

УДК 550.93

ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ СНОСА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ДАУРСКОЙ СЕРИИ (РИФЕЙ) АРГУНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА: РЕЗУЛЬТАТЫ U–Th–Pb И Lu–Hf ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА¹

© 2021 г. Ю. Н. Смирнова¹, *, Р. О. Овчинников¹, А. А. Сорокин¹, Ю. В. Смирнов¹

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

*e-mail: smirnova@ascnet.ru

Поступила в редакцию 28.02.2020 г.

После доработки 01.04.2020 г.

Принята к публикации 03.07.2020 г.

Представлены первые результаты U–Th–Pb и Lu–Hf изотопных исследований детритовых цирконов из осадочных пород даурской серии Аргунского континентального массива Центрально-Азиатского складчатого пояса. Установлено, что наиболее молодые детритовые цирконы из песчаников урулюнгульской и дырбылкейской свит даурской серии имеют возраст около 899 и 771 млн лет соответственно. Эти данные определяют нижнюю возрастную границу формирования даурской серии и согласуются с существующими представлениями о ее позднерифейском возрасте. Значительное количество позднерифейских детритовых цирконов из осадочных пород даурской серии имеет раннедокембрийские значения Lu–Hf модельных возрастов. Кроме того, в изученных породах присутствуют детритовые цирконы архейского и раннепротерозойского возрастов. Это позволяет предполагать, что либо в осадочных породах даурской серии присутствует древний (раннедокембрийский) рециклированный материал, либо рассматриваемая часть Аргунского массива представляет собой “экзотический блок”, вопрос о происхождении которого требует дополнительных исследований.

Ключевые слова: Аргунский массив, даурская серия, рифей, детритовые цирконы, U–Th–Pb геохронология, осадочные породы

DOI: 10.31857/S0869592X21010294

ВВЕДЕНИЕ

Аргунский континентальный массив является одним из наиболее крупных массивов восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. В качестве фундамента этого массива традиционно рассматриваются метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации комплексы, относимые условно к раннему докембрию (Геологическая..., 1999; Петрук, Козлов, 2009; Шивохин и др., 2010 и др.). Однако полученные в настоящее время геохронологические данные свидетельствуют о том, что протолиты наиболее известных метаморфических комплексов этого массива имеют возраст не древнее позднего протерозоя (см. обзор в (Zhou et al., 2011; Котов и др., 2013; Tang et al., 2013; Sorokin et al., 2019)). В этой связи встает вопрос о возрасте и источниках наиболее древних образований в строении Аргунского континентального массива. Для уточнения состава и возраста фунда-

мента этого террейна были проведены U–Th–Pb и Lu–Hf изотопные исследования детритовых цирконов из пород условно верхнепротерозойской даурской серии, которая, возможно, представляет собой одну из наиболее древних осадочных серий этого массива.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В составе даурской серии выделяются (снизу вверх) урулюнгульская, дырбылкейская и нортуйская свиты, слагающие разобщенные выходы в пределах Кличкинского и Аргунского хребтов в западной части Аргунского массива (рис. 1). Представления об условно позднерифейском возрасте отложений даурской серии основываются на единичных находках водорослей, а также микрофитоцитов, строматолитов (Озерский, Винниченко, 2002; Шивохин и др., 2010).

Согласно (Шивохин и др., 2010), в нижней части урулюнгульской свиты преобладают дресвяники, осадочные брекчии, конгломерато-брекчии,

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0869592X21010294 для авторизованных пользователей.

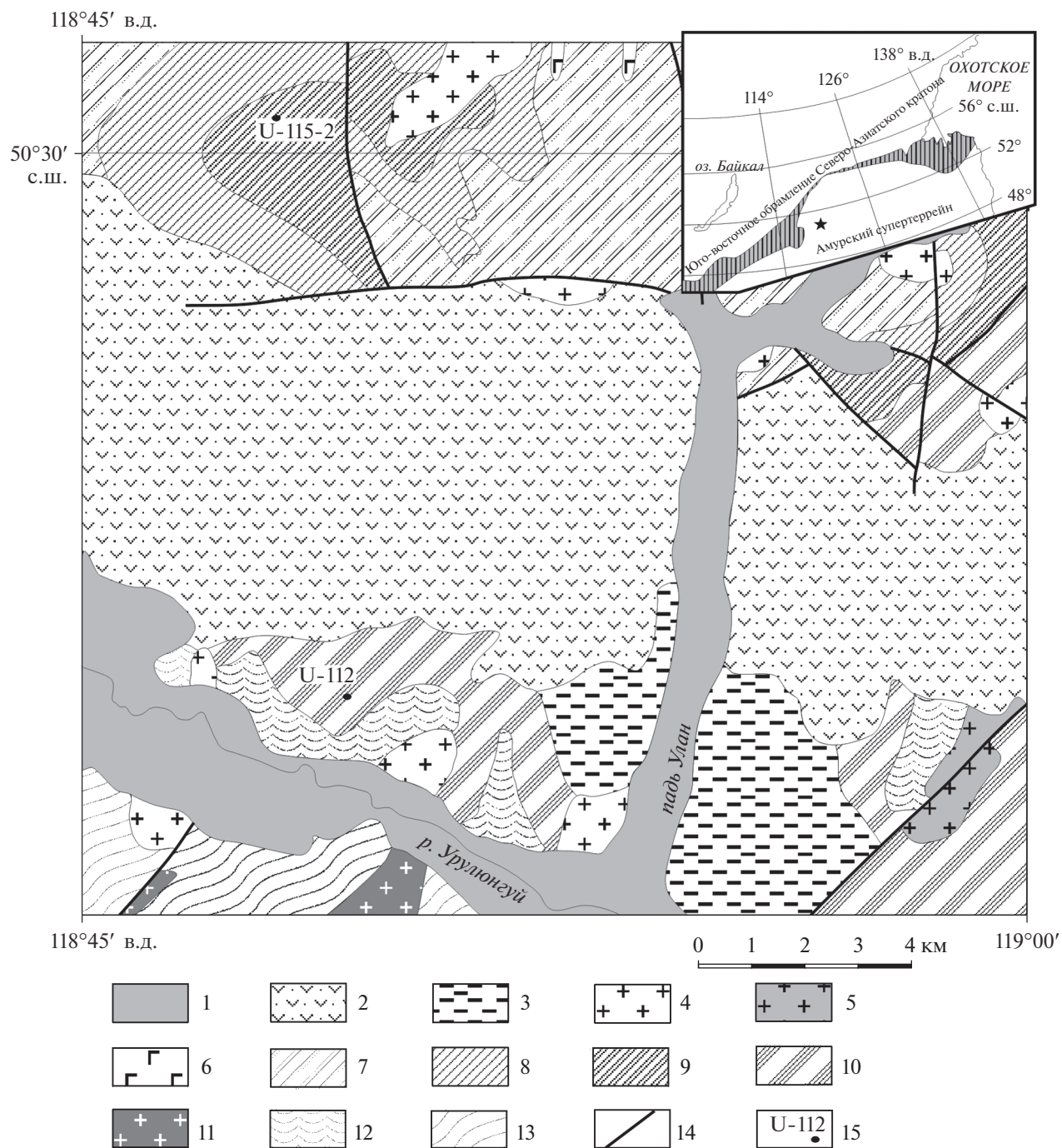


Рис. 1. Геологическая схема западной части Аргунского массива. Составлена по (Озерский, Винниченко, 2002) с изменениями авторов.

1 – кайнозойские рыхлые отложения; 2 – меловые вулканогенные и осадочные комплексы; 3 – верхнеюрские терригенные отложения; 4 – триасовые и позднеюрские гранитоиды; 5 – раннепермские граниты ундинского комплекса; 6 – вендские метагаббро быркинского комплекса; 7 – вендские метаморфические породы; 8–10 – условно верхнерифейские терригенные и терригенно-карбонатные отложения даурской серии; 8 – нортуйская свита, 9 – дырбылкейская свита, 10 – урулюнгуйская свита; 11 – средне-позднерифейские гранитоиды урулюнгуйского комплекса; 12 – среднерифейские (?) метаморфические породы; 13 – раннепротерозойские (?) метаморфические породы; 14 – разломы; 15 – места отбора образцов для U–Th–Pb геохронологических исследований и их номера. На врезке: звездочка – район исследований, заштрихованная область – Монголо-Охотский складчатый пояс.

которые сменяются вверх конгломератами, кварцевыми и аркозовыми песчаниками и гравелитами (рис. 2). Конгломераты сложены хорошо окатанными обломками кварца и кварцитов. В гравелитах среди обломков установлены кварц, измененные полевые шпаты, гранитоиды, пегматиты, кварциты, серицит-кварцевые сланцы и кварц-турмалиновые породы. Завершают разрез тонкообломочные породы с горизонтами карбонатных пород. Общая мощность отложений оценивается в 2670 м. В настоящее время урулюнгуйская свита условно отнесена к верхнему рифею на основании ее несогласного залегания на условно среднерифейской надаровской свите и ее согласного перекрытия дырбылкейской свитой.

Дырбылкейская свита сложена преимущественно доломитами и известняками с пачками гравелитов, песчаников, алевролитов, кварц-серицитовых и углеродисто-кремнисто-глинистых сланцев (Шивохин и др., 2010). Обломочный материал в гравелитах подобен таковому в урулюнгуйской свите. Мощность свиты составляет 5000 м. Среди органических остатков в составе дырбылкейской свиты установлены водорослевые остатки *Girvanella* (?), *Panomniella*, *Shanganella*, строматолиты *Conophyton metula* Kir. и микрофитолиты *Osagia grandis* Z. Zhur., *O. tenuilamellata* Reitl., *Vesicularites consuetus* Yak., *V. flexuosus* Reitl., *V. compositus* Z. Zhur., *Volvatella vadosa* Z. Zhur., *V. horridus* Z. Zhur., *Ambigolamellatus horridus* Z. Zhur. Возраст свиты условно считается позднерифейским (Шивохин и др., 2010).

Нортуйская свита сложена в основании разреза песчаниками кварцевого и аркозового состава, переслаивающимися с алевролитами, выше которых залегают известняки и известковистые доломиты (Шивохин и др., 2010). Свита охарактеризована остатками водорослей *Renalcis*? sp. и *Subtifloria* sp., микрофитолитов *Ambigolamellatus horridus* Z. Zhur., *Volvatella zonalis* Nar., *Osagiamimia* Z. Zhur., *O. minuta* Z. Zhur., *O. tenuilamellata* Reitl., *Vesicularites flexuosus* Reitl. Возраст нортуйской свиты принят условно позднерифейским. Перекрывается даурская серия условно вендской быркинской серией (Шивохин и др., 2010).

Нами были исследованы цирконы из терригенных отложений урулюнгуйской и дырбылкейской свит. Места отбора образцов показаны на рис. 1.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Выделение детритовых цирконов выполнено в Институте геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) с помощью тяжелых жидкостей. U–Th–Pb геохронологические исследования индивидуальных зерен цирконов проведены в Геохронологическом центре Аризонского универси-

тета (Arizona LaserChron Center, USA) на ICP масс-спектрометре Thermo Element 2, с системой лазерной абляции Photon Machines Analyte G2. Диаметр кратера составлял 20 мкм, глубина – 15 мкм. Калибровку проводили по стандарту FC (Duluth complex, 1099.3 ± 0.3 млн лет (Paces, Miller, 1993)). В качестве вторичных стандартов для контроля измерений использовали цирконы SL (Sri Lanka) и R33 (Braintree complex) (Black et al., 2004). Значения возрастов по отношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ для стандарта SL в процессе измерений составили 557 ± 5 и 558 ± 7 млн лет (2σ) соответственно, что хорошо согласуется со значениями, опубликованными в (Gehrels et al., 2008), полученными с использованием ID-TIMS метода. Средние значения возрастов по отношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ для стандарта R33 составили 417 ± 7 и 415 ± 8 млн лет, что соответствует рекомендованным (Black et al., 2004; Mattinson, 2010). Систематические погрешности равны 0.9% для отношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и 0.8% для отношения $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (2σ). Поправки на обычный Pb вводили по ^{204}Pb , скорректированному на ^{204}Hg , в соответствии с модельными величинами (Stacey, Kratners, 1975). Использованы следующие константы распада U и отношения: $^{238}\text{U} = 9.8485 \times 10^{-10}$, $^{235}\text{U} = 1.55125 \times 10^{-10}$, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88$. Детальное описание аналитических процедур приведено на сайте лаборатории (www.laserchron.org). Конкордантные возрасты (Concordia Ages) рассчитаны в программе Isoplot v. 4.15 (Ludwig, 2008) и использовались для построения кривых относительной вероятности возраста детритовых цирконов.

Lu–Hf изотопные исследования цирконов выполнены в той же лаборатории с использованием многоколлекторного ICP масс-спектрометра Nu High-Resolution и эксимерного лазера Analyte G2. Детали аналитической методики изложены на сайте лаборатории (www.laserchron.org). Для расчета величин $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ использованы хондритовые отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (0.282785) и $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ (0.0332) по (Blichert-Toft, Albarede, 1997), а также U–Pb возрасты, полученные для индивидуальных зерен. Коровые Hf-модельные возрасты $t_{\text{Hf}(C)}$ рассчитаны с учетом среднего отношения $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ в континентальной коре, равного 0.0093 (Vervoort, Patchett, 1996).

РЕЗУЛЬТАТЫ U–Th–Pb ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

В ходе исследований из мелко-среднезернистого песчаника урулюнгуйской свиты (обр. U-112) проанализированы 117 зерен детритовых цирконов (ДМ²_табл. 1). Для 98 из них получены конкордантные оценки возраста, большинство из кото-

² Дополнительные материалы.

Акротема	Эонотема	Эратема	Система	Отдел	Ярус	Индекс	Литогеологическая колонка	Мощность, м	Характеристика подразделений								
Протерозой	Рифей	Верхний	Кембрийская	Средний	Амгинский	E ₁₋₂ ² dr		1000	Ерниченская толща. Песчаники кварцевые и полимиктовые, гравелиты, алевропесчаники, алевролиты с линзами и прослоями известняков и доломитов, содержащие прослой алевролитов и сланцев кварц-серпичитовых, углеродисто-кремнистых и углеродисто-серпичитовых								
					Ботомский			2500		Быстринская свита. Доломиты и известняки, редко переслаивающиеся с терригенными породами — кварцевыми гравелитами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Линзы седиментационных брекчий и включения кремнистых пород							
Протерозой	Рифей	Верхний	Вендская	Нижний	Адабанский	V [?] bl		3000	Белугуйская свита. Песчаники кварцевые, аркозовые, а также филлитизированные, алевролиты, чередующиеся с доломитами или известняками. Линзы и пласты конгломератов. Среди кварцевых песчаников отмечаются риолиты, дациты, базальты, андезитбазальты, метаэффузивы, туфы и туфоконгломераты, туфопесчаники, туфогравелиты								
					Томмотский			1500		Кличкинская свита. Песчаники мелкозернистые кварцевые и аркозовые, переходящие в грубозернистые известняки и гравелиты, переслаивающиеся со сланцами, конгломератами, алевропесчаниками, алевролитами, доломитами, известняками. В составе свиты установлены тела пород основного и ультраосновного состава, а также линзы фтанитов, яшмоидов и туфойдов							
Протерозой	Рифей	Верхний	Кембрийская	Средний	Томмотский	R ₃ [?] nr		2000	Нортуйская свита. В основании свиты наблюдаются седиментационные брекчии, древесники. Песчаники кварцевые и аркозовые, переслаивающиеся со сланцами кремнисто-глинисто-серпичитовыми, алевролитами, сменяющиеся вверх по разрезу толщей известняков и известковистых доломитов								
					Амгинский			5000		Дырбылейская свита. Доломиты и известняки, переслаивающиеся с гравелитами, песчаниками, алевролитами и сланцами кварц-серпичитовыми, углеродисто-кремнисто-глинистыми							
Протерозой	Рифей	Верхний	Кембрийская	Средний	Амгинский	R ₃ [?] dr		2670	Урулунгуйская свита. Древесники, осадочные брекчии, конгломерато-брекчии, а также туфы риолитов, которые сменяются конгломератами, кварцевыми и аркозовыми песчаниками, гравелитами, алевропесчаниками, алевролитами с карбонатными породами								
					Ботомский			1900		Нааровская свита. Сланцы кварц-серпичитовые, кварц-хлорит-серпичитовые, углеродисто-серпичитовые, кремнистые, переслаивающиеся с песчаниками мелкозернистыми кварцевыми. Горизонты известняков и доломитов мощностью до 350 м							
					1												

Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка условно рифей-нижнепалеозойских терригенных отложений западной части Аргунского континентального массива. Составлена по (Шивохин и др., 2010).

1 — известняки; 2 — доломиты; 3 — алевролиты, алевропесчаники; 4 — песчаники; 5 — гравелиты; 6 — конгломераты; 7 — осадочные и седиментационные брекчии; 8 — сланцы; 9 — фтаниты, яшмоиды; 10 — риолиты и их туфы; 11 — базальты, андезитбазальты; 12 — места отбора образцов для U–Th–Pb геохронологических исследований и их номера.

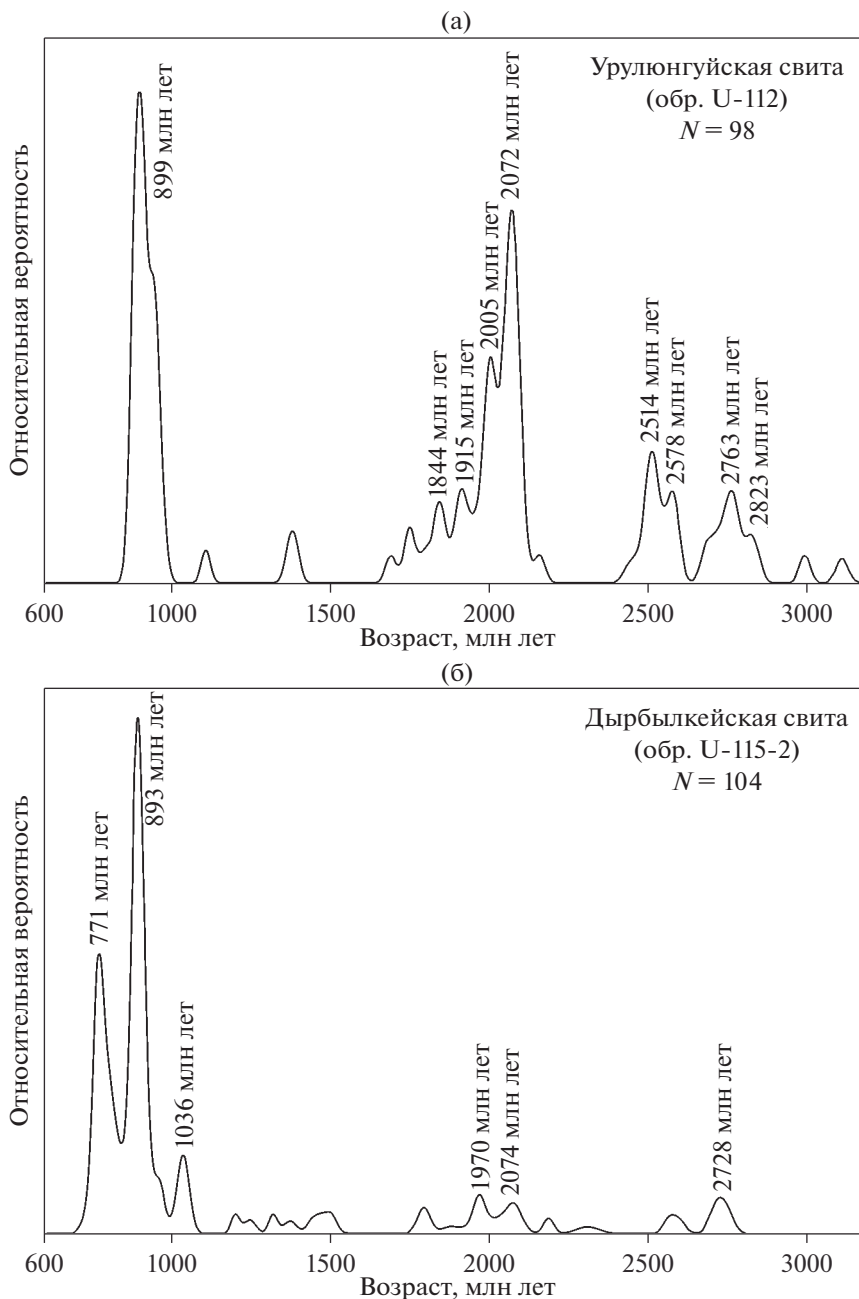


Рис. 3. Кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из (а) мелко-среднезернистого песчаника урулюнгуйской свиты (обр. U-112) и (б) мелкозернистого песчаника дырбылкейской свиты (обр. U-115-2) даурской серии Аргунского массива.

рых отвечает трем возрастным группам: архейской (3112–2502 млн лет, 20 зерен), раннепротерозойской (2495–1692 млн лет, 42 зерна) и позднепротерозойской (1381–877 млн лет, 34 зерна). На кривой относительной вероятности возрастов детритовых цирконов выделяются пики 2823, 2763, 2578, 2514, 2072, 2005, 1915, 1844, 899 млн лет (рис. 3а). Цирконы наиболее молодой, позднерифейской (967–877 млн лет, 31 зерно), популяции характеризуются осцилляторной зональностью и величинами

U–Th отношения, как правило варьирующими в узком интервале 1.1–6.0, что указывает на магматическое происхождение этих цирконов. Наиболее молодое зерно циркона имеет конкордантный возраст 877 ± 5 млн лет.

Из мелкозернистого песчаника дырбылкейской свиты (обр. U-115-2) проанализированы 118 зерен детритовых цирконов (ДМ_табл. 1). Для 104 из них получены конкордантные оценки возраста, преимущественно позднепротерозойского

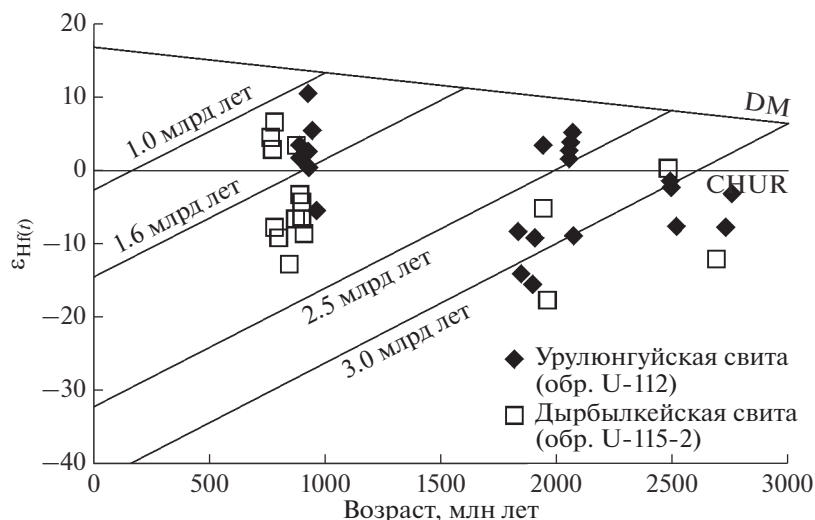


Рис. 4. График $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ –возраст для цирконов из мелко-среднезернистого песчаника урулюнгуйской свиты и из мелко-зернистого песчаника дырбылкейской свиты даурской серии Аргунского массива. Сокращения: DM – деплементированная мантия, CHUR – однородный хондритовый резервуар.

возраста (1505–732 млн лет, 86 зерен). В подчиненном количестве присутствуют архейские (2746–2565 млн лет, 6 зерен) и раннепротерозойские (2311–1787 млн лет, 12 зерен) цирконы. На кривой относительной вероятности возрастов детритовых цирконов выделяются пики 2728, 2074, 1970, 1036, 893, 771 млн лет (рис. 36). Цирконам наиболее молодой позднерифейской (1013–732 млн лет, 74 зерна) популяции свойственны осцилляторная зональность и величины U–Th отношения, в основном укладывающиеся в интервал 1.1–8.5, что свидетельствует о магматическом происхождении этих цирконов. Наиболее молодое зерно циркона имеет конкордантный возраст 732 ± 9 млн лет.

Результаты Lu–Hf изотопных исследований детритовых цирконов (рис. 4; ДМ_ табл. 2) показали, что раннепротерозойские и архейские цирконы характеризуются величинами двустадийных модельных возрастов $t_{\text{Hf}(C)} > 2.2$ млрд лет и $\epsilon_{\text{Hf}(t)} = -17.6 \dots +5.3$. Позднепротерозойским цирконам свойственны значительные вариации Hf-изотопных параметров, при этом обособляются две группы зерен: с рифейскими ($t_{\text{Hf}(C)} = 1.6$ –1.1 млрд лет) значениями модельных возрастов при $\epsilon_{\text{Hf}(t)} = +0.5 \dots +10.6$ и раннепротерозойскими ($t_{\text{Hf}(C)} = 2.2$ –1.7) значениями модельных возрастов при $\epsilon_{\text{Hf}(t)} = -12.7 \dots -3.2$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно результатам U–Th–Pb датирования детритового циркона, наиболее молодые детритовые цирконы из песчаников урулюнгуйской (обр. U-112) и дырбылкейской (обр. U-115-2) свит имеют возрасты 899 и 771 млн лет соответственно.

Это определяет нижнюю возрастную границу этих свит как позднерифейскую.

Кроме того, полученные данные позволяют обсудить вопрос о потенциальных источниках обломочных цирконов. Позднерифейские цирконы, доминирующие в обоих проанализированных образцах, имеют осцилляторную зональность и величины U/Th = 1.1–8.5, что указывает на их магматическое происхождение. В этой связи можно предположить, что главным их источником являются позднерифейские магматические образования. В последние годы для таких комплексов в пределах западной части Аргунского массива получено значительное количество геохронологических данных в интервале от 920 до 700 млн лет (Wu et al., 2011; Zhou et al., 2011; Tang et al., 2013 и др.), что подтверждает возможность такого предположения.

В отношении источников раннедокембрийских цирконов, содержащихся в песчаниках даурской серии, какая-либо определенность отсутствует. С одной стороны, в пределах Аргунского массива не выявлены раннедокембрийские магматические или метаморфические комплексы, возраст которых был бы надежно обоснован геохронологическими данными (Wu et al., 2011; Zhou et al., 2011; Котов и др., 2013; Sorokin et al., 2019). Более того, раннедокембрийские цирконы практически отсутствуют в изученных метаморфических комплексах (Zhou et al., 2011; Котов и др., 2013; Овчинников и др., 2019 и др.), в палеозойских (Сорокин и др., 2015) и мезозойских (Смирнова и др., 2015) осадочных отложениях этого массива, а Nd-модельные возрасты этих образований, как правило, не древнее рифея. С другой стороны, как показали результаты данных исследований, в песчаниках даурской серии, наряду с присутстви-

ем архейских и раннепротерозойских цирконов (рис. 3), приблизительно половина позднерифейских цирконов имеет раннедокембрийские Hf-модельные возрасты (рис. 4).

В этой связи можно предложить, что либо в осадочных породах даурской серии присутствует древний (раннедокембрийский) рециклированный материал, либо рассматриваемая часть Аргунского массива представляет собой “экзотический блок”. С учетом вышеприведенных данных мы полагаем, что второй вариант интерпретации более вероятен.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников Института геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) Е.Н. Воропаеву, О.Г. Медведеву, а также персонал центра Laser-Chron университета штата Аризона (США) за проведение аналитических исследований. Мы также искренне признательны рецензентам Е.Ф. Летниковой и А.Б. Котову за конструктивные замечания и дискуссию.

Источники финансирования. Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-05-00195).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 2500000. Объяснительная записка. Ред. Красный Л.И., Вольский А.С., Васильев И.А. и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
- Котов А.Б., Мазукабзов А.М., Скочитина 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.
- Овчинников Р.О., Сорокин А.А., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Сорокин А.П. Экзотический Инимский блок Аргунского континентального массива Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты геохронологических (LA-ICP-MS) U–Th–Pb- и изотопно-геохимических Sm–Nd-исследований // Докл. АН. 2019. Т. 484. № 6. С. 734–738.
- Озерский А.Ф., Винниченко Е.Л. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200000. Приаргунская серия. Лист М-50-XVII. Издание второе. Ред. Старченко В.В. СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.
- Петрук Н.Н., Козлов С.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1000000. Лист N-51 (Сковородино). Третье поколение. Дальневосточная серия. Ред. Вольский А.С. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009.
- Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Котов А.Б., Ковач В.П. Источники юрских терригенных отложений Верхнеамурского и Зей-Депского прогибов восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты изотопно-геохимических (Sm–Nd) и геохронологических (U–Pb, LA-ICP-MS) исследований // Докл. АН. 2015. Т. 465. № 6. С. 706–710.
- Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Котов А.Б., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Попеко Л.И. Источники и области сноса палеозойских терригенных отложений Ольдского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты Sm–Nd изотопно-геохимических и U–Pb геохронологических (LA-ICP-MS) исследований // Геохимия. 2015. № 6. С. 539–550.
- Шивохин Е.А., Озерский А.Ф., Куриленко А.В., Раутина Н.И., Карасев В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000. Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50. Третье поколение. Ред. Старченко В.В. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010.
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. Improved ²⁰⁶Pb/²³⁸U microprobe geochronology by the monitoring of trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards // Chem. Geol. 2004. V. 205. P. 115–140.
- Blichert-Toft J., Albarede F. The Lu–Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle–crust system // Earth Planet. Sci. Lett. 1997. V. 148. P. 243–258.
- Gehrels G.E., Valencia V.A., Ruiz J. Enhanced precision, accuracy, efficiency, and spatial resolution of U–Pb ages by laser ablation-multicollector-inductively coupled plasma mass spectrometry // Geochem. Geophys. Geosyst. 2008. V. 9. № 3. P. 1–13.
- Ludwig K.R. Isoplot 3.6 // Berkeley Geochronology Center Spec. Publ. 2008. P. 1–77.
- Mattinson J.M. Analysis of the relative decay constants of ²³⁵U and ²³⁸U by multi-step CA-TIMS measurements of closed system natural zircon samples // Chem. Geol. 2010. V. 275. P. 186–198.
- Paces J.B., Miller J.D. Precise U–Pb ages of Duluth Complex and related mafic intrusions, northeastern Minnesota: geochronological insights to physical, petrogenic, paleomagnetic, and tectonomagmatic processes associated with the I.1. Ga Midcontinent Rift System // J. Geophys. 1993. V. 98. № 8. P. 13997–14013.
- Sorokin A.A., Ovchinnikov R.O., Xu W.L., Kovach V.P., Yang H., Kotov A.B., Ponomarchuk V.A., Travin A.V., Plotkina Y.V. Ages and nature of the protolith of the Tulovchikha metamorphic complex in the Bureya Massif, Central Asian Orogenic Belt, Russia: evidence from U–Th–Pb, Lu–Hf, Sm–Nd, and ⁴⁰Ar/³⁹Ar data // Lithos. 2019. V. 332–333. P. 340–354.
- Stacey J.S., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. 1975. V. 26. № 2. P. 207–221.
- 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.
- Vervoort J.D., Patchett P.J. Behavior of hafnium and neodymium isotopes in the crust: constraints from Precambrian crustally derived granites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1996. V. 60. P. 3717–3723.
- Wu F.Y., Sun D.Y., Ge W.C., Zhang Y.N., Grant M.L., Wilde S.A., Jahn B.M. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 41. P. 1–30.
- Zhou J.B., Wilde S.A., Zhang X.Z., Ren S.M., Zheng C.Q. Early Paleozoic metamorphic rocks of the Erguna block in the Great Xing’an Range, NE China: evidence for the timing of magmatic and metamorphic events and their tectonic implications // Tectonophysics. 2011. V. 499. P. 105–117.

Рецензенты А.Б. Котов, Е.Ф. Летникова

**Age and Sources of Sedimentary Rocks of the Daur Series (Riphean)
in the Argun Continental Massif:
Results of U–Th–Pb and Lu–Hf Isotope Studies of the Detrital Zircon**

Yu. N. Smirnova^{a, #}, R. O. Ovchinnikov^a, A. A. Sorokin^a, and Yu. V. Smirnov^a

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

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

The first results of U–Th–Pb and Lu–Hf isotopic studies of the detrital zircons of sedimentary rocks of the Daur Series in the Argun continental massif of Central Asian fold belt are presented. It is established that the youngest detrital zircons from sandstones of the Urulungui and Dyrbylkey formations of the Daur Series are of 899 and 771 Ma, respectively. This data set the maximum depositional age of the Daur Series and agreement with current views of the Late Riphean age of the Series. The majority of Late Riphean detrital zircons of sedimentary rocks of the Daur Series is characterized by Early Precambrian Lu–Hf model ages. In addition, in the studied rocks the Archean and Early Proterozoic detrital zircons are present. This suggests that either ancient (Early Precambrian) recycled material in the sedimentary rocks of the Daur Series is present, or the studied part of the Argun Massif is “exotic block”, the problem of the origin of which requires additional research.

Keywords: Argun Massif, Daur Series, Riphean, detrital zircons, U–Th–Pb geochronology, sedimentary rocks