



AGE AND PROVENANCE OF THE ARGUN SERIES SEDIMENTARY ROCKS OF THE ARGUN CONTINENTAL MASSIF: LA-ICP-MS U-Pb AGES OF DETRITAL ZIRCONS

Yu.N. Smirnova ¹✉, V.B. Khubanov ²

¹ Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Relochniy ln, Blagoveshchensk 675000, Russia

² Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

ABSTRACT. For the first time there were obtained LA-ICP-MS U-Pb age data on detrital zircons from sediments of the Bystraya and Ernichnaya formations of the Argun series of the northwestern Argun continental massif. The results obtained lead to the following conclusions: (1) the Bystraya series combines heterochronous Low Cambrian carbonate rocks and Upper Proterozoic terrigenous deposits; (2) the age of the youngest group of detrital zircons extracted from sediments of the Ernichnaya formation allows us to restrict the lower age limit to the Ediacaran (556 ± 11 Ma), which does not contradict a standard stratigraphic age; (3) terrigenous materials entering the basin may come from the Argun continental massif. The inferred source areas of clastic materials are the Neo- and Paleoproterozoic magmatic and metamorphic formations, widespread across the Argun massif. Besides, the deposits we studied contain a smaller amount of the Mesoproterozoic zircons. Their provenance still remains unknown since the Argun massif does not include any Mesoproterozoic magmatic rocks with sufficiently accurate geochronological age estimates.

KEYWORDS: Argun massif; Transbaikalia; Argun series; sedimentary rocks; zircon; U-Pb method

FUNDING: The studies were done under financial support RFBR (project 20-05-00195).

RESEARCH ARTICLE

Received: January 31, 2022

Revised: April 25, 2022

Accepted: May 16, 2022

Correspondence: Yulya N. Smirnova, smirnova@ascnet.ru

FOR CITATION: Smirnova Yu.N., Khubanov V.B., 2022. Age and Provenance of the Argun Series Sedimentary Rocks of the Argun Continental Massif: LA-ICP-MS U-Pb Ages of Detrital Zircons. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (5), 0672. doi:10.5800/GT-2022-13-5-0672

ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД АРГУНСКОЙ СЕРИИ АРГУНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА: РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb (LA-ICP-MS) ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

Ю.Н. Смирнова¹, В.Б. Хубанов²

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 675000, Благовещенск, пер. Релочный, 1, Россия

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

АННОТАЦИЯ. В результате проведенных исследований впервые для осадочных пород быстринской свиты и ерниченской толщи аргунской серии северо-западной части Аргунского континентального массива получены данные U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов, согласно которым можно сделать следующие выводы: во-первых, в составе быстринской свиты в настоящее время объединены разновозрастные нижнекембрийские карбонатные породы и верхнепротерозойские терригенные отложения; во-вторых, нижняя возрастная граница накопления отложений ерниченской толщи, согласно возрасту наиболее молодой популяции детритовых цирконов, приходится на эдиакарий (556 ± 11 млн лет), что, в целом, не противоречит принятому стратиграфическому возрасту толщи; в-третьих, снос терригенного материала в бассейн осадконакопления осуществлялся с Аргунского континентального массива. Основными источниками сноса кластического материала, вероятно, являлись магматические и метаморфические образования нео- и палеопротерозойского возраста, широко развитые на территории Аргунского массива. Кроме того, в изученных нами отложениях присутствуют в подчиненном количестве цирконы мезопротерозойского возраста. Вопрос об их источниках в настоящее время открыт, так как в составе Аргунского массива отсутствуют мезопротерозойские магматические породы, возраст которых был бы надежно обоснован геохронологическими данными.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Аргунский массив; Восточное Забайкалье; аргунская серия; осадочные породы; циркон; U-Pb метод

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект 20-05-00195).

1. ВВЕДЕНИЕ

Аргунский континентальный массив является значимой тектонической единицей в структуре восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) (рис. 1), и для понимания истории его формирования одной из главных задач является исследование позднепротерозойских и палеозойских магматических, осадочных и метаморфических комплексов. К настоящему времени накоплен значительный объем данных, основанных на геохронологических, геохимических, изотопно-геохимических исследованиях магматических и метаморфических пород, характеризующих докембрийский и палеозойский этапы развития Аргунского массива [Sorokin et al., 2002, 2004; Wu et al., 2011; Tang et al., 2013; Zhao et al., 2016; Feng et al., 2022; и др.]. В то же время осадочные породы менее изучены, хотя они несут в себе важную информацию об истории формирования массива.

В последние годы нами были проведены комплексные исследования осадочных пород, объединяемых в состав даурской и быркинской серий [Smirnova et al., 2021; Smirnova, Dril, 2022], которые являются одними из наиболее древних стратифицированных образований Аргунского массива на территории Восточного Забайкалья (рис. 2). Данная публикация является логическим продолжением этих работ. В ней приведены первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования

детритовых цирконов из осадочных пород условно нижнекембрийской аргунской серии с целью уточнения времени их накопления и выявления основных источников сноса кластического материала.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отложения аргунской серии протягиваются от бассейна р. Урулюнгуи на юго-западе до бассейна рек Шилка, Газимур и Будюмкан на северо-востоке [State Geological Map..., 2010a, 2010b]. В составе серии выделяются снизу вверх по разрезу быстринская свита и ерниченская толща (рис. 2).

Быстринская свита сложена преимущественно доломитами, известковистыми доломитами и известняками. На границе нижней и средней, а также средней и верхней части разреза быстринской свиты наблюдаются редкие прослои терригенных пород, среди которых выявлены кварцевые гравелиты, кварцевые и аркозовые песчаники, алевропесчаники, алевролиты, аргиллиты и мергели. В разрезе свиты также встречаются седиментационные брекчии и включения кремнистых пород. В северо-восточной части исследуемого района в составе быстринской свиты выявлены пласты, линзы и тела магнетитов. Мощность свиты составляет 2500–3000 м. Прямых соотношений с подстилающими образованиями белётуйской свиты и перекрывающими

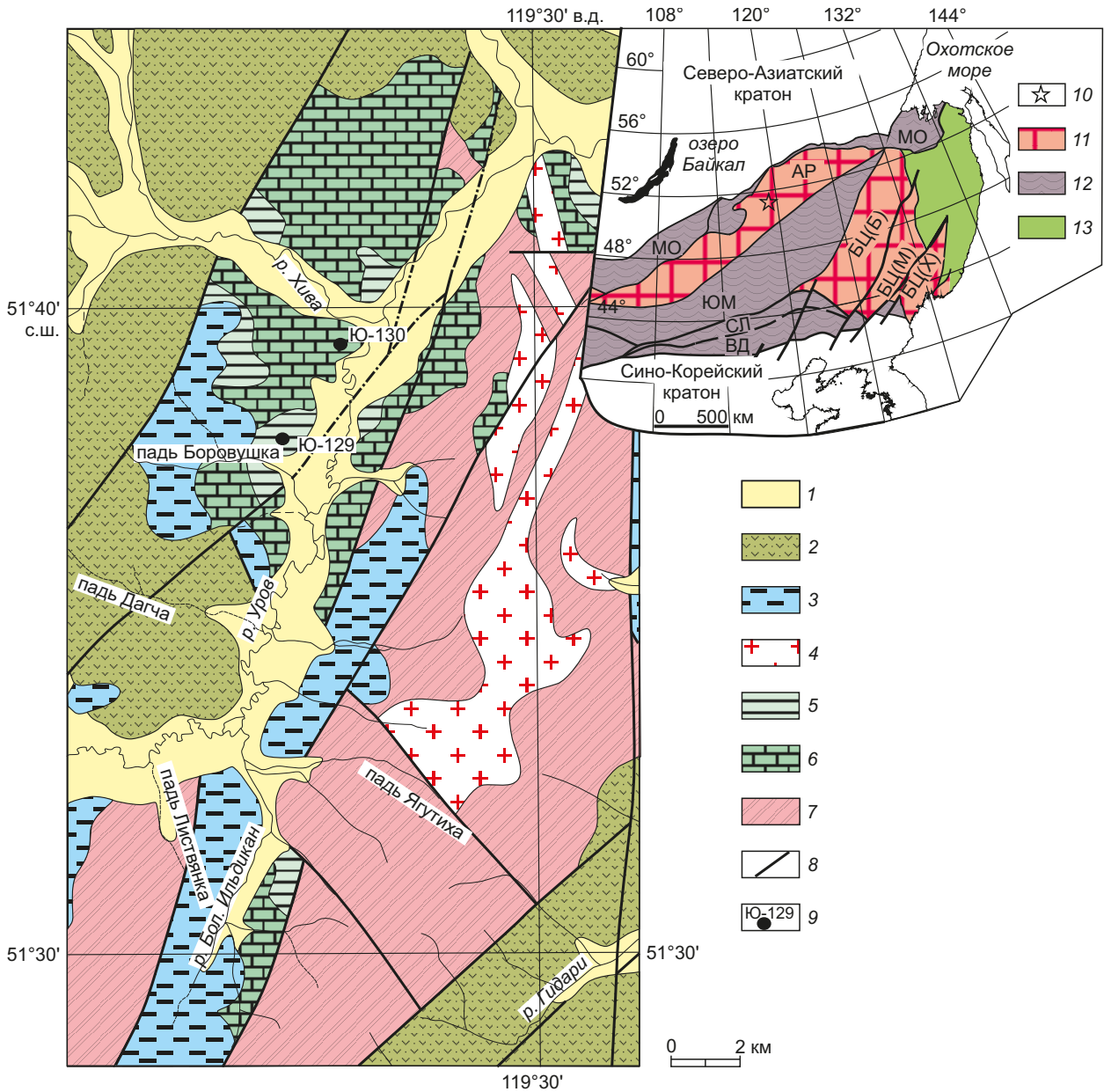


Рис. 1. Геологическая схема северо-западной части Аргунского континентального массива (составлена по [State Geological Map., 2015], с изменениями авторов).

1 – кайнозойские рыхлые отложения; 2 – меловые вулканогенные и осадочные породы; 3 – юрские осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 4 – позднепермские монцодиориты и граниты кадаинского комплекса; 5–6 – осадочные породы нижнесреднекембрийской (?) аргунской серии; 5 – ерниченской толщи, 6 – быстринской свиты; 7 – вендские (?) метасадочные породы белетуйской свиты быркинской серии; 8 – разломы; 9 – места отбора образцов для U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов и их номера.

На врезке – положение исследуемого объекта в структуре восточной части ЦАСП (тектоническая основа по [Parfenov et al., 2003]): 10 – положение объекта исследований; 11 – супертеррейны (континентальные массивы): AP – Аргунский, БЦ – Бурейя-Цзямусинский; террейны Бурейинский (БЦ(Б)), Малохинганский (БЦ(М)), Ханкайский (БЦ(Х)); 12 – палеозойские – раннемезозойские складчатые пояса (ЮМ – Южно-Монгольско-Хинганский, МО – Монголо-Охотский, СЛ – Солонкерский, ВД – Вундурмиао); 13 – позднеюрско-раннемеловые орогенные пояса.

Fig. 1. The geological scheme of the northwestern Argun continental massif (modified after [State Geological Map., 2015]).

1 – Cenozoic loose sediments; 2 – Cretaceous volcanogenic and sedimentary rocks; 3 – Jurassic sedimentary and volcanogenic-sedimentary rocks; 4 – Late Permian monzodiorites and granites of the Kadainsky complex; 5–6 – Lower-Middle Cambrian (?) sedimentary rocks of the Argun series: 5 – Ernichnaya formation, 6 – Bystraya formation; 7 – Vendian (?) metasedimentary rocks of the Beletuyi formation of the Byrka series; 8 – faults; 9 – sampling sites for LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons and their numbers.

Inset: Location of the studied object in the eastern part of the Central Asian fold belt (tectonic map after [Parfenov et al., 2003]): 10 – location of the studied object; 11 – superterranes (continental massifs): AP – Argun, БЦ – Bureya-Jiamusi (БЦ(Б) – Bureya terrane, БЦ(М) – Lesser Khingan terrane, БЦ(Х) – Khanka terrane); 12 – Paleozoic – Early Mesozoic fold belts (ЮМ – South Mongolia-Khingan, МО – Mongol-Okhotsk, СЛ – Solonker, ВД – Wundurmiao); 13 – Late Jurassic – Early Cretaceous orogenic belts.

Эонотема	Эратема	Период	Серия	Свита, толща	Возраст, млн лет	Мощность, м
Фанерозой	Палеозой	Кембрий	Аргунская	Ерниченская		1000–2000
				Быстринская		2500–3000
Протерозой	Неопротерозой	Эдиакарий	Быркинская	Белетуйская		3000
				Кличкинская		830–1500
		Криогений	Даурская	Нортуйская		2000
				Дырбылкейская	771*	5000
	Мезопротерозой	Стений		Урулюнгуйская	899*	2670

Рис. 2. Сводный разрез верхнекембрийских и нижнепалеозойских осадочных пород северо-западной части Аргунского континентального массива по [State Geological Map..., 2010a, 2010b]. * – возраст осадочных пород урулюнгуйской и дырбылкейской свит даурской серии приведен согласно [Smirnova et al., 2021].

Fig. 2. A summary column of the Upper Precambrian and Lower Paleozoic sedimentary rocks of the northwestern part of the Argun continental massif after [State Geological Map..., 2010a, 2010b]. * – age of sedimentary rocks of the Urulungui and Dyrbylkei formations of Daur series after [Smirnova et al., 2021].

отложениями ерниченской толщи нет. Соотношение пачек внутри быстринской свиты дискуссионно [State Geological Map..., 2010a, 2010b].

В районе с. Георгиевка в карбонатных породах нижней части быстринской свиты обнаружены строматолиты *Glebulella cembrica* Dol., *Collumnaefacta usatica* Shenf. и др., микрофитолиты *Osagia columnata* var. *baicalica* Yak., *O. columnata* var. *ovsianica* Yak., *O. delicata* Yak., *Nubecularites punctatus* Reitl., *N. catagraphus* Reitl., *N. alicarius* Yak., *Vesicularites lobatus* Reitl., *V. bothrydioformis* (Krasnop.), *V. immensis* Z. Zhur., *Vermiculites irregularis* Reitl. и др., остатки водорослей *Renalcis textularites* Titov, характеризующих томмотский ярус. Большинство форм комплекса фитолитов за пределами Забайкалья встречается в подразделениях венда и кембрия [Kurilenko et al., 2002].

Однозначно датированы концом атдабанского – началом ботомского века лишь слои карбонатных пород со скелетной фауной в средней части разреза свиты в районе с. Георгиевка, а также падей Зола и Мостовка. Здесь выявлены трилобиты верхнеатдабанской зоны *Hebediscus minutus* Rep., *Argunaspis argunica* Rep., *Sajanaspis modesta* Rep., *Redlichia* sp., археоциаты познеатдабанской и раннеботомской зон *Archaeolyntus sibiricus* (Toll), *A. nalivkini* (Vol.), *Tumuliolyntus osiptchuki* Jazm., *Nochoicyathus pachomovi* Bel., *Tumuloicyathus pustulatus* Vol., *Compositocyathus chuludensis* (Jazm.), *Tennericyathus burjaticus* (Jazm.), *Denaicyathus biporosus* Zhur., *Morencyathus*

macarichus (Osadch.), микроскопические остатки кембрийских моллюсков *Pelagiella lorenzi* Kob., *Pojetaia runnegari* Jelt., трубчатой зоопроблематики *Hyolites* ex gr. *insolitus* N. Grig., *Cambrotubulus* sp., *Mongolitubulus squamifer* Miss [State Geological Map..., 2010a]. В верхней части разреза свиты органические остатки не обнаружены [State Geological Map..., 2015]. Е.А. Шивохин с соавторами [State Geological Map..., 2010a] отмечали, что существующие представления о строении быстринской свиты достаточно противоречивы. Это связано со слабой обнаженностью ключевых участков, сложной разрывной тектоникой и фациальной изменчивостью отложений.

Ерниченская толща представлена различными по составу сланцами: кварц-серицитовыми, углеродисто-кремнистыми и углеродисто-серицитовыми, реже гравелитами, кварцевыми и полимиктовыми песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами с линзами и прослоями карбонатных пород. Мощность толщи 1000–2000 м [State Geological Map..., 2010a, 2010b]. Возраст принят условно раннесреднекембрийским на основании согласного залегания отложений ерниченской толщи на породах быстринской свиты в бассейнах рек Ороча и Камара. Однако в большинстве разрезов их контакты осложнены разломами [State Geological Map..., 2010a].

U-Pb исследования выполнены для детритовых цирконов из фаунистически не охарактеризованных терригенных отложений верхней части быстринской

свиты (обр. Ю-130) и ерниченской толщи (обр. Ю-129) аргунской серии. Образцы пород были отобраны в бассейне р. Уров. Координаты мест отбора образцов приведены на рис. 1.

3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Выделение детритовых цирконов выполнено в минералогической лаборатории Института геологии и природопользования ДВО РАН с применением тяжелых жидкостей. Непосредственно U-Pb датирование детритовых цирконов 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 [Khubanov et al., 2016]. Обработка полученных

результатов производилась с помощью программ Glitter [Griffin et al., 2008]. При построении кривых относительной вероятности возрастов детритовых цирконов и вычислении их пиков [Gehrels et al., 2008] использовались только конкордантные оценки возраста ($D < 10\%$). Дискордантность рассчитывалась по формуле:

$$D = (\text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}) - 1) \cdot 100\%$$

Расчет конкордантного возраста цирконов проводился по значениям возраста $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ и $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. Одновременно использовались все радиогенные соотношения Pb/U и Pb/Pb, что позволяет получить более точные данные, чем любой отдельный возраст Pb/U или Pb/Pb. Детально методика расчета конкордантного возраста цирконов приведена в работе [Ludwig, 2008]. Результаты представлены в виде гистограмм и графиков кумулятивной вероятности на рис. 3, 4.

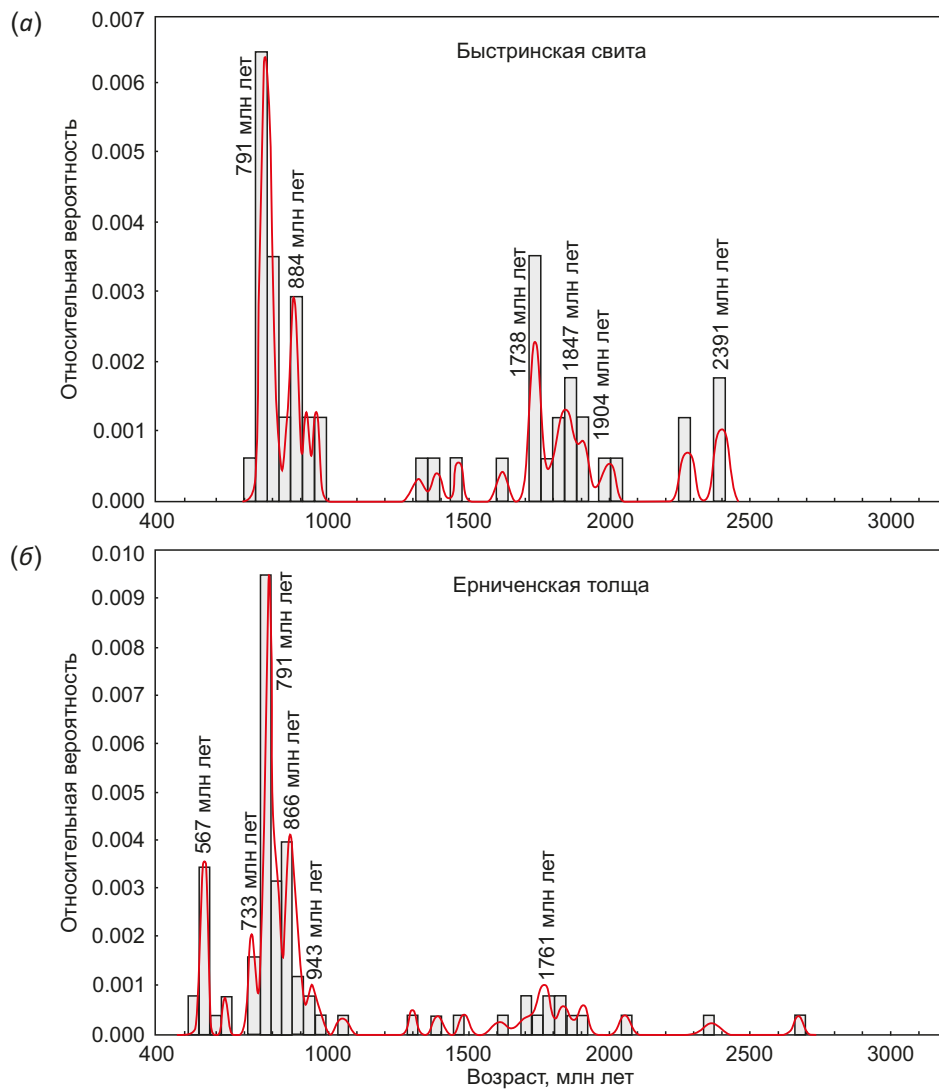


Рис. 3. Гистограммы и кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из алевролита быстринской свиты (обр. Ю-130) (а) и песчаника ерниченской толщи (обр. Ю-129) аргунской серии Аргунского континентального массива (б).

Fig. 3. Histograms and relative age probability curves for detrital zircons from siltstone of the Bystraya formation (sample Yu-130) (a) and sandstone of the Ernichnaya formation (sample Yu-129) of the Argun series of Argun continental massif (b).

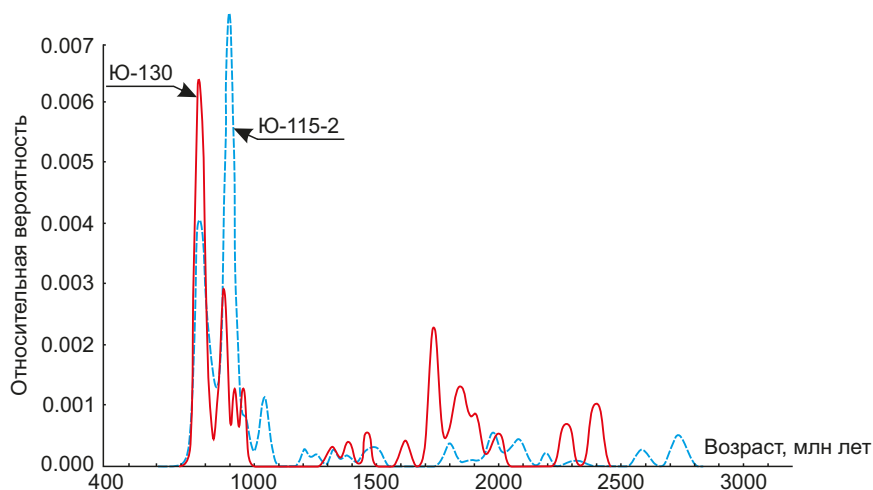


Рис. 4. Сопоставление кривых относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из алевролита быстринской свиты аргунской серии (обр. Ю-130) и песчаника дырбылкейской свиты даурской серии (обр. Ю-115-2) Аргунского континентального массива. Для песчаника дырбылкейской свиты использовались данные по [Smirnova et al., 2021].

Fig. 4. Comparison between relative age probability curves for detrital zircons from siltstone of the Bystraya formation of the Argun series (sample Yu-130) and sandstones of Dyrbylkei formation of the Daur series (sample Yu-115-2) of the Argun continental massif. The data for the sandstone of the Dyrbylkei formation are based on [Smirnova et al., 2021].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

Для 120 зерен детритовых цирконов из алевролита верхней части разреза быстринской свиты (обр. Ю-130) конкордантные оценки возрастов получены для 54 зерен (Прил. 1, табл. 1.1), среди которых выделяются две основные популяции, характеризующиеся неопротерозойским (756–967 млн лет, 29 зерен) и палеопротерозойским (1622–2396 млн лет, 22 зерна) возрастом с пиками на кривой относительной вероятности возрастов 791, 884, 1738, 1847, 1904 и 2391 млн лет (см. рис. 3, а). Отдельные цирконы имеют мезопротерозойский возраст (1327–1465 млн лет, три зерна). Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов 768 ± 14 млн лет, а наиболее молодого циркона – 756 ± 9 млн лет.

Из песчаника ерниченской толщи (обр. Ю-129) было проанализировано 120 зерен детритовых цирконов. Конкордантные оценки возраста получены для 73 зерен (Прил. 1, табл. 1.2). Доминирующая часть цирконов (56 зерен) характеризуется неопротерозойскими значениями возраста, которые находятся в интервале 551–963 млн лет (см. рис. 3, б). В подчиненном количестве присутствуют мезопротерозойские (1051–1478 млн лет, четыре зерна) и палеопротерозойские (1601–2347 млн лет, 12 зерен) цирконы. Одно зерно имеет неогархейский возраст (2650 ± 15 млн лет). На кривой относительной вероятности возрастов выделяются пики 567, 733, 791, 866, 943 и 1761 млн лет. Наиболее молодая популяция цирконов имеет конкордантный возраст 556 ± 11 млн лет, а молодое зерно – 551 ± 8 млн лет.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Проведенные U-Pb изотопные исследования детритовых цирконов позволяют выявить вероятные

источники сноса кластического материала. В осадочных породах быстринской свиты и ерниченской толщи аргунской серии присутствуют цирконы нео-, мезо- и палеопротерозойского возраста. Эти цирконы характеризуются осцилляторной зональностью и значениями U/Th преимущественно более 1, что свидетельствует об их магматическом происхождении. Полученные данные в совокупности с результатами ранее проведенных U-Th-Pb изотопных исследований детритовых цирконов из метаосадочных пород даурской серии [Smirnova et al., 2021] и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований отложений быркинской серии [Smirnova, Dril, 2022] позволяют нам рассматривать образования Аргунского массива в качестве потенциальных источников обломочного материала. Главными источниками неопротерозойских цирконов, вероятно, являются граниты Уртуйского массива [Golubev et al., 2010], а также массивы неопротерозойских гранодиоритов, гранитов и гранитогнейсов, выявленные с помощью геохронологических исследований на сопредельной территории Китая в пределах Аргунского массива [Wu et al., 2011; Gou et al., 2013; Tang et al., 2013; Liu et al., 2020; Feng et al., 2022; и др.]. Источниками палеопротерозойских цирконов, по-видимому, можно рассматривать граниты и гнейсы Аргунского массива, для которых возраст варьируется в интервале 1741–1839 млн лет [Sun et al., 2013; Feng et al., 2022]. Вопрос об источниках мезопротерозойских цирконов в настоящее время открыт, так как в структуре Аргунского массива участие мезопротерозойских магматических пород не подтверждено результатами геохронологических исследований. Здесь также стоит отметить значительное сходство кривых относительной вероятности цирконов из пород быстринской свиты аргунской серии и дырбылкейской свиты даурской серии (рис. 4), что

свидетельствует об единых источниках сноса кластического материала.

Согласно U-Pb датированию детритовых цирконов установлено, что нижняя возрастная граница накопления терригенных пород ерниченской толщи приходится на границу позднего протерозоя и палеозоя (556 ±11 млн лет). Наиболее молодая и самая многочисленная популяция цирконов из алевролита верхней части быстринской свиты характеризуется тонийским возрастом. Отсутствие криогенных и эдиакарских цирконов, выявленных в песчанике вышележащей ерниченской толщи, косвенно свидетельствует о накоплении терригенных пород быстринской свиты в тонийское время. Это противоречит стратиграфическому возрасту свиты [Kurilenko et al., 2002; State Geological Map..., 2010a]. Однако, если учесть, что скелетная фауна атдабанского – начала ботомского века выявлена лишь в карбонатных породах средней части быстринской свиты, а контакты между пачками свиты тектонические, то не исключено, что в настоящий момент в состав быстринской свиты объединены нижнекембрийские карбонатные породы и верхнепротерозойские терригенные отложения. Следовательно, в пределах Аргунского массива на территории Восточного Забайкалья наиболее широким распространением характеризуются отложения позднепротерозойского возраста.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят сотрудников ЦКП «Амурский центр минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН» Е.Н. Воропаеву, О.Г. Медведеву (г. Благовещенск), а также персонал ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) за проведение аналитических исследований. Авторы признательны анонимным рецензентам за конструктивные замечания и дискуссию.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

8. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. The authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Feng Z., Zhang Q., Liu Y., Li L., Jiang L., Zhou J., Li W., Ma Y., 2022. Reconstruction of Rodinia Supercontinent: Evidence from the Erguna Block (NE China) and Adjacent Units in the Eastern Central Asian Orogenic Belt. *Precambrian Research* 368, 106467. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106467>.

Gehrels G.E., Valencia V.A., Ruiz J., 2008. Enhanced Precision, Accuracy, Efficiency, and Spatial Resolution of U-Pb Ages by Laser Ablation–Multicollector–Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 9 (3), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2007GC001805>.

Golubev V.N., Chernyshev I.V., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Gol'tsman Yu.V., Bairova E.D., Yakovleva S.Z., 2010. The Strel'tsovka Uranium District: Isotopic Geochronological (U-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd) Characterization of Granitoids and Their Place in the Formation History of Uranium Deposits. *Geology of Ore Deposits* 52, 496–513. <https://doi.org/10.1134/S107570151006005X>.

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., 2013. 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. *Journal of Asian Earth Sciences* 67–68, 114–137. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.02.016>.

Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., 2008. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. Vancouver, p. 308–311.

Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A., 2016. U-Pb Dating of Zircons from PZ3–MZ Igneous Complexes of Transbaikalia by Sector-Field Mass Spectrometry with Laser Sampling: Technique and Comparison with SHRIMP. *Russian Geology and Geophysics* 57 (1), 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.013>.

Kurilenko A.V., Kotlyar G.V., Kulkov N.P., Raitina N.I., Yadrishchenskaya N.G., Starukhina L.P., Markovich E.M., Okuneva T.M. et al., 2002. Atlas of Fauna and Flora of the Paleozoic–Mesozoic of Transbaikalia. Nauka, Novosibirsk, 714 p. (in Russian) [Куриленко А.В., Котляр Г.В., Кульков Н.П., Раитина Н.И., Ядрищенская Н.Г., Старухина Л.П., Маркович Е.М., Окунева Т.М. и др. Атлас фауны и флоры палеозоя – мезозоя Забайкалья. Новосибирск: Наука, 2002. 714 с.].

Liu H., Li Y., Wan Z., Lai Ch.-K., 2020. Early Neoproterozoic Tectonic Evolution of the Erguna Terrane (NE China) and Its Paleogeographic Location in Rodinia Supercontinent: Insights from Magmatic and Sedimentary Record. *Gondwana Research* 88, 185–200. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.07.005>.

Ludwig K.R., 2008. ISOPLOT 3.6. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. User's Manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication 4, 77 p.

Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov A.N., Dril S.I., Kirillova G.L. et al., 2003. Model of the Formation of Orogenic Belts in Central and North-East Asia. *Pacific Geology* 22 (6), 7–41 (in Russian) [Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41].

Smirnova Yu.N., Dril S.I., 2022. Geochemistry of Vendian (?) Metasedimentary Rocks of the Byrka Series of the Argun Superterrane. *Geochemistry International* 60, 450–467. <https://doi.org/10.1134/S0016702922030089>.

Smirnova Yu.N., Ovchinnikov R.O., Sorokin A.A., Smirnov Yu.V., 2021. Age and Provenance of the Daur Series Sedimentary Rocks (Riphean), Argun Continental Massif: Results of U-Th-Pb and Lu-Hf Isotope Studies of Detrital Zircons. *Stratigraphy and Geological Correlation* 29, 1–7. <https://doi.org/10.1134/S0869593821010081>.

Sorokin A.A., Kudryashov N.M., Jinyi L., Zhuravlev D.Z., Pin Y., Guihua S., Liming G., 2004. Early Paleozoic Granitoids in the Eastern Margin of the Argun' Terrane, Amur Area: First Geochemical and Geochronologic Data. *Petrology* 12 (4), 367–376.

Sorokin A.A., Kudryashov N.M., Sorokin A.P., 2002. Fragments of the Paleozoic Active Margins at the Southern Periphery of the Mongolia-Okhotsk Foldbelt: Evidence from the Northeastern Argun Terrane, Amur River Region. *Doklady Earth Sciences* 387 (3), 382–386 (in Russian) [Сорокин А.А., Кудряшов Н.М., Сорокин А.П. Фрагменты палеозойских активных окраин южного обрамления Монголо-Охотского пояса (на примере северо-восточной части Аргунского террейна, Приамурье) // Доклады АН. 2002. Т. 387. № 3. С. 382–386].

State Geological Map of the Russian Federation, 2010a. Aldan-Transbaikalian Series. Scale 1:1000000. Sheet M-50 (Borzya). VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Алдано-Забайкальская. Масштаб 1:1000000. Лист М-50 (Борзя). СПб.: ВСЕГЕИ, 2010].

State Geological Map of the Russian Federation, 2010b. Aldan-Zabaikalskaya Series. Scale 1:1000000. Sheet N-50

(Sretensk). VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Алдано-Забайкальская. Масштаб 1:1000000. Лист N-50 (Сретенск). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010].

State Geological Map of the Russian Federation, 2015. Argun Series. Scale 1:200000. Sheet M-50-VI (Bol. Zerentui). Moscow Branch of VSEGEI, Moscow (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Приаргунская. Масштаб 1:200000. Лист М-50-VI (Бол. Зерентуй). М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015].

Sun L.X., Ren B.F., Zhao F.Q., Ji S.P., Geng J.Z., 2013. Late Paleoproterozoic Magmatic Records in the Erguna Massif: Evidences from the Zircon U-Pb Dating of Granitic Gneisses. *Geological Bulletin of China* 32, 341–352.

Tang J., Xu W.L., Wang F., Wang W., Xu M.J., Zhang Y.H., 2013. Geochronology and Geochemistry of Neoproterozoic Magmatism in the Erguna Massif, NE China: Petrogenesis and Implications for the Breakup of the Rodinia Supercontinent. *Precambrian Research* 224, 597–611. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.10.019>.

Wu F.Y., Sun D.Y., Ge W.C., Zhang Y.N., Grant M.L., Wilde S.A., Jahn B.M., 2011. Geochronology of the Phanerozoic Granitoids in Northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences* 41 (1), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2010.11.014>.

Zhao S., Xu W.L., Tang J., Li Y., Guo P., 2016. Timing of Formation and Tectonic Nature of the Purportedly Neoproterozoic Jiageda Formation of the Erguna Massif, NE China: Constraints from Field Geology and U-Pb Geochronology of Detrital and Magmatic Zircons. *Precambrian Research* 281, 585–601. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.06.014>.

Таблица 1.1. U-Pb LA-ICP-MS данные для цирконов из алевролита быстринской свиты (обр. Ю-130) аргунской серии

Table 1.1. LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from siltstone of the Bystraya formation (sample Yu-130) of the Argun series

№ п/п	Анализы	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	Ю-130/001	211	244	1.2	8.9466	0.0014	5.1708	0.0541	0.3357	0.0026	0.08	1866	13	1848	9	1830	16	1854	15	2.0	**
2	Ю-130/003	236	423	1.8	14.8997	0.0009	1.2041	0.0145	0.1302	0.0010	0.06	789	6	802	7	843	8	795	9	-6.4	**
3	Ю-130/006	47	72	1.5	6.3263	0.0021	9.6170	0.1067	0.4415	0.0036	0.12	2357	16	2399	10	2436	26	2388	18	-3.3	**
4	Ю-130/007	938	927	0.9	9.6718	0.0012	3.2871	0.0319	0.2307	0.0018	0.07	1338	9	1478	8	1687	22	дискордантный	-	-20.7	-
5	Ю-130/008	136	456	3.4	13.9564	0.0010	1.5271	0.0176	0.1546	0.0012	0.08	927	7	941	7	978	11	934	10	-5.2	**
6	Ю-130/009	106	406	3.8	13.1773	0.0010	1.5680	0.0185	0.1499	0.0012	0.07	900	7	958	7	1094	27	дискордантный	-	-17.7	-
7	Ю-130/010	329	568	1.7	14.0777	0.0009	1.5880	0.0176	0.1622	0.0013	0.06	969	7	966	7	960	9	967	10	0.9	**
8	Ю-130/011	136	139	1.0	8.6398	0.0016	5.1265	0.0599	0.3214	0.0026	0.10	1796	13	1840	10	1893	18	1824	17	-5.1	**
9	Ю-130/012	85	392	4.6	9.3885	0.0013	3.7827	0.0396	0.2577	0.0020	0.08	1478	10	1589	8	1742	23	дискордантный	-	-15.2	-
10	Ю-130/013	67	408	6.1	15.7037	0.0009	1.1307	0.0146	0.1288	0.0010	0.06	781	6	768	7	733	12	776	9	6.6	**
11	Ю-130/015	317	285	0.9	8.5452	0.0015	5.5665	0.0581	0.3451	0.0027	0.09	1911	13	1911	9	1913	16	1911	15	-0.1	**
12	Ю-130/017	100	302	3.0	14.7711	0.0010	1.1787	0.0160	0.1263	0.0010	0.06	767	6	791	8	861	11	776	10	-10.9	-
13	Ю-130/019	328	250	0.8	6.2793	0.0020	8.8977	0.0907	0.4054	0.0032	0.10	2194	14	2328	9	2449	18	дискордантный	-	-10.4	-
14	Ю-130/020	93	465	5.0	9.1391	0.0013	4.6296	0.0468	0.3070	0.0024	0.09	1726	12	1755	8	1791	19	1745	14	-3.6	**
15	Ю-130/021	1268	598	0.5	10.5551	0.0012	3.2823	0.0341	0.2514	0.0019	0.08	1446	10	1477	8	1524	11	1465	13	-5.2	**
16	Ю-130/022	156	115	0.7	8.0861	0.0018	6.0431	0.0750	0.3546	0.0030	0.12	1956	14	1982	11	2011	19	1973	18	-2.7	**
17	Ю-130/026	40	35	0.9	11.8865	0.0021	2.6601	0.0619	0.2294	0.0025	0.12	1332	13	1318	17	1297	20	1327	22	2.7	**
18	Ю-130/027	246	1132	4.6	9.1837	0.0013	4.3137	0.0439	0.2875	0.0022	0.09	1629	11	1696	8	1782	15	дискордантный	-	-8.6	-
19	Ю-130/029	505	1181	2.3	9.1921	0.0013	4.5789	0.0459	0.3054	0.0023	0.09	1718	12	1745	8	1780	15	1736	14	-3.5	**
20	Ю-130/030	222	219	1.0	6.7057	0.0019	8.5225	0.0918	0.4147	0.0033	0.10	2236	15	2288	10	2337	20	2274	17	-4.3	**
21	Ю-130/031	100	187	1.9	14.9087	0.0012	1.1737	0.0186	0.1270	0.0011	0.07	770	6	788	9	842	10	776	10	-8.5	**
22	Ю-130/032	945	877	0.9	6.9385	0.0018	6.8062	0.0691	0.3427	0.0026	0.09	1899	13	2086	9	2279	21	дискордантный	-	-16.6	-
23	Ю-130/033	143	236	1.6	13.3984	0.0014	1.3740	0.0233	0.1336	0.0012	0.08	808	7	878	10	1060	37	дискордантный	-	-23.8	-
24	Ю-130/035	262	269	1.1	13.2775	0.0013	1.3892	0.0208	0.1338	0.0011	0.08	810	6	884	9	1078	33	дискордантный	-	-24.9	-
25	Ю-130/036	135	234	1.7	9.4979	0.0014	4.4640	0.0522	0.3076	0.0025	0.10	1729	12	1724	10	1721	18	1726	16	0.5	**
26	Ю-130/038	249	216	0.9	14.0548	0.0012	1.4516	0.0212	0.1480	0.0012	0.07	890	7	910	9	963	10	897	11	-7.6	**
27	Ю-130/039	89	347	3.9	7.9758	0.0016	6.2580	0.0689	0.3622	0.0029	0.10	1992	14	2013	10	2035	23	2006	16	-2.1	**
28	Ю-130/043	74	117	1.6	14.5002	0.0014	1.4179	0.0270	0.1492	0.0014	0.08	896	8	896	11	899	14	896	13	-0.3	**

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

№ п/п	Анализы	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
29	Ю-130/044	235	489	2.1	11.4506	0.0012	2.3807	0.0283	0.1978	0.0016	0.09	1164	8	1237	8	1369	26	дискордантный	-	-15.0	-
30	Ю-130/046	100	179	1.8	14.5229	0.0012	1.3902	0.0229	0.1465	0.0013	0.08	881	7	885	10	896	12	882	12	-1.6	**
31	Ю-130/047	375	659	1.8	14.8892	0.0010	1.2671	0.0159	0.1369	0.0011	0.08	827	6	831	7	844	9	829	10	-2.1	**
32	Ю-130/051	166	164	1.0	9.7699	0.0015	3.9982	0.0536	0.2834	0.0024	0.11	1609	12	1634	11	1669	17	1622	17	-3.6	**
33	Ю-130/052	92	143	1.6	13.7052	0.0015	1.2796	0.0241	0.1273	0.0012	0.08	772	7	837	11	1014	40	дискордантный	-	-23.9	-
34	Ю-130/053	19	25	1.3	8.6939	0.0024	4.9978	0.0982	0.3153	0.0034	0.17	1767	17	1819	17	1882	32	1792	26	-6.1	**
35	Ю-130/054	444	650	1.5	14.3767	0.0010	1.3844	0.0177	0.1444	0.0012	0.09	870	7	882	8	917	9	875	10	-5.2	**
36	Ю-130/056	343	578	1.7	15.2043	0.0010	1.1592	0.0156	0.1279	0.0010	0.10	776	6	782	7	801	9	778	10	-3.1	**
37	Ю-130/058	147	570	3.9	10.7481	0.0013	2.8950	0.0349	0.2258	0.0018	0.09	1312	10	1381	9	1490	26	дискордантный	-	-11.9	-
38	Ю-130/061	155	172	1.1	15.0106	0.0013	1.1648	0.0215	0.1269	0.0011	0.07	770	6	784	10	827	11	774	11	-7.0	**
39	Ю-130/062	366	1049	2.9	14.9138	0.0010	1.1943	0.0152	0.1292	0.0010	0.09	784	6	798	7	841	10	789	10	-6.8	**
40	Ю-130/063	61123	1437	0.1	15.1468	0.0009	1.1235	0.0135	0.1235	0.0010	0.09	751	6	765	6	808	3	756	9	-7.2	**
41	Ю-130/068	291	892	3.1	6.8614	0.0020	7.6703	0.0939	0.3819	0.0031	0.11	2085	14	2193	11	2298	19	дискордантный	-	-9.3	-
42	Ю-130/069	171	708	4.1	6.4294	0.0021	9.5915	0.1156	0.4475	0.0036	0.11	2384	16	2396	11	2409	26	2396	19	-1.0	**
43	Ю-130/072	74	174	2.4	14.6508	0.0015	1.2411	0.0252	0.1319	0.0012	0.07	799	7	819	11	878	15	804	12	-9.0	**
44	Ю-130/073	92	107	1.2	9.6830	0.0018	4.4511	0.0693	0.3127	0.0028	0.12	1754	14	1722	13	1685	23	1737	20	4.1	**
45	Ю-130/074	78	121	1.6	9.2070	0.0018	4.5799	0.0689	0.3060	0.0027	0.13	1721	13	1746	12	1778	24	1734	20	-3.2	**
46	Ю-130/076	88	108	1.2	14.3480	0.0017	1.2425	0.0286	0.1294	0.0013	0.09	784	7	820	13	921	13	792	13	-14.8	-
47	Ю-130/077	140	267	1.9	14.7307	0.0013	1.2240	0.0207	0.1308	0.0012	0.09	793	6	812	10	867	11	798	11	-8.5	**
48	Ю-130/078	87	111	1.3	8.6335	0.0022	5.2526	0.0913	0.3290	0.0032	0.14	1834	16	1861	15	1894	29	1848	23	-3.2	**
49	Ю-130/080	527	596	1.1	15.3442	0.0011	1.2060	0.0180	0.1343	0.0011	0.10	812	6	803	8	781	10	809	11	3.9	**
50	Ю-130/082	132	216	1.6	2.8876	0.0013	1.2184	0.0225	0.1327	0.0012	0.09	803	7	809	10	827	12	805	12	-2.9	**
51	Ю-130/083	386	737	1.9	6.6335	0.0022	7.9088	0.1030	0.3807	0.0031	0.11	2079	15	2221	12	2356	25	дискордантный	-	-11.7	-
52	Ю-130/084	142	353	2.5	14.6976	0.0013	1.2411	0.0220	0.1324	0.0012	0.10	801	7	819	10	871	14	807	12	-8.0	**
53	Ю-130/085	40	373	9.3	15.3753	0.0012	1.1698	0.0197	0.1305	0.0011	0.10	791	6	787	9	777	19	789	11	1.8	**
54	Ю-130/086	137	237	1.7	14.8821	0.0014	1.3725	0.0266	0.1482	0.0014	0.09	891	8	877	11	845	14	887	13	5.4	**
55	Ю-130/087	240	442	1.8	14.7342	0.0012	1.3394	0.0210	0.1432	0.0012	0.10	863	7	863	9	866	12	863	12	-0.4	**
56	Ю-130/090	216	214	0.9	6.8932	0.0023	7.0119	0.1002	0.3507	0.0030	0.13	1938	14	2113	13	2290	27	дискордантный	-	-15.4	-
57	Ю-130/091	130	397	3.0	13.8233	0.0013	1.6049	0.0255	0.1610	0.0014	0.11	962	8	972	10	997	14	966	13	-3.5	**
58	Ю-130/093	141	434	3.1	5.9059	0.0026	8.3438	0.1182	0.3576	0.0031	0.13	1971	14	2269	13	2552	26	дискордантный	-	-22.8	-

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

№ п/п	Анализы	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
59	Ю-130/095	219	419	1.9	15.8389	0.0011	1.1272	0.0189	0.1295	0.0011	0.11	785	6	766	9	714	12	779	11	9.9	**
60	Ю-130/097	183	254	1.4	7.9876	0.0021	5.2050	0.0813	0.3017	0.0027	0.13	1700	13	1853	13	2033	30	дискордантный	-	-16.4	-
61	Ю-130/099	48	342	7.1	13.0188	0.0014	1.5456	0.0266	0.1460	0.0013	0.11	878	7	949	11	1118	36	дискордантный	-	-21.4	-
62	Ю-130/100	161	251	1.6	14.6979	0.0013	1.4686	0.0262	0.1566	0.0014	0.11	938	8	918	11	871	14	931	13	7.7	**
63	Ю-130/101	219	454	2.1	14.6292	0.0014	1.2241	0.0234	0.1299	0.0012	0.10	788	7	812	11	881	14	794	12	-10.6	-
64	Ю-130/103	121	259	2.2	10.8468	0.0017	3.0201	0.0502	0.2377	0.0022	0.13	1375	11	1413	13	1473	20	1391	18	-6.7	**
65	Ю-130/104	65	109	1.7	9.3411	0.0021	4.5882	0.0848	0.3110	0.0030	0.14	1746	15	1747	15	1751	30	1746	23	-0.3	**
66	Ю-130/105	145	224	1.6	6.7052	0.0025	8.5072	0.1317	0.4139	0.0037	0.14	2233	17	2287	14	2337	32	2265	23	-4.5	**
67	Ю-130/106	60	147	2.5	14.9539	0.0015	1.3638	0.0288	0.1480	0.0014	0.10	890	8	874	12	836	17	885	14	6.5	**
68	Ю-130/108	167	313	1.9	15.3113	0.0013	1.1698	0.0217	0.1300	0.0012	0.12	788	7	786	10	786	13	787	12	0.2	**
69	Ю-130/109	119	168	1.4	8.6186	0.0021	5.3704	0.0887	0.3358	0.0031	0.14	1867	15	1880	14	1897	29	1874	22	-1.6	**
70	Ю-130/110	189	481	2.6	14.2519	0.0013	1.2235	0.0212	0.1265	0.0011	0.12	768	6	811	10	935	38	дискордантный	-	-17.8	-
71	Ю-130/111	254	483	1.9	14.6281	0.0014	1.2284	0.0231	0.1304	0.0012	0.12	790	7	814	11	881	14	796	12	-10.3	-
72	Ю-130/113	42	322	7.7	14.9353	0.0015	1.2017	0.0247	0.1302	0.0013	0.11	789	7	801	11	838	20	792	13	-5.8	**
73	Ю-130/115	99	155	1.6	8.7795	0.0021	5.1151	0.0886	0.3259	0.0031	0.14	1818	15	1839	15	1864	29	1828	22	-2.5	**
74	Ю-130/116	172	249	1.4	6.7287	0.0027	9.3003	0.1586	0.4541	0.0043	0.16	2413	19	2368	16	2332	40	2385	26	3.5	**
75	Ю-130/117	100	193	1.9	8.9218	0.0021	5.3578	0.0949	0.3468	0.0033	0.15	1920	16	1878	15	1835	32	1898	23	4.6	**
76	Ю-130/118	459	453	0.9	13.9173	0.0014	1.3991	0.0252	0.1413	0.0013	0.12	852	7	889	11	984	11	862	13	-13.4	-
77	Ю-130/119	208	487	2.3	15.3394	0.0013	1.1988	0.0216	0.1334	0.0012	0.12	807	7	800	10	782	14	805	12	3.2	**
78	Ю-130/120	66	334	5.1	14.1744	0.0016	1.2876	0.0276	0.1324	0.0013	0.11	802	7	840	12	946	22	811	13	-15.3	-

Примечание. ** – возраст, используемый в расчетах. Rho – коэффициент корреляции между ошибками отношений ²⁰⁷Pb/²³⁵U–²⁰⁶Pb/²³⁸U. CA – конкордантный возраст [Ludwig, 2008]. D – дискордантность, вычисляется как D=(возраст (²⁰⁶Pb/²³⁸U)/возраст (²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb)·100)–100 %.

Note. ** – ages used in calculations. Rho – correlation coefficient between the errors of the ²⁰⁷Pb/²³⁵U–²⁰⁶Pb/²³⁸U ratios. CA – concordia age [Ludwig, 2008]. D – discordance calculated as D=(age (²⁰⁶Pb/²³⁸U)/age (²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb)·100)–100 %.

Таблица 1.2. U-Pb LA-ICP-MS данные для цирконов из песчаника ерниченской толщи (обр. Ю-129) аргунской серии

Table 1.2. LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from sandstone of the Ernichnaya formation (sample Yu-129) of the Argun series

№ п/п	Анализы	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	Ю-129/001	130	116	0.9	8.5664	0.0014	5.4951	0.0524	0.3416	0.0025	0.01	1894	12	1900	8	1908	21	1898	14	-0.8	**
2	Ю-129/002	156	953	6.1	9.3078	0.0012	4.3270	0.0365	0.2922	0.0021	0.03	1653	10	1698	7	1758	20	дискордантный	-	-6.0	-
3	Ю-129/004	288	709	2.5	14.5317	0.0008	1.3531	0.0125	0.1427	0.0010	0.02	860	6	869	5	895	24	865	8	-4.0	**
4	Ю-129/005	61	100	1.6	5.5517	0.0021	12.6070	0.1139	0.5078	0.0037	0.02	2647	16	2651	8	2656	19	2650	15	-0.3	**
5	Ю-129/006	143	321	2.2	9.4666	0.0012	4.0183	0.0367	0.2760	0.0020	0.00	1571	10	1638	7	1727	21	дискордантный	-	-9.0	-
6	Ю-129/007	159	321	2.0	13.1547	0.0009	1.5298	0.0152	0.1460	0.0011	0.01	879	6	942	6	1097	24	дискордантный	-	-19.9	-
7	Ю-129/008	152	477	3.1	14.8029	0.0008	1.3265	0.0130	0.1425	0.0010	0.01	859	6	857	6	857	25	858	8	0.2	**
8	Ю-129/009	66	104	1.6	15.4408	0.0011	1.0590	0.0156	0.1187	0.0009	0.01	723	5	733	8	768	35	726	9	-5.9	**
9	Ю-129/010	147	186	1.3	16.7483	0.0009	0.7603	0.0104	0.0924	0.0007	0.01	570	4	574	6	594	34	571	7	-4.2	**
10	Ю-129/011	241	300	1.2	16.7154	0.0009	0.7563	0.0092	0.0917	0.0007	0.02	566	4	572	5	599	30	568	6	-5.5	**
11	Ю-129/012	689	841	1.2	8.5401	0.0014	4.4537	0.0404	0.2760	0.0020	0.02	1571	10	1722	8	1914	20	дискордантный	-	-17.9	-
12	Ю-129/013	32	232	7.3	9.1309	0.0013	4.7228	0.0453	0.3129	0.0023	0.02	1755	11	1771	8	1793	22	1766	13	-2.1	**
13	Ю-129/014	512	550	1.1	15.7929	0.0008	1.0557	0.0110	0.1210	0.0009	0.02	736	5	732	6	720	27	734	8	2.2	**
14	Ю-129/015	208	617	3.0	15.3049	0.0008	1.1771	0.0121	0.1307	0.0010	0.02	792	6	790	6	787	26	791	8	0.7	**
15	Ю-129/016	179	274	1.5	17.0024	0.0009	0.7325	0.0095	0.0904	0.0007	0.02	558	4	558	6	562	32	558	7	-0.7	**
16	Ю-129/017	62	212	3.4	15.0422	0.0010	1.1809	0.0146	0.1289	0.0010	0.02	782	6	792	7	823	30	786	9	-5.0	**
17	Ю-129/018	85	220	2.6	7.7130	0.0016	6.5666	0.0646	0.3675	0.0027	0.04	2018	13	2055	9	2094	21	2043	15	-3.7	**
18	Ю-129/019	109	131	1.2	15.1327	0.0011	1.1018	0.0165	0.1210	0.0010	0.04	736	6	754	8	810	34	742	9	-9.1	**
19	Ю-129/020	169	131	0.8	14.7350	0.0011	1.2092	0.0171	0.1293	0.0010	0.05	784	6	805	8	866	33	791	10	-9.4	**
20	Ю-129/021	51	203	4.0	15.1675	0.0010	1.1861	0.0166	0.1305	0.0010	0.05	791	6	794	8	805	33	792	10	-1.8	**
21	Ю-129/023	117	130	1.1	15.3216	0.0011	1.1771	0.0175	0.1309	0.0011	0.05	793	6	790	8	784	34	792	10	1.1	**
22	Ю-129/025	103	325	3.2	14.8111	0.0010	1.3389	0.0162	0.1439	0.0011	0.05	867	6	863	7	855	29	865	10	1.4	**
23	Ю-129/026	153	806	5.3	11.9217	0.0011	2.5805	0.0281	0.2232	0.0017	0.06	1299	9	1295	8	1291	25	1297	12	0.6	**
24	Ю-129/027	94	396	4.2	15.0009	0.0009	1.1988	0.0147	0.1305	0.0010	0.06	791	6	800	7	828	29	794	9	-4.6	**
25	Ю-129/028	86	258	3.0	14.2931	0.0011	1.4442	0.0198	0.1498	0.0012	0.07	900	7	908	8	928	31	903	11	-3.1	**
26	Ю-129/029	226	410	1.8	16.0682	0.0009	0.8869	0.0115	0.1034	0.0008	0.06	634	5	645	6	683	31	638	8	-7.2	**
27	Ю-129/030	114	194	1.7	8.7712	0.0016	5.1288	0.0600	0.3264	0.0026	0.07	1821	12	1841	10	1865	24	1833	16	-2.4	**
28	Ю-129/031	257	559	2.2	15.1927	0.0010	1.1815	0.0150	0.1303	0.0010	0.08	789	6	792	7	802	30	790	9	-1.6	**
29	Ю-129/032	285	566	2.0	16.5049	0.0010	0.7686	0.0112	0.0921	0.0008	0.08	568	4	579	6	626	35	571	8	-9.3	**
30	Ю-129/033	198	604	3.1	13.9548	0.0010	1.5396	0.0192	0.1559	0.0012	0.08	934	7	946	8	977	29	939	11	-4.4	**

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Анализы	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения							Возраст, млн лет						D	**		
					$^{206}\text{Pb}/$ ^{207}Pb	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$\pm 1\sigma$	Rho	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/$ ^{207}Pb	$\pm 1\sigma$			CA	$\pm 2\sigma$
31	Ю-129/034	76	144	1.9	15.2426	0.0011	1.1964	0.0188	0.1323	0.0011	0.08	801	6	799	9	795	36	800	11	0.8	**
32	Ю-129/035	98	664	6.8	15.1411	0.0010	1.2016	0.0154	0.1320	0.0011	0.08	799	6	801	7	809	30	800	10	-1.2	**
33	Ю-129/036	114	228	2.0	10.5619	0.0014	3.3342	0.0432	0.2555	0.0021	0.10	1467	10	1489	10	1522	27	1478	15	-3.6	**
34	Ю-129/037	106	937	8.8	15.2539	0.0010	1.1799	0.0153	0.1306	0.0010	0.08	791	6	791	7	793	30	791	10	-0.2	**
35	Ю-129/038	214	290	1.4	9.2168	0.0016	4.6356	0.0596	0.3100	0.0025	0.10	1741	12	1756	11	1775	26	1749	17	-1.9	**
36	Ю-129/039	59	270	4.6	15.6637	0.0011	1.1492	0.0183	0.1306	0.0011	0.09	791	6	777	9	737	36	787	11	7.4	**
37	Ю-129/040	76	164	2.2	5.2874	0.0028	11.9273	0.1583	0.4576	0.0038	0.12	2429	17	2599	12	2735	24	дискордантный		-11.2	
38	Ю-129/041	249	378	1.5	15.5611	0.0011	1.1583	0.0178	0.1308	0.0011	0.09	792	6	781	8	751	35	788	10	5.5	**
39	Ю-129/042	322	413	1.3	16.7083	0.0010	0.7323	0.0113	0.0888	0.0007	0.10	548	4	558	7	599	36	551	8	-8.5	**
40	Ю-129/043	58	91	1.6	9.2585	0.0018	4.6778	0.0700	0.3143	0.0027	0.12	1762	13	1763	12	1767	30	1762	19	-0.3	**
41	Ю-129/044	278	351	1.3	8.8722	0.0017	5.0143	0.0701	0.3228	0.0027	0.11	1803	13	1822	12	1844	28	1813	18	-2.2	**
42	Ю-129/045	88	102	1.2	14.0970	0.0014	1.4192	0.0255	0.1452	0.0013	0.09	874	7	897	11	956	39	881	13	-8.6	**
43	Ю-129/046	119	160	1.3	15.1370	0.0012	1.2364	0.0210	0.1358	0.0012	0.11	821	7	817	10	809	38	820	12	1.4	**
44	Ю-129/047	70	474	6.8	14.9609	0.0011	1.2453	0.0189	0.1352	0.0011	0.12	817	6	821	8	834	34	819	11	-2.0	**
45	Ю-129/048	149	260	1.8	14.8974	0.0012	1.1910	0.0199	0.1287	0.0011	0.12	781	6	796	9	843	37	785	11	-7.4	**
46	Ю-129/049	214	450	2.1	11.4018	0.0015	2.9010	0.0442	0.2400	0.0020	0.12	1387	11	1382	12	1377	31	1385	16	0.7	**
47	Ю-129/050	86	302	3.5	14.6801	0.0012	1.2778	0.0214	0.1361	0.0012	0.12	823	7	836	10	873	37	827	12	-5.8	**
48	Ю-129/051	17	70	4.2	14.1664	0.0016	1.5403	0.0342	0.1583	0.0016	0.11	948	9	947	14	946	47	947	15	0.1	**
49	Ю-129/052	108	185	1.7	15.6384	0.0013	1.0504	0.0198	0.1192	0.0011	0.11	726	6	729	10	741	42	727	11	-2.0	**
50	Ю-129/053	172	194	1.1	14.9336	0.0013	1.2637	0.0233	0.1369	0.0012	0.11	827	7	830	10	838	40	828	12	-1.2	**
51	Ю-129/056	140	105	0.8	8.6345	0.0021	5.3860	0.0938	0.3374	0.0031	0.14	1874	15	1883	15	1893	33	1878	22	-1.0	**
52	Ю-129/057	637	507	0.8	17.2938	0.0011	0.7347	0.0135	0.0922	0.0008	0.13	568	5	559	8	524	42	566	9	8.6	**
53	Ю-129/058	62	181	2.9	13.7058	0.0016	1.6112	0.0326	0.1602	0.0015	0.13	958	8	975	13	1014	42	963	15	-5.5	**
54	Ю-129/059	155	109	0.7	9.2629	0.0021	4.1351	0.0770	0.2779	0.0026	0.15	1581	13	1661	15	1766	35	дискордантный	-	-10.5	-
55	Ю-129/060	112	236	2.1	14.6655	0.0014	1.2072	0.0233	0.1285	0.0012	0.13	779	7	804	11	875	41	785	12	-11.0	-
56	Ю-129/062	101	109	1.1	14.3037	0.0017	1.3286	0.0308	0.1379	0.0014	0.13	833	8	858	13	927	49	838	14	-10.1	-
57	Ю-129/063	120	100	0.8	6.6042	0.0030	9.1384	0.1726	0.4379	0.0041	0.15	2341	18	2352	17	2363	33	2347	27	-0.9	**
58	Ю-129/064	73	150	2.0	15.1039	0.0015	1.2471	0.0262	0.1367	0.0013	0.14	826	7	822	12	814	45	825	13	1.5	**
59	Ю-129/065	360	950	2.6	16.2409	0.0013	0.7412	0.0151	0.0874	0.0008	0.15	540	5	563	9	660	45	544	9	-18.2	-
60	Ю-129/066	281	153	0.5	14.5055	0.0016	1.3755	0.0309	0.1448	0.0014	0.13	872	8	878	13	898	47	873	15	-2.9	**

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Анализы	Th, мкг/г	U, мкг/г	U/Th	Изотопные отношения							Возраст, млн лет						D	**		
					$^{206}\text{Pb}/$ ^{207}Pb	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$\pm 1\sigma$	Rho	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/$ ^{207}Pb	$\pm 1\sigma$			CA	$\pm 2\sigma$
61	Ю-129/067	252	334	1.3	14.3823	0.0015	1.3806	0.0285	0.1441	0.0014	0.15	868	8	881	12	916	44	871	14	-5.2	**
62	Ю-129/068	1132	1002	0.9	9.4266	0.0022	3.0721	0.0610	0.2101	0.0020	0.15	1230	11	1426	15	1734	37	дискордантный	-	-29.1	-
63	Ю-129/069	167	185	1.1	15.0289	0.0016	1.2074	0.0280	0.1317	0.0013	0.14	797	8	804	13	824	49	799	14	-3.3	**
64	Ю-129/070	54	254	4.7	15.5203	0.0015	1.1713	0.0256	0.1319	0.0013	0.14	799	7	787	12	757	47	796	13	5.6	**
65	Ю-129/071	140	186	1.3	14.3541	0.0017	1.3907	0.0327	0.1448	0.0015	0.14	872	8	885	14	920	49	875	15	-5.2	**
66	Ю-129/072	67	626	9.3	15.2962	0.0015	1.1620	0.0257	0.1290	0.0013	0.15	782	7	783	12	788	47	782	13	-0.7	**
67	Ю-129/073	360	456	1.3	9.5019	0.0024	4.0287	0.0873	0.2778	0.0027	0.16	1580	14	1640	18	1719	40	1601	24	-8.1	**
68	Ю-129/074	44	474	10.8	14.9272	0.0016	1.2575	0.0282	0.1362	0.0014	0.15	823	8	827	13	838	47	824	14	-1.8	**
69	Ю-129/075	68	190	2.8	9.2813	0.0026	4.5055	0.1038	0.3034	0.0031	0.15	1708	16	1732	19	1762	43	1717	26	-3.1	**
70	Ю-129/076	262	983	3.8	14.7916	0.0016	1.0980	0.0249	0.1178	0.0012	0.15	718	7	752	12	858	48	725	13	-16.3	-
71	Ю-129/077	502	587	1.2	15.3457	0.0016	1.1779	0.0273	0.1312	0.0013	0.16	794	8	790	13	781	49	794	14	1.8	**
72	Ю-129/079	781	706	0.9	16.1231	0.0015	0.7029	0.0168	0.0822	0.0009	0.15	509	5	540	10	676	52	514	10	-24.6	-
73	Ю-129/080	57	85	1.5	14.9509	0.0019	1.1682	0.0318	0.1267	0.0014	0.14	769	8	786	15	835	57	772	15	-7.9	**
74	Ю-129/081	237	689	2.9	17.0271	0.0015	0.7366	0.0184	0.0910	0.0010	0.16	562	6	560	11	558	55	561	11	0.6	**
75	Ю-129/082	84	305	3.6	12.9598	0.0020	1.8716	0.0469	0.1760	0.0019	0.16	1045	10	1071	17	1126	50	1051	19	-7.2	**
76	Ю-129/083	210	212	1.0	14.5264	0.0018	1.3800	0.0359	0.1455	0.0016	0.14	876	9	880	15	895	54	877	16	-2.2	**
77	Ю-129/084	92	134	1.5	14.5381	0.0019	1.3507	0.0366	0.1425	0.0016	0.15	859	9	868	16	893	56	860	16	-3.9	**
78	Ю-129/085	102	122	1.2	16.1702	0.0019	0.7631	0.0225	0.0895	0.0010	0.14	553	6	576	13	670	63	556	11	-17.5	-
79	Ю-129/086	122	459	3.8	14.5033	0.0018	1.3758	0.0359	0.1448	0.0016	0.16	872	9	879	15	898	54	873	16	-3.0	**
80	Ю-129/088	82	136	1.6	9.6635	0.0029	4.2615	0.1160	0.2988	0.0034	0.15	1685	17	1686	22	1688	50	1686	29	-0.2	**
81	Ю-129/089	281	639	2.3	15.5585	0.0018	1.1420	0.0305	0.1289	0.0014	0.15	782	8	773	14	752	57	780	15	4.0	**
82	Ю-129/090	99	93	0.9	15.0634	0.0021	1.2007	0.0368	0.1312	0.0016	0.14	795	9	801	17	820	64	796	16	-3.0	**
83	Ю-129/091	58	281	4.9	14.7028	0.0020	1.2869	0.0368	0.1373	0.0016	0.14	829	9	840	16	870	60	831	17	-4.7	-
84	Ю-129/092	87	714	8.2	14.5930	0.0020	1.4269	0.0401	0.1511	0.0017	0.14	907	10	900	17	886	58	906	18	2.4	**
85	Ю-129/093	229	524	2.3	15.3073	0.0019	1.1861	0.0338	0.1317	0.0015	0.14	798	9	794	16	786	60	797	16	1.5	-
86	Ю-129/094	70	119	1.7	14.7554	0.0022	1.2043	0.0372	0.1289	0.0015	0.12	782	9	803	17	863	64	785	16	-9.4	-
87	Ю-129/095	125	105	0.8	14.4100	0.0022	1.3768	0.0431	0.1440	0.0017	0.12	867	10	879	18	912	65	869	18	-4.9	**
88	Ю-129/096	31	304	9.7	14.8841	0.0021	1.2168	0.0369	0.1314	0.0016	0.13	796	9	808	17	845	63	798	17	-5.8	-
89	Ю-129/098	400	863	2.2	16.4451	0.0019	0.6857	0.0209	0.0818	0.0010	0.13	507	6	530	13	634	66	510	11	-20.0	-
90	Ю-129/099	197	248	1.3	8.7742	0.0035	5.2054	0.1555	0.3314	0.0039	0.14	1845	19	1854	25	1865	54	1848	32	-1.0	-

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Анализы	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
91	Ю-129/100	174	130	0.8	12.2244	0.0026	2.2881	0.0702	0.2030	0.0024	0.12	1191	13	1209	22	1242	60	1195	24	-4.1	-
92	Ю-129/102	60	180	3.0	9.2349	0.0035	4.7056	0.1487	0.3153	0.0039	0.12	1767	19	1768	26	1772	58	1767	33	-0.3	-
93	Ю-129/103	240	358	1.5	8.8115	0.0037	5.1909	0.1639	0.3319	0.0041	0.12	1848	20	1851	27	1857	58	1849	34	-0.5	-
94	Ю-129/104	92	146	1.6	8.6461	0.0038	5.2554	0.1695	0.3297	0.0041	0.12	1837	20	1862	28	1891	58	1845	34	-2.9	-
95	Ю-129/105	337	864	2.6	7.4100	0.0045	6.2913	0.2015	0.3383	0.0042	0.12	1878	20	2017	28	2164	56	дискордантный	-	-13.2	-
96	Ю-129/107	147	185	1.3	14.4804	0.0024	1.4203	0.0480	0.1492	0.0019	0.10	897	11	898	20	902	70	897	20	-0.6	-
97	Ю-129/108	1058	1233	1.2	9.2848	0.0037	3.9705	0.1316	0.2675	0.0034	0.11	1528	17	1628	27	1762	61	1552	31	-13.3	-
98	Ю-129/109	90	231	2.6	15.1316	0.0024	1.1669	0.0404	0.1281	0.0017	0.10	777	10	785	19	810	73	779	18	-4.1	-
99	Ю-129/110	58	259	4.4	14.8347	0.0024	1.2285	0.0426	0.1322	0.0017	0.10	801	10	814	19	852	73	803	18	-6.0	-
100	Ю-129/111	291	459	1.6	15.3440	0.0024	1.0944	0.0386	0.1219	0.0016	0.10	741	9	751	19	781	75	743	17	-5.1	-
101	Ю-129/112	73	96	1.3	15.6782	0.0026	0.9824	0.0380	0.1118	0.0016	0.08	683	9	695	20	736	82	685	17	-7.2	-
102	Ю-129/113	82	167	2.0	14.6541	0.0026	1.2271	0.0453	0.1305	0.0018	0.09	791	10	813	21	877	77	794	19	-9.9	**
103	Ю-129/114	30	90	3.0	7.8640	0.0048	6.5541	0.2363	0.3740	0.0051	0.09	2048	24	2053	32	2060	64	2050	40	-0.6	-
104	Ю-129/116	340	1027	3.0	16.3330	0.0023	0.6831	0.0249	0.0810	0.0011	0.09	502	6	529	15	648	79	505	12	-22.6	-
105	Ю-129/117	104	526	5.0	12.8052	0.0030	1.6925	0.0620	0.1573	0.0021	0.07	942	12	1006	23	1150	74	953	22	-18.2	-
106	Ю-129/118	95	519	5.5	14.6453	0.0026	1.2979	0.0481	0.1379	0.0019	0.07	833	11	845	21	878	78	835	20	-5.2	-
107	Ю-129/119	89	154	1.7	14.8024	0.0027	1.1835	0.0455	0.1271	0.0018	0.07	771	10	793	21	856	81	775	19	-9.9	**
108	Ю-129/120	129	607	4.7	14.2989	0.0027	1.1668	0.0438	0.1211	0.0017	0.07	734	10	785	20	928	78	744	18	-20.6	-

Примечание. ** – возраст, используемый в расчетах. Rho – коэффициент корреляции между ошибками отношений $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, CA – конкордантный возраст [Ludwig, 2008], D – дискордантность, вычисляется как $D=(\text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})/\text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})\cdot 100)-100\%$.

Note. ** – ages used in calculations. Rho – correlation coefficient between the errors of the $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ratios. CA – concordia age [Ludwig, 2008]. D – discordance calculated as $D=(\text{age } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})/\text{age } (^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})\cdot 100)-100\%$.