ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАЛЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 493, № 2, с. 18–23

_____ ГЕОЛОГИЯ _____

УЛК 552.14:551.73(571.53/55)

U-РЬ-ВОЗРАСТ ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА ИЗ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ ЮГО-ЗАПАДА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: СВИДЕТЕЛЬСТВО ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО И РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ОРОГЕННЫХ СОБЫТИЙ

© 2020 г. Член-корреспондент РАН Д. П. Гладкочуб^{1,*,**}, Т. В. Донская¹, З. Л. Мотова¹, В. Б. Хубанов²

> Поступило 03.02.2020 г. После доработки 19.05.2020 г. Принято к публикации 28.05.2020 г.

Изучен возраст детритового циркона в песчаниках братской (O_3) , кежемской (S_1) и баероновской (С1) свит чехла Сибирской платформы в ее юго-западной части. Установлено, что доминирующим источником обломочного материала в этих породах являются палеопротерозойские магматические и метаморфические комплексы фундамента платформы с возрастом 2.00-1.85 млрд лет. Вторым по значимости источником вещества являлся Центрально-Азиатский складчатый пояс, а именно, породы с возрастом 490-450 млн лет. Отмечено, что возрастные спектры, полученные по детритовому циркону из пород чехла Сибирской платформы, наглядно отражают два глобальных орогенных события: палеопротерозойское, ответственное за формирование структуры большинства древних кратонов, в том числе и Сибирского, и раннепалеозойское, маркирующее заложение и начало развития одного из крупнейших горно-складчатых сооружений мира – Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Центрально-Азиатский складчатый пояс, орогенез, циркон, осадочный чехол, палеозой, докембрий

DOI: 10.31857/S268673972008006X

Южный фланг Сибирской платформы представляет собой уникальный объект для изучения орогенных процессов докембрия и фанерозоя в регионе. Раннепротерозойские орогенные пояса (Ангарский, Акитканский и Становой), входящие в структуру фундамента Сибирской платформы, отражают как процессы становления фундамента платформы (Сибирского кратона) в виде единого блока консолидированной континентальной литосферы, так и аккреционно-коллизионные события, связанные с вхождением Сибирского кратона в палеопротерозойский суперконтинент Колумбия [1, 2]. Максимальное проявление этих орогенных событий имело место на интервале времени 2.00-1.85 млрд лет. Примечательно, что подобные оценки возраста присутствуют на всех без исключения спектрах возраста детритового циркона, изученных в терригенных породах неопротерозоя-венда, залегающих на раннедокембрийского выступах фундамента Сибирской платформы [3, 4].

Орогенные события венда-раннего палеозоя широко проявились вдоль южного фланга Сибирской платформы на стадии заложения и развития Центрально-Азиатского складчатого (орогенного) пояса (ЦАСП). В это время масштабно аккреционно-коллизионные реализовывались процессы, связанные с приближением к кратону серии террейнов различной геодинамической природы на фоне начального этапа закрытия Палеоазиатского океана [3]. В результате этих событий вдоль южного края Сибирского кратона была сформирована серия бассейнов форланда, закрытие которых и причленение террейнов к краю кратона произошло в раннем палеозое, когда был сформирован Прибайкальский коллизионный пояс, прослеживающийся вдоль южного фланга кратона на расстояние более чем две тысячи километров [5]. Одновременно с формированием раннепалеозойского орогена происходила трансформация Сибирского кратона в Сибирскую

¹ Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

² Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия

^{*}E-mail: gladkochub@mail.ru

^{**}E-mail: dima@crust.irk.ru



Рис. 1. Схема геологического строения зоны сочленения Сибирской платформы и Центрально-Азиатского складчатого пояса в саянском сегменте (а) и схема геологического строения чехла Сибирской платформы в районе пос. Чунский (б) (модифицированные после [6]). (а) 1-2 – Центрально-Азиатский складчатый пояс: 1 – доордовикские породные комплексы, 2 – раннепалеозойские гранитоиды; 3-6 – Сибирская платформа: 3 – фанерозойские породы чехла, 4 – девонские вулканогенно-осадочные породы наложенных впадин, 5 – вендские – позднерифейские осадочные породы Присаянского прогиба, 6 – раннепротерозойские постколлизионные гранитоиды; 7 – докембрийские породы фундамента; 8 – Главный Саянский разлом; 9 – участок детальных исследований. (6) 1 – четвертичные отложения; 2 – черемховская свита (J_1), 3 – топорогская свита (C_1), 4 – баероновская свита (C_1), 5 – кежемская свита (S_1), 6 – братская свита (O_3), 7 – точки отбора проб на геохронологические исследования и их номера.

платформу в связи с началом накопления фанерозойского платформенного осадочного чехла.

Мотивацией для изучения детритового циркона из терригенных пород чехла Сибирской платформы стала попытка выявить орогенные события в истории образования Сибирского кратона и прилегающих территорий Центрально-Азиатского складчатого пояса, которые нашли отражение в U-Pb-возрасте обломочного циркона палеозойских осадочных пород юго-западной части Сибирской платформы.

Для решения поставленных вопросов были изучены коренные выходы и отобраны пробы терригенных пород из разрезов братской (O_3), ке-жемской (S_1) и баероновской (C_1) свит чехла Сибирской платформы. Для обеспечения должной

корректности получаемых результатов для изучения был выбран район, располагающийся на некотором удалении как от выходов докембрийского фундамента Сибирской платформы, так и от террейнов, входящих в структуру ЦАСП (рис. 1а).

Район исследований находится на юго-западе Сибирской платформы. Палеозойский платформенный чехол представлен здесь осадочными породами бадарановской (O_2), братской (O_3), кежемской (S_1), баероновской (C_1), топорокской (C_1) свит, которые прорваны магматическими образованиями основного состава коршуновского комплекса раннего триаса, относимыми к крупной изверженной провинции сибирских траппов (рис. 1б). Братская свита (O₃) в районе работ представлена толщей песчаников, с маломощными слоями конгломератов, а также прослоями и линзами алевролитов и аргиллитов. Накопление свиты происходило в частично или полностью изолированном бассейне повышенной солености, о чем свидетельствует присутствие эвапоритов и отсутствие фаунистических остатков [6]. Верхнеордовикский возраст отложений братской свиты обоснован их нахождением между фаунистически охарактеризованными толщами мамырской свиты среднего ордовика и породами кежемской свиты раннего силура [6].

Кежемская свита (S_1) представлена песчаниками, с прослоями алевролитов и аргиллитов. В верхах разреза присутствуют гравелиты. Раннесилурийский возраст отложений кежемской свиты определяется фаунистически, по находкам на смежной с севера территории брахиопод *Camarotoecia ramoza* Andr., табулят *Palaeofavosites sp.*, ругозы *Streptelasma sp.* [6].

Разрез баероновской свиты (С₁) начинается переслаиванием алевролитов с песчанистыми известняками и редкими прослоями трепелов. Средняя часть разреза представлена известковистыми кварцевыми песчаниками. В верхней части в разрезах среди песчаников появляются прослои аргиллитов и алевролитов. Раннекарбоновый возраст пород баероновской определяется по ископаемой флоре [6].

Для геохронологического исследования детритового циркона были отобраны пробы песчаников из палеозойских отложений осадочного чехла Сибирской платформы: 1838 (братская свита), 1833 (кежемская свита); 1826 (баероновская свита) (рис. 1б). Из каждой пробы весом около 5 кг было выделено более 200 зерен акцессорного циркона, которые были погружены в шайбу стандартного размера. U-Pb-изотопный анализ циркона выполнен методом лазерной абляции на масс-спектрометре высокого разрешения Еlement XR ("Thermo Fisher Scientific"), соединенным с приставкой для лазерного прибора UP-213 с длиной волны излучения 213 нм (New Wave Research) в Геологическом институте СО РАН [7]. При анализе проводилось измерение изотопных отношений в цирконе без какого-либо их предварительного отбора по размеру или морфологии. Обработка выполненных измерений проводилась в программах GLITTER [8] и ISOPLOT [9]. В интерпретации учитывались только оценки возраста, дискордантность которых не превышает 10%. Аналитические данные могут быть получены по запросу у авторов статьи. Гистограммы и кривые относительной вероятности построены с ошибкой 1σ (рис. 2).

Проба № 1838 полимиктового разнозернистого песчаника была отобрана из разреза братской свиты. Для этой пробы по 102 проанализированным зернам циркона были получены конкордантные значения возраста, демонстрирующие отчетливое бимодальное распределение (рис. 2а). Большинство оценок возраста (80 значений) заполняют интервал от 1.7 до 2.0 млрд лет, образуя основной пик с возрастом 1835 млн лет (рис. 2а). Отдельные значения возраста (6 зерен) отвечают неоархейскому интервалу 2.5-2.8 млрд лет. Наиболее древний циркон в рассматриваемом образце имеет палеоархейский возраст (3325 млн лет). При этом мезоархейский отрезок полностью стерилен в плане присутствия зерен детритового циркона. Вся совокупность описанных выше датировок может быть охарактеризована как "типично южно-сибирская", т.е. характерная для пород фундамента южной части Сибирской платформы [10]. Кроме этого, в образце обнаружены единичные зерна циркона раннего неопротерозоя (928, 891 и 812 млн лет), а также большая группа (13 зерен циркона) с раннепалеозойскими (от 529 до 432 млн лет) оценками возраста, формирующими пик с отметкой 450 млн лет. Неопротерозойские и раннепалеозойские магматические комплексы не характерны для структур фундамента платформы и, очевидно, отражают вклад образований ЦАСП в породы чехла Сибирской платформы.

Проба № 1833 песчаника средней степени гранулометрической сортировки была взята из разреза кежемской свиты. Для этой пробы конкордантные значения возраста были получены по 101 зерну циркона. Наиболее древний циркон имеет возраст 3082 млн лет. Отдельные зерна циркона имеют неоархейский и ранний палеопротерозойский возраст. Большинство полученных датировок (62 значения) отвечают интервалу 1.7-2.0 млрд лет, характерному для пород фундамента Сибирской платформы, формируя о пик с отметкой 1820 млн лет (рис. 26). В породе обнаружены единичные зерна циркона неопротерозойского возраста (903, 762 и 619 млн лет). Значительная группа (27 зерен циркона) демонстрирует раннепалеозойские значения возраста от 503 до 430 млн лет с пиком на 450 млн лет, характерные для пород ЦАСП.

Из разреза баероновской свиты была отобрана проба № 1826 песчаника со средней степенью гранулометрической сортировки. Для этой пробы конкордантные значения возраста были получены по 107 проанализированным зернам циркона. Большинство полученных датировок (68 значений) близки возрасту пород фундамента Сибирской платформы. Они отвечают интервалу 1.7– 2.1 млрд лет и образуют основной пик с отметкой 1860 млн лет (рис. 2в). Отдельная группа циркона (17 зерен) заполняет нео- и мезоархейский интервал, наиболее древний циркон имеет палеоархейский (3289 млн лет) возраст. Более молодые зна-

20



Рис. 2. Гистограммы и кривые относительной вероятности возраста детритового циркона из песчаников братской свиты (а), кежемской свиты (б) и баероновской свиты (в). Серым цветом выделены поля основных пиков возраста циркона из пород южной части Сибирского кратона (цифра 1 в кружке) [10] и северного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (цифра 2 в кружке) [10, 13, 14].

чимые группы значений возраста образуют 2 кластера, включающие в себя 7 и 4 зерна, которые обеспечивают раннепалеозойские пики с отметками 492 и 455 млн лет, соответственно, характерные для геологических комплексов ЦАСП.

Полученные результаты могут быть проинтерпретированы следующим образом:

1. Доминирующим источником обломочного материала в раннепалеозойские терригенные толщи чехла Сибирской платформы выступали архейские и палеопротерозойские магматические и метаморфические комплексы фундамента платформы. В пользу этого вывода свидетельствует тот факт, что из 310 зерен циркона трех проанализированных проб, обеспечивших конкордантные значения, 216 зерен имеют возраст, характерный для пород фундамента, а именно возраст в интервале 3325—1675 млн лет [10].

2. Среди зерен циркона палеопротерозойского возраста в каждой из проанализированных проб могут быть выделены три возрастных кластера: ~2.00-1.90; ~1.88-1.84 и ~1.75-1.70 млрд лет. Источником циркона первой группы являлись метаморфические и магматические синколлизионные комплексы горных пород, формирование которых происходило на орогенном этапе, приведшем к образованию Сибирского кратона. Переходя к более молодому кластеру значений следует отметить, что среди всей популяции палеопротерозойских зерен циркона, более 70% зерен имеют возраст, отвечающий интервалу 1.88-1.84 млрд лет, указывая на то, что в наибольшем объеме раннепалеозойский платформенный чехол сформировался за счет разрушения богатых цирконом гранитоидов и вулканитов Южно-Сибирского постколлизионного магматического пояса, имеющих возраст 1.88-1.84 млрд лет [11]. В целом, палеопротерозойские коллизионные и постколлизионные оценки возраста отражают единое масштабное и продолжительное орогенное событие, ответственное за формирование Сибирского кратона как крупной структуры консолидированной континентальной литосферы. Третья группа палеопротерозойских зерен циркона (1.75-1.70 млрд лет), обнаруженных в проанализированных пробах, отражает событие внутриконтинентального растяжения, повсеместно проявившегося на площади кратона на данном временном интервале, которое маркируется многочисленными дайковыми роями и внутриконтинентальными гранитоидными комплексами [12].

3. Единичные зерна циркона неопротерозойского возраста (2% от числа проанализированных) отражают минимально проявившийся вклад в породы осадочного чехла продуктов разрушения пород террейнов различной природы, существовавших в Палеотетисе и в Палеоазиатском океане до начала раннепалеозойской орогении вдоль южного фланга Сибирской платформы [3].

4. Существенную роль в формировании осадочного чехла в раннем палеозое играл снос в бассейн седиментации обломочного материала, образовавшегося за счет разрушения пород Центрально-Азиатского складчатого пояса. Выявленные пики оценок возраста детритового циркона отвечают ранним орогенным событиям (490 млн лет) и масштабным процессам гранитообразования, проявившимся на стадии постколлизионного растяжения (450 млн лет) [5, 13, 14]. Последние представлены многочисленными комплексами гранитоидов, имеющими широкое распространение в прилегающих к южному флангу Сибирской платформы областях ЦАСП [13, 14]. В целом, весь интервал от 490 до 450 млн лет может быть охарактеризован как время проявления наиболее ранних, масштабных орогенных событий в ЦАСП, завершившихся формированием Прибайкальского коллизионного пояса вдоль южной окраины платформы [5].

Таким образом можно отметить, что в осадочных породах чехла Сибирской платформы в его юго-западной части обнаружены наглядные свидетельства двух глобальных орогенных событий: палеопротерозойского (2.00–1.85 млрд лет), ответственного за формирование структуры большинства древних кратонов, в том числе и Сибирского, и раннепалеозойского (490–450 млн лет), положившего начало заложению и развитию одного из крупнейших горно-складчатых сооружений мира, а именно Центрально-Азиатского складчатого пояса.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19– 05–00266) и гранта Правительства Российской Федерации № 075–15–2019–1883. U–Pb-изотопно-геохронологические исследования выполнены в ЦКП "Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований" ГИН СО РАН, Улан-Удэ (базовый проект IX.129.1.2., № гос. рег. АААА-А16-116122110027-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Розен О.М. // Геотектоника. 2003. № 3. С. 3-21.
- Evans D.A.D., Mitchell R.N. // Geology. 2011. V. 39. P. 443–446.
- Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H. // Gondwana Research. 2019. V. 65. P. 1–16.
- Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Kapitonov I., Hourigan J. // Precambrian Research. 2015. V. 267. P. 39–71.

- Донская Т.В., Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Яковлева С.З., Бережная Н.Г. // ДАН. 2000. Т. 374. № 1. С. 79–83.
- 6. Галимова Т.Ф., Пашкова А.Г., Поваринцева С.А., Перфильев, В.В., Намолова М.М., Андрющенко С.В., Денисенко Е.П., Пермяков С.А., Миронюк Е.П., Тимашков А.Н., Плеханов А.О. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1000000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 Нижнеудинск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 652 с.
- 7. *Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А.* // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258.
- Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. / In: Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences. Ed. P.J. Sylvester. Mineralogical association of Canada short course series. 2008. V. 40. P. 204–207.

- 9. *Ludwig K.R.* User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. Spec. Publ. 4. 2003. 74 p.
- 10. Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. // Gondwana Research. 2011. V. 19. № 3. P. 751–763.
- Ларин А.М., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Коваленко В.И., Рыцк Е.Ю., Яковлева С.З., Бережная Н.Г., Ковач В.П., Булдыгеров В.В., Срывцев Н.А. // ДАН. 2003. Т. 392. № 4. С. 506–511.
- Гладкочуб Д.П., Писаревский С.А., Эрнст Р., Донская Т.В., Седерлунд У., Мазукабзов А.М., Хейнс Дж. // ДАН. 2010. Т. 430. № 5. С. 654–657.
- Руднев С.Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 300 с.
- 14. Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Изох А.Э., Руднев С.Н. // ДАН. 1999. Т. 369. № 6. С. 795–798.

U-Pb AGE OF DETRITAL ZIRCON FROM PALEOZOIC SEDIMENTARY SEQUENCES OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM AS EVIDENCE OF PALEOPROTEROZOIC AND EARLY PALEOZOIC OROGENIC EVENTS

Corresponding Member of the RAS D. P. Gladkochub^{*a*,#,##}, T. V. Donskaya^{*a*}, Z. L. Motova^{*a*}, and V. B. Khubanov^{*b*}

^a Institute of the Earth's crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation ^b Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation [#]E-mail: gladkochub@mail.ru</sup>

##E-mail: dima@crust.irk.ru

Studied age of detrital zircon in sandstones of the Bratskaya (O_3) , Kezhemskaya (S_1) and Baeronovskaya (C_1) Formations of the sedimentary cover of the south-western part of the Siberian platform. It has been established that the dominant source of terrigenous material in these rocks are Paleoproterozoic igneous and metamorphic complexes of the Siberian platform basement with ages of 2.00-1.85 Ga. The second most important source of the terrigenous material was the Central Asian Orogenic Belt, namely, rock complexes with ages of 490–450 Ma. Noted that the age spectra for detrital zircon from rocks of the sedimentary cover of the Siberian platform clearly reflect two global orogenic events: the Paleoproterozoic which responsible for the formation of the most ancient cratons, including the Siberian, and Early Paleozoic, marking the beginning of the development of one of the largest orogenic structures of the world – Central Asian Orogenic Belt.

Keywords: Siberian platform, Central Asian Orogenic Belt, orogeny, zircon, sedimentary cover, Paleozoic, Precambrian