднерифейские значения возраста ($953-762$ млн лет) установлены для 33 зерен циркона

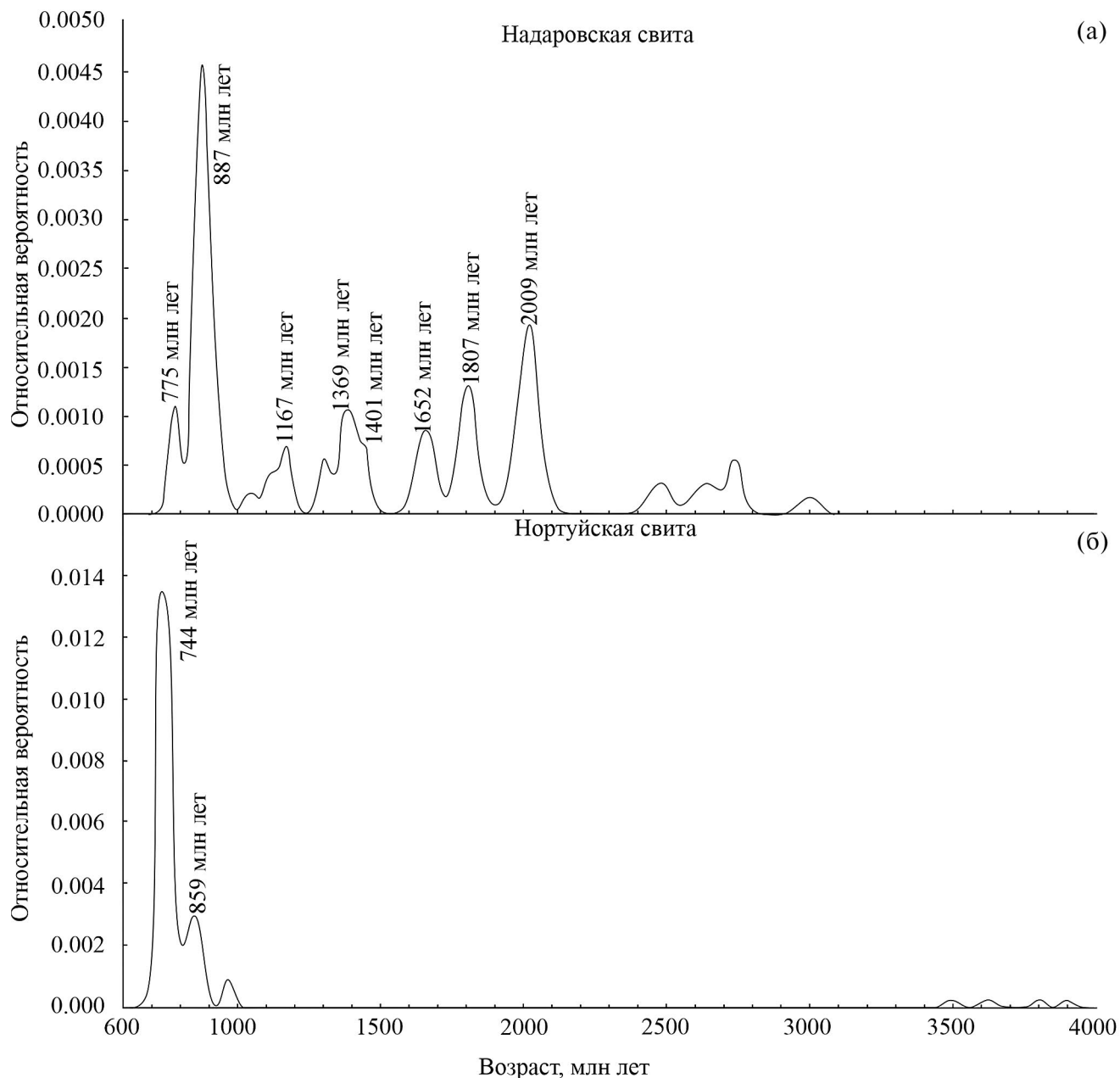


Рис. 7. Кривые относительной вероятности возрастов зерен детритового циркона (а) из алевролита надаровской свиты (обр. Ю-117) и (б) из песчанистого алевролита нортуйской свиты (обр. Ю-123) Аргунского континентального массива.

с пиками на диаграмме относительной вероятности возрастов ~ 887 и ~775 млн лет (рис. 7а). В значительном количестве присутствуют средне- и раннерифейские зерна циркона (1303–1043 млн лет, 7 зерен и 1650–1353 млн лет, 12 зерен соответственно) с пиками на кривой относительной вероятности возрастов ~1401, ~1369 и ~1167 млн лет. Раннепротерозойский возраст установлен для 23 зерен циркона (2485–1664 млн лет) с пиками на кривой относительной вероятности возрастов ~2009, ~1807 и ~1652 млн лет. Для шести

зерен циркона характерны позднеархейские значения возраста (2982–2586 млн лет).

Из песчанистого алевролита нортуйской свиты (обр. Ю-123) было проанализировано 120 зерен циркона, конкордантные оценки возраста получены для 74 зерен (рис. 7б, табл. 4). Доминирующая часть циркона имеет позднерифейский возраст (992–719 млн лет, 70 зерен) с пиками на кривой относительной вероятности возрастов ~859 и ~744 млн лет. Четыре зерна имеют раннеархейский возраст (~3893, ~3802, ~3622 и ~3495 млн лет).

Таблица 3. U–Th–Pb (LA–ICP–MS) данные для зерен детритового циркона из алевролита надаровской свиты (обр. Ю–117) Аргунского континентального массива

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D				
					²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb		±1σ	CA	±2σ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ю-117/001	34	27	0.8	5.2816	0.0024	13.8884	0.1406	0.5322	0.0041	0.76	2751	17	2742	10	2736	20	2740	19	-0.3	**
2	Ю-117/002	178	172	0.9	13.6328	0.0010	1.4143	0.0151	0.1399	0.0010	0.66	844	6	895	6	1024	26	Discordant		6.0	**
3	Ю-117/003	1638	1533	0.9	10.6464	0.0010	2.2223	0.0185	0.1717	0.0011	0.82	1021	6	1188	6	1507	21	Discordant		16.3	**
4	Ю-117/004	69	233	3.4	7.7649	0.0015	6.5190	0.0564	0.3673	0.0025	0.80	2017	12	2048	8	2082	20	Discordant		1.6	**
5	Ю-117/005	87	609	7.1	10.7422	0.0011	3.1624	0.0278	0.2465	0.0017	0.78	1420	9	1448	7	1490	22	Discordant		1.9	**
6	Ю-117/006	82	161	1.9	10.9578	0.0011	3.1506	0.0303	0.2505	0.0018	0.73	1441	9	1445	7	1452	23	1444	15	0.3	**
7	Ю-117/007	46	37	0.8	5.3007	0.0023	13.4760	0.1336	0.5183	0.0039	0.76	2692	16	2714	9	2731	20	2718	18	0.8	**
8	Ю-117/008	332	250	0.8	9.0975	0.0013	4.9222	0.0441	0.3249	0.0023	0.78	1814	11	1806	8	1798	21	1805	15	-0.4	**
9	Ю-117/009	116	660	5.7	13.3845	0.0009	1.7258	0.0156	0.1676	0.0012	0.76	999	6	1018	6	1061	23	Discordant		1.9	**
10	Ю-117/010	34	72	2.1	12.7368	0.0012	2.1560	0.0287	0.1992	0.0015	0.57	1171	8	1167	9	1160	30	1170	15	-0.4	**
11	Ю-117/011	113	160	1.4	11.3660	0.0011	2.8625	0.0299	0.2361	0.0017	0.69	1366	9	1372	8	1382	24	1370	15	0.4	**
12	Ю-117/012	178	156	0.9	14.2680	0.0010	1.4156	0.0168	0.1466	0.0011	0.61	882	6	896	7	931	29	886	12	1.6	**
13	Ю-117/013	209	318	1.5	8.1328	0.0015	6.2408	0.0586	0.3683	0.0026	0.75	2021	12	2010	8	2000	21	2009	17	-0.5	**
14	Ю-117/014	420	374	0.9	4.9195	0.0024	12.3192	0.1136	0.4397	0.0031	0.76	2350	14	2629	9	2853	19	Discordant		11.9	**
15	Ю-117/015	219	379	1.7	14.2478	0.0009	1.3859	0.0147	0.1433	0.0010	0.68	863	6	883	6	934	26	Discordant		2.3	**
16	Ю-117/016	162	294	1.8	13.2686	0.0010	1.4283	0.0154	0.1375	0.0010	0.67	831	6	901	6	1079	26	Discordant		8.4	**
17	Ю-117/017	221	606	2.7	14.2205	0.0009	1.4535	0.0148	0.1500	0.0011	0.70	901	6	911	6	938	26	906	11	1.2	**
18	Ю-117/018	372	339	0.9	14.5568	0.0009	1.4400	0.0156	0.1521	0.0011	0.67	913	6	906	6	890	27	910	12	-0.8	**
19	Ю-117/019	328	373	1.1	7.9271	0.0016	5.1263	0.0525	0.2949	0.0021	0.70	1666	11	1840	9	2046	22	Discordant		10.5	**
20	Ю-117/020	110	184	1.7	8.9261	0.0014	4.9740	0.0520	0.3222	0.0023	0.70	1800	11	1815	9	1833	23	1813	18	0.8	**
21	Ю-117/021	336	351	1.1	14.0712	0.0010	1.4307	0.0163	0.1461	0.0011	0.64	879	6	902	7	960	28	Discordant		2.6	**
22	Ю-117/022	12	31	2.7	8.6071	0.0021	5.1594	0.0861	0.3222	0.0029	0.54	1801	14	1846	14	1899	33	Discordant		2.5	**
23	Ю-117/023	444	315	0.7	8.2003	0.0016	6.1534	0.0664	0.3661	0.0027	0.68	2011	13	1998	9	1986	23	1999	19	-0.7	**
24	Ю-117/024	212	266	1.3	8.7561	0.0015	5.0439	0.0559	0.3205	0.0024	0.66	1792	12	1827	9	1868	24	Discordant		1.9	**
25	Ю-117/025	311	386	1.2	7.9158	0.0017	6.3522	0.0699	0.3648	0.0027	0.67	2005	13	2026	10	2048	23	2023	19	1.0	**
26	Ю-117/026	56	171	3.1	9.1938	0.0015	4.7726	0.0556	0.3184	0.0024	0.64	1782	12	1780	10	1780	25	1781	19	-0.1	**

Таблица 3. Продолжение

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D				
					$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
27	Ю-117/027	253	541	2.1	14.2269	0.0010	1.4182	0.0168	0.1464	0.0011	0.63	881	6	897	7	938	28	886	12	1.8	**
28	Ю-117/028	179	207	1.2	6.0719	0.0022	10.5796	0.1215	0.4661	0.0035	0.65	2466	15	2487	11	2505	23	2485	22	0.8	**
29	Ю-117/029	265	437	1.6	8.3322	0.0017	3.9982	0.0476	0.2417	0.0018	0.63	1396	9	1634	10	1957	25	Discordant		17.1	**
30	Ю-117/030	80	122	1.5	14.5418	0.0011	1.4054	0.0207	0.1483	0.0012	0.54	891	6	891	9	893	34	891	13	-0.1	**
31	Ю-117/031	199	297	1.5	15.1926	0.0010	1.1651	0.0158	0.1284	0.0010	0.57	779	6	784	7	802	32	780	11	0.7	**
32	Ю-117/032	68	181	2.7	7.9159	0.0019	6.4275	0.0819	0.3692	0.0028	0.60	2026	13	2036	11	2048	26	2033	22	0.5	**
33	Ю-117/033	102	173	1.7	6.0081	0.0025	9.6747	0.1242	0.4218	0.0033	0.60	2268	15	2404	12	2523	25	Discordant		6.0	**
34	Ю-117/034	594	392	0.7	14.6225	0.0011	1.3567	0.0184	0.1440	0.0011	0.57	867	6	870	8	881	32	868	12	0.4	**
35	Ю-117/035	78	82	1.1	12.8856	0.0015	1.4020	0.0255	0.1311	0.0011	0.47	794	6	890	11	1138	39	Discordant		12.1	**
36	Ю-117/036	86	227	2.6	11.4180	0.0014	2.9468	0.0405	0.2441	0.0019	0.57	1408	10	1394	10	1374	30	1402	18	-1.0	**
37	Ю-117/037	102	147	1.4	8.6286	0.0018	5.1558	0.0724	0.3228	0.0026	0.57	1803	12	1845	12	1895	28	Discordant		2.3	**
38	Ю-117/038	566	857	1.5	6.1171	0.0025	5.5363	0.0749	0.2457	0.0019	0.58	1416	10	1906	12	2493	26	Discordant		34.6	**
39	Ю-117/039	7	38	5.7	8.6046	0.0021	4.8809	0.0784	0.3047	0.0026	0.54	1715	13	1799	14	1900	32	Discordant		4.9	**
40	Ю-117/040	208	707	3.4	9.0118	0.0018	3.8304	0.0536	0.2505	0.0020	0.56	1441	10	1599	11	1816	28	Discordant		11.0	**
41	Ю-117/041	476	538	1.1	14.0314	0.0012	1.2858	0.0195	0.1309	0.0011	0.53	793	6	839	9	966	34	Discordant		5.8	**
42	Ю-117/042	309	447	1.4	9.6146	0.0017	4.1506	0.0624	0.2896	0.0023	0.54	1639	12	1664	12	1698	30	1650	21	1.5	**
43	Ю-117/043	117	247	2.1	14.0718	0.0013	1.5229	0.0247	0.1555	0.0013	0.51	932	7	940	10	960	36	933	14	0.8	**
44	Ю-117/044	274	317	1.2	8.0406	0.0021	5.9797	0.0926	0.3489	0.0029	0.53	1929	14	1973	13	2021	30	1951	24	2.3	**
45	Ю-117/045	18	50	2.8	7.7012	0.0024	5.8905	0.0989	0.3292	0.0028	0.52	1834	14	1960	14	2097	32	Discordant		6.8	**
46	Ю-117/046	1205	727	0.6	5.7045	0.0030	8.6732	0.1365	0.3590	0.0030	0.52	1977	14	2304	14	2610	29	Discordant		16.5	**
47	Ю-117/047	35	60	1.7	12.1881	0.0016	2.5122	0.0465	0.2222	0.0020	0.48	1293	10	1276	13	1248	38	1288	20	-1.4	**
48	Ю-117/048	656	712	1.1	7.9239	0.0023	2.7799	0.0454	0.1598	0.0013	0.51	956	7	1350	12	2046	31	Discordant		41.2	**
49	Ю-117/049	17	40	2.4	4.5841	0.0040	17.7733	0.3043	0.5912	0.0053	0.52	2994	21	2978	16	2968	30	2982	32	-0.6	**
50	Ю-117/050	266	247	0.9	8.0288	0.0023	6.2144	0.1049	0.3620	0.0031	0.50	1992	14	2006	15	2023	32	1999	26	0.7	**
51	Ю-117/051	44	36	0.8	6.3950	0.0032	9.9723	0.1878	0.4627	0.0043	0.49	2452	19	2432	17	2418	34	2440	31	-0.8	**
52	Ю-117/052	0	1	-	1.6199	0.1710	10.5828	3.7458	0.1244	0.0553	1.26	756	317	2487	328	4550	351	Discordant		229.1	**

Таблица 3. Продолжение

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D				
					$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
53	Ю-117/053	110	176	1.6	8.5366	0.0023	5.1349	0.0946	0.3181	0.0028	0.48	1780	14	1842	16	1914	35	Discordant		3.5	
54	Ю-117/054	2464	2377	0.9	9.5133	0.0021	1.3261	0.0245	0.0915	0.0008	0.47	565	5	857	11	1717	36	Discordant		51.8	
55	Ю-117/055	455	560	1.2	14.2762	0.0014	1.3587	0.0258	0.1407	0.0012	0.47	849	7	871	11	931	41	852	14	2.6	**
56	Ю-117/056	170	283	1.7	14.0149	0.0015	1.5394	0.0303	0.1565	0.0014	0.46	938	8	946	12	968	42	939	15	0.9	**
57	Ю-117/057	163	333	2.1	11.8180	0.0018	2.6127	0.0510	0.2240	0.0020	0.46	1303	11	1304	14	1308	40	1303	20	0.1	**
58	Ю-117/058	242	203	0.8	14.5325	0.0015	1.3969	0.0289	0.1473	0.0014	0.45	886	8	888	12	894	44	886	15	0.2	**
59	Ю-117/059	393	403	1.0	14.0238	0.0015	1.5648	0.0316	0.1592	0.0014	0.45	952	8	956	12	967	43	953	16	0.4	**
60	Ю-117/060	194	227	1.2	14.2908	0.0016	1.3878	0.0292	0.1439	0.0013	0.44	867	8	884	12	928	45	869	15	2.0	**
61	Ю-117/061	35	127	3.6	7.9549	0.0028	6.4022	0.1368	0.3695	0.0035	0.44	2027	16	2033	19	2040	39	2029	30	0.3	**
62	Ю-117/062	1159	1671	1.4	9.6730	0.0023	1.3272	0.0284	0.0932	0.0009	0.44	574	5	858	12	1686	41	Discordant		49.4	
63	Ю-117/063	250	419	1.7	5.4083	0.0042	9.9226	0.2149	0.3894	0.0037	0.44	2120	17	2428	20	2698	37	Discordant		14.5	
64	Ю-117/064	339	387	1.1	8.7931	0.0026	5.1153	0.1121	0.3264	0.0031	0.44	1821	15	1839	19	1861	41	1826	28	1.0	**
65	Ю-117/065	146	222	1.5	7.6431	0.0030	6.5657	0.1463	0.3641	0.0035	0.43	2002	17	2055	20	2110	40	2019	31	2.6	**
66	Ю-117/066	229	162	0.7	8.8518	0.0027	4.9240	0.1122	0.3163	0.0031	0.43	1771	15	1806	19	1848	42	1781	28	2.0	**
67	Ю-117/067	56	482	8.7	9.4231	0.0025	4.2809	0.0977	0.2927	0.0029	0.43	1655	14	1690	19	1735	43	1664	27	2.1	**
68	Ю-117/068	66	138	2.1	11.2172	0.0022	2.9692	0.0706	0.2417	0.0024	0.42	1395	12	1400	18	1408	46	1396	24	0.3	**
69	Ю-117/069	399	303	0.8	14.2909	0.0017	1.3562	0.0326	0.1406	0.0014	0.42	848	8	870	14	928	50	850	16	2.6	**
70	Ю-117/070	29	104	3.6	9.0366	0.0028	4.7945	0.1154	0.3144	0.0032	0.42	1762	16	1784	20	1811	44	1768	29	1.2	**
71	Ю-117/071	519	699	1.4	12.5508	0.0020	2.0524	0.0512	0.1869	0.0019	0.41	1105	10	1133	17	1190	50	1108	20	2.6	**
72	Ю-117/072	293	490	1.7	14.0951	0.0019	1.3867	0.0354	0.1418	0.0015	0.41	855	8	883	15	957	53	857	16	3.3	**
73	Ю-117/073	86	124	1.4	8.1840	0.0032	4.7726	0.1237	0.2834	0.0030	0.41	1608	15	1780	22	1989	46	Discordant		10.7	
74	Ю-117/074	100	94	0.9	5.5330	0.0048	12.6336	0.3284	0.5072	0.0054	0.41	2645	23	2653	24	2660	43	2648	40	0.3	**
75	Ю-117/075	60	130	2.2	13.8502	0.0020	1.5071	0.0416	0.1515	0.0016	0.39	909	9	933	17	992	56	911	18	2.7	**
76	Ю-117/076	53	60	1.1	5.7544	0.0048	11.8090	0.3160	0.4931	0.0054	0.41	2584	23	2589	25	2595	45	2586	40	0.2	**
77	Ю-117/077	320	369	1.2	6.0646	0.0045	8.8779	0.2377	0.3907	0.0042	0.40	2126	19	2326	24	2507	45	Discordant		9.4	
78	Ю-117/078	231	194	0.8	14.4334	0.0020	1.3445	0.0378	0.1408	0.0016	0.39	849	9	865	16	908	58	851	17	1.9	**

Таблица 3. Продолжение

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D				
					$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
79	Ю-117/079	179	186	1.1	14.4918	0.0020	1.3584	0.0387	0.1428	0.0016	0.39	861	9	871	17	900	59	862	18	1.2	**
80	Ю-117/080	235	1277	5.4	13.8162	0.0020	1.2591	0.0351	0.1262	0.0014	0.39	766	8	828	16	998	56	Discordant		8.0	
81	Ю-117/081	293	298	1.1	9.2622	0.0032	4.3084	0.1260	0.2896	0.0033	0.39	1639	16	1695	24	1766	53	1650	32	3.4	**
82	Ю-117/082	135	206	1.5	15.3929	0.0020	1.1228	0.0340	0.1254	0.0014	0.38	762	8	764	16	774	63	762	16	0.4	**
83	Ю-117/083	315	341	1.1	10.8489	0.0028	3.0866	0.0926	0.2430	0.0028	0.38	1402	14	1429	23	1472	56	1406	28	1.9	**
84	Ю-117/084	200	192	0.9	5.4365	0.0056	12.8416	0.3877	0.5066	0.0059	0.38	2642	25	2668	28	2689	49	2652	45	1.0	**
85	Ю-117/085	68	118	1.8	10.9421	0.0029	2.9512	0.0923	0.2343	0.0028	0.38	1357	14	1395	24	1455	59	1362	28	2.8	**
86	Ю-117/086	328	491	1.5	8.2194	0.0038	4.5522	0.1408	0.2715	0.0032	0.38	1548	16	1741	26	1981	54	Discordant		12.4	
87	Ю-117/087	162	366	2.3	9.0643	0.0035	4.8720	0.1526	0.3204	0.0038	0.38	1792	18	1797	26	1805	56	1793	35	0.3	**
88	Ю-117/088	229	280	1.2	8.3215	0.0038	5.9544	0.1887	0.3595	0.0043	0.38	1980	20	1969	28	1959	56	1977	38	-0.5	**
89	Ю-117/089	218	131	0.6	13.9865	0.0024	1.5043	0.0499	0.1527	0.0019	0.37	916	10	932	20	972	66	917	21	1.8	**
90	Ю-117/090	1160	757	0.6	12.8613	0.0025	1.5854	0.0514	0.1480	0.0018	0.37	890	10	964	20	1141	63	Discordant		8.4	
91	Ю-117/091	182	232	1.3	14.7673	0.0024	1.0042	0.0349	0.1076	0.0014	0.37	659	8	706	18	861	70	Discordant		7.1	
92	Ю-117/092	2891	1227	0.4	13.8187	0.0025	1.1357	0.0390	0.1139	0.0014	0.37	695	8	770	18	997	68	Discordant		10.8	
93	Ю-117/093	99	133	1.3	7.5254	0.0047	5.2951	0.1865	0.2891	0.0038	0.37	1637	19	1868	30	2137	60	Discordant		14.1	
94	Ю-117/094	138	121	0.9	7.8908	0.0045	5.6680	0.1999	0.3245	0.0042	0.37	1812	20	1926	30	2054	61	Discordant		6.3	
95	Ю-117/095	90	309	3.4	12.2289	0.0029	2.2058	0.0786	0.1957	0.0025	0.36	1152	14	1183	25	1241	68	1156	27	2.6	**
96	Ю-117/096	35	64	1.8	10.3482	0.0036	3.3185	0.1224	0.2492	0.0034	0.36	1434	17	1485	29	1561	67	1441	34	3.6	**
97	Ю-117/097	240	252	1.0	15.4760	0.0024	1.1402	0.0421	0.1280	0.0017	0.36	777	10	773	20	762	76	776	19	-0.5	**
98	Ю-117/098	118	184	1.6	13.4107	0.0028	1.8044	0.0671	0.1756	0.0024	0.36	1043	13	1047	24	1057	73	1043	25	0.4	**
99	Ю-117/099	393	494	1.3	9.4326	0.0039	4.1803	0.1547	0.2861	0.0038	0.36	1622	19	1670	30	1733	66	1630	37	3.0	**
100	Ю-117/100	273	364	1.3	6.5702	0.0056	5.9948	0.2243	0.2858	0.0039	0.36	1620	19	1975	32	2371	62	Discordant		21.9	
101	Ю-117/101	18	51	2.9	10.7615	0.0037	2.9754	0.1199	0.2323	0.0033	0.36	1347	17	1401	31	1487	74	1353	34	4.0	**
102	Ю-117/102	331	638	1.9	14.6910	0.0027	1.3564	0.0537	0.1446	0.0020	0.35	871	11	870	23	871	79	871	23	-0.1	**
103	Ю-117/103	61	130	2.1	14.6895	0.0028	1.4007	0.0571	0.1493	0.0021	0.35	897	12	889	24	871	81	896	24	-0.9	**
104	Ю-117/104	360	393	1.1	14.3835	0.0028	1.3720	0.0557	0.1432	0.0020	0.35	863	12	877	24	915	80	864	23	1.6	**

Таблица 3. Окончание

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения				Возраст, млн лет						D						
					$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
105	Ю-117/105	282	544	1.9	13.9705	0.0029	1.3088	0.0535	0.1327	0.0019	0.35	803	11	850	24	975	80	805	22	5.8	**
106	Ю-117/106	9	21	2.2	8.4946	0.0049	5.7959	0.2496	0.3572	0.0061	0.40	1969	29	1946	37	1922	73	1962	53	-1.2	**
107	Ю-117/107	192	350	1.8	14.5133	0.0028	1.3642	0.0572	0.1437	0.0021	0.35	865	12	874	24	896	83	866	24	1.0	**
108	Ю-117/108	506	506	1.0	14.7348	0.0028	1.3769	0.0581	0.1472	0.0022	0.35	885	12	879	25	865	84	885	24	-0.7	**
109	Ю-117/109	236	283	1.2	14.4683	0.0029	1.3671	0.0585	0.1435	0.0022	0.35	865	12	875	25	903	85	865	24	1.2	**
110	Ю-117/110	111	377	3.4	8.0710	0.0052	6.1457	0.2633	0.3599	0.0054	0.35	1982	26	1997	37	2014	73	1985	48	0.8	**
111	Ю-117/111	306	284	0.9	14.5054	0.0030	1.4432	0.0649	0.1519	0.0024	0.35	912	13	907	27	898	89	911	26	-0.5	**
112	Ю-117/112	939	970	1.0	14.5143	0.0030	1.3346	0.0602	0.1406	0.0022	0.35	848	12	861	26	896	89	849	25	1.5	**
113	Ю-117/113	348	381	1.1	8.0051	0.0056	6.3931	0.2910	0.3713	0.0059	0.35	2036	28	2031	40	2028	77	2035	52	-0.2	**
114	Ю-117/114	1156	808	0.7	13.3888	0.0034	1.4667	0.0675	0.1425	0.0023	0.34	859	13	917	28	1061	88	861	25	6.8	**
115	Ю-117/115	152	110	0.7	14.2046	0.0033	1.4554	0.0692	0.1500	0.0024	0.34	901	14	912	29	941	93	902	27	1.2	**
116	Ю-117/116	427	790	1.8	14.6830	0.0031	1.3316	0.0625	0.1419	0.0023	0.34	855	13	860	27	872	92	856	26	0.5	**
117	Ю-117/117	42	129	3.0	9.5503	0.0049	4.1956	0.1997	0.2907	0.0048	0.34	1645	24	1673	39	1710	83	1650	46	1.7	**
118	Ю-117/118	844	1713	2.0	6.6292	0.0070	4.8028	0.2292	0.2310	0.0038	0.34	1340	20	1785	40	2356	78	Discordant		33.2	
119	Ю-117/119	115	285	2.5	12.5086	0.0038	2.1438	0.1039	0.1946	0.0032	0.34	1146	17	1163	34	1196	91	1148	34	1.5	**
120	Ю-117/120	138	184	1.3	8.0083	0.0060	6.2807	0.3065	0.3650	0.0061	0.34	2006	29	2016	43	2025	82	2008	55	0.5	**

Примечание. Rho — коэффициент корреляции между ошибками отношениями $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ – $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$; Rho = $(\sigma(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}})/(\sigma(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}})))/(\sigma(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}})/(\sigma(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}})))$, где σ — относительная ошибка того или иного отношения (Gerdes, Zeh, 2006; Powerman et al., 2021); CA — конкордантный возраст (Ludwig, 2008), D — дискордантность, вычислялась по формуле $(\text{Возраст}(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}})/\text{Возраст}(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}) \times 100) - 100\%$. (***) — для построения кривой относительной вероятности цирконов и вычисления ее пиков использовались только те значения возрастов, которые характеризуются конкордантным возрастом (CA), при этом в них значения показателя дискордантности составляли не более 10%, а ошибка значений отношения возрастов $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ и $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ не более 3%.

Таблица 4. U–Th–Pb (LA-ICP-MS) данные для зерен детритового циркона из алевролита нортуйской свиты (обр. Ю-123) Аргунского континентального массива

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения								Возраст, млн лет						D	**	
					$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	CA			$\pm 2\sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ю-123/001	657	1109	1.7	15.1492	0.0008	1.2128	0.0113	0.1333	0.0010	0.81	807	6	806	5	807	24	807	10	-0.0	**
2	Ю-123/002	159	219	1.4	14.7580	0.0009	1.2012	0.0143	0.1286	0.0010	0.65	780	6	801	7	861	28	Discordant		2.7	**
3	Ю-123/003	97	168	1.7	15.4847	0.0010	1.1028	0.0144	0.1239	0.0010	0.61	753	6	755	7	761	31	753	11	0.2	**
4	Ю-123/004	158	244	1.6	15.7356	0.0009	1.2471	0.0134	0.1312	0.0010	0.72	795	6	777	6	727	28	Discordant		-2.2	**
5	Ю-123/005	335	331	1.0	14.7102	0.0009	1.4089	0.0149	0.1504	0.0012	0.72	903	6	893	6	868	26	897	12	-1.2	**
6	Ю-123/006	185	270	1.5	15.2788	0.0010	1.1134	0.0151	0.1234	0.0010	0.59	750	6	760	7	789	32	752	11	1.3	**
7	Ю-123/007	247	364	1.5	9.6712	0.0012	1.2471	0.0386	0.2948	0.0022	0.24	1666	11	1674	8	1686	1	Discordant		0.5	**
8	Ю-123/008	665	1077	1.6	9.6367	0.0012	2.8612	0.0256	0.2001	0.0015	0.84	1178	8	1372	7	1692	11	Discordant		16.7	**
9	Ю-123/009	664	661	1.0	12.7681	0.0010	1.4023	0.0140	0.1299	0.0010	0.76	787	6	890	6	1155	24	Discordant		13.0	**
10	Ю-123/010	116	203	1.8	15.5497	0.0010	1.0821	0.0151	0.1221	0.0010	0.57	743	6	745	7	752	33	743	11	0.3	**
11	Ю-123/011	308	407	1.3	15.5280	0.0008	1.1166	0.0119	0.1258	0.0010	0.72	764	6	761	6	755	26	763	10	-0.3	**
12	Ю-123/012	158	237	1.5	15.2695	0.0009	1.1485	0.0136	0.1273	0.0010	0.66	772	6	776	6	790	29	774	11	0.6	**
13	Ю-123/013	264	692	2.6	15.2184	0.0008	1.2471	0.0122	0.1377	0.0010	0.77	832	6	822	6	797	25	825	11	-1.2	**
14	Ю-123/014	144	233	1.6	15.2230	0.0009	1.1858	0.0140	0.1310	0.0010	0.66	794	6	794	6	796	28	794	11	0.1	**
15	Ю-123/015	106	189	1.8	15.4297	0.0009	1.1546	0.0144	0.1293	0.0010	0.63	784	6	779	7	768	30	782	11	-0.5	**
16	Ю-123/016	126	212	1.7	15.2022	0.0009	1.1372	0.0139	0.1254	0.0010	0.64	762	6	771	7	799	29	764	11	1.2	**
17	Ю-123/017	205	326	1.6	14.7124	0.0009	1.2471	0.0151	0.1509	0.0012	0.64	906	6	895	6	868	26	Discordant		-1.3	**
18	Ю-123/019	654	1323	2.0	14.8104	0.0008	1.2471	0.0128	0.1479	0.0011	0.73	889	6	879	6	854	24	Discordant		-1.2	**
19	Ю-123/020	377	480	1.3	15.3210	0.0008	1.2471	0.0127	0.1366	0.0010	0.75	826	6	814	6	783	26	824	11	-1.4	**
20	Ю-123/021	145	252	1.7	15.6104	0.0009	1.1236	0.0133	0.1273	0.0010	0.66	772	6	765	6	744	29	770	11	-1.0	**
21	Ю-123/022	126	300	2.4	14.9925	0.0009	1.2330	0.0138	0.1341	0.0010	0.69	811	6	816	6	828	27	813	11	0.5	**
22	Ю-123/023	94	344	3.7	14.5709	0.0009	1.0992	0.0118	0.1162	0.0010	0.71	709	5	753	6	889	26	Discordant		6.2	**
23	Ю-123/024	146	250	1.7	15.4154	0.0009	1.1197	0.0132	0.1252	0.0010	0.65	761	6	763	6	770	29	761	11	0.3	**
24	Ю-123/025	261	328	1.3	15.5448	0.0008	1.1051	0.0124	0.1246	0.0010	0.69	757	6	756	6	752	28	757	10	-0.2	**
25	Ю-123/026	626	601	1.0	15.3633	0.0008	1.1526	0.0117	0.1285	0.0010	0.74	779	6	778	6	777	26	779	10	-0.1	**
26	Ю-123/027	138	165	1.2	8.9190	0.0014	1.2471	0.0509	0.3300	0.0025	0.19	1838	12	1836	8	1834	22	3622	25	-0.1	**

Таблица 4. Продолжение

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D	**			
					$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$			$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
27	Ю-123/028	56	132	2.4	5.6954	0.0021	1.2471	0.1133	0.4902	0.0038	0.08	2572	16	2594	9	2612	19	Discordant		0.8	
28	Ю-123/029	77	122	1.6	6.4982	0.0018	1.2471	0.0939	0.4540	0.0035	0.10	2413	16	2400	9	2390	20	Discordant		-0.6	
29	Ю-123/030	244	314	1.3	14.4425	0.0009	1.2240	0.0131	0.1283	0.0010	0.72	778	6	812	6	906	26	Discordant		4.3	
30	Ю-123/031	68	170	2.5	15.4440	0.0010	1.1284	0.0148	0.1265	0.0010	0.60	768	6	767	7	766	31	767	11	-0.1	**
31	Ю-123/032	93	135	1.5	14.2227	0.0011	1.4210	0.0194	0.1467	0.0012	0.59	882	7	898	8	937	31	886	13	1.8	**
32	Ю-123/033	216	747	3.4	14.4279	0.0008	1.3773	0.0137	0.1442	0.0011	0.76	868	6	879	6	908	25	875	11	1.3	**
33	Ю-123/034	161	184	1.1	13.3779	0.0012	1.1380	0.0164	0.1105	0.0009	0.57	675	5	772	8	1062	32	Discordant		14.2	
34	Ю-123/035	290	496	1.7	13.7476	0.0009	1.4964	0.0155	0.1493	0.0011	0.74	897	6	929	6	1007	25	Discordant		3.6	
35	Ю-123/036	400	272	0.7	15.3822	0.0009	1.1145	0.0134	0.1244	0.0010	0.65	756	6	760	6	775	29	757	11	0.6	**
36	Ю-123/037	96	189	2.0	14.9858	0.0010	1.1694	0.0152	0.1272	0.0010	0.61	772	6	786	7	829	31	775	11	1.9	**
37	Ю-123/038	194	276	1.4	15.6494	0.0009	1.1067	0.0134	0.1257	0.0010	0.65	763	6	757	6	738	29	761	11	-0.9	**
38	Ю-123/039	240	363	1.5	15.2625	0.0009	1.1291	0.0129	0.1251	0.0010	0.68	760	6	767	6	791	28	762	11	1.0	**
39	Ю-123/040	161	275	1.7	15.5087	0.0009	1.1116	0.0135	0.1251	0.0010	0.64	760	6	759	6	757	29	760	11	-0.1	**
40	Ю-123/041	202	315	1.6	15.4131	0.0009	1.1189	0.0133	0.1251	0.0010	0.65	760	6	762	6	770	29	761	11	0.3	**
41	Ю-123/043	521	544	1.0	15.5473	0.0008	1.1045	0.0120	0.1246	0.0010	0.71	757	6	756	6	752	27	756	10	-0.2	**
42	Ю-123/044	74	157	2.1	15.2393	0.0010	1.1426	0.0160	0.1264	0.0010	0.58	767	6	774	8	794	33	768	11	0.9	**
43	Ю-123/045	253	349	1.4	15.5015	0.0009	1.1126	0.0133	0.1252	0.0010	0.65	760	6	759	6	758	29	760	11	-0.1	**
44	Ю-123/046	240	332	1.4	15.6201	0.0009	1.0866	0.0133	0.1232	0.0010	0.64	749	6	747	6	742	30	748	11	-0.2	**
45	Ю-123/047	212	322	1.5	15.5255	0.0009	1.0872	0.0130	0.1225	0.0010	0.65	745	6	747	6	755	29	746	11	0.3	**
46	Ю-123/048	216	309	1.4	15.4560	0.0009	1.1320	0.0135	0.1270	0.0010	0.65	770	6	769	6	764	29	770	11	-0.2	**
47	Ю-123/049	358	496	1.4	15.6031	0.0009	1.0595	0.0127	0.1200	0.0009	0.64	730	5	734	6	744	29	731	10	0.4	**
48	Ю-123/050	76	106	1.4	16.0488	0.0012	0.7931	0.0140	0.0924	0.0008	0.48	570	5	593	8	685	40	Discordant		4.1	
49	Ю-123/051	169	282	1.7	7.7018	0.0016	4.7504	0.0491	0.2655	0.0020	0.74	1518	10	1776	9	2096	22	Discordant		17.0	
50	Ю-123/052	216	316	1.5	15.3846	0.0009	1.0912	0.0132	0.1218	0.0010	0.64	741	6	749	6	774	29	743	11	1.1	**
51	Ю-123/053	315	397	1.3	8.3292	0.0015	3.5816	0.0372	0.2165	0.0017	0.74	1263	9	1546	8	1957	22	Discordant		22.4	

Таблица 4. Продолжение

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D	**			
					$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$			$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
52	Ю-123/054	112	219	2.0	8.4154	0.0016	2.2363	0.0257	0.1366	0.0011	0.69	825	6	1192	8	1939	24	Discordant		44.5	
53	Ю-123/055	253	375	1.5	15.4799	0.0009	1.1434	0.0134	0.1284	0.0010	0.66	779	6	774	6	762	29	777	11	-0.6	**
54	Ю-123/056	341	505	1.5	15.5569	0.0009	1.1067	0.0125	0.1249	0.0010	0.68	759	6	757	6	751	28	758	11	-0.3	**
55	Ю-123/057	126	233	1.8	5.2482	0.0023	11.9150	0.1208	0.4538	0.0035	0.76	2412	16	2598	10	2747	20	Discordant		7.7	
56	Ю-123/058	353	504	1.4	13.5044	0.0012	1.3887	0.0209	0.1361	0.0011	0.55	822	6	884	9	1043	34	Discordant		7.5	
57	Ю-123/059	121	222	1.8	15.3894	0.0010	1.1184	0.0148	0.1249	0.0010	0.60	759	6	762	7	774	31	760	11	0.5	**
58	Ю-123/060	324	347	1.1	15.4847	0.0009	1.0984	0.0133	0.1234	0.0010	0.64	750	6	753	6	761	29	751	11	0.3	**
59	Ю-123/061	70	120	1.7	15.2602	0.0018	1.1520	0.0300	0.1276	0.0011	0.32	774	6	778	14	791	56	774	12	0.5	**
60	Ю-123/062	233	404	1.7	15.9974	0.0009	1.2471	0.0129	0.1245	0.0010	0.75	756	6	740	6	692	29	Discordant		-2.2	
61	Ю-123/063	116	387	3.3	10.3648	0.0012	1.2471	0.0383	0.2672	0.0021	0.25	1527	10	1539	8	1557	24	Discordant		0.8	
62	Ю-123/064	384	727	1.9	14.2572	0.0009	1.4596	0.0163	0.1510	0.0012	0.69	907	6	914	7	932	27	910	12	0.8	**
63	Ю-123/065	360	319	0.9	15.0602	0.0010	1.1382	0.0142	0.1244	0.0010	0.63	756	6	772	7	819	30	760	11	2.1	**
64	Ю-123/066	179	1297	7.2	14.9232	0.0009	1.3322	0.0143	0.1443	0.0011	0.72	869	6	860	6	838	26	864	12	-1.0	**
65	Ю-123/067	163	2454	15.1	14.8721	0.0008	1.2774	0.0135	0.1378	0.0010	0.72	832	6	836	6	845	26	834	11	0.4	**
66	Ю-123/068	141	322	2.3	14.5264	0.0012	1.1374	0.0174	0.1199	0.0010	0.54	730	6	771	8	894	35	Discordant		5.7	
67	Ю-123/069	385	316	0.8	14.9970	0.0010	1.0744	0.0136	0.1169	0.0009	0.62	713	5	741	7	828	30	Discordant		3.9	
68	Ю-123/070	15	327	21.9	4.9142	0.0026	1.2471	0.1644	0.5561	0.0043	0.06	2850	18	2852	10	2854	20	Discordant		0.1	
69	Ю-123/071	131	239	1.8	15.5231	0.0010	1.1171	0.0150	0.1258	0.0010	0.59	764	6	762	7	755	32	763	11	-0.3	**
70	Ю-123/072	428	3122	7.3	15.0331	0.0008	1.0978	0.0118	0.1198	0.0009	0.71	729	5	752	6	823	27	Discordant		3.2	
71	Ю-123/073	284	349	1.2	15.3421	0.0010	1.0834	0.0137	0.1206	0.0010	0.62	734	6	745	7	780	30	737	11	1.5	**
72	Ю-123/074	197	252	1.3	13.6575	0.0010	1.6730	0.0209	0.1658	0.0013	0.63	989	7	998	8	1020	29	992	14	1.0	**
73	Ю-123/075	214	394	1.8	14.5054	0.0010	1.3472	0.0164	0.1418	0.0011	0.64	855	6	866	7	897	28	859	12	1.4	**
74	Ю-123/076	157	254	1.6	15.8479	0.0010	1.2471	0.0145	0.1243	0.0010	0.68	755	6	744	7	712	32	Discordant		-1.5	
75	Ю-123/077	110	209	1.9	13.7382	0.0011	1.2521	0.0170	0.1248	0.0010	0.59	758	6	824	8	1008	31	Discordant		8.7	
76	Ю-123/078	990	659	0.7	14.3308	0.0010	1.3348	0.0156	0.1388	0.0011	0.67	838	6	861	7	922	28	Discordant		2.7	

Таблица 4. Продолжение

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения						Возраст, млн лет						D	**			
					²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb			±1σ	CA	±2σ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
77	Ю-123/079	139	219	1.6	15.1883	0.0010	1.1018	0.0153	0.1214	0.0010	0.58	739	6	754	7	801	32	742	11	2.1	**
78	Ю-123/080	78	162	2.1	15.1263	0.0011	1.0996	0.0162	0.1207	0.0010	0.55	735	6	753	8	810	34	738	11	2.5	**
79	Ю-123/081	190	204	1.1	14.4175	0.0011	1.3382	0.0184	0.1400	0.0011	0.59	845	6	862	8	910	32	849	12	2.1	**
80	Ю-123/082	142	295	2.1	15.0784	0.0010	1.1917	0.0157	0.1304	0.0010	0.60	790	6	797	7	817	31	792	12	0.8	**
81	Ю-123/083	275	353	1.3	15.5594	0.0010	1.0825	0.0141	0.1222	0.0010	0.61	743	6	745	7	750	31	744	11	0.2	**
82	Ю-123/084	396	455	1.2	6.9633	0.0020	2.7957	0.0329	0.1413	0.0011	0.67	852	6	1354	9	2271	24	Discordant		59.0	**
83	Ю-123/085	1164	1248	1.1	15.0534	0.0009	0.9720	0.0114	0.1062	0.0008	0.67	650	5	690	6	820	28	Discordant		6.0	**
84	Ю-123/086	437	433	1.0	15.2207	0.0010	1.0986	0.0143	0.1213	0.0010	0.61	738	6	753	7	797	31	741	11	2.0	**
85	Ю-123/087	344	433	1.3	15.5642	0.0010	1.0752	0.0138	0.1214	0.0010	0.61	739	6	741	7	750	31	739	11	0.3	**
86	Ю-123/088	1314	2598	2.0	8.9558	0.0015	2.8955	0.0330	0.1882	0.0015	0.68	1111	8	1381	9	1826	24	Discordant		24.2	**
87	Ю-123/089	42	68	1.6	7.4278	0.0020	1.2471	0.0950	0.3959	0.0033	0.11	2150	15	2154	12	2159	26	3893	25	0.2	**
88	Ю-123/090	94	470	5.0	14.9120	0.0010	1.2004	0.0152	0.1299	0.0010	0.62	787	6	801	7	840	30	791	11	1.7	**
89	Ю-123/091	177	333	1.9	7.8722	0.0018	1.2471	0.0775	0.3726	0.0029	0.13	2042	14	2049	10	2057	24	3802	25	0.4	**
90	Ю-123/092	66	131	2.0	3.6947	0.0046	2.5605	0.0382	0.0686	0.0006	0.63	428	4	1289	11	3310	27	Discordant		201.3	**
91	Ю-123/093	442	483	1.1	14.5624	0.0010	1.3142	0.0168	0.1389	0.0011	0.62	838	6	852	7	889	30	842	12	1.6	**
92	Ю-123/094	577	786	1.4	14.0746	0.0010	1.3660	0.0169	0.1395	0.0011	0.64	842	6	874	7	959	29	Discordant		3.9	**
93	Ю-123/095	16	10	0.6	1.3456	0.0124	55.6429	2.2306	0.5433	0.0214	0.98	2797	89	4099	40	4817	24	Discordant		46.5	**
94	Ю-123/096	272	361	1.3	14.8104	0.0010	1.1380	0.0154	0.1223	0.0010	0.59	744	6	772	7	854	32	Discordant		3.7	**
95	Ю-123/097	164	229	1.4	14.7754	0.0011	1.3285	0.0188	0.1424	0.0012	0.58	858	6	858	8	859	33	858	13	-0.0	**
96	Ю-123/098	164	263	1.6	14.5476	0.0011	1.2025	0.0170	0.1270	0.0010	0.58	770	6	802	8	891	32	Discordant		4.1	**
97	Ю-123/099	230	316	1.4	14.9611	0.0011	1.0317	0.0152	0.1120	0.0009	0.56	684	5	720	8	833	34	Discordant		5.2	**
98	Ю-123/100	213	289	1.4	15.0376	0.0010	1.2471	0.0184	0.1455	0.0012	0.54	876	7	860	8	822	32	Discordant		-1.8	**
99	Ю-123/101	292	460	1.6	15.3846	0.0010	1.1151	0.0151	0.1245	0.0010	0.59	756	6	761	7	774	32	757	11	0.6	**
100	Ю-123/102	246	351	1.4	15.5207	0.0010	1.0857	0.0152	0.1223	0.0010	0.58	744	6	746	7	756	33	744	11	0.4	**
101	Ю-123/103	117	342	2.9	7.7101	0.0019	4.0077	0.0511	0.2242	0.0018	0.63	1304	10	1636	10	2094	26	Discordant		25.4	**
102	Ю-123/104	597	1367	2.3	14.5836	0.0010	1.3427	0.0170	0.1421	0.0011	0.63	856	6	864	7	886	30	859	12	0.9	**

Таблица 4. Окончание

№ п/п	Номер анализа	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения				Возраст, млн лет						D	**					
					$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	Rho	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$			$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
103	Ю-123/105	100	187	1.9	15.2858	0.0011	1.1070	0.0172	0.1228	0.0010	0.54	747	6	757	8	788	36	748	12	1.4	**
104	Ю-123/106	79	155	2.0	5.9492	0.0027	1.2471	0.1577	0.4843	0.0042	0.07	2546	18	2541	13	2539	26	Discordant		-0.2	
105	Ю-123/107	500	1007	2.0	14.5012	0.0010	1.3508	0.0174	0.1421	0.0011	0.62	856	6	868	8	898	30	860	12	1.3	**
106	Ю-123/108	11	48	4.3	2.5134	0.0081	5.2431	0.0933	0.0956	0.0011	0.65	589	6	1860	15	3901	30	Discordant		215.9	
107	Ю-123/109	269	354	1.3	15.8705	0.0010	1.2471	0.0155	0.1248	0.0010	0.65	758	6	745	8	708	34	Discordant		-1.7	**
108	Ю-123/110	194	293	1.5	15.1492	0.0011	1.1063	0.0162	0.1216	0.0010	0.56	740	6	756	8	807	34	743	11	2.2	**
109	Ю-123/111	251	207	0.8	14.0667	0.0012	1.3597	0.0204	0.1388	0.0011	0.55	838	6	872	9	960	34	Discordant		4.1	**
110	Ю-123/112	429	806	1.9	13.7400	0.0011	1.6244	0.0216	0.1620	0.0013	0.60	968	7	980	8	1008	30	971	14	1.2	**
111	Ю-123/113	167	930	5.6	13.4138	0.0011	1.2471	0.0240	0.1765	0.0014	0.42	1048	8	1050	9	1056	30	Discordant		0.2	**
112	Ю-123/114	110	164	1.5	9.2721	0.0017	1.2471	0.0622	0.3033	0.0025	0.16	1708	12	1732	12	1763	28	3495	28	1.4	**
113	Ю-123/115	338	753	2.2	13.6110	0.0011	1.6286	0.0219	0.1608	0.0013	0.60	962	7	981	8	1027	30	967	14	2.1	**
114	Ю-123/116	140	257	1.8	15.5763	0.0011	1.0548	0.0168	0.1192	0.0010	0.54	726	6	731	8	748	36	727	11	0.7	**
115	Ю-123/117	154	294	1.9	14.7167	0.0011	1.3717	0.0201	0.1465	0.0012	0.56	881	7	877	9	867	34	880	13	-0.5	**
116	Ю-123/118	153	268	1.8	15.1999	0.0011	1.0886	0.0166	0.1201	0.0010	0.54	731	6	748	8	800	35	734	11	2.3	**
117	Ю-123/119	127	248	2.0	15.5280	0.0012	1.0457	0.0177	0.1178	0.0010	0.50	718	6	727	9	755	39	719	11	1.2	**
118	Ю-123/120	168	312	1.9	15.2486	0.0011	1.0760	0.0162	0.1191	0.0010	0.55	725	6	742	8	793	35	728	11	2.3	**

Примечание. Rho – коэффициент корреляции между ошибками отношений $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; Rho = $(\sigma(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})/^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})/(\sigma(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})/^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})$, где σ – относительная ошибка того или иного отношения (Gerdes, Zeh, 2006; Roweman et al., 2021); CA – конкордантный возраст (Ludwig, 2008), D – дискордантность, вычислялась по формуле $(\text{Возраст}(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})/\text{Возраст}(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})) \times 100 - 100\%$. (***) – для построения кривой относительной вероятности широкости цирконов и вычисления ее пиков использовались только те значения возрастов, которые характеризуются конкордантным возрастом (CA), при этом в них значения показателя дискордантности составляли не более 10%, а ошибка значений отношения возрастов $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ не более 3%.

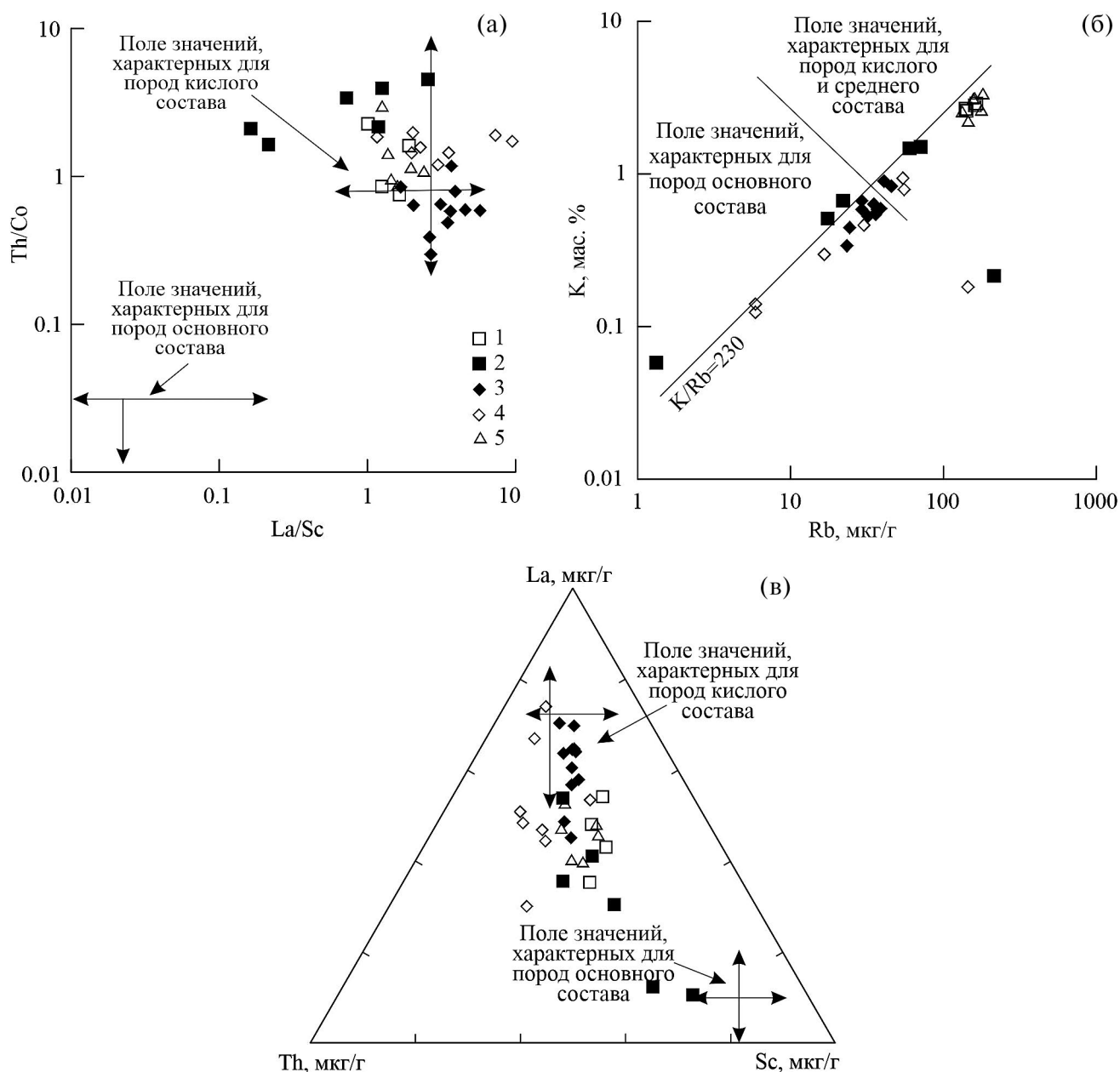


Рис. 8. Диаграммы La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) (а), Rb–К (Floyd, Leveridge, 1987) (б), Th–La–Sc (Cullers, 2002) (в) для осадочных пород надаровской и нортуйской свит Аргунского континентального массива.

1 – алевролиты надаровской свиты; 2 – песчаники надаровской свиты; 3 – песчаники урулюнгуийской свиты (Смирнова и др., 2022); 4 – песчаники, алевропесчаники и алевролиты дырбылкейской свиты (Смирнова и др., 2022); 5 – алевролиты песчанистые нортуйской свиты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Прежде всего обратимся к интерпретации результатов геохимических исследований. Для реконструкции основных источников сноса кластического материала в настоящее время разработана серия дискриминационных диаграмм (Bhatia, Crook, 1986; Floyd, Leveridge, 1987; Wronkiewicz, Condie, 1987; Тейлор,

Мак-Леннан, 1988; Cullers, 2002 и др.). Среди них наиболее информативными являются диаграммы, в основе которых лежат содержания и соотношения микроэлементов, наименее подверженные вариациям при постседиментационных процессах.

Положение фигуративных точек состава осадочных пород надаровской и нортуйской свит на диаграмме La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) свидетельствует

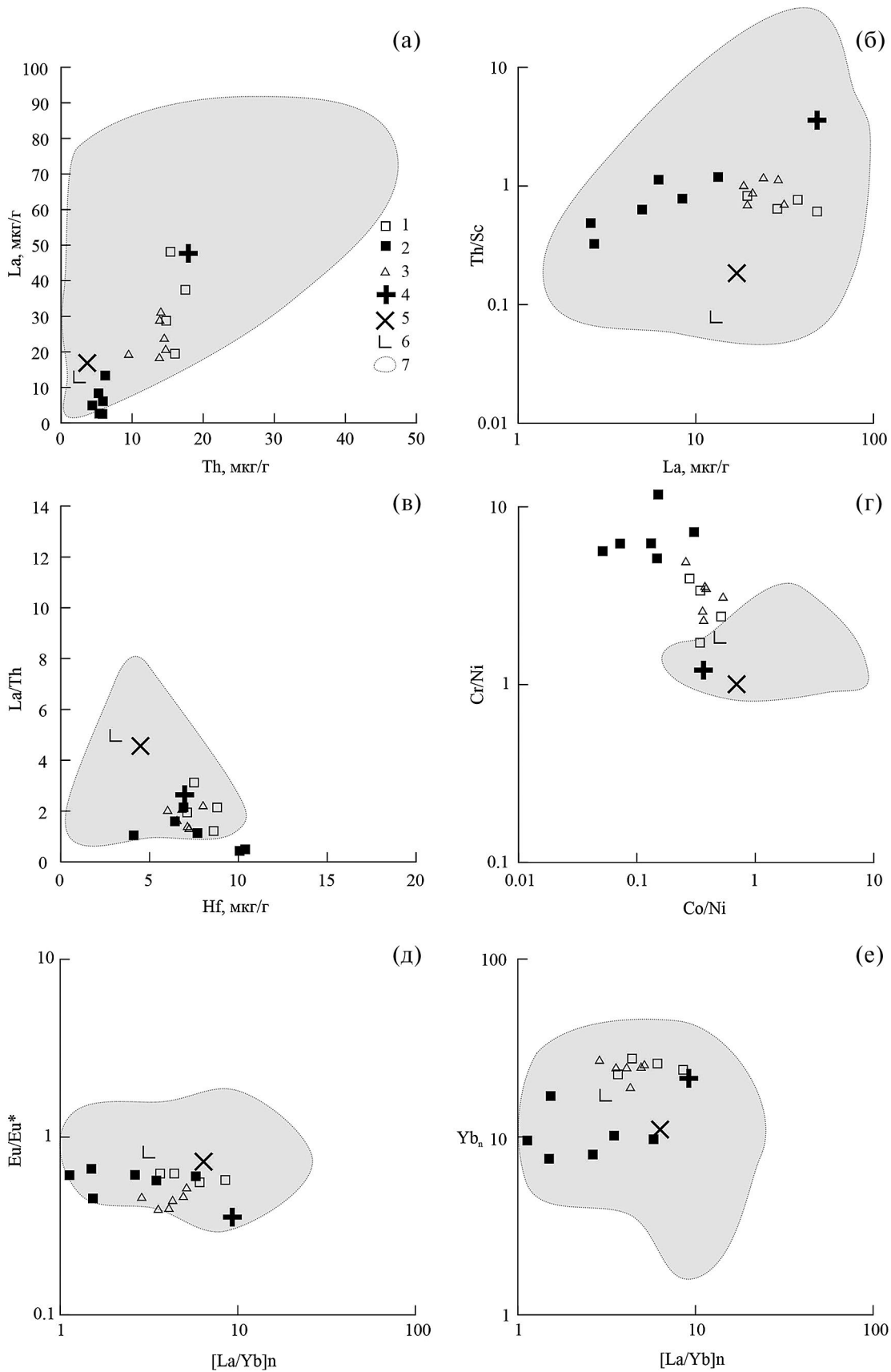




Рис. 9. Диаграммы Th–La (а), La–Th/Sc (б), Hf–La/Th (в), Co/Ni–Cr/Ni (г), [La/Yb]_n–Eu/Eu* (д), [La/Yb]_n–Yb_n (е) для осадочных пород надаровской и нортульской свит Аргунского континентального массива. 1 – алевролиты надаровской свиты; 2 – песчаники надаровской свиты; 3 – песчанистые алевролиты нортульской свиты; 4–6 – состав по (Condie, 1993): 4 – протерозойские граниты, 5 – позднепротерозойские андезиты, 6 – позднепротерозойские базальты; 7 – поле состава позднепротерозойских образований Аргунского массива (Gou et al., 2013; Tang et al., 2013; Liu et al., 2020; Feng et al., 2022).

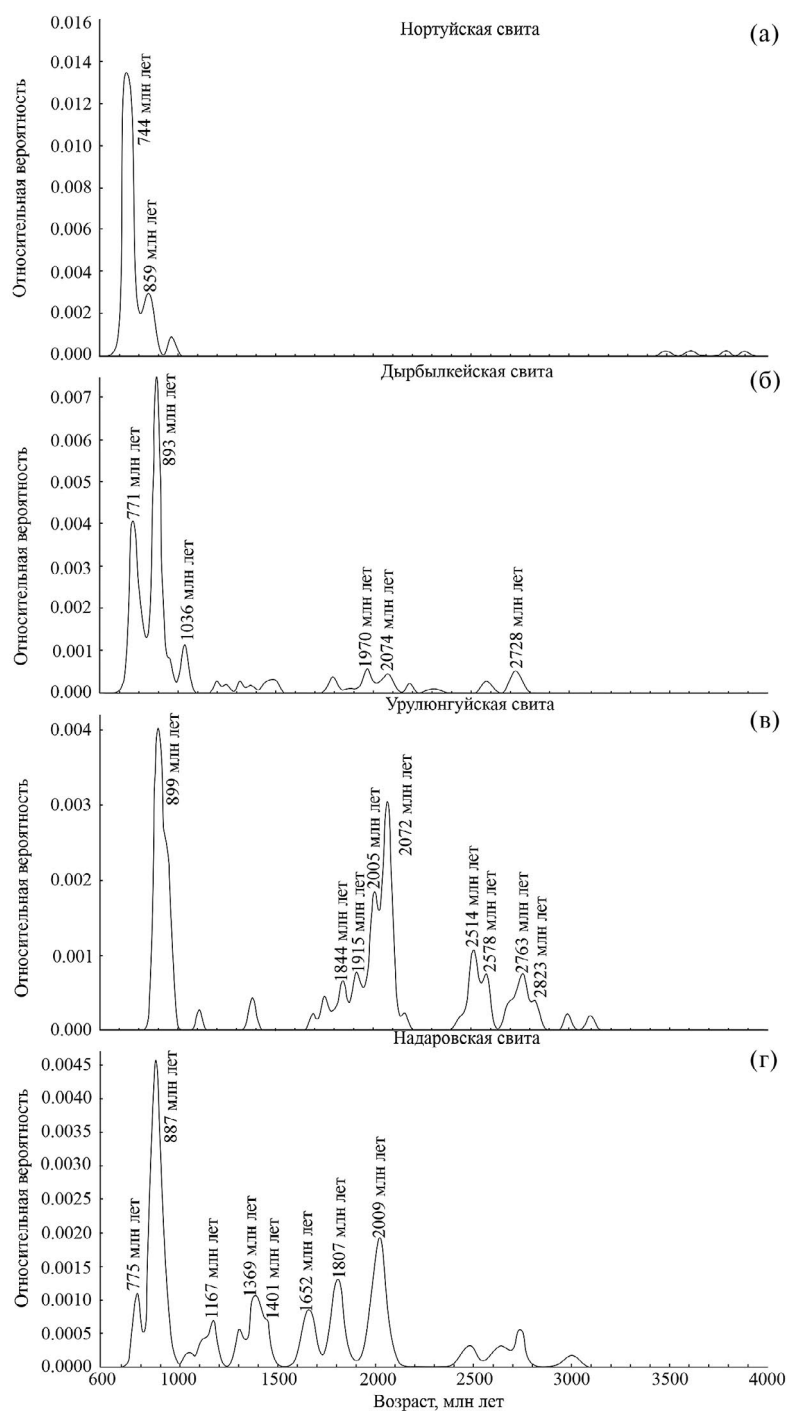


Рис. 10. Кривые относительной вероятности возрастов зерен детритового циркона из (а) песчанистого алевролита нортульской свиты (обр. Ю-123), (б) песчаника дырбылкейской свиты (обр. Ю-115-2) (Смирнова и др., 2022), (в) песчаника урулюнгуйской свиты (обр. Ю-112) (Смирнова и др., 2022), (г) алевролита надаровской свиты (обр. Ю-117) Аргунского континентального массива.

о присутствии в области сноса кислых магматических пород (рис. 8а). Данный вывод согласуется с доминированием в изученных образцах осадочных пород обломков кварца и полевых шпатов и присутствием среди акцессорных минералов сиалических разновидностей (циркон, гранат и апатит).

На диаграмме Rb–K (Floyd, Leveridge, 1987) фигуративные точки состава песчаных алевролитов нортуйской свиты и алевролитов надаровской свиты лежат компактно в поле пород, источниками которых являются образования кислого и среднего состава (рис. 8б). Песчаники надаровской свиты характеризуются значительными вариациями содержания K и Rb и попадают в поле пород, сформированных за счет размыва образований кислого, среднего и основного состава.

На смешанный состав исходных пород также указывают вариации микроэлементов, лежащих в основе диаграммы La–Th–Sc (Cullers, 2002) (рис. 8в). Значительное сходство по геохимическому составу осадочных пород надаровской и нортуйской свит с ранее изученными породами урулюнгуйской и дырбылкейской свит даурской серии свидетельствует о единых источниках сноса исходного материала для них (рис. 8).

Для выявления состава исходных пород также использовалась серия диаграмм Th–La, La–Th/Sc, Hf–La/Th, Co/Ni–Cr/Ni, [La/Yb]_n–Eu/Eu* и [La/Yb]_n–Yb_n, на которых в качестве геохимических “этапонов” вынесены средние составы протерозойского гранита, позднепротерозойского андезита и позднепротерозойского базальта по данным (Condie, 1993). Осадочные породы надаровской и нортуйской свит на диаграммах, представленных на рис. 9, соответствуют отложениям, накопление которых происходило за счет размыва различных по кремнекислотности исходных пород.

Для алевролитов надаровской свиты типичны наиболее низкие значения величины $\epsilon_{Nd(t)} = -6.6$ при раннепротерозойских значениях Nd-модельного возраста ($t_{Nd(DM)} = 2.0$ млрд лет), которые наиболее близки оценкам $\epsilon_{Nd(t)} = -6.1...-5.4$ и $t_{Nd(DM)} = 2.2-2.0$ млрд лет, выявленным ранее для песчаников урулюнгуйской свиты даурской серии (Смирнова и др., 2022) (рис. 6). Для алевролитов нортуйской свиты и осадочных пород дырбылкейской свиты даурской серии также установлены близкие значения величин $\epsilon_{Nd(t)}$ и $t_{Nd(DM)}$ ($\epsilon_{Nd(t)} = -3.5$, $t_{Nd(DM)} = 1.8$ млрд лет и $\epsilon_{Nd(t)} = -4.2...-2.3$, $t_{Nd(DM)} = 1.9-1.7$ млрд лет соответственно; Смирнова и др., 2022). Эти данные подтверждают ранее сделанный вывод о единстве источников сноса для осадочных пород рифейского возраста Аргунского массива. В качестве одного из поставщиков кластического материала для изученных осадочных пород даурской серии можно рассматривать позднерифейские гранитоиднейсы массива Ухусишань (Wuhuxishan, входит в состав Аргунского континентального массива), характеризующиеся

близкими значениями показателя $\epsilon_{Nd(t)} = -2.3...-0.9$ и палеопротерозойскими величинами Nd-модельного возраста ($t_{Nd(DM)} = 1.8-1.6$ млрд лет; Liu et al., 2020) (рис. 6). Вопрос об областях сноса для пород надаровской свиты, характеризующихся более древним Nd-модельным возрастом, открыт, так как в настоящее время отсутствуют данные, подтверждающие участие образований в структуре Аргунского массива с Nd-модельным возрастом $t_{Nd(DM)} = 2.2-2.0$ млрд лет.

В свою очередь, результаты U–Th–Pb датирования зерен детритового циркона позволили получить информацию о нижней возрастной границе накопления осадочных пород надаровской и нортуйской свит: так, наиболее молодые группы циркона из алевролитов этих свит имеют позднерифейский возраст (~775 и ~744 млн лет соответственно). Полученные данные противоречат принятому среднерифейскому возрасту надаровской свиты (Шивохин и др., 2010).

При сравнении возрастов наиболее молодых зерен циркона из отложений надаровской, дырбылкейской и нортуйской свит стоит отметить для них определенную последовательность. В алевролитах надаровской свиты, песчаниках дырбылкейской свиты и алевролитах нортуйской свиты пики на кривых относительной вероятности возрастов зерен детритового циркона составляют ~775, ~771 и ~744 млн лет соответственно (рис. 10). В то время как для песчаников урулюнгуйской свиты даурской серии получено наиболее древнее значение нижней возрастной границы накопления ~899 млн лет (Смирнова и др., 2022). Учитывая, что урулюнгуйская свита не охарактеризована органическими остатками (Шивохин и др., 2010), контакты между надаровской и урулюнгуйской свитами несогласные и в песчаниках отсутствуют зерна циркона позднерифейского возраста (Смирнова и др., 2022), выявленные в алевролитах надаровской свиты, не исключено, что накопление осадочных пород урулюнгуйской свиты происходило на более раннем этапе развития Аргунского массива и предшествовало формированию осадочных пород надаровской свиты.

Доминирующая часть зерен циркона в терригенных отложениях надаровской и нортуйской свит имеет позднерифейский возраст. Их источниками, вероятно, являлись позднерифейские образования, достаточно широко распространенные на территории Китая в пределах Аргунского континентального массива (Wu et al., 2011; Gou et al., 2013; Tang et al., 2013; Yang et al., 2017; Liu et al., 2020; Feng et al., 2022 и др.). Данному выводу не противоречит сходство по геохимическому составу осадочных пород нортуйской, надаровской свит и позднерифейских магматических образований Аргунского массива (рис. 9). Также в качестве источников сноса кластического материала, по-видимому, стоит рассматривать образования бухотуйского гранитового и урулюнгуйского базальт-риолитового комплексов. Однако отсутствие данных об их микроэлементном и Nd-изотопном

составе в настоящее время не позволяет сделать более точные выводы.

Кроме того, в изученных отложениях присутствуют в незначительном количестве цирконы ранне-, среднерифейского и архейского возраста. Вопрос об их источниках открыт, так как до сих пор в структуре Аргунского массива не выявлены с помощью современных геохронологических методов исследований образования данного возраста. Источниками раннепротерозойской группы зерен циркона, по-видимому, стоит рассматривать раннепротерозойские гранитоиды Аргунского массива, характеризующиеся возрастом 1.84 млрд лет (Feng et al., 2022).

Геохимические особенности осадочных пород надаровской и нортуйской свит, в совокупности с их гранулометрическим составом, слабой степенью окатанности обломочного материала и присутствием значительного количества детритового циркона позднепротерозойского возраста, свидетельствуют об активном тектоническом режиме накопления верхнепротерозойских осадочных пород северо-западной части Аргунского континентального массива.

ВЫВОДЫ

Полученные в результате исследований данные позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Особенности микроэлементного состава осадочных пород надаровской и нортуйской свит, в совокупности с их преимущественно аркозовым составом, доминированием среди обломков кварца и полевых шпатов, а также присутствием сиалических акцессорных минералов (циркон, гранат и апатит), свидетельствуют о том, что источниками кластического материала для отложений являлись магматические породы кислого состава при незначительном вкладе образований среднего и основного состава.

2. Осадочные породы надаровской и нортуйской свит характеризуются раннепротерозойскими значениями Nd-модельного возраста ($t_{Nd(DM)} = 2.0-1.8$ млрд лет) при отрицательных величинах $\epsilon_{Nd(t)} = -6.6...-3.5$, что указывает на присутствие в области сноса образований раннепротерозойского возраста и/или более молодых изверженных пород, исходные расплавы которых сформировались за счет переработки континентальной коры раннепротерозойского возраста.

3. По данным U-Th-Pb датирования зерен циркона установлено, что их доминирующая часть в алевролитах надаровской и нортуйской свит имеет поздне-рифейский возраст. Основными их источниками, по-видимому, являлись позднерифейские магматические комплексы Аргунского массива. В качестве дополнительных источников сноса кластического материала стоит рассматривать раннепротерозойские образования, выявленные в последние годы в строении Аргунского массива на территории Китая.

4. Нижняя возрастная граница накопления терригенных отложений надаровской и нортуйской свит

приходится на поздний рифей (~775 и ~744 млн лет соответственно).

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников ЦКП “Амурский центр минералого-геохимических исследований” ИГиП ДВО РАН: А.С. Сегренёва, Е.С. Сапожник, Е.В. Ушакову, Е.Н. Воропаеву, О.Г. Медведеву, сотрудников ЦКП “Изотопно-геохимические исследования” ИГХ СО РАН: О.В. Зарубину, Н.В. Брянского, Т.Н. Галкину, а также персонал ЦКП “Геоспектр” ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) за проведение аналитических исследований. Авторы признательны рецензентам А.Б. Котову, В.Н. Подковырову и В.П. Ковачу за конструктивные замечания и дискуссию.

Источники финансирования. Исследования выполнены в рамках фундаментальных исследований ИГиП ДВО РАН (№ 122041800127-8 “Геодинамические обстановки, основные этапы тектонической эволюции и металлогения восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голубев В.Н., Чернышев И.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Гольцман Ю.В., Баирова Э.Д., Яковлева С.З. 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.
- Гордиенко И.В., Метелкин Д.В., Ветлужских Л.И. Стрение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 3. С. 318–341.
- Котов А.Б., Сорокин А.А., Сальникова Е.Б., Сорокин А.П., Ларин А.М., Великославинский С.Д., Беляков Т.В., Анисимова И.В., Яковлева С.З. Мезозойский возраст гранитоидов бекетского комплекса (Гонжинский блок Аргунского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса) // Докл. АН. 2009. Т. 429. № 6. С. 779–783.
- Котов А.Б., Мазукабзов А.М., Сквитина Т.М., Великославинский С.Д., Сорокин А.А., Сорокин А.П. Структурная эволюция и геодинамическая позиция Гонжинского блока (Верхнее Приамурье) // Геотектоника. 2013. № 5. С. 48–60.
- Лыхин Д.А., Пресняков С.Л., Некрасов Г.Е., Руженцев С.В., Голионко Б.Г., Балашова Ю.С. Вопросы геодинамики области сочленения Агинской и Аргунской зон Забайкалья (данные U–Pb SHRIMP-датирования пород Цугольского габбро-плагиогранитного массива) // Докл. АН. 2007. Т. 417. № 5. С. 668–672.
- Озерский А.Ф., Винниченко Е.Л. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Приаргунская серия. Лист М-50-XVII (Краснокаменск). Ред. Старченко В.В. СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.

- Павлова В.В., Грознова Т.Н., Афанасов М.Н., Платонов Е.Г., Лейкум М.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Приаргунская серия. Лист М-50-XVI. Ред. Амантов В.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001.
- Петрук Н.Н., Козлов С.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1000000. Третье поколение. Дальневосточная серия. Лист N-51 (Сковородино). Ред. Вольский А.С. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009.
- Петтиджон Ф. Дж., Поттер П., Сивер Р.М. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
- Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Великославинский С.Д., Джан Б.-М., Сорокин А.А., Сорокин А.П., Ван К.-Л., Чан С.-Л., Ли Х.-Я., Толмачева Е.В. О возрасте Гонжинской серии (Аргунский террей Центрально-Азиатского складчатого пояса): результаты U–Pb и Lu–Hf-изотопных исследований детритовых цирконов // Докл. АН. 2012. Т. 444. № 5. С. 519–522.
- Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А. Возраст и обстановки формирования чаловской серии ордовика Аргунского массива, восточная часть Центрально-Азиатского складчатого пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27. № 3. С. 3–23.
- Смирнова Ю.Н., Овчинников Р.О., Смирнов Ю.В., Дриль С.И. Источники кластического материала и условия накопления осадочных пород даурской серии Аргунского континентального массива // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 1. С. 13–31.
- Сорокин А.А., Смирнов Ю.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Сорокин А.П., Ковач В.П., Яковлева С.З., Анисимова И.В. Раннепалеозойский возраст исагачинской толщи чаловской серии Гонжинского террейна (восточная часть Центрально-Азиатского складчатого пояса) // Докл. АН. 2014. Т. 457. № 3. С. 323–326.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U–Pb изотопное датирование цирконов из PZ3–MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставления с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258.
- Шивохин Е.А., Озерский А.Ф., Куриленко А.В., Раутина Н.И., Карасев В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50 (Борзя). Ред. Старченко В.В. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Miner. Petrol. 1986. V. 92. P. 181–193.
- Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. Iss. 1–4. P. 1–37.
- Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chem. Geol. 2002. V. 191. Iss. 4. P. 305–327.
- Feng Z., Zhang Q., Liu Y., Li L., Jiang L., Zhou J., Li W., Ma Y. Reconstruction of Rodinia supercontinent: evidence from the Erguna Block (NE China) and adjacent units in the eastern Central Asian orogenic Belt // Precambrian Res. 2022. V. 368. P. 106467.
- Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. London. 1987. V. 144. Iss. 4. P. 531–542.
- Gerdes A., Zeh A. Combined U–Pb and Hf isotope LA-(MC-)ICP-MS analyses of detrital zircons: Comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of an Armorican metasediment in Central Germany // Earth Planet. Sci. Lett. 2006. V. 249. P. 47–61.
- Gehrels G.E. AgePick, Available online: <https://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home/>. 2007.
- 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. P. 249–265.
- Gou J., Sun D.Y., Ren Y.S., Liu Y.J., Zhang S.Y., Fu C.L., Wang T.H., Wu P.F., Liu X.M. Petrogenesis and geodynamic setting of Neoproterozoic and Late Paleozoic magmatism in the Manzhouli-Erguna area of Inner Mongolia, China: geochronological, geochemical and Hf isotopic evidence // J. Asian Earth Sci. 2013. V. 67–68. P. 114–137.
- Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. Glitter: data reduction software for laser ablation ICP-MS // Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences. Current practices and outstanding issues. Ed. Sylvester P. Mineral. Assoc. Canada Short Course Ser. 2008. V. 40. P. 308–314.
- Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sediment. Petrol. 1988. V. 58. № 5. P. 820–829.
- Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // Chem. Geol. 2004. V. 211. P. 47–69.
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. Sm–Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II // Earth Planet. Sci. Lett. 1984. V. 67. P. 137–150.
- Liu H., Li Y., Wan Z., Lai Ch.-K. Early Neoproterozoic tectonic evolution of the Erguna Terrane (NE China) and its paleogeographic location in Rodinia supercontinent: insights from magmatic and sedimentary record // Gondwana Res. 2020. V. 88. P. 185–200.
- Ludwig K.R. Isoplot 3.6. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Spec. Publ. 2008. № 4. P. 1–77.
- Makishima A., Nagender B., Nakamura E. New sequential separation procedure for Sr, Nd and Pb isotope ratio measurement in geological material using MC-ICP-MS and TIMS // Geochem. J. 2008. V. 42. P. 237–246.

- McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.
- Pin C., Briot D., Bassin C., Poitrasson F. Concomitant separation of strontium and samarium–neodymium for isotopic analysis in silicate samples, based on specific extraction chromatography // Anal. Chim. Acta. 1994. V. 298. P. 209–217.
- Powerman V.I., Buyantuev M.D., Ivanov A.V. A review of detrital zircon data treatment, and launch of a new tool ‘Dezireer’ along with the suggested universal workflow // Chem. Geol. 2021. V. 583, 120437.
- Richard P., Shimizu N., Allegre C.J. $^{143}\text{Nd}/^{146}\text{Nd}$ A natural tracer: an application to oceanic basalts // Earth Plan. Sci. Lett. 1976. V. 31. P. 269–278.
- Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hancher J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. Plesovice zircon – a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis // Chem. Geol. 2008. V. 249. P. 1–35.
- Tanaka T., Togashi S., Kamioka H., Amakawa H., Kagami H., Hamamoto T., Yuhara M., Orihashi Y., Yoneda S., Shimizu H., Kunimaru T., Takahashi K., Yanagi T., Nakano T., Fujimaki H., Shinjo R., Asahara Y., Tanimizu M., Dragusanu C. JNdi-1: a neodymium isotopic reference in consistency with LaJolla neodymium // Chem. Geol. 2000. V. 168. P. 279–281.
- Tang J., Xu W.L., Wang F., Wang W., Xu M.J., Zhang Y.H. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic magmatism in the Erguna Massif, NE China: petrogenesis and implications for the breakup of the Rodinia supercontinent // Precambrian Res. 2013. V. 224. P. 597–611.
- Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses // Geostandards Newslett. 1995. V. 19. Iss. 1. P. 1–23.
- Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance // Geochim. Cosmochim. Acta. 1987. V. 51. № 9. P. 2401–2416.
- Wu F.Y., Sun D.Y., Ge W.C., Zhang Y.B., Grant M.L., Wilde S.A., Jahn B.M. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 41. Iss. 1. P. 1–30.
- Yang H., Liu Y., Zheng J., Liang Z., Wang X., Tang X., Su Y. Petrogenesis and geological significance of Neoproterozoic amphibolite and granite in Bowuleshan area, Erguna massif, Northeast China // Geol. Bull. China. 2017. V. 36. Iss. 2–3. P. 342–356.
- Yang Y.H., Chu Z.Y., Wu F.Y., Xie L.W., Yang J.H. Precise and accurate determination of Sm, Nd concentrations and Nd isotopic compositions in geological samples by MC–ICP–MS // J. Anal. At. Spectrom. 2011. V. 26. P. 1237–1244.

Рецензенты В.П. Ковач,
А.Б. Котов, В.Н. Подковыров

Sources of the Upper Proterozoic Terrigenous Deposits in the Northwestern Part of the Argun Massif, Central Asian Fold Belt: Results of U–Th–Pb Geochronological and Sm–Nd Isotopic-Geochemical Studies

Yu. N. Smirnova^{a, #}, A. V. Kurilenko^{b, c}, S. I. Dril^d, V. B. Khubanov^b

^aInstitute of Geology and Nature Management of FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia

^bDobretsov Geological Institute of SB RAS, Ulan-Ude, Russia

^cA.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia

^dVinogradov Institute of Geochemistry of SB RAS, Irkutsk, Russia

[#]e-mail: smirnova@ascnet.ru

The publication presents the results of geochemical, isotopic-geochemical (Sm–Nd) and isotopic-geochronological (U–Th–Pb) studies of terrigenous rocks of the Middle Riphean (?) Nadarov formation and the Upper Riphean (?) Nortui formation of the northwestern part of the Argun continental massif. Features of the material composition of the deposits indicate the presence of formations of various silicia acidity in the source area. According to Sm–Nd data, sedimentary rocks of the Nadarov and Nortui formations are characterized by negative values $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ = –6.6...–3.5 at Early Proterozoic values of Nd model age ($t_{\text{Nd}(DM)} = 2.0–1.8$ Ga). According to U–Th–Pb dating of grains of detrital zircon, it was defined that the lower age limit of accumulation of terrigenous deposits of the Nadarov and Nortui formations falls at the Late Riphean (~775 and ~744 Ma, respectively). The main provenances area for them were Late Riphean igneous rocks with the participation of Early Proterozoic rocks, extended in the structure of the Argun massif.

Keywords: Argun massif, Nadarov and Nortui formations, geochemistry, U–Th–Pb data